สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์

นางสาวฐิริญญา เสือยง

นายมณฑล วงศ์วิจิตร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62149
วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549

ว.....
ส.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Namwaa banana papers production for packaging

Ms. Tirinya Suayong

Mr. Monthon Wongvijit

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์

นักศึกษา นางสาวฐิริญญา เสือยง

นายมณฑล วงศ์วิจิตร

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงก่า	.....
กรรมการ อ. พรทิพย์ ศัพทอนันต์	.....
กรรมการ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์
นักศึกษา นางสาวฐิริญญา เสือยง
นายมณฑล วงศ์วิจิตร
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2547
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

บทคัดย่อ

ศึกษาการเตรียมกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าหลังตัดเครือแล้วสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายเบส เวลาที่ใช้ต้มย่อยเยื่อ วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยและสารละลายเบส 2 ชนิดที่ใช้ ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการตรวจสอบสมบัติเชิงกล การซึมน้ำและน้ำมัน และสัณฐานวิทยาของกระดาษ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายเบสร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาในการต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมงและวิธีการลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดเป็นสภาวะที่ให้กระดาษที่มีค่าความแข็งแรงดึงดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกระดาษที่เตรียมจากการผสมกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูง ในทางตรงกันข้ามการผสมกระดาษเก่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดสูง โดยกระดาษจากกล้วย 100% มีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 230 ส่วนกระดาษผสมที่มีการผสมกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักมีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Development of Namwaa banana papers production for packaging

Name Ms. Tirinya Suayong

Mr. Monthon Wongvijit

Department Chemistry

Program Industrial Chemistry

Academic Year 2004

Special Project Advisor Assoc.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

Study on preparation of banana papers from leaf sheaf of a Namwaa banana tree trunk after breeding for packaging. Several parameters such as concentration of base solution, cooking time, leaf sheaf of a banana tree trunk size reduction method and two kinds of base namely sodium hydroxide and calcium hydroxide were studied. Mechanical properties, water and oil absorption properties and morphology were investigated. The results showed that concentration of base solution 6% w/v, cooking time 3 hours and crushing method provided better tensile strength, especially paper from sodium hydroxide solution. Paper prepared from mixing recycled paper pulp 30% w/w gave the best tensile strength on the other hand, mixing recycled paper pulp 70% w/w gave the best elongation at break. Paper from 100% banana pulp showed tensile strength property nearly to standard kraft paper type KA 230. Meanwhile paper from mixing recycled paper 30% w/w showed tensile strength property nearly to standard kraft paper type KA 185.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานในโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาลินี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์พรทิพย์และอาจารย์วิบูลย์ อาจารย์กรรมการโครงงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขโครงงานฉบับนี้ให้เรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท พิมพ์ดี บรรจุภัณฑ์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กระดาษเก่าและตะแกรงขึ้นรูปกระดาษ ตลอดจนคำแนะนำในความรู้เรื่องกระบวนการผลิตกระดาษ

ขอขอบพระคุณคุณสมชาย เซะวิเศษและร้านขายกล้วยปิ้งหน้าคณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อต้นกล้วยน้ำว้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อหม้อต้มนึ่งอัดไอ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และท่านอื่นๆที่มิได้กล่าวถึง ที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

นางสาวฐิริญญา เสือยง
นายมณฑล วงศ์วิจิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 กระดาษ	
2.1.1 ความหมาย	4
2.1.2 ประวัติและความเป็นมาของกระดาษ	5
2.1.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ	7
2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้	8
2.1.5 การผลิตเยื่อกระดาษ	10
2.1.6 การผลิตแผ่นกระดาษ	11
2.1.7 องค์ประกอบของกระดาษ	12
2.1.8 ประเภทของกระดาษ	14
2.1.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษ	15
2.2 กล้วย	
2.2.1 ลักษณะทั่วไป	17
2.2.2 ประวัติกล้วยในประเทศไทย	17
2.2.3 พันธุ์กล้วย	18
2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของต้นกล้วย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 องค์ประกอบทางเคมีของกาบกล้วย	19
2.3 สารเคมีที่ใช้และคุณสมบัติ	
2.3.1 สารเคมีที่ใช้แยกลิกนิน	20
2.3.2 สารเคมีที่ใช้ฟอกขาว	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี	24
3.2 อุปกรณ์	24
3.3 เครื่องทดสอบ	25
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า	30
4.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการต้มย่อยเยื่อ	37
4.3 ผลการศึกษาวิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า	44
4.4 ผลการศึกษาสมบัติของกระดาษผสม	48
4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระดาษกล้วย 100% กระดาษผสมและกระดาษคราฟท์มาตรฐาน	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน	10
ตารางที่ 4.1	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	33
ตารางที่ 4.2	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	33
ตารางที่ 4.3	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	35
ตารางที่ 4.4	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	35
ตารางที่ 4.5	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	40
ตารางที่ 4.6	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	40
ตารางที่ 4.7	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	42
ตารางที่ 4.8	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	42
ตารางที่ 4.9	แสดงเวลาการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	46
ตารางที่ 4.10	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	46
ตารางที่ 4.11	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษผสม	49
ตารางที่ 4.12	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษผสม	49
ตารางที่ 4.13	แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษผสม	50
ตารางที่ 4.14	แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษผสม	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ก-1	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	58
ตารางที่ ก-2	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	59
ตารางที่ ก-3	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	60
ตารางที่ ก-4	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	61
ตารางที่ ก-5	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	62
ตารางที่ ก-6	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	63
ตารางที่ ก-6	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	64
ตารางที่ ก-8	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า	65
ตารางที่ ก-9	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษที่ได้จากเยื่อกระดาษเก่า 100 %	65
ตารางที่ ก-10	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ	66
ตารางที่ ข-1	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	67
ตารางที่ ข-2	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	68
ตารางที่ ข-3	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	69
ตารางที่ ข-4	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
	ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน	70
ตารางที่ ข-5	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	71
ตารางที่ ข-6	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน	71
ตารางที่ ข-7	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า	72
ตารางที่ ข-8	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า	73
ตารางที่ ข-9	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษที่ได้จากเยื่อกระดาษเก่า 100 %	73
ตารางที่ ข-10	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ	74
ตารางที่ ค-1	แสดงผลการทดลองของน้ำหนักของกระดาษประเภทต่างๆ	75
ตารางที่ ค-2	แสดงผลการคำนวณน้ำหนักของกระดาษประเภทต่างๆ	76
ตารางที่ ค-3	แสดงน้ำหนักของกระดาษคราฟท์มาตรฐานที่ผลิตในอุตสาหกรรม	76
ตารางที่ ค-4	แสดงผลการเปรียบเทียบกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าและกระดาษผสมกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานที่ผลิตในอุตสาหกรรม	77
ตารางที่ ง-1	แสดงปริมาตรสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ KHP ที่ใช้ในการไทเทรต	79
ตารางที่ จ-1	แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ	83
ตารางที่ จ-2	แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส	8
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	9
รูปที่ 2.3	แสดงโครงสร้างของลิกนิน	9
รูปที่ 4.1	แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	30
รูปที่ 4.2	แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	31
รูปที่ 4.3	แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	32
รูปที่ 4.4	แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	32
รูปที่ 4.5	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า	34
รูปที่ 4.6	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า	34
รูปที่ 4.7	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า	36
รูปที่ 4.8	สัณฐานวิทยาของแผ่นกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า	36
รูปที่ 4.9	แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ	38
รูปที่ 4.10	แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ	38
รูปที่ 4.11	แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.12	แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ	39
รูปที่ 4.13	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เวลาต้มย่อยเยื่อ 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า	41
รูปที่ 4.14	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า	41
รูปที่ 4.15	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า	43
รูปที่ 4.16	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า	43
รูปที่ 4.17	แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยวิธีการลดขนาดกาบกล้วยต่างกัน	44
รูปที่ 4.18	แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยวิธีการลดขนาดกาบกล้วยต่างกัน	45
รูปที่4.19	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์วิธีลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียด ที่กำลังขยาย 120 เท่า	47
รูปที่ 4.20	สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์วิธีลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียด ที่กำลังขยาย 120 เท่า	47
รูปที่ 4.21	แสดงค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษผสม	48
รูปที่ 4.22	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษผสม	48
รูปที่ 4.23	สัณฐานวิทยาของกระดาษผสมในอัตราส่วนต่างๆ	51
รูปที่ 4.24	แสดงค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษประเภทต่างๆ	53
รูปที่ 4.25	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษประเภทต่างๆ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ จ-1 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของกระดาษที่ใช้สารละลายเบส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ 81

รูปที่ จ-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกกล้วยเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งจากการสำรวจพบว่าพันธุ์กล้วยที่มีการปลูกมากที่สุดคือ กล้วยน้ำว้า (ปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 732,000 ไร่ ผลผลิต 90,439 ตัน) [18] และเราสามารถใช้ประโยชน์จากกล้วยได้หลายรูปแบบด้วยกันตัวอย่างเช่น ผลนำมารับประทานซึ่งมีประโยชน์มากแก่ร่างกาย นอกจากนี้เรายังสามารถนำผลของกล้วยมาทำเป็นสินค้าแปรรูปเพื่อการเพิ่มมูลค่าของสินค้าได้อีกด้วย หัวปลีสามารถนำมารับประทานได้ ลำต้นใช้เป็นเป็นอาหารสัตว์ นำมาตากแห้งเป็นเชือกกล้วย นำมาทำกระทง ใบใช้ในการห่ออาหารแทนถุงพลาสติก

ซึ่งในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่ทำมาจากพลาสติก เนื่องจากราคาถูก สะดวก และมีประสิทธิภาพในการใช้งานดี แต่การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นถึงแม้จะมีการนำกลับเอามาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมที่ใช้ภาชนะพลาสติกแล้วก็ยังจะเกิดภาระค่าใช้จ่ายต้นทุนจากการนำมาแปรรูปใช้ใหม่ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้ต่อปีแล้วมีมูลค่าที่สูง

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการค้นคว้าวิจัยหาวัสดุอื่นเพื่อใช้ทดแทนพลาสติกและสิ่งที่พบว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการใช้กระดาษมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้รีไซเคิลระหว่างกระดาษกับวัสดุที่ใช้ทำขวดพลาสติกและขวด PET แล้วต้นทุนต่อน้ำหนักก็ยังน้อยกว่า บริษัท คาโอ ได้พัฒนาเทคนิคการทำขวดกระดาษโดยใช้การเป่าในแม่พิมพ์ซึ่งได้เป็นขวดใส่ผงซักฟอกที่ออกวางขายในท้องตลาด เมื่อมองจากลักษณะภายนอกแล้วเหมือนขวดพลาสติกและเมื่อลองสัมผัสดูความแข็งแรงและผิวสัมผัสแล้วดูไม่ออกเลยว่าทำมาจากกระดาษ เมื่อลองตัดขวดตามขวางออกดูพบว่ามีเส้นใยละเอียดถูกอัดตัวกันอยู่จึงทำให้รู้ว่าเป็นขวดกระดาษ ขวดกระดาษนี้เมื่อเปรียบเทียบกับขวดพลาสติกแล้วยังทนต่อแรงอัดและแรงกระแทกได้ในระดับเดียวกัน เมื่อบีบหรือตกหล่นก็ไม่แตกง่าย น้ำซึมผ่านได้ยากแต่ก็ยังไม่เท่ากับระดับการกันน้ำของพลาสติก วิธีการผลิตนั้นเริ่มจากการนำวัตถุดิบซึ่งเป็นน้ำตีผสมกับเยื่อกระดาษจากกระดาษเก่า หลังจากนั้นนำเยื่อกระดาษที่ผสมกับน้ำแล้วปั้มให้เข้าไปในแม่พิมพ์ขึ้นรูป เยื่อกระดาษจะค่อยๆ สะสมและเกาะตัวกัน บริเวณด้านในของแม่พิมพ์คล้ายคลึงกับการทำกระดาษสาให้เป็นรูปร่าง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงค่อยๆเพิ่มความดันขึ้นทีละน้อยและลดปริมาณน้ำเยื่อกระดาษลง จากนั้นก็เข้าสู่ขั้นตอนการทำให้แห้ง นอกจากนี้ได้มี บริษัท กระดาษโอจิ ได้พัฒนาทำถาดและถ้วยโดยเป็นถาดที่ทำจากกระดาษที่ใช้กันอยู่ทั่วไปที่ใช้แล้วทิ้ง ซึ่งทำจากการปั้นแผ่นกระดาษให้เป็นรูปถาดโดยแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียแต่เมื่อกระดาษถูกความร้อนและแรงกดอัดนั้นทำให้มีความยืดตัวที่ต่ำกว่าพลาสติก เร็วๆนี้ในการเผาทำลายขยะพลาสติกใสสภาวะหนึ่งก็มีปัญหาเรื่องการเกิดสารไดออกซินปนเปื้อนลงในดิน แต่สำหรับวัสดุเช่นกระดาษนี้เวลาเผาทำลายจะไม่มีสารพิษเกิดขึ้นแบบนี้จึงให้ความปลอดภัยกว่า [2]

จากคุณสมบัติและประโยชน์ของกล้วยข้างต้นอีกทั้งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกและจากงานวิจัยที่สามารถนำกระดาษมาใช้แทนพลาสติกได้ ดังข้างต้นจึงเป็นแรงจูงใจให้ทำการศึกษาทดลองนำเอากาบกล้วยน้ำว้ามาทำเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษเพื่อทดแทนพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการลดปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกและโฟมเพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และเป็นการส่งเสริมให้มีการนำวัสดุของเหลือจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นอีกทั้งสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้ในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าใช้ทำบรรจุภัณฑ์
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าผสมกับเยื่อกระดาษเก่าใช้ทำบรรจุภัณฑ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ตัดเครือแล้วเท่านั้น
2. เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่ทำการย่อยเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)
3. ศึกษาความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมในการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในการเตรียมกระดาษสำหรับทำบรรจุภัณฑ์
4. ศึกษาวิธีการลดขนาดของกาบกล้วยที่มีผลต่อสมบัติของกระดาษ
5. ศึกษาวิธีการนำกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้ามาใช้ทำบรรจุภัณฑ์
6. ศึกษาวิธีการนำกระดาษที่ได้จากการผสมระหว่างเยื่อกาบกล้วยน้ำว้ากับเยื่อกระดาษเก่ามาใช้ทำบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล
2. ออกแบบการทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี
3. ทำการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าได้
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า
3. สามารถนำกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้ามาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ได้
4. สามารถนำกระดาษที่ได้จากการผสมระหว่างเยื่อกาบกล้วยน้ำว้ากับเยื่อกระดาษเก่ามาใช้ทำบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระดาษ

2.1.1 ความหมาย [8,10]

กระดาษ (Paper) หมายถึง แผ่นวัสดุบางซึ่งทำจากเส้นใยของพืช ฟางหญ้า หรือเศษผ้า ใช้เขียนหรือพิมพ์ หรือห่อของ และอื่นๆ นอกจากนี้อาจมีการผสมกับสารเติมแต่ง (additive) ต่างๆ ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสารเติมแต่งนี้อาจเติมไปก่อนการขึ้นแผ่น (sheet forming) หรือหลังการขึ้นแผ่นแล้วก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระดาษที่ต้องการ กระดาษที่ผลิตโดยทั่วไปมีน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ระดับสูงกว่า 35-225 g/m^2 กระดาษที่ผลิตที่ระดับสูงกว่า 225 g/m^2 ถือว่าเป็นกระดาษแข็ง (paperboard)

แต่ถ้ากล่าวถึงความหมายของกระดาษในเชิงเส้นใย สามารถกล่าวได้ดังนี้

กระดาษ คือ แผ่นเส้นใยซึ่งเรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบและสามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน คำจำกัดความนี้สามารถอธิบายกระดาษและกระดาษแข็งได้ทุกชนิด กระดาษและกระดาษแข็งแต่ละชนิดอาจมีสมบัติต่างกัน แต่มีพื้นฐานที่เหมือนกัน คือ

ก. เส้นใยสามารถเกิดพันธะระหว่างกันได้โดยไม่ต้องใช้สารยึดเกาะ (Adhesive) หรือกาว (Glue)

ข. เส้นใยเรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบ

จากคำจำกัดความพื้นฐานข้อ ก. เห็นได้ว่าเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) จัดเป็นเส้นใยที่มีสมบัติตามคำจำกัดความ เพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ และจากการที่เส้นใยสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้เส้นใยเซลลูโลสสามารถแขวนลอยและกระจายในน้ำได้ คำจำกัดความพื้นฐานของข้อ ข. จึงเป็นไปได้ เพราะเส้นใยสามารถเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบได้

เส้นใยพืชทุกชนิดสามารถนำมาใช้ทำกระดาษได้ เส้นใยเหล่านี้สามารถแขวนลอยและกระจายได้ในน้ำ ขั้วโมเลกุลน้ำและกลุ่มไฮดรอกซิลในเซลลูโลสช่วยให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะระหว่างกันได้ การเลือกใช้พืชชนิดใดในการผลิตกระดาษ ขึ้นอยู่กับสมบัติด้านความแข็งแรง ความเรียบของผิวและสมบัติอื่นๆ ที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมใช้เส้นใยจากไม้เป็นหลักในการผลิตกระดาษ แต่บางครั้งก็ใช้เส้นใยจากพืชอื่นที่ไม่ใช่ไม้ เช่น ปอกระเจา ฟางข้าว ชานอ้อย ไม้ไผ่ ในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการสมบัติพิเศษบางประการ เช่น ใช้เยื่อปอสาในการทำกระดาษสาซึ่งต้องการลวดลายในเนื้อกระดาษ หรือใช้เยื่อชานอ้อยในกรณีที่ต้องการกระดาษที่มีความสามารถในการทรงรูปสูง เป็นต้น

2.1.2 ประวัติและความเป็นมาของกระดาษ

2.1.2.1 วิวัฒนาการของกระดาษ [8]

เมื่อประมาณ 2400 ปีก่อนคริสตกาล ชาวอียิปต์โบราณได้ค้นพบวิธีในการบันทึกเรื่องราวต่างๆ บนแผ่นวัสดุซึ่งทำจากพืชชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ปาปิรุส (Papyrus) โดยนำส่วนลำต้นปาปิรุสมาฝานเป็นชิ้นบางๆตามความยาวของลำต้นแล้วนำมาเรียงซ้อนในลักษณะขวางกัน หลังจากนั้นนำไปทุบให้เป็นแผ่นบางแล้วเคลือบผิวด้วยกาว ดังนั้นคำว่า “paper” มีรากศัพท์มาจากคำว่า “papyrus” ของชาวอียิปต์โบราณนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามคำว่า “papyrus” ไม่ได้มีความหมายเดียวกันกับคำว่า paper ที่เราใช้กันในปัจจุบัน เพราะเส้นใยของปาปิรุสไม่ได้แยกตัวออกจากกันตามความหมายของการผลิตกระดาษแบบปัจจุบัน

ในปี ค.ศ. 105 ชาวจีนชื่อ Ts’ai Lum เป็นคนแรกที่พบการทำกระดาษจากต้นไม้ โดยนำส่วนเปลือกของต้น mulberry มาทำเป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับเศษผ้าแล้วนำไปบดหรือตีในน้ำจนกระจายตัวเป็นเส้นใย แล้วนำตะแกรงช้อนเส้นใยที่แขวนลอยในน้ำนำไปตากให้แห้ง นับว่าเป็นการผลิตกระดาษแผ่นแรกที่ทำจากไม้

หลังจากปี ค.ศ. 1450 ชาวเยอรมันชื่อ Johann Gutenberg ได้ประดิษฐ์เครื่องพิมพ์แบบ Movable ได้สำเร็จทำให้การจัดพิมพ์ทำได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นความต้องการกระดาษเพื่อใช้ในการพิมพ์มีปริมาณสูงขึ้น และประกอบกับการใช้แผ่นวัสดุพิมพ์ที่ได้จากเศษผ้าและแผ่นหนังเริ่มหายาก ไม่เพียงพอต่อความต้องการของงานพิมพ์ จึงนับว่าเป็นจุดสำคัญในการเริ่มต้นการผลิตกระดาษที่ทำจากไม้

การผลิตกระดาษในระยะแรกๆนั้น เป็นการผลิตด้วยมือ (hand-dipping method) ทั้งสิ้น ซึ่งไม่สามารถสนองต่อความต้องการการใช้กระดาษได้อย่างเพียงพอ ในปี ค.ศ. 1789 ชาวฝรั่งเศส ชื่อ Nicolas Loius Robert ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรผลิตกระดาษที่มีความยาวต่อเนื่องได้สำเร็จ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับวิธีการผลิตกระดาษด้วยมือ ต่อมาพี่น้องตระกูล Fourdrinier ได้ปรับปรุงพัฒนาเครื่องจักรให้ดีขึ้นกว่าเดิม และให้ชื่อเครื่องจักรที่ผลิตกระดาษว่า Fourdrinier ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษจนตราบทุกวันนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษเชิงอุตสาหกรรมในช่วงแรกเป็นการใช้เส้นใยที่ได้จากเศษผ้าและฝ้าย ซึ่งมีปริมาณไม่มากเพียงพอกับความต้องการใช้กระดาษที่มีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิธีการนำเส้นใยจากไม้มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการผลิตเยื่อชนิดต่างๆขึ้นมา โดยได้เริ่มมีการผลิตเยื่อเชิงกลสำเร็จเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1840 ที่ประเทศเยอรมัน และในปี ค.ศ. 1851 ได้ค้นพบกระบวนการผลิตเยื่อเคมีโซดาได้สำเร็จเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี ค.ศ.1884 ที่ประเทศเยอรมันมีการค้นพบการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญในกระบวนการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมซัลฟายด์ (Na_2S) ต้มภายใต้ความดันได้สำเร็จ เยื่อกระดาษที่ได้มีความเหนียวมาก จึงเรียกกระบวนการผลิตเยื่อแบบนี้ว่า "kraft process" มาจากคำศัพท์ภาษาเยอรมันแปลว่า "เหนียว" หรือเรียกว่า กระบวนการซัลเฟต (sulfate kraft process) ซึ่งเยื่อส่วนมากที่ใช้ในปัจจุบันผลิตจากกระบวนการนี้เป็นส่วนใหญ่

2.1.2.2 วิวัฒนาการของกระดาษในประเทศไทย [8]

ในปี พ.ศ. 1826 สมัยสุโขทัยได้เริ่มมีการประดิษฐ์ตัวอักษรไทย การบันทึกเรื่องราวของคนไทยเป็นการเขียนด้วยมือลงบนใบลานและบนกระดาษข่อย

ต่อมาในสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 โปรดเกล้าฯ ให้จัดตั้งโรงพิมพ์หลวงขึ้นเป็นครั้งแรก แต่ในสมัยนั้นต้องสั่งกระดาษเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งมีราคาแพงและไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2466 ปลายรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 โปรดเกล้าฯ ให้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตกระดาษด้วยเครื่องจักรขึ้นแห่งแรกในประเทศไทยที่ท่าพายัพ ตำบลสามเสน พระนคร วัตถุดิบที่ใช้เป็นเศษกระดาษที่เก็บจากสถานที่ทำการของรัฐบาลและซื้อมาจากประชาชน นำมาบดเป็นเยื่อเพื่อทำเป็นกระดาษใหม่

ในปี พ.ศ. 2479 กรมแผนที่ทหารบกได้ดำเนินการจัดสร้างโรงงานกระดาษขึ้นอีกแห่งหนึ่งที่จังหวัดกาญจนบุรี และเปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2481 วัตถุดิบที่ใช้ทำเยื่อกระดาษเป็นไม้ไผ่ ไม้รวก ไม้เบญจพรรณเนื้ออ่อน ต่อมาในปี พ.ศ. 2500 ทางราชการได้จัดตั้งโรงงานกระดาษบางปะอินขึ้นที่ตำบลบางกระสั้น อำเภอบางปะอิน จังหวัดอยุธยา ผลิตกระดาษจากหญ้าขจรจบ ฟางข้าว และเยื่อกระดาษที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศ กระดาษที่ผลิตได้เป็นกระดาษปอนด์ขาวที่ใช้เป็นกระดาษสำหรับพิมพ์และเขียน โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2501 ทางราชการได้ส่งเสริมให้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตกระดาษของภาคเอกชนขึ้น ซึ่งได้เกิดขึ้นมากมายจนถึงปัจจุบันนี้

แต่การผลิตกระดาษของไทยที่มีมาตั้งแต่ในอดีตนั้นยังคงขาดการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี จึงทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพต่ำและให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตบ้างแล้ว แต่ก็ยังให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อการใช้งานในประเทศ ยังคงต้องสั่งซื้อทั้งเยื่อและกระดาษจากต่างประเทศเข้ามาใช้อยู่อีกเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในงานด้านการพิมพ์และการเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ

ไม้จัดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำเยื่อกระดาษ (wood pulp) ไม้ทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ เราสามารถจำแนกไม้ออกเป็น 2 พวกคือ

2.1.3.1 พวกที่เป็นเนื้อไม้ (Wood) เป็นส่วนที่ได้จากส่วนเนื้อของลำต้นพืชยืนต้น ซึ่งให้เส้นใยขนาดต่างๆกัน อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามสมบัติของเนื้อไม้ คือ

ก. ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) เป็นเนื้อไม้จากพืชยืนต้นพวกแองจิโอสเปอร์ม (angiosperm) ไม้พวกนี้มีการผลัดใบ มีใบกว้าง (broad leaved) เช่น ไม้สัก ไม้ยาง ไม้เนื้อแข็ง มีเส้นใยค่อนข้างสั้น แข็ง มีสีเข้ม มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เส้นใยที่ได้จากไม้พวกนี้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำไม่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษ เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเรียกว่า เยื่อใยสั้น และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร "L" (Leaved) นำหน้าเพื่อบ่งบอกว่าเป็นเยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง

ข. ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) เป็นเนื้อไม้จากพืชยืนต้นพวกจิมโนสเปอร์ม (gymnosperm) ไม้พวกนี้จะไม่มีการผลัดใบ มีใบเป็นรูปเข็ม (needle leaved) เช่น สนสองใบ สนสามใบ ไม้เนื้ออ่อนมีเส้นใยขนาดยาว มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-6 มิลลิเมตร เนื้อไม้ชนิดนี้มีความอ่อนตัวสูงกว่าไม้เนื้อแข็ง และให้เส้นใยที่มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการทำเป็นกระดาษ เยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน เรียกว่า เยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร "N" (Needle) นำหน้าเพื่อบ่งบอกว่าเป็นเยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน

2.1.3.2 พวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (Non-wood) เป็นส่วนที่ได้จากพืชล้มลุกและเปลือกไม้ของพืชบางชนิด เส้นใยมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิด อาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

ก. พืชตระกูลหญ้า (Natural growing plants) เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ เป็นต้น

ข. เปลือกไม้ (Bast) เช่น ปอกระเจา ปอแก้ว ปอสา ต้นข่อย เป็นต้น

ค. ผล (Fruit) เช่น มะพร้าว ปาล์ม ซึ่งใยจากผลไม่นิยมใช้ทำกระดาษ เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีความแข็ง

ง. ใบ (Leaf) เช่น ใบอ้อย ใบปาล์ม เป็นต้น

จ. เมล็ด (Seed) เช่น ฝ้าย

ส่วนต่างๆของพืชเหล่านี้จะให้เส้นใยที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ดังนั้นในการนำเส้นใยไปใช้ทำกระดาษจึงขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการและกระบวนการผลิตเป็นสำคัญ

คุณสมบัติที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับคัดเลือกเป็นวัตถุดิบเพื่อทำกระดาษได้แก่ ความยาวของเส้นใย (fiber length) ปริมาณของเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถแยกออกได้ง่าย แหล่งของพืชหรือไม้ รวมทั้งต้นทุนในการผลิตวัตถุดิบจากพืชหรือไม้นั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า พวกที่

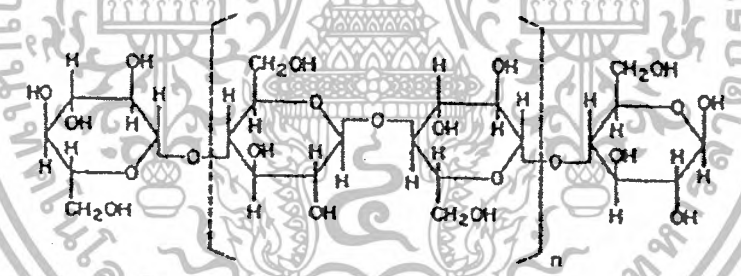
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ใช่เนื้อไม้ (non-wood) จะมีข้อเสียเปรียบพวกที่เป็นเนื้อไม้ (wood) เนื่องจากมีลักษณะเบา สิ้นเปลืองค่าขนส่ง แหล่งที่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป มีฤดูเก็บเกี่ยวทำให้ต้องมีการเก็บไว้ใช้ตลอดปี ซึ่งพืชเหล่านั้นเสื่อมสภาพได้ง่าย การเก็บรักษาจึงมีค่าใช้จ่ายสูง [9]

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษไม่ว่าจะเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน หรือพวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ จะประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) สารสกัด (Extractive) เป็นต้น [8]

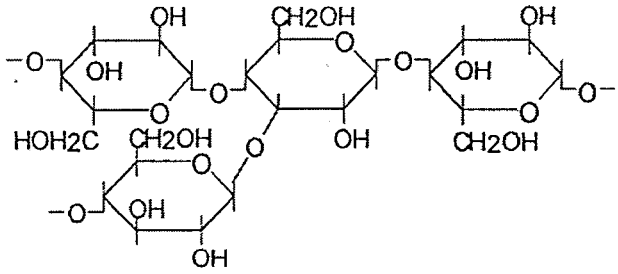
2.1.4.1 เซลลูโลส (Cellulose) พบในเฉพาะพืชเท่านั้นและจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของดี-กลูโคส (d-glucose) เรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะแบบเบต้า-กลูโคสิดิก (β-glucosidic bond) โมเลกุลของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรงสีขาวและแข็งแรงมาก โมเลกุลเซลลูโลสประมาณ 3-4 โมเลกุลรวมตัวกันเป็นเส้นฟีบริล (Fibril) มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย เส้นฟีบริลนี้จะประกอบกันเป็นลำตัวของเส้นใยและถูกยึดติดกันด้วยลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส [10]



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส [21]

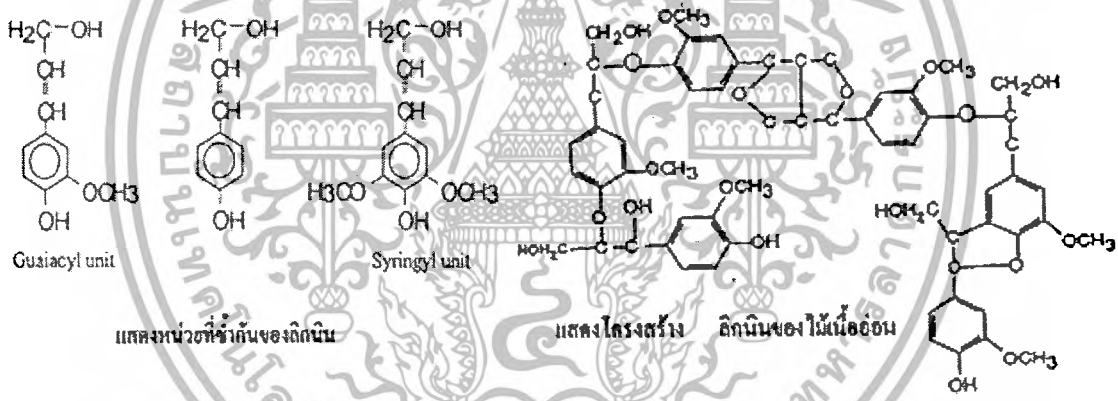
2.1.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นเฮทเทอร์โรพอลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลหลายชนิดผสมกัน เช่น เฮกโซส (Hexose) แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) อราบิโนส (arabinose) น้ำตาลเหล่านี้มีสมบัติพิเศษ คือ สามารถอมน้ำและพองตัวเมื่อสัมผัสน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญและมีความจำเป็นต่อการทำกระดาษ เฮมิเซลลูโลสจึงเป็นตัวทำให้เส้นใยเปียกน้ำและอมน้ำ ทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ [8,10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [21]

2.1.4.3 ลิกนิน (Lignin) เป็นพอลิเมอร์ของสารฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane) ที่จับตัวกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติมีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ทำหน้าที่ประสานเส้นใยเข้าด้วยกันทำให้เส้นใยแข็งแรง ลิกนินเป็นสารต้านน้ำ (Hydrophobic) ถ้าเส้นใยมีปริมาณลิกนินมากจะทำให้เส้นใยไม่เปียกน้ำหรืออมน้ำ และไม่สามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ ทำให้ได้เส้นใยมีคุณภาพไม่ดี [10]



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของลิกนิน [21]

2.1.4.4 สารสกัดได้ (Extractive) เป็นสารชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในพืช เป็นสารพวกชันสน (Rosin) หรือยางไม้ ซึ่งถูกสกัดออกได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน ไดคลอโรมีเทน แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น

เส้นใยต้องประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เพื่อสร้างความแข็งแรงของเส้นใยและให้เส้นใยสามารถสร้างพันธะได้ ส่วนลิกนินเป็นตัวต้านการเกิดพันธะนั้นต้องกำจัดออกโดยคงปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไว้ตามเดิม ซึ่งการกำจัดลิกนินออกในทางปฏิบัตินั้น ต้องใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่รุนแรงซึ่งจะทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเวลาเดียวกัน ดังนั้น เมื่อกำจัดลิกนินออกมากความแข็งแรงของเส้นใยก็จะต่ำลง หรืออีกนัยหนึ่ง ถ้ายิ่งทำให้เส้นใยเปียกน้ำมากขึ้น เส้นใยก็จะยิ่งอ่อนแอลง ในทางปฏิบัติพบว่า กระดาษมีความแข็งแรงสูงสุด เมื่อในเส้นใยมีเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 20 และลิกนินไม่เกินร้อยละ 4 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน [8]

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ไม้เนื้ออ่อน (soft wood)	ไม้เนื้อแข็ง (hard wood)
เซลลูโลส (Cellulose)	~ 45	~ 43
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	15-20	15-30
ลิกนิน (Lignin)	24-32	17-25
สารสกัดได้ (Extractive)	~ 3.4	~ 2.0

2.1.5 การผลิตเยื่อกระดาษ

เป็นขั้นตอนที่นำวัตถุดิบจากส่วนต่างๆ ของพืชมาย่อยด้วยกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อทำให้วัตถุดิบมีความอ่อนและแยกออกจากกันเป็นเส้นใย วัตถุดิบที่ใช้อาจมีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนนำวัตถุดิบไปย่อยจึงต้องทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ตัด บด เพื่อทำให้สะดวกต่อการนำเข้าไปในเครื่องย่อย การผลิตเยื่อกระดาษ มีขั้นตอนในการผลิตดังต่อไปนี้

2.1.5.1 การย่อยเยื่อ เมื่อทำชิ้นวัตถุดิบให้มีขนาดตามที่ต้องการแล้วจึงนำวัตถุดิบไปย่อยให้เป็นเส้นใย ซึ่งมีวิธีทำได้หลายวิธี ดังนี้

ก. วิธีเชิงกล (Mechanical process) เป็นการย่อยวัตถุดิบด้วยวิธีกล โดยการบดให้วัตถุดิบแตกออกจากกันจนเป็นเยื่อกระดาษหรือเส้นใย เป็นวิธีการที่รวดเร็วและประหยัดที่สุด เยื่อเชิงกลมักใช้ในการผลิตกระดาษคุณภาพต่ำ หรืออาจใช้ผสมร่วมกับเยื่อประเภทอื่นเพื่อลดต้นทุน

ข. วิธีทางเคมี (Chemical process) เป็นวิธีย่อยเยื่อที่ใช้ปฏิกิริยาจากสารเคมีและความร้อน เพื่อแยกลิกนินออกมา สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ สารจำพวกอัลคาไลน์ซัลเฟตและกรดซัลไฟต์ วิธีทางเคมีเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับเยื่อน้อยที่สุด เยื่อทางเคมีที่มีความแข็งแรงที่สุดเตรียมได้จากการสกัดด้วยสารพวกซัลเฟต ซึ่งรู้จักกันทั่วไปในชื่อว่า เยื่อคราฟท์ (Kraft pulp) วิธีนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ค. วิธีกึ่งเคมี (Semichemical process) เป็นวิธีย่อยเยื่อโดยการต้มด้วยสารเคมีแล้วบดให้เส้นใยแยกออกจากกัน เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในกระบวนการย่อยเยื่อ และให้เยื่อที่มีคุณภาพดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำกระดาษชนิดต่างๆได้

ง. วิธีเชิงกลความร้อน (Thermomechanical process) เป็นวิธีการย่อยที่มีการอบวัตถุดิบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 120-140°C ในเวลาที่เหมาะสม แล้วจึงนำไปบดต่อจนได้เยื่อกระดาษตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2 การล้างร่อนเยื่อ เยื่อกระดาษที่ผ่านการย่อยมาแล้ว อาจมีสิ่งต่างๆตกค้างอยู่บนเส้นใย และเส้นใยที่ได้ยังมีขนาดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องล้างเส้นใยเพื่อทำให้เส้นใยมีความสะอาดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแยกเส้นใยที่ยังถูกย่อยได้ไม่สมบูรณ์ออกจากกันด้วยตะแกรงร่อน เยื่อที่ได้หลังจากล้างและแยกเพื่อคัดขนาดแล้วจะมีสีน้ำตาลหรือเหลือง ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำกระดาษที่ไม่ต้องการความขาวมากนัก แต่กระดาษที่ได้จะมีคุณภาพเหมาะสมกับงานบางชนิดเท่านั้น

2.1.5.3 การฟอกเยื่อ เส้นใยของเยื่อกระดาษที่ผ่านการล้างร่อนเยื่อมาแล้วจะมีสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เนื่องจากบางส่วนของเส้นใยยังคงมีลิกนินติดอยู่ โดยการฟอกเยื่อมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เยื่อมีสีขาวขึ้น และเหมาะสำหรับการทำเป็นกระดาษเพื่อการสื่อสาร เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน สารเคมีที่ใช้ฟอก ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซคลอรีนที่เป็นอันตราย ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการใช้สารเคมีอื่นที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า สารที่ใช้คือ เปอร์ออกไซด์ ซึ่งมี 2 ชนิดคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และโซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na_2O_2) ได้กระดาษที่ขาวกว่าการใช้คลอรีน และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีราคาแพงกว่าคลอรีน

2.1.6 การผลิตแผ่นกระดาษ

เป็นการนำเยื่อกระดาษที่ย่อยจนเป็นเส้นใยเรียบร้อยแล้วมาทำให้เป็นแผ่นกระดาษโดยผ่านกระบวนการต่างๆ ดังนี้

2.1.6.1 การเตรียมเยื่อ (Stock preparation) เยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วถูกนำมาผสมกับน้ำแล้วส่งเข้าไปในเครื่องบดเยื่อ (Refiner) เพื่อทำให้เส้นใยอ่อนตัวเพิ่มขึ้นและแยกเป็นเส้นใยเดียว ซึ่งมีขนาดและความยาวตามที่ต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับการทำกระดาษแต่ละชนิด นอกจากนี้การบดเยื่อยังทำให้เส้นใยบางส่วนแตกออกเป็นริ้ว ซึ่งส่วนที่แตกออกเป็นริ้วของเส้นใยจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการยึดเหนียว ทำให้กระดาษมีความเหนียวและมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ในระหว่างนี้มีการเติมสารบางชนิดลงไปด้วยเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของกระดาษ เช่น สารกันซึม สารทึบแสง

2.1.6.2 การผลิตแผ่นกระดาษ เยื่อที่ผสมส่วนประกอบต่างๆ จนมีสมบัติตามที่ต้องการแล้วจะถูกนำไปทำเป็นกระดาษด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ก. การทำแผ่นกระดาษ (Sheet formation) เป็นการทำให้เยื่อกระดาษเรียงตัวกันเป็นแผ่น โดยการผ่านน้ำเยื่อกระดาษลงบนตะแกรง น้ำจะไหลผ่านตะแกรงและเหลือแผ่นกระดาษตกค้างอยู่บนตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การอัดรีดกระดาษ (Pressing) กระดาษที่เป็นแผ่นแล้วจะยังคงมีน้ำตกค้างอยู่ จึงต้องอัดรีดกระดาษเพื่อไล่น้ำออก นอกจากนี้การอัดรีดกระดาษยังทำให้กระดาษมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและเป็นแผ่นเรียบ

ค. การอบกระดาษ (Drying) กระดาษที่อัดรีดเพื่อไล่น้ำออกยังคงมีน้ำตกค้างอยู่สูงกว่าความต้องการ จึงต้องอบกระดาษเหล่านั้นต่อไปอีกเพื่อให้มีปริมาณของน้ำในกระดาษตามต้องการ โดยปกติกระดาษจะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 8

ง. การเข้าม้วน (Reeling) กระดาษที่อบแห้งแล้วจะนำไปเข้าม้วนเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

กระดาษที่ผ่านกระบวนการเหล่านี้ เมื่อตรวจสอบคุณภาพจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งอาจใช้ในรูปของแผ่นกระดาษโดยตรงหรือแปรรูป เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้

2.1.7 องค์ประกอบของกระดาษ [8]

กระดาษที่ผลิตได้ตามที่กล่าวมาแล้ว จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

2.1.7.1 ส่วนเส้นใย

ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนของเส้นใยผสมอยู่ประมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณส่วนเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต โดยส่วนเส้นใยนี้ได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชจำพวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ เป็นต้น เยื่อ (pulp) ที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยยาวและใยสั้น

2.1.7.2 สารเติมแต่ง (additive) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปในกระดาษขณะทำการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.7.2.1 สารเติมแต่งหลัก (Functional additive) ทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติเฉพาะของกระดาษ แบ่งเป็น 6 ชนิด คือ

ก. สารต้านการซึมน้ำ (sizing agent) เป็นสารที่ใส่ลงไปหรือเคลือบบนกระดาษ เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย การเติมสารชนิดนี้จะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด สารต้านการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม ชันสน ไขผึ้ง ยางมะตอย เป็นต้น

ข. ตัวเติม (Filler) เป็นผงแร่สีขาวใส่ลงไปเพื่อทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น เพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษ ทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น และลดต้นทุนในการผลิต ผงแร่ที่ใช้ต้องมีขนาดเล็กละเอียด ควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวภายในกระดาษ โดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศ และผงแร่กับเส้นใย ทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสงของกระดาษ กระดาษที่ได้จึงมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น และเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมาก เมื่อใส่ลงไปจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษ ได้แก่ ดินขาว (kaolin,clay) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หินปูน ($CaCO_3$) แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย

ค. สารเพิ่มความเหนียว (dry strength agent) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงดันทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวของกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมาก เพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่างการพิมพ์ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ ได้แก่ แป้ง แป้งประจุบวก กัม และพอลิอะคริลอะมีด ปัจจุบันนิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลอะมีดมากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ง. สารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก (wet strength agent) เป็นสารเคมีที่เติมลงไป เพื่อรักษาความเหนียวของกระดาษให้คงไว้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของความเหนียวเดิม ปกติจะไม่ใส่สารชนิดนี้ในกระดาษพิมพ์ทั่วไป แต่อาจพบในกระดาษพิมพ์งานพิมพ์พิเศษที่ต้องการความเหนียวเมื่อเปียกสูง เช่น กระดาษพิมพ์แผนที่ กระดาษธนบัตร เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ พอลิอะมีด และพอลิเอมีน

จ. สารสีย้อม (dyes) สารเติมแต่งชนิดนี้ใส่ลงไปโดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการด้วยกัน คือ

(1) ต้องการทำกระดาษสี (colored paper) ในกรณีนี้สารสีย้อมจะถูกเติมลงไปในส่วนผสมของน้ำเยื่อจนได้สีตามที่ต้องการ

(2) ต้องการแต่งสีกระดาษขาวให้ได้เฉดสีที่ต้องการหรือเพื่อให้ดูขาวขึ้น โดยใช้สีแต่งในปริมาณน้อยๆ เติมลงในส่วนผสมน้ำเยื่อ สีที่ใช้แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ในการทำกระดาษขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ. สารฟอกนวล (optical brightenings agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีย้อมประเภทเรืองแสง มีสมบัติพิเศษ คือ ดูดซับแสงยูวีไว้แล้วคายแสงออกมาในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน คือ เปลี่ยนแสงในช่วงคลื่นที่ตาไม่สามารถมองเห็นให้เป็นแสงในช่วงคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ ดังนั้นเมื่อเติมสารฟอกนวลลงไปจะทำให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น กระดาษพิมพ์เขียนทุกชนิดจะมีสารฟอกนวลผสมอยู่ด้วย

2.1.7.2.2 สารเติมแต่งเสริม (chemical processing aids) ทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารเติมแต่งหลักทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการบำรุงดูแลรักษาความสะอาดของเครื่องจักรผลิตกระดาษ เพื่อให้สามารถเดินกระดาษได้ดี สารเติมแต่งประเภทนี้แบ่งได้ 6 ชนิด ตามลักษณะหน้าที่ ดังนี้

ก. สารเพิ่มการตกค้าง (retention aids) ช่วยให้มีการตกค้างของเส้นใยละเอียดและตัวเติมค้างในเยื่อกระดาษมากขึ้น

ข. สารต้านการเกิดฟอง (defoamers) ช่วยป้องกันการเกิดฟองและช่วยให้เนื้อกระดาษมีความสม่ำเสมอดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำแยกตัวออกจากเยื่อได้เร็ว

ค. สารควบคุมจุลชีวะ (microbiological control agent) ช่วยควบคุมการเกิดเมือก และการแพร่ขยายของจุลชีวะ

ง. สารควบคุมการเกิดจุดดำ (pitch control agent)

จ. สารช่วยแยกน้ำ (drainage aids) ช่วยเพิ่มอัตราการแยกน้ำออกจากกระดาษให้เร็วขึ้น

ฉ.สารช่วยกระจายตัว (formation aids) ช่วยให้เส้นใยกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดการจับกลุ่มก้อนของเส้นใย

2.1.8 ประเภทของกระดาษ [8]

ในปัจจุบันมีการใช้กระดาษในกิจกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย ในประเภทของงานและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงอาจจำแนกประเภทของกระดาษตามการใช้งานได้เป็น 4 ประเภท คือ

2.1.8.1 กระดาษที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อ (Packaging Paper) ใช้สำหรับทำกล่องกระดาษเพื่อบรรจุสิ่งของหรือสินค้าในรูปแบบต่างๆกัน เช่น กล่อง หีบห่อ ถุง กระดาษประเภทนี้มีปริมาณการผลิตสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.2 กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และเขียน (Printing-writing Paper) เป็นกระดาษที่ใช้เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร ใช้ในงานพิมพ์และเขียน ดังนั้นความขาวสว่าง และความทึบแสง จึงเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับกระดาษประเภทนี้

2.1.8.3 กระดาษทิชชู เป็นกระดาษที่ดูดสารในรูปแบบต่างๆ หรือใช้ดูดกลิ่น ได้แก่ กระดาษชำระ กระดาษเช็ดหน้า กระดาษเช็ดปาก กระดาษเช็ดมือ สมบัติที่สำคัญของกระดาษประเภทนี้ คือ ต้องดูดซับน้ำได้เร็ว และถ้าเป็นกระดาษชำระต้องกระจายตัวในน้ำได้ง่าย ส่วนกระดาษที่ใช้เช็ดหน้าหรือเช็ดปาก ต้องสะอาดและไม่ยุ่ยง่ายเมื่อเปียกน้ำ ซึ่งเป็นกระดาษที่มีความต้านแรงดึงเปียก

2.1.8.4 กระดาษชนิดพิเศษ ซึ่งเป็นกระดาษที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในงานเฉพาะเจาะจงตามความต้องการของผู้ใช้เท่านั้น เช่น กระดาษทำฝาผนัง (wall paper) กระดาษธนบัตร กระดาษกรอง กระดาษดูดซับเสียงเพื่อลดเสียงก้อง เป็นต้น

2.1.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษ [13]

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษนั้น จะยึดถือมาตรฐานของชาติ หรือมาตรฐานสากล ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก ทั้งนี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องและสามารถเปรียบเทียบในแต่ละครั้งได้ มาตรฐานที่นิยมใช้ เช่น

- มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ของสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- ISO ของ International Organization for Standardization
- ASTM ของ American Society for Testing Material
- BS ของ British Standard
- TAPPI ของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry
- JIS ของ Japan Industrial standard

เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติที่แปรเปลี่ยนไปตามสภาวะอากาศแวดล้อม ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ จำเป็นต้องมีการปรับสภาวะชิ้นทดสอบให้สมดุลกับสภาวะการทดสอบมาตรฐานเสมอ สภาวะดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามภูมิอากาศของแต่ละประเทศ ซึ่งประเทศไทยใช้สภาวะที่อุณหภูมิที่ $27 \pm 2^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 (มอก. 296)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษ

ก. ความหนา (thickness) หมายถึงระยะทางตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของกระดาษเป็นไมครอนหรือมิลลิเมตร ความหนาของกระดาษนี้บางครั้งเรียกว่า คาลิเปอร์ (caliper) มีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียวในการโค้งงอและความคงรูป ราคา และกรรมวิธีต่างๆ ในการแปรรูปเป็นภาชนะบรรจุ เช่น การพิมพ์ การตัด เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้วัดความหนาของกระดาษบาง คือ ไมโครมิเตอร์ (micrometer) ถ้าเป็นกระดาษหนา ใช้เวอร์เนียในการวัด เช่น กระดาษลูกฟูกและแผ่นกระดาษแข็ง

ข. น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight หรือ grammage) หมายถึง น้ำหนักกระดาษเป็นกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้หน่วยเป็นปอนด์ต่อพื้นที่ 1000 ตารางฟุต ซึ่งใช้ย่อว่า MSF คุณสมบัตินี้ใช้กำหนดราคาซื้อขายได้และมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นและความแข็งแรงของกระดาษนั้น

ค. การต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว (tensile strength and elongation) หมายถึงความสามารถของกระดาษที่จุดต้านแรงดึงซึ่งกระทำที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนชิ้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อความกว้างเป็นเมตร ส่วนการยืดตัว หมายถึงระยะที่ชิ้นทดสอบยืดตัวออกจนขาดมีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ คุณสมบัตินี้สัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษ การต้านแรงดันทะลุ การต้านแรงทิ่มทะลุ การต้านแรงฉีกขาด คุณภาพในการโค้งงอ ตลอดจนความแข็งแรงของรอยต่อ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า tensile tester

ง. การดูดซึมน้ำ (water absorption) หมายถึง ปริมาณของน้ำเป็นกรัมที่กระดาษซึ่งมีพื้นที่ 1 ตารางเมตรสามารถดูดซึมได้ภายในเวลาที่กำหนดให้ ค่านี้จะบอกถึงของเหลวที่ใช้กับกระดาษ เช่น น้ำ กาวเหลว หมึกพิมพ์ จะซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษได้มากน้อยเพียงไร วิธีการทดสอบเรียกว่า “คอบบ์ เทส” (Cobb test) และเครื่องมือที่ใช้คือ Cobb sizing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2 กล้วย

ต้นกล้วยเป็นพืชล้มลุกที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ผลสุกนอกจากใช้รับประทานเป็นผลไม้แล้ว ยังสามารถนำมาปรุงอาหารคาวหวาน และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปชนิดต่าง ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ กล้วยตาก ทอฟฟี่กล้วย กล้วยในน้ำเชื่อมกระป๋อง กล้วยบวชชีกระป๋อง กล้วยทอด เป็นต้น

ส่วนใบตองสดสามารถนำไปใช้ในการห่อของ ทำงานประดิษฐ์ต่าง ๆ ได้แก่ กระทง บายศรี ใบตองแห้งใช้ทำกระทงใส่อาหาร และใช้ห่อผลไม้ เพื่อให้มีผิวสวยงามและป้องกันการทำลายของแมลง

ก้านใบและกาบกล้วยแห้งใช้ทำเชือก กาบสดใช้แกะสลัก เรียกว่า แทงหยวก ประกอบเมรุในการฌาปนกิจศพ

หัวปลี ใช้รับประทานได้

สำหรับคุณค่าทางอาหาร กล้วยเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินเอ [18]

2.2.1 ลักษณะทั่วไป [22]

กล้วยเป็นพืชล้มลุกสูง 2-4.5 เมตร มีลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่า เหง้า ส่วนลำต้นบนดินเกิดจากกาบใบมาหุ้มซ้อนกันเป็นลำต้น ใบเป็นใบเดี่ยวขนาดใหญ่และยาว ผิวใบด้านบนเรียบเป็นมัน ท้องใบมีสีนวล ดอกออกเป็นช่อเรียกว่า หัวปลี แต่ละช่อย่อยประกอบด้วยใบประดับขนาดใหญ่มีสีม่วงแดงหุ้มอยู่ ผลรวมกันเป็นเครือแต่ละเครือจะมีหวีหลายๆ อันมารวมกัน

2.2.2 ประวัติกล้วยในประเทศไทย [5]

กล้วยเป็นไม้ผลเขตร้อน มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับประวัติกล้วยในประเทศไทยนั้น เข้าใจว่า ประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วยป่า และต่อมาได้มีการนำเข้ากล้วยตานี และกล้วยชนิดอื่นๆในช่วงที่มีการอพยพของคนไทยในการตั้งถิ่นฐานอยู่ที่จังหวัดสุโขทัย มีเอกสารเขียนโดย De la Lovbere ในปี ค.ศ. 1693 กล่าวว่าในสมัยอยุธยาที่เขาได้เดินทางมา และได้พบว่ามีกล้วยร้อยหวี ต่อมาในปี พ.ศ. 2427 เจ้าคุณศรีสุนทรโวหาร ได้กล่าวถึงกล้วยหลายชนิดเป็นคำกลอน ในช่วงปี พ.ศ. 2484 เป็นต้นมา ได้มีการรวบรวมพันธุ์กล้วยไว้บ้างในบางส่วน แต่เกิดการสูญหายไป ดังนั้นในปี พ.ศ. 2523-2526 ได้มีการรวบรวมพันธุ์อีกครั้งหนึ่งด้วยทุน IBPGR/FAO และก็ได้มีการรวบรวมเพิ่มขึ้นอีก พันธุ์กล้วยดังกล่าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้รวบรวมพันธุ์ไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62149

2.2.3 พันธุ์กล้วย [18]

2.2.3.1 กล้วยน้ำว้า เป็นกล้วยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย สามารถทนทานสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่ากล้วยพันธุ์อื่น การดูแลรักษาง่าย การใช้ประโยชน์จากผล ต้น ใบ ดอก มากกว่ากล้วยชนิดอื่น ๆ ลำต้นสูงปานกลาง เมื่อสุกมีรสชาติหวาน เนื้อแน่น สีเหลืองอ่อน จากผลการสำรวจพบว่า ในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 732,000 ไร่ ผลผลิต 1,185,000 ตัน

2.2.3.2 กล้วยหอมทอง เป็นกล้วยที่มีลักษณะลำต้นใหญ่ แข็งแรง กาบใบชั้นในมีสีเขียวหรือชมพูอ่อน เครือได้รูปทรงมาตรฐาน มีน้ำหนักมาก ผลยาวเรียว ปลายผลคอดเป็นแบบคอขวด เปลือกหนา ผลสุกผิวมีสีเหลืองทอง เนื้อมีรสชาติหอมหวาน โดยเฉลี่ยเครือหนึ่ง ๆ จะประมาณ 6 หวี เป็นพันธุ์ที่ไม่ต้านทานโรคตายพรายและโรคใบจุด

2.2.3.3 กล้วยหอมเขียว เป็นกล้วยที่มีลักษณะทั่วๆไปคล้ายกล้วยหอมทอง แต่มีกาบใบชั้นในมีสีแดงสด ปลายผลมน ผลสุกมีสีเหลืองอมเขียว เปลือกหนา เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศ นอกจากนี้ กล้วยหอมเขียวยังต้านทานโรคตายพรายได้ดี แต่อ่อนแอต่อโรคใบจุด

2.2.3.4 กล้วยหอมค่อม เป็นกล้วยหอมอีกชนิดหนึ่งลำต้นเตี้ยหรือแคระ ผลมีลักษณะคล้ายกล้วยหอมเขียว เนื้อรสชาติดี จึงมีชื่อว่า กล้วยหอมเขียวเตี้ยอีกด้วย

จากผลการสำรวจกล้วยหอมพบว่าในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 53,560 ไร่ ผลผลิต 90,439 ตัน

2.2.3.5 กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่มีลำต้นสูงบาง สีใบและก้านใบสีเหลืองอ่อน ไม่มีนวลกาบใบมีสีน้ำตาลหรือสีช็อกโกเลต เครือเล็ก ผลมีขนาดเล็ก เปลือกบาง เมื่อสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่น รสหวาน เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่ม ต้านทานโรคตายพราย แต่อ่อนแอต่อโรคใบจุด

จากผลการสำรวจพบว่า ในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 93,000 ไร่ ผลผลิต 150,000 ตัน

2.2.3.6 กล้วยหักมุข เป็นกล้วยที่มีลำต้นขนาดปานกลาง ลำต้นสีเขียวนวล ผลโตเป็นเหลี่ยม สีเขียวนวล ปลายผลเรียว ผลเมื่อสุกสีเหลืองนวล เปลือกหนามีรอยแตกลายงาเนื้อฟูสีเหลืองเข้มเหมาะสำหรับนำมาทำกล้วยปิ้ง กล้วยเชื่อม

2.2.3.7 กล้วยเล็บมือนาง เป็นกล้วยที่มีลำต้นค่อนข้างเล็กไม่สูงมากนัก ผลขนาดเล็กปลายผลเรียวแหลม ผลสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่น รสชาติหอมหวาน ใช้สำหรับรับประทานสุกหรือทำเป็นกล้วยตาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของต้นกล้วย [3]

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของต้นกล้วย พบว่า ต้นกล้วยโดยทั่วไปมีความชื้นร้อยละ 80-90 และมีสารต่างๆ ประกอบอยู่ด้วย ดังนี้

อินทรีย์สาร (organic matter)

สารจำพวกแป้ง (starch equivalent)

สารอิสระจากธรรมชาติ (free extractive)

เส้นใยหยาบ (crude fiber)

โปรตีนหยาบ (crude protein)

สารระเหย (ether extractive)

2.2.5 องค์ประกอบทางเคมีของกาบกล้วย [4]

เส้นใยจากกาบกล้วยมีคุณสมบัติทนและเหนียวเป็นพิเศษ ได้มีการศึกษาส่วนประกอบของกาบกล้วยเพื่อนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

ฮอล โลเซลลูโลส (hollo cellulose)

อัลฟาเซลลูโลส (alpha cellulose)

เพน โตแซนส์ (pentosans)

สารที่ละลายในน้ำร้อน (hot water solubility)

สารลิกนินไม่มีเถ้าถ่าน (lignin ash free)

สารที่ละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน (alcohol benzene solubility)

ทราย (silica)

และมีขนาดเส้นใยดังนี้

ความยาวของเส้นใย (fiber length)	ร้อยละ	1.96 มิลลิเมตร
ความกว้างของเส้นใย (fiber width)	ร้อยละ	16.84 ไมครอน
ความหนาของผนัง (wall thickness)	ร้อยละ	4.11 ไมครอน
เส้นผ่านศูนย์กลางของลูเมน (lumen diameter)	ร้อยละ	8.60 ไมครอน
อัตราส่วนตามยาวและความกว้างของเส้นใย (slenderness ratio)	ร้อยละ	116
อัตราส่วนความยืดหยุ่น (flexibility coefficient)	ร้อยละ	0.69

ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีและขนาดเส้นใยของหยวกกล้วยข้างต้น มีความใกล้เคียงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบทางเคมีและขนาดทางเส้นใยของเนื้อไม้โดยทั่วไป ดังนั้นจึงสามารถนำมาผลิตเป็นเนื้อกระดาษชั้นดีได้

จากคุณสมบัติของต้นกล้วยดังกล่าวประกอบกับลักษณะของหยวกกล้วยที่โดยทั่วไปมีสีค่อนข้างขาว มีความเงามัน เรียบ ลายเส้นเป็นเส้นตรงที่สวยงามเหมาะสำหรับการทำภาชนะบรรจุอาหาร ตลอดจนปริมาณการปลูกจำนวนมากโดยเฉพาะกล้วยน้ำว้า ดังนั้นจึงเหมาะแก่การนำลำต้นกล้วยน้ำว้ามาใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการทำกระดาษและคุณสมบัติ

สารเคมีที่ใช้ แบ่งเป็น 2 พวก คือ

2.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการแยกลิกนิน

ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษจากกาบกล้วยที่ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในการแยกลิกนิน

2.3.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) มีสมบัติดังนี้ [14,17]

สูตรโมเลกุล	NaOH
น้ำหนักโมเลกุล	39.997
จุดเดือด	1390 °C
จุดหลอมเหลว	318 °C
ความหนาแน่น	2.13 g/cm^3
ความสามารถในการละลายน้ำ	50 g/100 ml (ละลายได้ดีมาก)
ลักษณะ	เป็นของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้น
ชื่อเรียกอื่น	Augus Hot Rod, Caustic soda, Soda lye, Sodium hydrate, White Caustic

2.3.1.2 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide) มีสมบัติดังนี้ [14,15]

สูตรโมเลกุล	$Ca(OH)_2$
น้ำหนักโมเลกุล	74.094
จุดหลอมเหลว	580 °C
ความหนาแน่น	2.24 g/cm^3
ความสามารถในการละลายน้ำ	0.18 g/100 ml (ละลายได้น้อย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ	เป็นผงสีขาว
ชื่อเรียกอื่น	Hydrated Lime, Lime water, Slaked lime

2.3.2 สารเคมีที่ใช้ฟอกขาว

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) มีสมบัติดังนี้ [16,19]

สูตรโมเลกุล	H_2O_2
น้ำหนักโมเลกุล	34.02
จุดหลอมเหลว	-28 °C
ความหนาแน่น	1.2 g/cm^3
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้
ลักษณะ	เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุน รสขม มักทำอยู่ในรูปสารละลายในน้ำความเข้มข้น 3-90 %
ชื่อเรียกอื่น	Peroxide, Hioxy, Dihydrogen dioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลีพร ศิริฤกษ์ (2543) [1] ได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างหยวกกล้วยน้ำว้าและแป้งมันสำปะหลังในการนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารแห้ง โดยจากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความต้านแรงดึงขาด ความหนา ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ หยวกกล้วยน้ำว้าร้อยละ 60 และแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 40 เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจึงนำไปเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลังและเคลือบด้วยพาราฟิน จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมาก ส่วนผลการวิเคราะห์ทางด้านความปลอดภัยของผู้บริโภคไม่พบโลหะหนักในภาชนะทั้งสองชนิด ส่วนจุลินทรีย์ที่พบน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และเหมาะสมที่จะนำภาชนะทั้งสองชนิดนี้มาใช้ใส่อาหารแห้ง จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ภาชนะที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง ได้รับการยอมรับมากกว่าภาชนะที่เคลือบด้วยพาราฟิน

ยุทธการ อาจารีย์ และคณะ (2544) [7] ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องตีเส้นใยพืช และเปรียบเทียบคุณสมบัติใยพืชของต้นกล้วย ต้นกก และต้นอ้อ เพื่อใช้ทดแทนกระดาษ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองและค้นคว้าเกี่ยวกับวัชพืชอื่นๆ จนประสบความสำเร็จมากกว่า 60 ชนิด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า โดยธรรมชาติแล้วพืชทุกชนิดมีเส้นใยที่เรียกว่า เซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) เป็นเนื้อเมือก ลื่น ซึ่งกระบวนการในการทำกระดาษแต่เดิมนั้นหลังจากการตีให้เป็นเยื่อกระดาษแล้ว มักปล่อยน้ำในเครื่องตีนั้นทิ้งไป แล้วกรองไว้แต่เนื้อเยื่อเท่านั้น นั่นคือการทิ้งลิกนินไป ซึ่งลิกนินนี้มีประโยชน์ในการประสานเส้นใยให้เป็นเนื้อแน่น ถ้ามีน้อยเกินไปอาจใช้แป้งมันผสมน้ำร้อนให้พอเป็นเมือก เพื่อทดแทนลิกนินก็สามารถทำได้ ดังนั้นจึงควรกรองเอาลิกนินไว้ใช้งานให้ได้มากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ทิ้งน้ำหากไม่จำเป็น จึงสามารถเก็บรักษาลิกนินได้

สราวุธ พัชรชมพู (2545) [11] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากต้นกล้วยน้ำว้ามาผลิตเยื่อกระดาษ โดยทำการศึกษาในแต่ละส่วนของต้นกล้วยน้ำว้าที่ทำการแยกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ แกนกลาง กาบใน และกาบนอก ทั้งแบบสดและแบบแห้ง จากนั้นนำมาแปรสภาพเป็นเยื่อด้วยกระบวนการผลิตแบบเปียกระบบเปิด โดยกำหนดปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 3อัตราส่วน คือ ร้อยละ 10 12 และ 14 ของน้ำหนักวัตถุดิบอบแห้ง จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ส่วนที่เป็นกาบนอกแห้งมีศักยภาพเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ เนื่องจากเส้นใยมีโครงสร้างสมบูรณ์ ส่วนที่เป็นแกนกลางทั้งสดและแห้งไม่สามารถขึ้นแผ่นกระดาษได้ ส่วนด้านกระบวนการผลิตเยื่อต้นกล้วยน้ำว้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบอบแห้ง และจากการนำมาผลิตเป็นหัตถกรรมในครัวเรือน พบว่า สามารถนำมาทำเป็นแผ่น มีลวดลาย และย้อมสีได้ มีความเหมาะสมในงานประดิษฐ์ งานหัตถศิลป์ และงานผลิตภัณฑ์หีบห่อ

T. Sudhakar (2002) [20] แห่งมหาวิทยาลัยแอนหะรา (Andhra) ได้ทำการผลิตกระดาษจากกาบกล้วย โดยนำกาบกล้วยมาตัดให้มีขนาด 3 นิ้ว และใช้ปูนขาว (lime) ในการดึงลิกนินออก นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำเยื่อที่ได้มาล้างจนหมดด่าง จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษโดยใช้ตะแกรงที่ทำด้วยผ้าที่มีแผ่นตะกั่วประกบรองเพื่อง่ายต่อการกระจายตัวของเยื่อบนผ้าและใช้ฟองน้ำในการดูดซับน้ำออก แล้วจึงนำไปตากแดด นอกจากนี้อาจใช้ลูกกลิ้งร้อนชื้นกลิ้งผ่านเพื่อให้กระดาษที่ได้มีความเรียบยิ่งขึ้น ส่วนการย้อมสีนั้นอาจใช้สีธรรมชาติเพื่อความสวยงาม โดยกระดาษที่ได้สามารถนำไปทำเป็นถุงกระดาษ การ์ดอวยพร กล่องเก็บเครื่องประดับ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ลำต้นกล้วยน้ำว้าที่ตัดเครือแล้ว
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดการค้า
3. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เกรดการค้า
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์
5. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP)
6. ฟีนอล์ฟทาลีน
7. น้ำมันพืชตราองุ่น
8. กระดาษเก่าจากบริษัท พิมพ์ดีบรรจุภัณฑ์ จำกัด

3.2 อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml
2. บีกเกอร์ขนาด 100 150 250 และ1000 ml
3. ปิเปตขนาด 10 ml
4. บิวเรตขนาด 50 ml
5. ขวดรูปชมพู่
6. กะละมังพลาสติก
7. ตะกร้าพลาสติก
8. ตะแกรงขึ้นรูปกระดาษ
9. กระป๋องพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) พร้อมฝาปิดขนาด 1000 ml
10. แท่งแก้วคน
11. ลูกยางแดง
12. หลอดหยด
13. กรวยกรอง
14. ผ้าขาวบาง
15. ถุงมือยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. มีด
17. เขียง
18. นาฬิกาจับเวลา
19. ขวดน้ำกลั่น
20. ช้อนตักสาร
21. เครื่องปั่น
22. ผ้าขนหนู
23. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
24. กระจกนาฬิกา
25. เดซิเคเตอร์
26. หม้อนึ่งอัดไอ
27. ตัวหนีบขนาดใหญ่

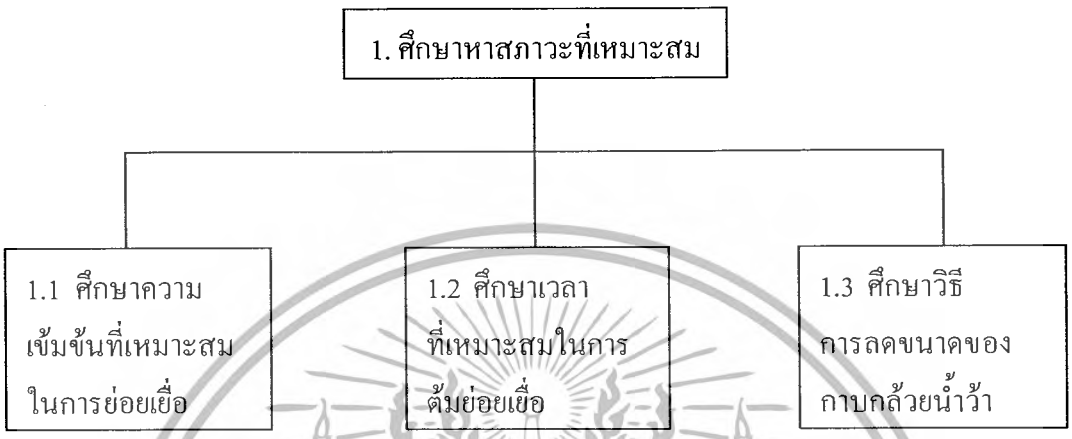
3.3 เครื่องทดสอบ

1. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) รุ่น LS 5K บริษัท Lloyd Instruments
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น LEO 1450 VP บริษัท LEO จำกัด
3. ไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม



3.4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการย่อยเยื่อ

โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 9 และ 12 น้ำหนักต่อปริมาตร (ความสามารถในการละลายน้ำของแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.18 g/100 ml)

3.4.1.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการต้มย่อยเยื่อ

โดยทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง

3.4.1.3 ศึกษาวิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า

โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการหั่นกาบกล้วยระหว่างการหั่นขนาด 1 เซนติเมตร (แบบหั่น 1 เซนติเมตร) กับการหั่นขนาด 1 เซนติเมตรแล้วนำไปปั่นให้ละเอียด (แบบปั่นละเอียด)

3.4.2 เลือกสภาวะที่เหมาะสม

โดยเลือกสภาวะในข้อ 3.4.1.1 3.4.1.2 และ 3.4.1.3 ที่ให้แผ่นกระดาษมีสมบัติดีโดยใช้ความแข็งแรงดึงเป็นเกณฑ์ จากนั้นนำมาขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามขั้นตอนในข้อ 3.4.5

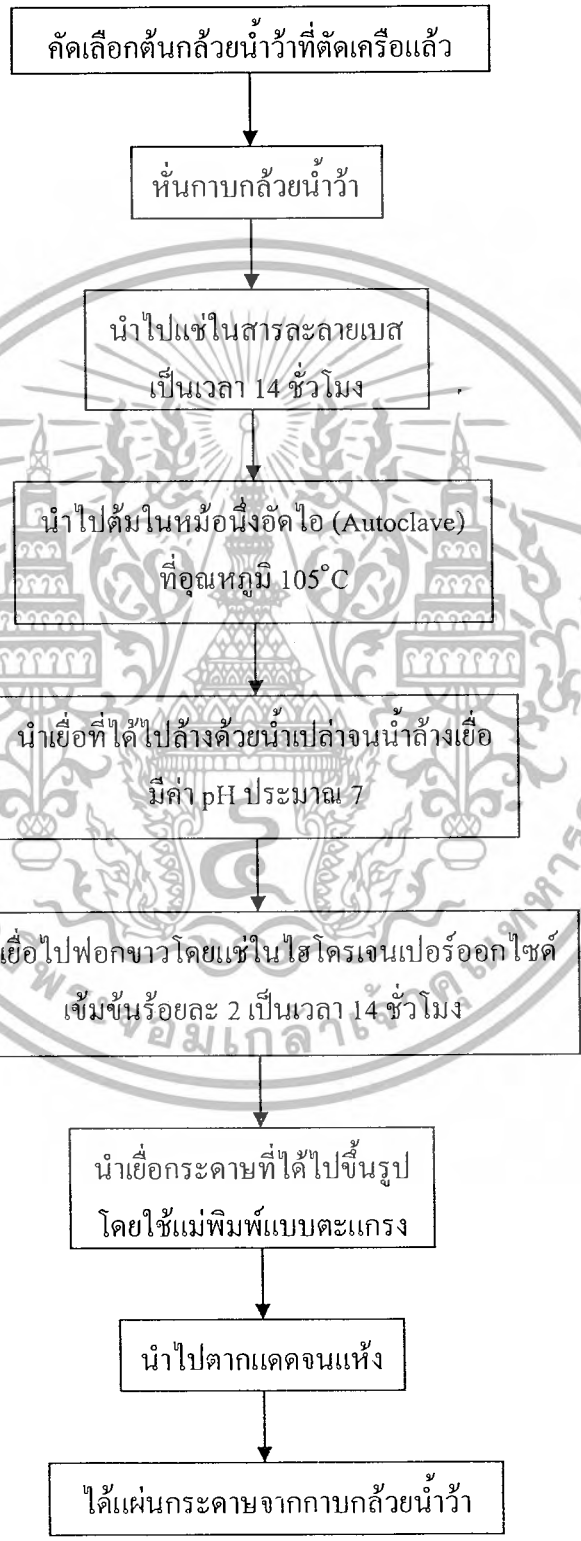
3.4.3 ศึกษาสมบัติของกระดาษผสม

กระดาษผสมเป็นกระดาษที่ได้จากการผสมเยื่อระหว่างเยื่อกาบกล้วยน้ำว้ากับเยื่อกระดาษเก่าที่อัตราส่วนดังนี้ เยื่อกาบกล้วยน้ำว้า : เยื่อกระดาษเก่า เท่ากับ 70 : 30 และ 30 : 70 จากนั้นนำมาขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามขั้นตอนในข้อ 3.4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ศึกษาสมบัติของกระดาษกล้วย 100 % กระดาษผสมและกระดาษคราฟท์มาตรฐาน

3.4.5 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระดาษผสม

ส่วนการเตรียมกระดาษเก่า 100% ทำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น แต่ไม่มีการใส่เยื่อกาบกล้วยน้ำว้าลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การทดสอบสมบัติ

3.4.7.1 สมบัติเชิงกล [12]

สมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลและโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง เล่ม 3 วิธีหาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบที่มีอัตราการเพิ่มแรงดึงคงที่ (มอก. 1353 เล่ม 3-2540) โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น และสภาวะที่ใช้ในการทดสอบคือ

Load speed	5	kN
Cell class	0.5	
Guage length	18	mm.
Grammage	1.0	g/m^2
Test speed	ขึ้นกับแรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาดในช่วงเวลา 20 $\pm$ 5 วินาที	

3.4.7.2 สมบัติการซึมน้ำและน้ำมัน

ทดสอบตามมอก. 214-2520 ข้อ 8.4

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น โดยเลือกชิ้นงานที่มีความหนาใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความหนากระดาษ (มิลลิเมตร) เวลาที่ใช้ในการซึมผ่าน (นาที) และพื้นที่ที่ใช้ในการซึมผ่าน (ตารางเซนติเมตร)

วิธีทดสอบดังนี้

1. วัดความหนาของกระดาษที่ต้องการทดสอบในหน่วยมิลลิเมตร
2. ใช้หลอดหยด หยดน้ำหรือน้ำมัน 1 หยดลงบนกระดาษที่ต้องการทดสอบ
3. จับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดจนกระทั่งซึมผ่านหมดในหน่วยนาที แล้วบันทึกผล
4. วัดความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ได้จากการซึมผ่านในหน่วยเซนติเมตร
5. คำนวณหาพื้นที่ในการซึมน้ำหรือน้ำมัน

3.4.7.3 สัณฐานวิทยา

เพื่อศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใย ความมีรูพรุนของแผ่นกระดาษ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

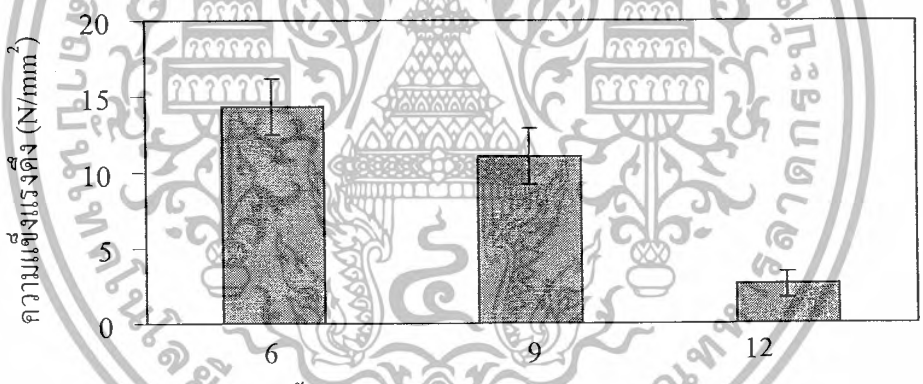
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

หั่นกาบกล้วยสดให้เป็นชิ้นขนาด 1 เซนติเมตร ใส่ในขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีน แล้วเติมสารละลายเบสที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 9 และ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ต้มที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำเยื่อที่ได้มาขึ้นรูปแผ่นกระดาษ แล้วทดสอบสมบัติเชิงกล การซึมน้ำและน้ำมัน สัณฐานวิทยา แสดงผลดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.8 และตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

1. สมบัติเชิงกล

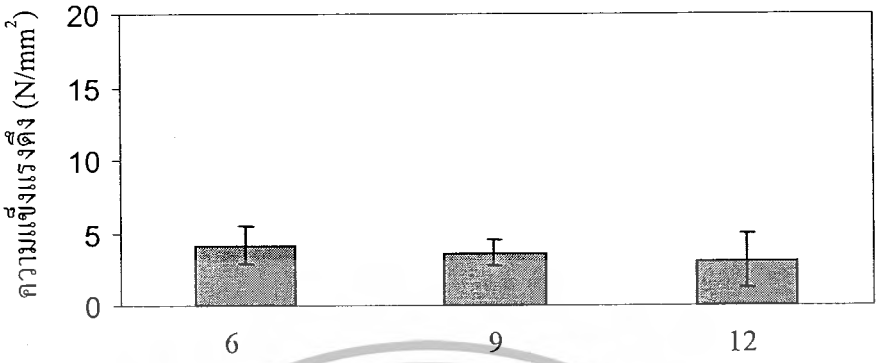
- ความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.1 แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากกาบกล้วยมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดความแข็งแรงของเส้นใย ผลการทดลองแสดงว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีส่วนในการทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยทำให้เส้นใยที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มขาดออก ดังนั้นแต่ละกลุ่มของเส้นใยจึงมีการเกี่ยวพันกันลดลง ความแข็งแรงดึงจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

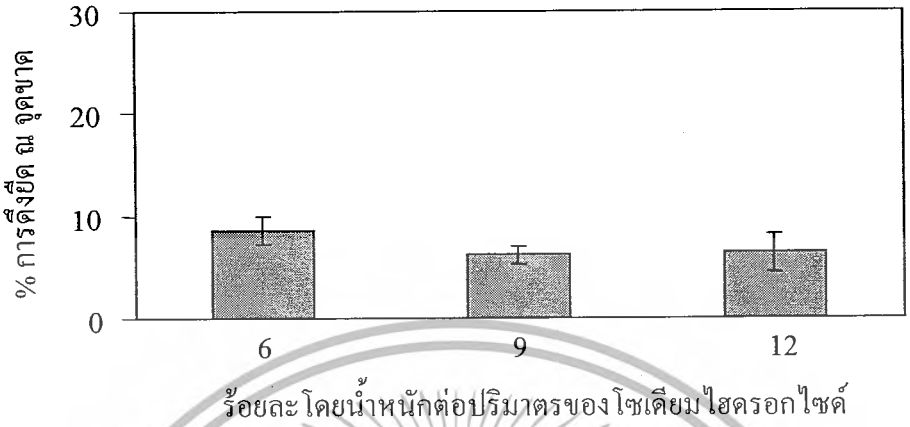


รูปที่ 4.2 แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

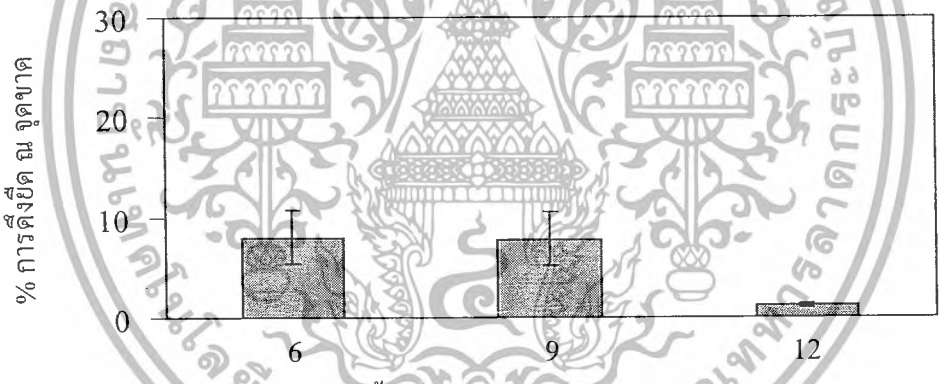
จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (0.18g /100 ml) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจึงไม่ส่งผลต่อกระดาษมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปโครงสร้างของโซ่โมเลกุลเซลลูโลสเป็นแบบเชิงเส้นจัดเรียงสายโซ่เป็นระเบียบมีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่เรียงชิดกันได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถในการยืดตัวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การซึมน้ำและน้ำมัน

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

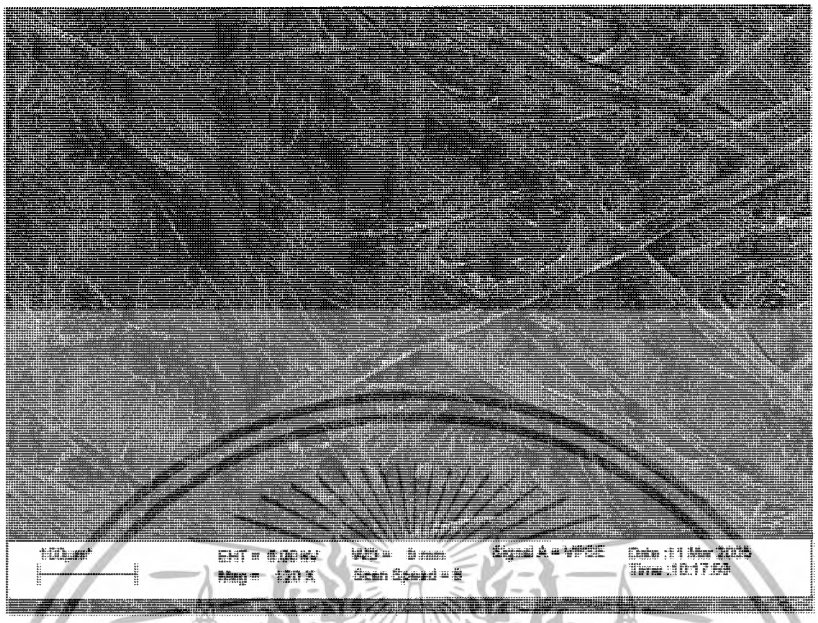
ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (%w/v)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
6	0.198	00:08:81 ± 1.40	3.64
9	0.203	00:03:63 ± 0.36	3.08
12	0.200	00:02:30 ± 0.34	2.46

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

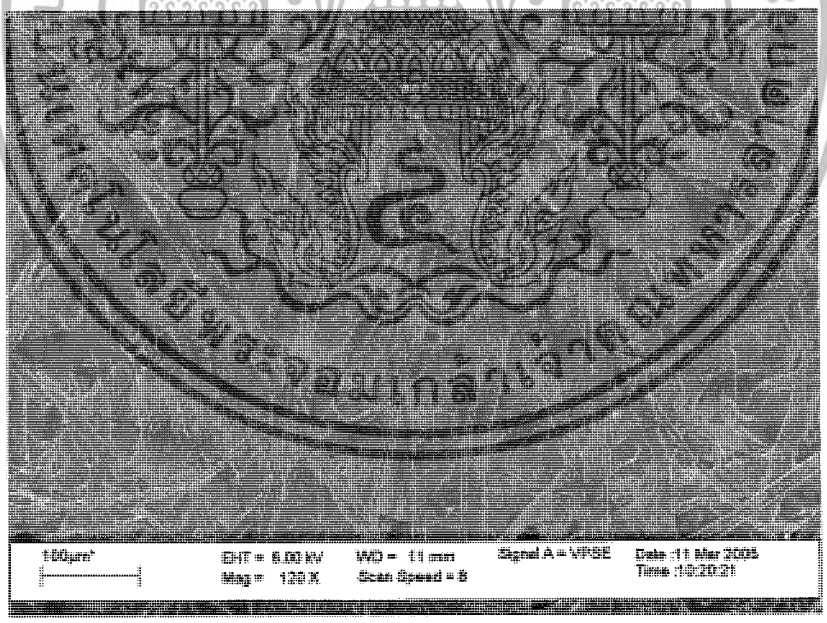
ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (%w/v)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
6	0.199	มากกว่า 09:56:52	-
9	0.207	09:56:52 ± 2.38	6.96
12	0.205	02:18:85 ± 0.79	4.67

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการซึมน้ำและน้ำมันของกระดาษมีหลายประการ ได้แก่ ความหนาของกระดาษ ปริมาณช่องว่างหรือรูพรุนในเนื้อกระดาษ จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่ากระดาษใช้เวลาในการซึมน้ำและน้ำมันน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่ากระดาษที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลักษณะมัดเส้นใยถูกทำลายมากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นจึงทำให้ใช้เวลาในการซึมน้ำและน้ำมันน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

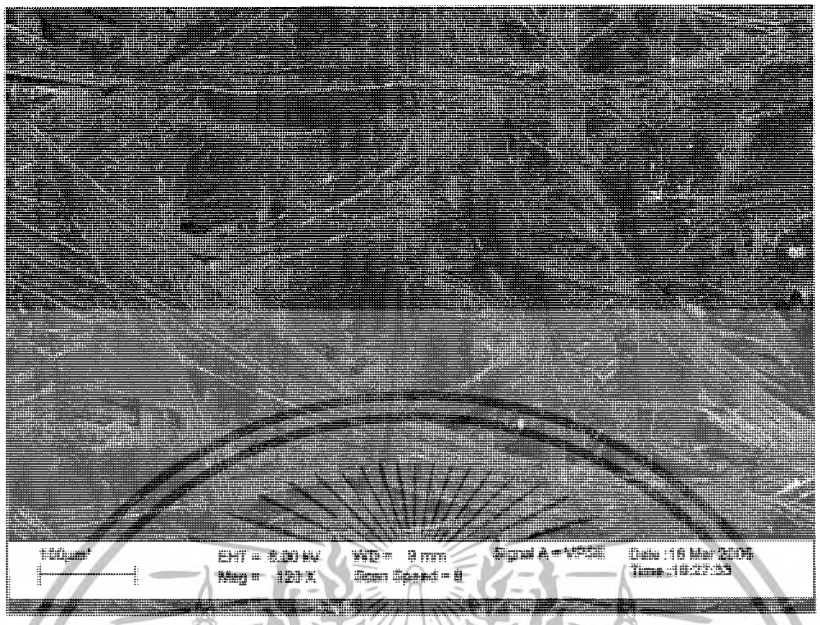
ความเข้มข้นของสารละลาย $Ca(OH)_2$ (%w/v)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
6	0.362	00:02:03 ± 0.18	2.20
9	0.346	00:02:24 ± 0.59	2.02
12	0.353	00:02:02 ± 0.39	2.41

ตารางที่ 4.4 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของสารละลาย $Ca(OH)_2$ (%w/v)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
6	0.362	00:09:65 ± 1.21	2.06
9	0.346	00:41:12 ± 4.43	2.93
12	0.353	00:16:70 ± 3.34	2.29

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าความสามารถในการซึมน้ำและน้ำมันมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (0.18 g/100 ml) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นก็ไม่ได้ส่งผลให้มีการทำลายเส้นใยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 6 และ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลักษณะของมัดเส้นใยมีความคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120 เท่า

รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของแผ่นกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

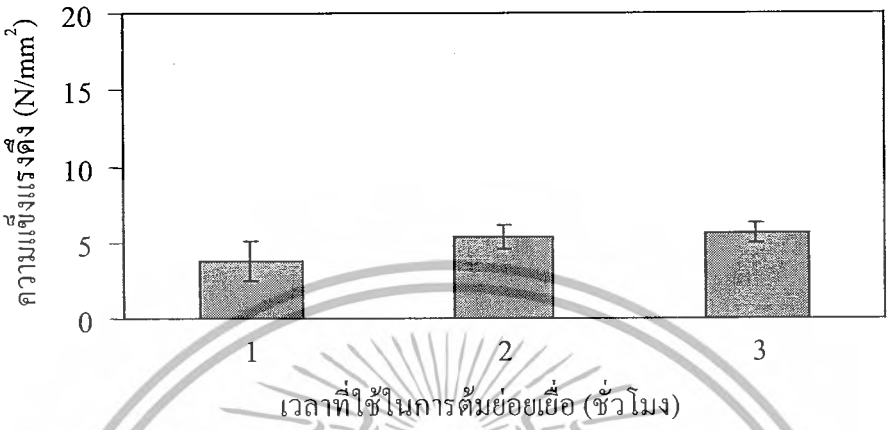
4.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการต้มย่อยเยื่อ

จากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในข้อ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายเบสที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตกระดาษ ดังนั้นจึงนำไปสู่ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการต้มย่อยเยื่อ โดยศึกษาเวลาที่ 1 2 และ 3 ชั่วโมง ผลแสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.16 และตารางที่ 4.5 ถึง 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมบัติเชิงกล

- ความแข็งแรงดึง



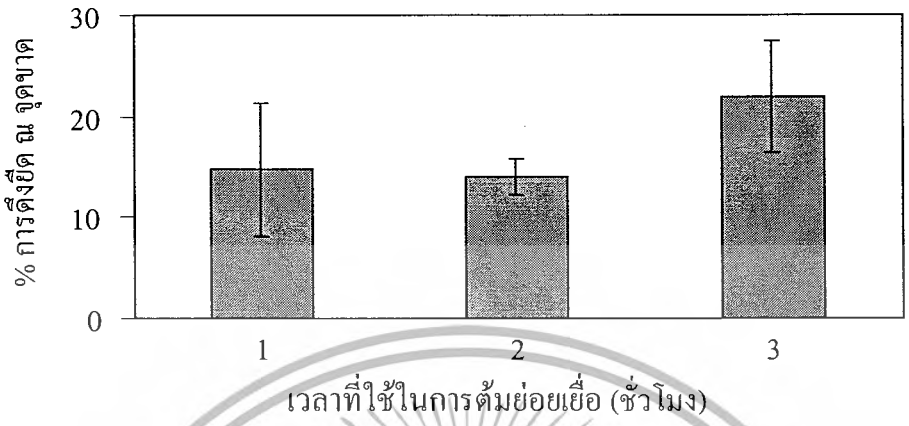
รูปที่ 4.9 แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ

รูปที่ 4.10 แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มย่อยเยื่อมากขึ้น แต่ในกรณีของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่าสูงกว่า เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่า เมื่อเวลานานขึ้นสารละลายเบสทำลายกลุ่มของเส้นใยได้มากขึ้น เนื้อกระดาษมีการกระจายตัวดี ไม่ค่อยมีกลุ่มของเส้นใย ทำให้มีช่องว่างในเนื้อกระดาษน้อย เกิดการเกี่ยวพันกันของเส้นใยดีกว่า ส่งผลให้กระดาษนั้นมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มย่อยเยื่อเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการต้มย่อยเยื่อมากขึ้นทำให้สารละลายเบสทำลายความเป็นผลึกของกลุ่มเส้นใยได้มากขึ้น จึงส่งผลให้กระดาษมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดที่มากขึ้น

รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างๆ

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากโดยทั่วไปโครงสร้างของโซ่โมเลกุลเซลลูโลสเป็นแบบเชิงเส้นจัดเรียงสายโซ่เป็นระเบียบมีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่เรียงชิดกันได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถในการยืดตัวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การซึมน้ำและน้ำมัน

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ (ชั่วโมง)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
1	0.266	00:01:84 ± 0.25	2.93
2	0.255	00:02:83 ± 0.38	2.81
3	0.264	00:01:96 ± 0.48	2.35

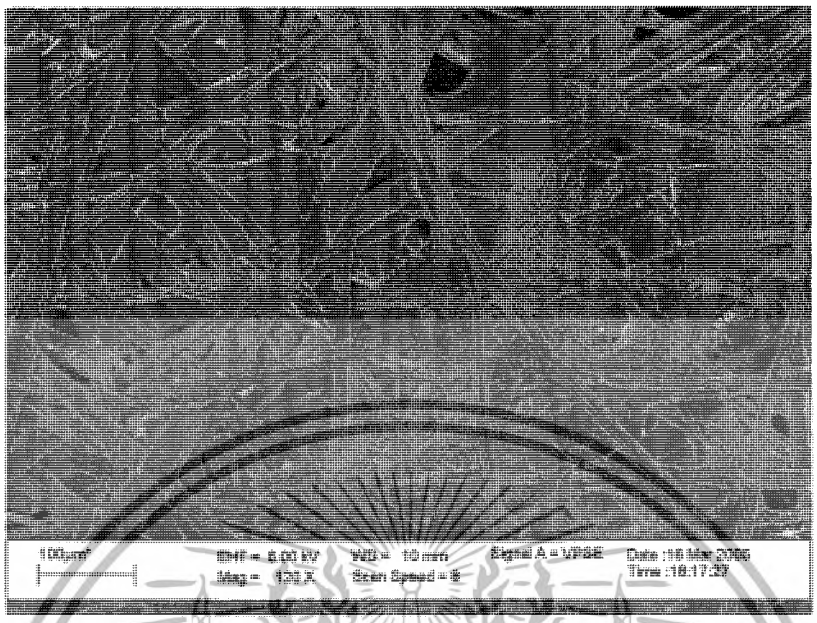
จากตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาในการซึมน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องจากน้ำมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมัน ดังนั้นจึงเห็นผลไม่ชัดเจน

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ (ชั่วโมง)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
1	0.272	00:26:22 ± 3.26	2.01
2	0.239	01:33:80 ± 0.36	3.83
3	0.284	02:26:53 ± 0.17	4.30

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเวลาในการซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการต้มย่อยเยื่อเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้มากขึ้นส่งผลให้เส้นใยกลุ่มเกิดแตกเป็นขุย ไม่ค่อยมีกลุ่มของเส้นใย ทำให้ช่องว่างในเนื้อกระดาษน้อย ดังภาพสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ดังนั้นกระดาษจึงใช้เวลาในการซึมน้ำมันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า

รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

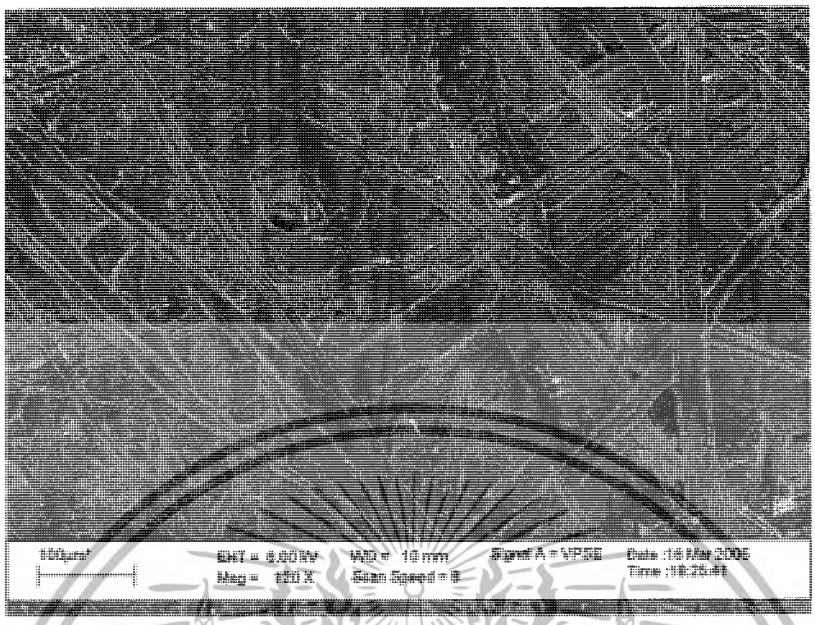
เวลาในการต้มย่อยเยื่อ (ชั่วโมง)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
1	0.320	00:04:08 ± 0.71	2.64
2	0.300	00:03:17 ± 0.26	2.66
3	0.320	00:02:43 ±0.51	3.06

ตารางที่ 4.8 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

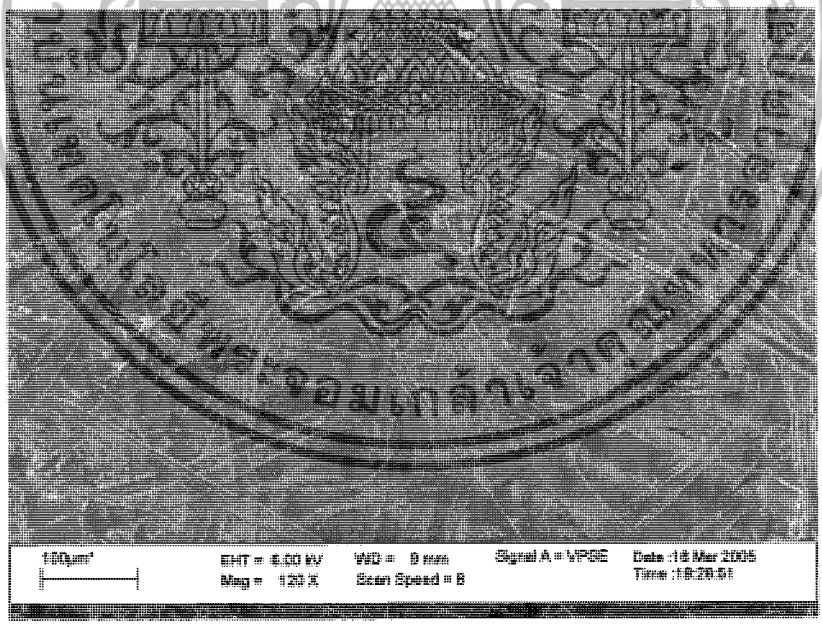
เวลาในการต้มย่อยเยื่อ (ชั่วโมง)	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
1	0.343	00:35:80 ± 3.85	2.97
2	0.339	00:31:60 ± 6.24	2.62
3	0.340	00:19:77 ± 2.85	2.14

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเวลาในการซึมน้ำและน้ำมันมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มย่อยเยื่อเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ต้มย่อยเยื่อมากขึ้นนั้นช่วยทำให้เม็ดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำแทรกตัวอยู่ในเส้นใยได้มากขึ้น เกิดรูพรุนในกระดาษมากขึ้น จึงทำให้ซึมน้ำและน้ำมันได้เร็ว พิจารณาได้จากสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 จากรูปที่ 4.16 พบว่ามีปริมาณของจุดสีขาวขนาดเล็กมากกว่าในรูปที่ 4.15 ซึ่งจุดสีขาวขนาดเล็กนั้น อาจเป็นเม็ดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า

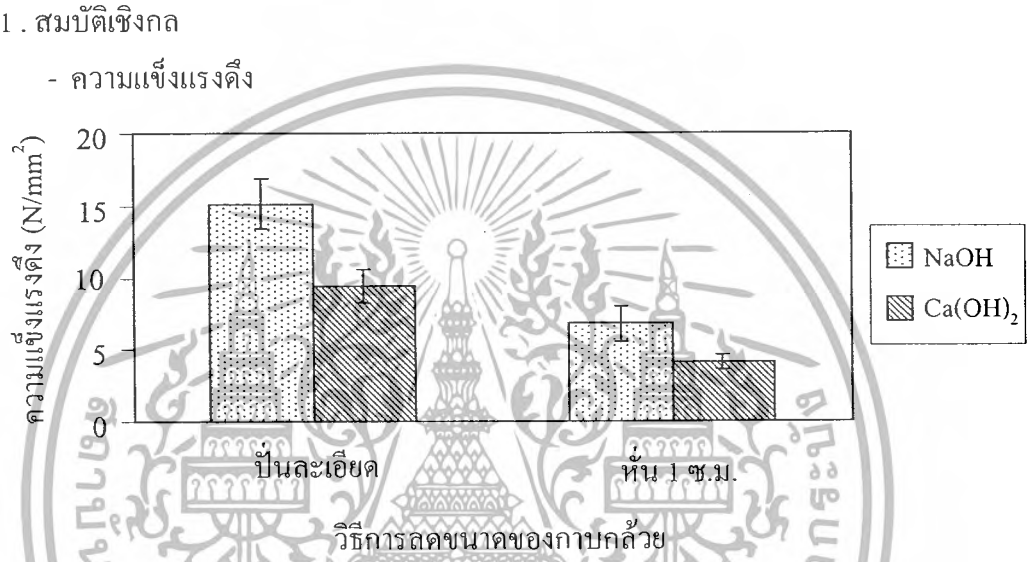


รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 120 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาวิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าคือ ความเข้มข้นของสารละลายเบสร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้เวลาในการต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ซึ่งนำไปสู่การศึกษาวิธีการลดขนาดของกาบกล้วยโดยแบ่งเป็น การหั่นกาบกล้วยขนาด 1 เซนติเมตร กับการปั่นกาบกล้วยให้ละเอียด ผลแสดงดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.20 และตารางที่ 4.9 ถึง 4.10

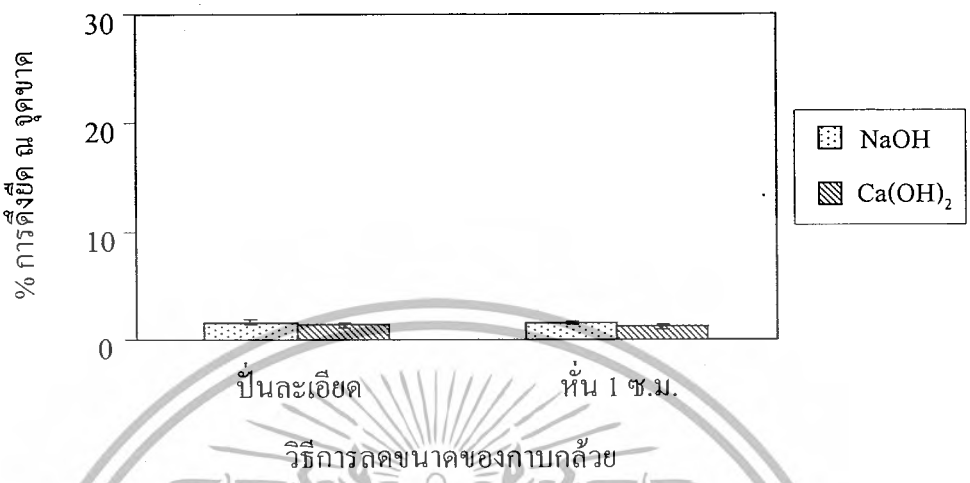


รูปที่ 4.17 แสดงความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยวิธีการลดขนาดกาบกล้วยต่างกัน

จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษที่มีการลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อมีค่ามากกว่าการลดขนาดกาบกล้วยแบบหั่น 1 เซนติเมตร เนื่องจากการลดขนาดกาบกล้วยโดยวิธีการปั่นละเอียดทำให้ไม่ค่อยมีกลุ่มของเส้นใย การกระจายของเส้นใยดี ไม่ค่อยมีช่องว่างในเนื้อกระดาษ พิจารณาได้จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 เมื่อมีแรงดึงทำกับกระดาษก็ทำให้กระดาษสามารถกระจายแรงได้ดีส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.18 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยวิธีการลดขนาดกาบกล้วยต่างกัน

จากรูปที่ 4.18 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากโดยทั่วไปโครงสร้างของโซ่โมเลกุลเซลลูโลสเป็นแบบเชิงเส้นจัดเรียงสายโซ่เป็นระเบียบมีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่เรียงชิดกันได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงมีความสามารถในการยืดตัวต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบกระดาษที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า สมบัติเชิงกลของกระดาษที่เตรียมได้จากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากอนุภาคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำแทรกตัวอยู่ในเนื้อกระดาษทำให้เส้นใยยึดเกาะกันไม่ดี ซึ่งพิจารณาจากสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การซึมน้ำและน้ำมัน

ตารางที่ 4.9 แสดงเวลาการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

สารละลายที่ใช้ย่อยเยื่อ	วิธีลดขนาดกาบกล้วย	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
6% w/v NaOH	หั่น 1 ซม.	0.264	00:01:96 ± 0.48	2.35
	ปั่นละเอียด	0.359	00:40:63 ± 5.45	2.55
6% w/v $Ca(OH)_2$	หั่น 1 ซม.	0.320	00:02:43 ± 0.57	3.06
	ปั่นละเอียด	0.258	00:53:03 ± 18.32	2.02

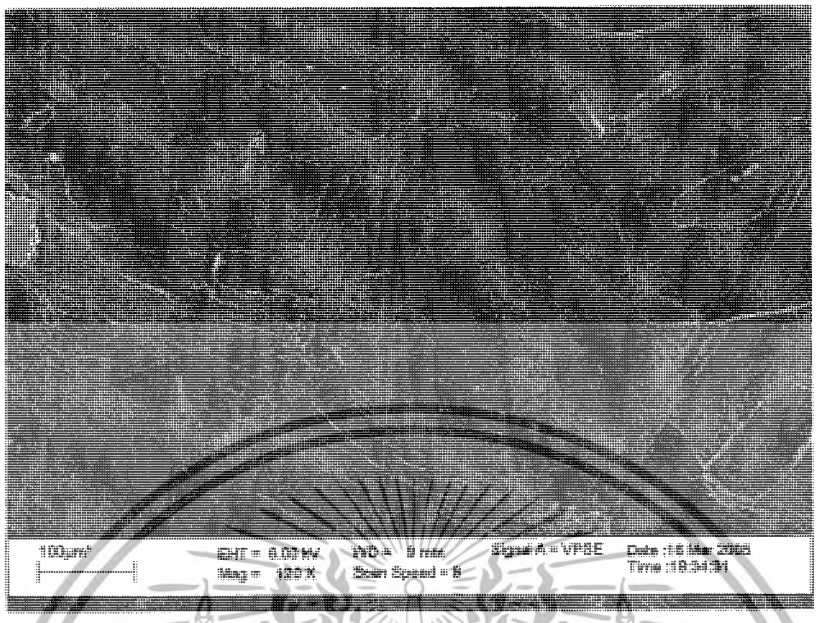
ตารางที่ 4.10 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

สารละลายที่ใช้ย่อยเยื่อ	วิธีลดขนาดกาบกล้วย	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
6% w/v NaOH	หั่น 1 ซม.	0.284	02:26:53 ± 0.18	4.30
	ปั่นละเอียด	0.280	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-
6% w/v $Ca(OH)_2$	หั่น 1 ซม.	0.340	00:19:77 ± 2.85	2.14
	ปั่นละเอียด	0.330	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าเวลาในการซึมน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วิธีการลดขนาดกาบกล้วยน้ำว้าแบบปั่นละเอียด เนื่องจากเส้นใยมีขนาดสั้นกว่า ทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ เนื้อกระดาษมีช่องว่างน้อยจึงส่งผลให้กระดาษมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและน้ำมันลดลง โดยพิจารณาจากสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20

เมื่อเปรียบเทียบกระดาษที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์พบว่าเวลาที่ใช้ในการซึมน้ำและน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากลักษณะพื้นผิวใกล้เคียงกัน ดังภาพสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.19 และ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียด ที่กำลังขยาย 120 เท่า

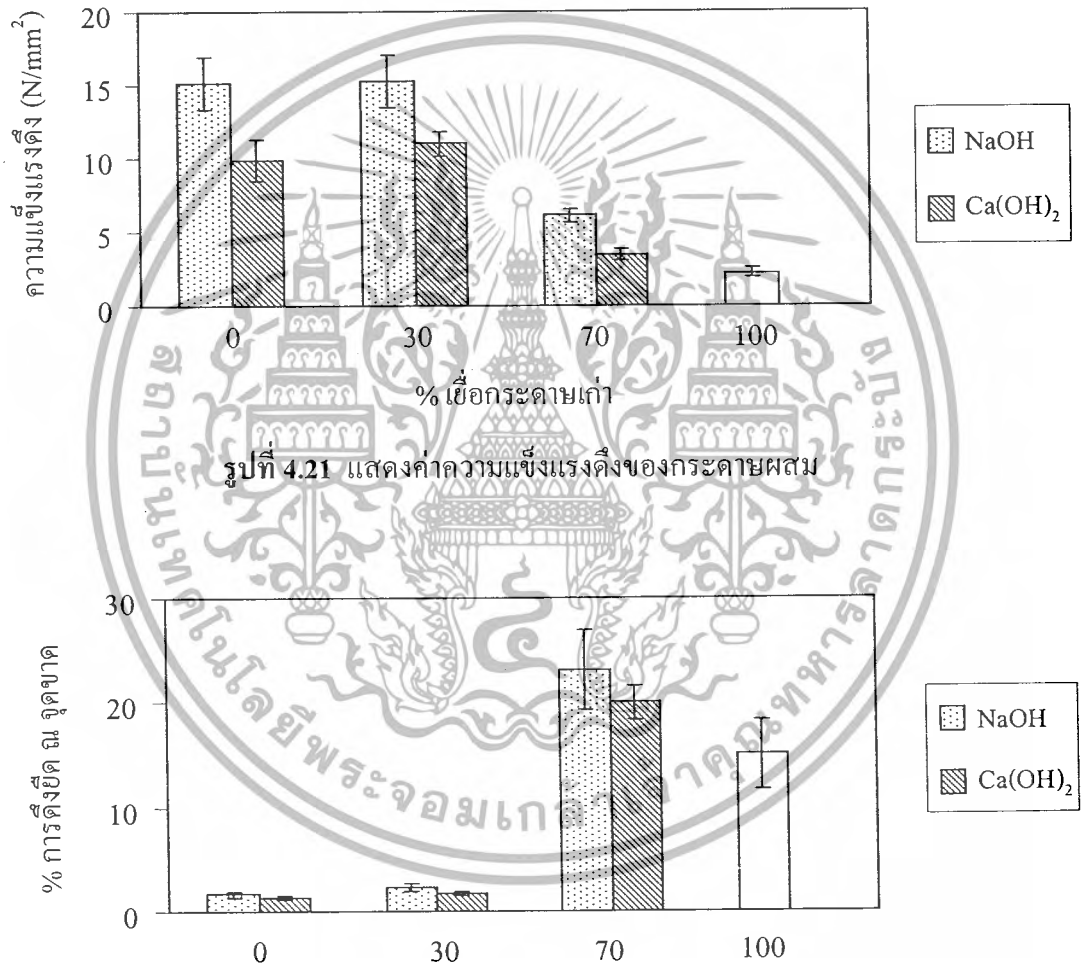
รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ วิธีลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียด ที่กำลังขยาย 120 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

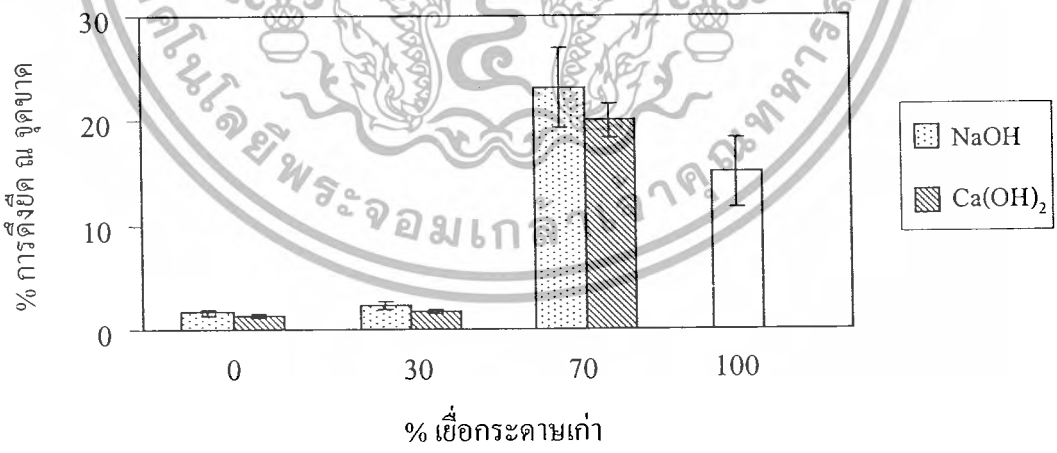
4.4 ผลการศึกษาสมบัติของกระดาษผสม

กระดาษผสมเป็นกระดาษที่ได้จากการผสมระหว่างเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้ากับเยื่อกระดาษเก่า โดยนำเยื่อกระดาษเก่าจากบริษัท พิมพ์ดีบรรจุภัณฑ์ จำกัด มาผสมกับเยื่อจากกาบกล้วยที่อัตราส่วนดังนี้ เยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า : เยื่อกระดาษเก่า เท่ากับ 70 : 30 และ 30 : 70 ผลแสดงดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 และตารางที่ 4.11 ถึง 4.14

1. สมบัติเชิงกล



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษผสม



รูปที่ 4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษผสม

จากรูปที่ 4.21 พบว่า กระดาษที่มีปริมาณเยื่อกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งแรงดึงมากกว่ากระดาษที่มีเยื่อเก่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก แสดงว่าค่าความแข็งแรงดึงขึ้นกับความยาวของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยจากกาบกล้วยมีความยาวของเส้นใยมากกว่าเส้นใยจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษเก่า และเยื่อกระดาษกล้วยที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อเมื่อผสมกับเยื่อกระดาษเก่าให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าเยื่อกระดาษกล้วยที่เตรียมได้จากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เล็กน้อย และจากรูปที่ 4.22 พบว่ากระดาษที่มีปริมาณเยื่อกระดาษเก่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าเนื่องจากกระดาษเก่านั้นมีการเคลือบผิวกระดาษด้วยสารเคลือบผิวทำให้เกิดความลื่นแก่ผิวกระดาษ ซึ่งอาจทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ ดังนั้นเมื่อกระดาษผสมที่มีการใส่ปริมาณเยื่อกระดาษเก่ามาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูง

2. การซึมน้ำและน้ำมัน

- กระดาษผสมที่เตรียมจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 4.11 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษผสม

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
30	0.207	00:22:15 ± 3.80	2.99
70	0.245	00:02:12 ± 0.11	2.20

ตารางที่ 4.12 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษผสม

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
30	0.202	31:18:72 ± 9.68	6.116
70	0.244	01:30:68 ± 0.18	1.98

จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบว่ากระดาษผสมที่มีปริมาณเยื่อกระดาษเก่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการซึมน้ำและน้ำมันได้เร็วเนื่องจากกระดาษเก่าเป็นเส้นใยสั้นมากและผ่านการดึงลิกนินออกหลายครั้ง พิจารณาสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.23 (ข) และ 4.23(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระดาษผสมที่เตรียมจากการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 4.13 แสดงเวลาในการซึมน้ำของกระดาษผสม

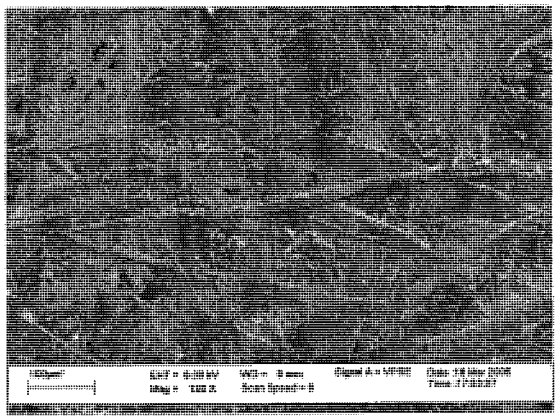
ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
30	0.254	00:11:36 ± 1.18	2.90
70	0.246	00:02:99 ± 0.27	2.18

ตารางที่ 4.14 แสดงเวลาในการซึมน้ำมันของกระดาษผสม

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
30	0.303	05:31:21 ± 1.56	3.082
70	0.245	00:42:57 ± 6.17	1.66

จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 พบว่ากระดาษผสมที่มีปริมาณเยื่อกระดาษเก่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการซึมน้ำและน้ำมันได้เร็ว โดยให้เหตุผลเช่นเดียวกับคำอธิบายในตารางที่ 4.11 และ 4.12 พิจารณาสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.23(ง) และ 4.23(จ)

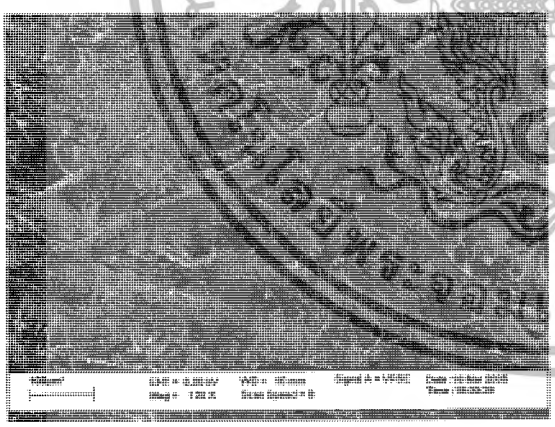
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



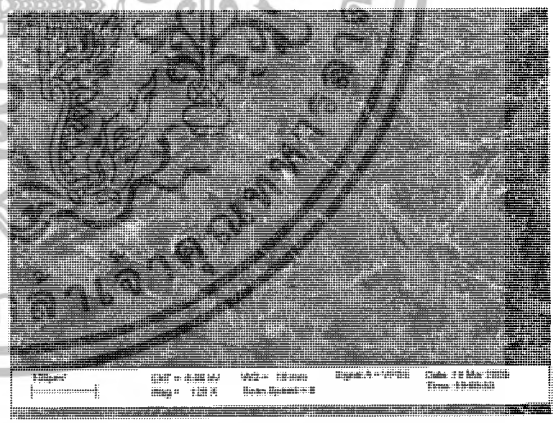
(ก)

(ข)

(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของกระดาษผสมในอัตราส่วนต่างๆ

(ก) กระดาษที่มีเยื่อกระดาษเก่า 100%

(ข) กระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 30% โดยใช้ NaOH ย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

(ค) กระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 70% โดยใช้ NaOH ย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

(ง) กระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 30% โดยใช้ $Ca(OH)_2$ ย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

(จ) กระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 70% โดยใช้ $Ca(OH)_2$ ย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

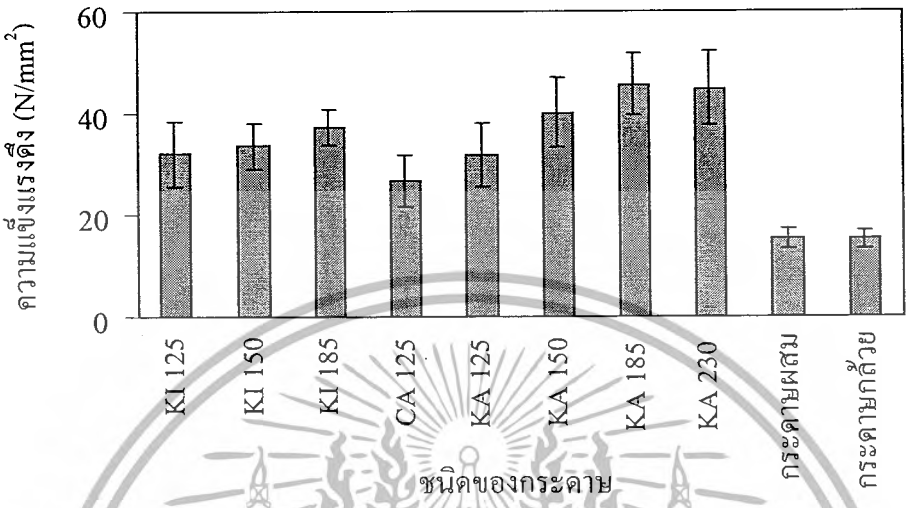
4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระดาษกล้วย 100% กระดาษผสมและกระดาษคราฟท์มาตรฐาน

นำกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 100% โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ใช้การลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดนำมาเปรียบเทียบกับกระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าและกระดาษคราฟท์มาตรฐาน ผลแสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมบัติเชิงกล

- ความแข็งแรงดึง

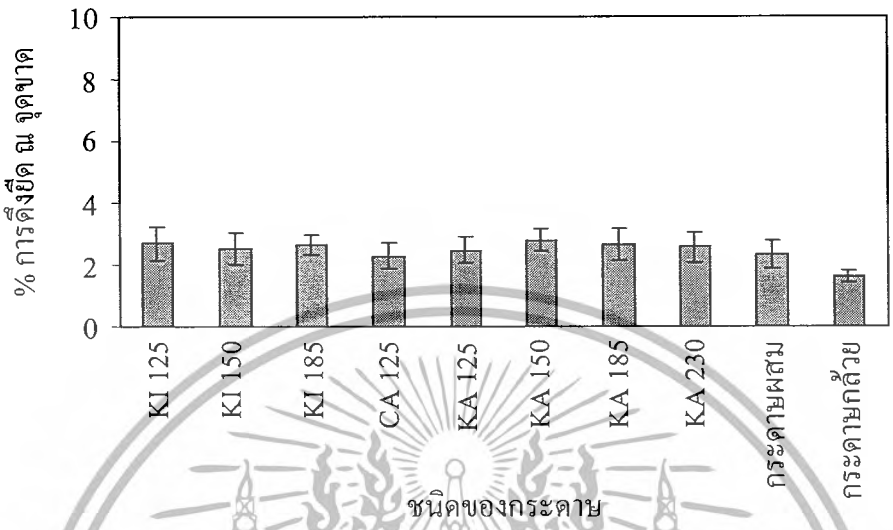


รูปที่ 4.24 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษประเภทต่างๆ

จากรูปที่ 4.24 พบว่าความแข็งแรงดึงเรียงลำดับดังนี้ กระดาษคราฟท์มาตรฐานมีค่ามากกว่ากระดาษผสม และกระดาษกล้วย 100% เนื่องจากกระดาษคราฟท์มาตรฐานมีการขึ้นรูปกระดาษที่ดีกว่าทำให้กระดาษมีความสม่ำเสมอและผ่านการปรับปรุงเนื้อกระดาษด้วยสารเคมีอื่นๆ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษประเภทต่างๆ

จากรูปที่ 4.25 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเรียงลำดับดังนี้ กระดาษผสมมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐาน ส่วนกระดาษกล้วย 100% มีค่าต่ำสุด เนื่องจากเส้นใยจากกาบกล้วยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึกจึงมีความสามารถในการดึงยืดต่ำแต่ให้ความแข็งแรงดึงสูง ส่วนเยื่อกระดาษเก่าที่ผสมลงไปนั้นมีการเคลือบผิวกระดาษด้วยสารเคลือบผิวจึงทำให้เกิดความลื่น ดังนั้นจึงทำให้การดึงยืดสูง

จากการคำนวณโดยนำค่าความแข็งแรงดึงหารด้วยน้ำหนักของกระดาษแต่ละชนิด พบว่า กระดาษจากกาบกล้วย 100% มีค่าเท่ากับ 0.1788 ใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 230 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1956 ส่วนกระดาษผสมที่มีกระดาษเก่าผสมร้อยละ 30 โดยน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.2376 ซึ่งใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 185 ที่มีค่าเท่ากับ 0.2472 (ดูวิธีการคำนวณเพิ่มเติมจากภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ต้นกล้วยน้ำว้าที่ตัดเครือแล้ว สามารถนำกาบกล้วยมาใช้ในการผลิตเป็นแผ่นกระดาษได้
2. จากการศึกษาสารละลายเบส 2 ชนิดในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้ความแข็งแรงดึงเป็นเกณฑ์พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาในการต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง และมีการลดขนาดของกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดเป็นสภาวะที่ทำให้ได้แผ่นกระดาษมีสมบัติดี
3. เมื่อทำการเปรียบเทียบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้สมบัติกระดาษที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตกระดาษเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากกว่า
4. แผ่นกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่เตรียมจากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีอนุภาคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์แทรกอยู่ ทำให้มีการยึดเหนี่ยวของเส้นใยที่ไม่ดีส่งผลให้กระดาษไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอมากนัก
5. เมื่อทำการผสมเยื่อกระดาษเก่าที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับปรุงการกระจายตัวของเส้นใยและความสม่ำเสมอของกระดาษ กระดาษที่มีเยื่อเก่าผสม 30 ส่วนให้ความแข็งแรงดึงสูงและกระดาษที่มีเยื่อเก่าผสม 70 ส่วนให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูง
6. แผ่นกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 100% ที่มีการลดขนาดกาบกล้วยน้ำว้าแบบปั่นละเอียด มีสมบัติต้านน้ำและน้ำมันได้ดี
7. กระดาษที่ผสมเยื่อใหม่มากมีสมบัติต้านการซึมน้ำกับน้ำมันได้ดี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าแบบแห้งมาเตรียมกระดาษแล้วศึกษาเปรียบเทียบกับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าแบบสดเพื่อศึกษาสมบัติและข้อดีข้อเสียต่างๆ
2. ศึกษาสารละลายที่ใช้ในการต้มย่อยเยื่อชนิดอื่นๆเพื่อนำมาเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการผลิตกระดาษจากกาบกล้วย
3. ควรมีการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเยื่อกระดาษเก่ากับเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า
4. ควรศึกษาสารเติมแต่งชนิดอื่นๆเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของกระดาษให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ชลีพร ศิริฤกษ์. 2543. **ความเหมาะสมของการทำภาชนะบรรจุอาหารแห้งจากหยวกกล้วยน้ำว้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
2. ชาติชาย ธรรมธนารักษ์. 2544. ภาชนะกระดาษทดแทนพลาสติก.**วารสารจาร์พา.** (พ.ย./ธ.ค.) : 40-44.
3. เดี่ยว วงศ์สุวรรณ และคณะ. 2530. **กล้วย.** กรุงเทพฯ : สหมิตรออฟเซท. อ้างถึงใน นุทิศ เอี่ยมใส. 2538. การทดลองทำภาชนะบรรจุอาหารจากกาบกล้วย. ปริญญานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
4. นุทิศ เอี่ยมใส. 2538. **การทดลองทำภาชนะบรรจุอาหารจากกาบกล้วย.** ปริญญานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
5. เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย.** 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
6. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน. 2547. บรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ. ใน **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาหัวข้อเรื่องที่น่าสนใจในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. ยุทธการ อาจารีย์ และคณะ. 2544. **โครงการพัฒนาเครื่องตีเส้นใยพืชและเปรียบเทียบคุณสมบัติของต้นกล้วย ต้นกก และต้นอ้อ เพื่อทดแทนกระดาษ.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
8. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2546. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. ใน **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชากระบวนการเคมีอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
9. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2544. **วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชนนานาสาระ (3).** 1. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
10. สมโพธิ หอมจำรูญ. 2537. **การเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษกล่องไม่เคลือบโดยใช้แป้งแปรรูป.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สราวุธ พัชรชมพู. 2545. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยต้นกล้วยน้ำว้ามาผลิตเยื่อกระดาษ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
12. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง เล่ม 3 วิธีหาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบที่มีอัตราการเพิ่มแรงดึงคงที่**. กรุงเทพฯ: 1-3.
13. อัญชลี กมลรัตนกุล. 2545. **คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ**. 1. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
14. http://chemfinder.cambridgesoft.com/result.asp
15. http://msds.pcd.go.th/view_search_name.asp?vName=calcium+hydroxide
16. http://msds.pcd.go.th/view_search_name.asp?vName=hydrogen+peroxide
17. http://msds.pcd.go.th/view_search_name.asp?vName=sodium+hydroxide
18. http://www.doae.go.th/library/html/detail/KUmagazine/february_44/kanpluklbanana.htm
19. http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/precursors/Hydrogen%20peroxide.html
20. http://www.hindu.com/thehindu/mp/2002/12/02/stories/2002120201200400.html
21. http://www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_fiber.html
22. http://www.tungsong.com/Modify_Lifetsgcity/samunpai/drug/7_kuai/index_kuai.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ตารางบันทึกผลการซึมน้ำ

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ NaOH	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
6% w/v	1	0.198	00:09:50	3.26
	2	0.196	00:09:60	3.46
	3	0.200	00:08:60	4.34
	4	0.194	00:09:90	3.98
	5	0.202	00:06:47	3.14
	เฉลี่ย	0.198 ± 0.0032	00:08:81 ± 1.40	3.64 ± 0.51
9% w/v	1	0.206	00:03:58	2.84
	2	0.204	00:04:12	3.30
	3	0.199	00:03:86	3.30
	4	0.203	00:03:35	2.99
	5	0.203	00:03:25	2.99
	เฉลี่ย	0.203 ± 0.0026	00:03:63 ± 0.36	3.08 ± 0.21
12% w/v	1	0.204	00:02:51	2.54
	2	0.200	00:02:40	2.54
	3	0.197	00:02:19	2.27
	4	0.200	00:01:75	2.27
	5	0.200	00:02:63	2.69
	เฉลี่ย	0.200 ± 0.0025	00:02:30 ± 0.34	2.46 ± 0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ $Ca(OH)_2$	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
6% w/v	1	0.360	00:02:26	3.30
	2	0.361	00:02:05	1.89
	3	0.361	00:02:14	2.01
	4	0.360	00:01:86	2.01
	5	0.369	00:01:82	1.77
	เฉลี่ย	0.362 ± 0.0038	00:02:03 ± 0.18	2.20 ± 0.62
9% w/v	1	0.363	00:02:50	2.01
	2	0.367	00:03:13	1.89
	3	0.367	00:01:91	2.40
	4	0.357	00:01:65	1.89
	5	0.358	00:02:00	1.89
	เฉลี่ย	0.362 ± 0.0048	00:02:24 ± 0.59	2.02 ± 0.22
12% w/v	1	0.358	00:01:57	2.54
	2	0.351	00:02:29	2.01
	3	0.348	00:02:29	2.40
	4	0.354	00:02:33	2.54
	5	0.356	00:01:63	2.54
	เฉลี่ย	0.353 ± 0.0040	00:02:02 ± 0.39	2.41 ± 0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
1 ชั่วโมง	1	0.259	00:01:64	2.99
	2	0.268	00:01:92	2.40
	3	0.267	00:01:54	2.84
	4	0.270	00:01:93	3.30
	5	0.268	00:02:18	3.14
	เฉลี่ย	0.266 ± 0.0043	00:01:84 ± 0.25	2.93 ± 0.34
2 ชั่วโมง	1	0.252	00:02:18	3.14
	2	0.258	00:03:19	2.69
	3	0.257	00:02:89	2.99
	4	0.251	00:02:95	2.54
	5	0.255	00:02:93	2.67
	เฉลี่ย	0.255 ± 0.0030	00:02:83 ± 0.38	2.81 ± 0.25
3 ชั่วโมง	1	0.261	00:01:71	2.14
	2	0.260	00:01:50	2.40
	3	0.261	00:02:33	1.89
	4	0.265	00:02:61	2.01
	5	0.271	00:01:66	3.30
	เฉลี่ย	0.264 ± 0.0046	00:01:96 ± 0.48	2.35 ± 0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
1 ชั่วโมง	1	0.318	00:05:04	3.14
	2	0.321	00:03:14	2.54
	3	0.325	00:03:64	2.01
	4	0.317	00:03:71	2.84
	5	0.320	00:04:16	2.69
	เฉลี่ย	0.320 ± 0.0031	00:04:08 ± 0.71	2.64 ± 0.42
2 ชั่วโมง	1	0.295	00:02:91	2.54
	2	0.302	00:03:27	2.54
	3	0.297	00:03:18	2.84
	4	0.306	00:03:55	2.84
	5	0.299	00:02:93	2.54
	เฉลี่ย	0.300 ± 0.0043	00:03:17 ± 0.26	2.66 ± 0.16
3 ชั่วโมง	1	0.317	00:03:23	3.80
	2	0.324	00:02:20	2.99
	3	0.320	00:03:18	2.99
	4	0.321	00:03:55	2.69
	5	0.318	00:02:93	2.84
	เฉลี่ย	0.320 ± 0.0027	00:02:43 ± 0.51	3.06 ± 0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

วิธีลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
หั่น 1 ซม.	1	0.259	00:01:71	2.14
	2	0.265	00:01:50	2.40
	3	0.270	00:02:33	1.89
	4	0.262	00:02:61	2.01
	5	0.263	00:01:66	3.30
	เฉลี่ย	0.264 ± 0.0041	00:01:96 ± 0.48	2.35 ± 0.56
ปั่นละเอียด	1	0.357	00:41:98	2.40
	2	0.363	00:45:58	3.98
	3	0.356	00:38:83	2.84
	4	0.365	00:32:10	2.01
	5	0.356	00:44:68	1.54
	เฉลี่ย	0.359 ± 0.0042	00:40:63 ± 5.45	2.55 ± 0.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

วิธีลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
หั่น 1 ซม.	1	0.319	00:03:23	3.80
	2	0.322	00:02:20	2.99
	3	0.320	00:03:18	2.99
	4	0.318	00:03:55	2.69
	5	0.320	00:02:93	2.84
	เฉลี่ย	0.320 ± 0.0015	00:02:43 ± 0.57	3.06 ± 0.43
ปั่นละเอียด	1	0.253	00:34:51	2.01
	2	0.261	00:44:40	2.40
	3	0.259	00:41:16	2.01
	4	0.258	01:15:87	1.54
	5	0.260	01:09:23	2.14
	เฉลี่ย	0.258 ± 0.0031	00:53:03 ± 18.32	2.02 ± 0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วย

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
30	1	0.200	00:18:63	3.14
	2	0.209	00:23:21	3.14
	3	0.208	00:17:74	3.30
	4	0.211	00:24:82	2.54
	5	0.209	00:26:35	2.84
	เฉลี่ย	0.207 ± 0.0043	00:22:15 ± 3.80	2.99 ± 0.30
70	1	0.242	00:01:96	2.14
	2	0.248	00:02:26	2.32
	3	0.247	00:02:17	2.01
	4	0.241	00:02:13	2.14
	5	0.245	00:02:09	2.40
	เฉลี่ย	0.245 ± 0.0030	00:02:12 ± 0.11	2.20 ± 0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
30	1	0.254	00:10:25	2.40
	2	0.251	00:11:41	2.69
	3	0.250	00:10:46	3.14
	4	0.255	00:11:45	2.99
	5	0.261	00:13:24	3.30
	เฉลี่ย	0.254 ± 0.0046	00:11:36 ± 1.18	2.90 ± 0.36
70	1	0.248	00:02:58	2.13
	2	0.242	00:03:10	2.40
	3	0.242	00:02:85	2.01
	4	0.249	00:03:20	2.01
	5	0.251	00:03:21	2.34
	เฉลี่ย	0.246 ± 0.0042	00:02:99 ± 0.27	2.18 ± 0.18

ตารางที่ ก-9 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษที่ได้จากเยื่อกระดาษเก่า 100 %

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
100	1	0.284	00:00:80	1.89
	2	0.284	00:00:94	1.89
	3	0.287	00:01:28	1.50
	4	0.287	00:00:93	1.65
	5	0.283	00:00:70	1.43
	เฉลี่ย	0.284 ± 0.0019	00:00:93 ± 0.22	1.67 ± 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

ชนิดสารละลาย	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
0.15%w/v NaOH	1	0.645	00:03:90	0.71
	2	0.649	00:04:53	1.33
	3	0.638	00:04:28	0.78
	4	0.639	00:03:73	1.13
	5	0.641	00:04:10	1.04
	เฉลี่ย	0.642 ± 0.0046	00:04:11 ± 0.31	1.00 ± 0.25
0.15% w/v $Ca(OH)_2$	1	0.642	00:05:35	1.23
	2	0.649	00:04:89	0.95
	3	0.654	00:04:73	0.95
	4	0.643	00:04:18	0.78
	5	0.644	00:04:55	0.71
	เฉลี่ย	0.646 ± 0.0050	00:04:74 ± 0.43	0.92 ± 0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ตารางบันทึกผลการซึมน้ำมัน

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ NaOH	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
6% w/v	-	0.199	มากกว่า 09:56:52	-
9% w/v	1	0.206	10:10:53	8.55
	2	0.208	13:19:47	7.31
	3	0.211	09:06:07	5.94
	4	0.203	06:58:09	6.83
	5	0.207	10:08:45	6.16
	เฉลี่ย	0.207 ± 0.0029	09:56:52 ± 2.38	6.96 ± 1.04
12% w/v	1	0.207	01:46:06	6.83
	2	0.202	02:51:28	4.52
	3	0.206	03:22:68	4.91
	4	0.207	01:28:69	3.80
	5	0.203	02:05:54	3.30
	เฉลี่ย	0.205 ± 0.0023	02:18:85 ± 0.79	4.67 ± 1.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ $Ca(OH)_2$	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
6% w/v	1	0.248	00:08:45	2.84
	2	0.250	00:08:80	1.77
	3	0.251	00:09:20	1.77
	4	0.255	00:10:41	1.89
	5	0.251	00:11:37	2.01
	เฉลี่ย	0.251 ± 0.0026	00:09:65 ± 1.21	2.06 ± 0.45
9% w/v	1	0.263	00:39:99	2.84
	2	0.264	00:35:08	2.54
	3	0.260	00:41:19	2.84
	4	0.266	00:47:47	2.99
	5	0.262	00:41:86	3.46
	เฉลี่ย	0.263 ± 0.0022	00:41:12 ± 4.43	2.93 ± 0.34
12% w/v	1	0.250	00:21:95	2.84
	2	0.256	00:17:52	2.01
	3	0.260	00:16:32	2.54
	4	0.262	00:13:58	2.27
	5	0.262	00:14:14	1.77
	เฉลี่ย	0.258 ± 0.0051	00:16:70 ± 3.34	2.29 ± 0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
1 ชั่วโมง	1	0.274	00:30:38	2.01
	2	0.271	00:21:18	2.01
	3	0.270	00:26:08	2.01
	4	0.272	00:26:72	2.01
	5	0.273	00:26:72	2.01
	เฉลี่ย	0.272 ± 0.0016	00:26:22 ± 3.26	2.01 ± 0.00
2 ชั่วโมง	1	0.238	02:06:72	4.91
	2	0.235	01:09:85	3.46
	3	0.243	01:37:54	4.52
	4	0.242	01:35:17	3.14
	5	0.239	01:33:70	3.14
	เฉลี่ย	0.239 ± 0.0032	01:33:80 ± 0.36	3.83 ± 0.83
3 ชั่วโมง	1	0.285	02:45:40	4.71
	2	0.280	02:36:79	4.34
	3	0.283	02:10:99	3.80
	4	0.286	02:40:67	4.15
	5	0.288	02:58:81	4.52
	เฉลี่ย	0.284 ± 0.0030	02:26:53 ± 0.17	4.30 ± 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่เวลาในการต้มย่อยเยื่อต่างกัน

เวลาในการต้มย่อยเยื่อ	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
1 ชั่วโมง	1	0.341	00:38:53	2.69
	2	0.345	00:32:90	2.54
	3	0.343	00:39:85	3.63
	4	0.342	00:30:75	2.99
	5	0.346	00:36:99	2.99
	เฉลี่ย	0.343 ± 0.0021	00:35:80 ± 3.85	2.97 ± 0.42
2 ชั่วโมง	1	0.339	00:41:64	3.14
	2	0.340	00:33:28	2.14
	3	0.343	00:28:89	2.99
	4	0.337	00:28:58	2.27
	5	0.337	00:25:63	2.54
	เฉลี่ย	0.339 ± 0.0025	00:31:60 ± 6.24	2.62 ± 0.44
3 ชั่วโมง	1	0.342	00:17:93	2.14
	2	0.340	00:17:60	2.27
	3	0.344	00:21:04	2.01
	4	0.337	00:24:23	2.27
	5	0.339	00:18:06	2.01
	เฉลี่ย	0.340 ± 0.0027	00:19:77 ± 2.85	2.14 ± 0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

วิธีลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
หั่น 1 ซม.	1	0.288	02:45:40	4.71
	2	0.286	02:36:79	4.34
	3	0.282	02:10:99	3.80
	4	0.280	02:40:67	4.15
	5	0.280	02:58:81	4.52
	เฉลี่ย	0.284 ± 0.0036	02:26:53 ± 0.18	4.30 ± 0.35
ปั่นละเอียด	-	0.280	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-

ตารางที่ ข-6 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้าต่างกัน

วิธีลดขนาดของกาบกล้วยน้ำว้า	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
หั่น 1 ซม.	1	0.344	00:17:93	2.14
	2	0.343	00:17:60	2.27
	3	0.338	00:21:04	2.01
	4	0.339	00:24:23	2.27
	5	0.338	00:18:06	2.01
	เฉลี่ย	0.340 ± 0.0029	00:19:77 ± 2.85	2.14 ± 0.13
ปั่นละเอียด	-	0.330	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
30	1	0.200	46:54:91	6.60
	2	0.201	32:18:96	5.72
	3	0.201	20:07:77	5.94
	4	0.200	28:01:14	6.6
	5	0.209	29:10:84	5.72
	เฉลี่ย	0.202 ± 0.0038	31:18:72 ± 9.68	6.12 ± 0.45
70	1	0.246	01:03:27	2.54
	2	0.240	01:39:13	2.01
	3	0.243	01:24:10	1.59
	4	0.242	01:52:13	1.89
	5	0.248	01:34:75	1.89
	เฉลี่ย	0.244 ± 0.0039	01:30:68 ± 0.18	1.98 ± 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษผสมโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
30	1	0.315	04:48:56	3.14
	2	0.297	06:42:48	3.14
	3	0.301	03:12:52	2.99
	4	0.295	05:44:62	3.30
	5	0.309	07:07:84	2.84
	เฉลี่ย	0.303 ± 0.0084	05:31:21 ± 1.56	3.082 ± 0.17
70	1	0.248	00:38:34	1.65
	2	0.246	00:33:98	1.54
	3	0.241	00:47:95	1.71
	4	0.245	00:47: 65	1.65
	5	0.245	00:44:95	1.77
	เฉลี่ย	0.245 ± 0.0025	00:42:57 ± 6.17	1.66 ± 0.85

ตารางที่ ข-9 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษที่ได้จากเยื่อกระดาษเก่า 100 %

ปริมาณเยื่อกระดาษเก่าใน 100 ส่วน	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
100	1	0.287	00:12:33	1.13
	2	0.283	00:11:34	1.04
	3	0.280	00:13:93	1.04
	4	0.283	00:10:99	0.95
	5	0.283	00:14:11	1.33
	เฉลี่ย	0.283 ± 0.0025	00:12:54 ± 1.44	1.10 ± 0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

ชนิดสารละลายเบส	ทดสอบครั้งที่	ความหนาของกระดาษ (mm)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
0.15%w/v NaOH	1	0.649	00:09:84	0.57
	2	0.642	00:14:59	0.64
	3	0.639	00:07:87	0.86
	4	0.645	00:07:60	0.86
	5	0.647	00:05:90	0.57
	เฉลี่ย	0.644 ± 0.0040	00:09:16 ± 3.34	0.70 ± 0.15
0.15% w/v $Ca(OH)_2$	1	0.645	00:05:16	0.86
	2	0.649	00:09:14	0.78
	3	0.649	00:04:06	0.64
	4	0.639	00:07:64	0.71
	5	0.640	00:08:03	0.64
	เฉลี่ย	0.644 ± 0.0048	00:04:74 ± 2.11	0.73 ± 0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
น้ำหนักกระดาษ

วิธีหาน้ำหนักของกระดาษ

1. ตัดกระดาษที่ต้องการหาน้ำหนักขนาด 5x5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 5 ชิ้น
2. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110°C นาน 3 ชั่วโมง
3. นำออกจากตู้อบแล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำกระดาษที่ได้จากข้อ 3 ไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ค-1 แสดงผลการทดลองของน้ำหนักของกระดาษประเภทต่างๆ

ครั้งที่	น้ำหนักหลังอบของกระดาษประเภทต่างๆ (กรัม)	
	A	B
1	0.2342	0.1404
2	0.2251	0.1561
3	0.1901	0.1527
4	0.2043	0.1799
5	0.2055	0.1731
เฉลี่ย	0.2118	0.1604

หมายเหตุ A แทนด้วยกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียด

B แทนด้วยกระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 30% โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

สาเหตุที่เลือกกระดาษสองประเภทนี้เนื่องจากเป็นกระดาษจากกาบกล้วย 100% และกระดาษผสมที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

จากค่าน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ ค-1 นั้นมีหน่วยเป็นกรัมต่อพื้นที่ในหน่วยตาราง-เซนติเมตร ดังนั้นจึงเปลี่ยนหน่วยเป็นกรัมต่อ 1 ตารางเมตร ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 แสดงผลการคำนวณน้ำหนักของกระดาษประเภทต่างๆ

ประเภทของกระดาษ	น้ำหนักกระดาษ (g/m^2)
A	84.72
B	64.16

ตารางที่ ค-3 แสดงน้ำหนักของกระดาษคราฟท์มาตรฐานที่ผลิตในอุตสาหกรรม

ชนิดของกระดาษคราฟท์มาตรฐาน	น้ำหนักกระดาษ (g/m^2)	น้ำหนักเฉลี่ยกระดาษ (g/m^2)
CA 125	119-131	125.0
KI 125	119-131	125.0
KI 150	142-157	149.5
KI 185	175-194	184.5
KA 125	119-131	125.0
KA 150	142-157	149.5
KA 185	175-194	184.5
KA 230	218-241	229.5

จากนั้นทำการเปรียบเทียบกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าและกระดาษผสมว่ามีความใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานที่ผลิตในอุตสาหกรรมชนิดใด ซึ่งหาได้จากการนำค่าความแข็งแรงดึงหารด้วยน้ำหนักกระดาษชนิดนั้น ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 แสดงผลการเปรียบเทียบกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าและกระดาษผสมกับกระดาษคราฟท์มาตรฐาน

ชนิดของกระดาษ	น้ำหนักกระดาษ (g/m^2)	ความแข็งแรงดึง (N/mm^2)	ความแข็งแรงดึง/น้ำหนักกระดาษ
A	84.72	15.1460	0.1788
B	64.16	15.2480	0.2376
CA 125	125.0	26.6362	0.2131
KI 125	125.0	32.0212	0.2562
KI 150	149.5	32.0215	0.2142
KI 185	184.5	37.2725	0.2020
KA 125	125.0	31.7275	0.2538
KA 150	149.5	40.0850	0.2682
KA 185	184.5	45.6182	0.2472
KA 230	229.5	44.8812	0.1956

จากตารางที่ ค-4 พบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาต้มย่อยเยื่อ 3 ชั่วโมง ใช้การลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดมีความใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 230 ส่วนกระดาษผสมที่มีเยื่อกระดาษเก่า 30% โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการย่อยเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้ามีความใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (0.18 g/100 ml) ดังนั้นจึงหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีวิธีทดลองดังต่อไปนี้

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP)

นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งให้ได้น้ำหนักของสารที่แน่นอนอยู่ระหว่าง 10.2 - 10.3 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้) นำมาละลายน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 cm^3 และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายนี้

2. การเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

นำแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งให้ได้น้ำหนัก 6 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 cm^3 จากนั้นนำไปกรองแยกตะกอนออก นำแต่ส่วนที่เป็นสารละลายใสมาทำการไทเทรตต่อไป

3. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

นำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้ในข้อ 2 ข้างต้นมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิในข้อ 1 โดยวิธีต่อไปนี้

3.1 เทสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตลงในบิวเรตต์

3.2 ใช้ปิเปตต์ขนาด 10 cm^3 ดูดสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 cm^3 แล้วหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 2-3 หยด ได้สารละลายสีชมพูแล้วไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตพร้อมทั้งเขย่า จนได้สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ใช้ไป

3.3 ทำการไทเทรตซ้ำอีกครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและการคำนวณ

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP)

น้ำหนักโมเลกุล KHP 204.23

น้ำหนักโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 10.2789 กรัม

ละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 cm^3

ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) หาได้จาก

$$\frac{\text{น้ำหนัก KHP}}{\text{มวลโมเลกุล KHP}} = \frac{MV}{1000}$$

$$\frac{10.2789}{204.23} = \frac{M(100)}{1000}$$

$$M = 0.5033 \text{ mol/dm}^3$$

ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต = 0.5033 mol/dm^3

2. ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ง-1 แสดงปริมาตรสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ KHP ที่ใช้ในการไทเทรต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ KHP ที่ใช้ในการไทเทรต(cm^3)
1	0.80
2	0.80
เฉลี่ย	0.80

คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ได้จาก

$$\frac{\text{จำนวนโมล KHP}}{2} = \text{จำนวนโมล } Ca(OH)_2$$

$$M_1V_1 = (2)\, M_2V_2$$

$$(0.5033)(0.8) = M_2\,(2)\,(10)$$

$$M_2 = 0.02013 \text{ mol/dm}^3$$

ดังนั้นความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ = 0.149 % w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

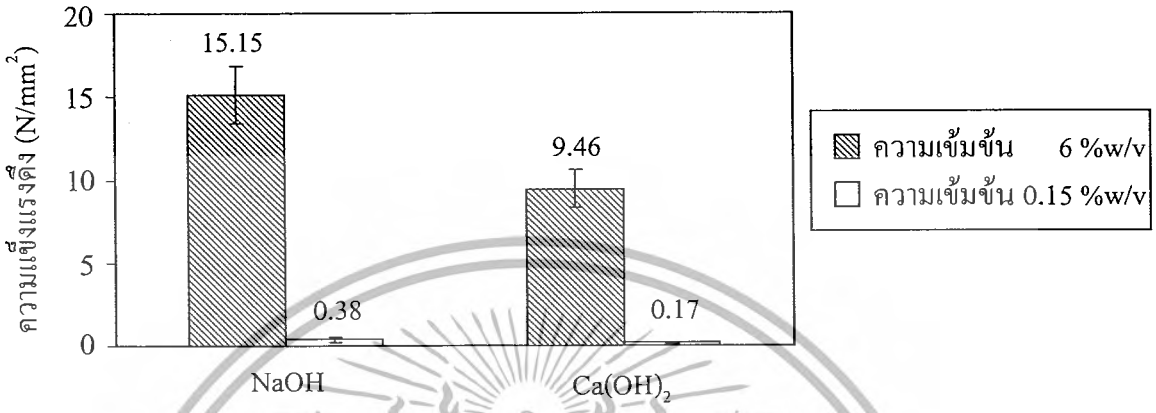
สมบัติของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

จากภาคผนวก ค. พบว่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์คือร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นนี้ในการย่อยเยื่อ แล้วทำการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นกระดาษจากกาบกล้วยที่ได้ ผลแสดงดังรูปที่ จ-1 กับ จ-2 และตารางที่ จ-1 กับ จ-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมบัติเชิงกล

- ความแข็งแรงดึง

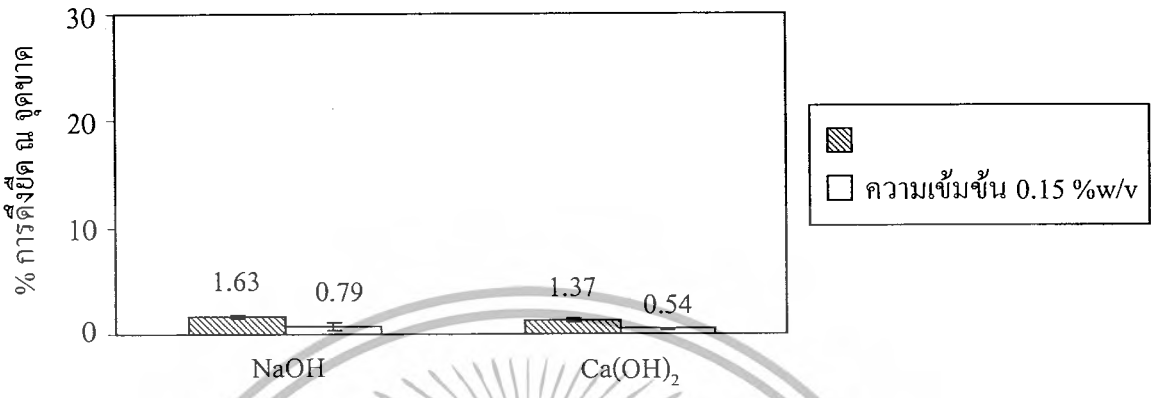


รูปที่ จ-1 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของกระดาษที่ใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

จากรูปที่ จ-1 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษจากกาบกล้วยที่ใช้สารละลายเบสเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายเบสที่ใช้ในการย่อยเยื่อนั้นต่ำเกินไปจนไม่อาจสามารถทำลายพันธะให้เกิดการเกี่ยวพันกันของเส้นใยได้ ซึ่งในกรณีของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้น ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำที่มีอยู่ในความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อาจมีส่วนในการทำปฏิกิริยากับเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



รูปที่ จ-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

จากรูปที่ จ-2 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากโครงสร้างของโซ่โมเลกุลเซลลูโลสเป็นแบบเชิงเส้นจัดเรียงสายโซ่เป็นระเบียบมีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่เรียงชิดกันได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถในการยืดตัวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การซึมน้ำและน้ำมัน

ตารางที่ จ-1 แสดงผลการซึมน้ำของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

ความเข้มข้นของสารละลายเบส	ความหนาของกระดาษ (mm.)	เวลาซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (นาที/น้ำ 1 หยด)	พื้นที่ซึมน้ำ/ปริมาณน้ำ (cm^2/น้ำ 1 หยด)
0.15 %w/v NaOH	0.642	00:04:11 ± 0.31	1.00
6 %w/v NaOH	0.359	00:40:63 ± 5.45	2.55
0.15 %w/v $Ca(OH)_2$	0.646	00:04:74 ± 0.43	0.92
6 %w/v $Ca(OH)_2$	0.258	00:53:03 ± 18.32	2.02

ตารางที่ จ.2 แสดงผลการซึมน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยใช้สารละลายเบสที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 0.15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการย่อยเยื่อ

ความเข้มข้นของสารละลายเบส	ความหนาของกระดาษ (mm.)	เวลาซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (นาที/น้ำมัน 1 หยด)	พื้นที่ซึมน้ำมัน/ปริมาณน้ำมัน (cm^2/น้ำมัน 1 หยด)
0.15%w/v NaOH	0.644	00:09:16 ± 3.34	0.70
6%w/v NaOH	0.280	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-
0.15%w/v $Ca(OH)_2$	0.644	00:04:74 ± 2.11	0.73
6%w/v $Ca(OH)_2$	0.330	เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปรากฏว่าซึมผ่านไม่หมด	-

จากตารางที่ จ-1 และ จ-2 พบว่าการซึมน้ำและน้ำมันของกระดาษจากกาบกล้วยที่ใช้สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรใช้เวลามากกว่า อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นมากสามารถทำลายกลุ่มเส้นใยได้มาก ทำให้ไม่ค่อยมีกลุ่มของเส้นใย ทำให้มีช่องว่างในเนื้อกระดาษน้อย ดังนั้นน้ำและน้ำมันจึงซึมผ่านได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้