สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตกระดาษจากต้นโสนและการประยุกต์ใช้งาน

T107907

นภาพร ยิ้มรักญาติ
วิมลณัฐ ว่องวงศ์อารี
วาสนา เสนาคำ

วศ.
ว.1977 ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107907
วัน.เดือน.ปี.....8 ส.ค. 2553

b 12213081
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of paper from Jointvetch and applications

Naphaporn Yimrakyart

Wimonnat Wongwongaree

Wassana Senakum

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for

The Degree of Bachelor of Science

Major in Environmental Resource Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การผลิตกระดาษจากต้นโสนและการประยุกต์ใช้งาน	
นักศึกษา	นางสาวนภาพร	ยิ้มรักญาติ
	นางสาววิมลณัฐ	ว่องวงศ์อารี
	นางสาววาสนา	เสนาคำ
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ การผลิตกระดาษจากต้นโสนและการประยุกต์ใช้งาน

นักศึกษา นางสาวนภาพร ยิ้มรักญาติ
นางสาววิมลณัฐ ว่องวงศ์อารี
นางสาววาสนา เสนาคำ

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำกระดาษจากต้นโสน โดยทำการต้มไม้โสนน้ำหนัก 200 กรัม ของน้ำหนักแห้งของโสนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18, 20 และ 22 เปอร์เซนต์(w/v) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรให้ได้1600 ลิตร จะได้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักไม้โสนแห้ง 8:1 โดยทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ผสมเยื่อกระดาษด้วยสารส้ม ชันสน แป้งมันก่อนทำการขึ้นเป็นแผ่น จากนั้นทำการทดสอบสมบัติพื้นฐานของกระดาษพบว่า กระดาษที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีสมบัติพื้นฐานที่ดีที่สุดสำหรับการทำเป็นบรรจุภัณฑ์

จากผลการทดลอง เยื่อกระดาษที่ผ่านการต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 22 เปอร์เซนต์(w/v) ต้มที่เวลา 3 ชั่วโมง ให้สมบัติแรงดันทะลุดีที่สุด มาขึ้นแผ่นกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน เพื่อทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย, ขนาดของอนุภาคที่ไหลผ่านกระดาษ และความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์โลหะหนัก

จากการทดลอง พบว่า กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันมีสมบัติการยับยั้งเชื้อที่ดีที่สุด, มีขนาดอนุภาคที่ไหลผ่านกระดาษที่เล็กที่สุดเท่ากับ 4.5 ไมครอน และสามารถพัฒนาเพื่อใช้ในงานวิเคราะห์โลหะหนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of paper from Jointvetch and applications	
Name	Ms. Naphaporn	Yimrakyart
	Ms. Wimonnat	Wongwongaree
	Ms. Wassana	Senakum
Department	Chemistry	
Program	Enviromental Resource Chemistry	
Academic Year	2007	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suwan	Chaiyasith

ABSTRACT

This research studies preparation of paper from Jointvetch. The Jointvetch trunk of 200 g dry weight was boiled at 170 c in 100 ml caustic solution at varied concentration of 18%,20% and 22% (w/v).The total volume was adjusted to 1600 ml with water to make ratio of caustic solution sodium and wood of 8:1.Boiling time was varied at 2 and 3 hours. The pulp was mixed alum , rosin and starch, before making sheet using hand-sheet machine. The paper sheets were characterizated their basic properties. The results show that pulp boiled in 20 % (w/v) caustic solution at 3 hours provided the best properties for packaging.

The Jointvetch pulp, boiled in 22% caustic solution at 3 hours, exhibited the best bursting strength. The paper sheet from this type of pulp was prepared by mixing nanozinc oxide and starch. The properties of paper in bacterial inhibition, particle size seepage and were investigated. Be sided, the possibility in the use of paper from Jointvetch for heavy metal analyses was proposed.

The result showed that the paper from pulp mixing with nanozinc oxide together with starch provided the best performance in bacterial control. The smallest particle size that could penetrate through the paper was 4.5 micrometres.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานในโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ข้อมูลของเครื่องมือและคำแนะนำในการทำกระดาษ

นางสาวนภาพร ยิ้มรักญาติ

นางสาววิมลณัฐ ว่องวงศ์อารี

นางสาววาสนา เสนาคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1กระดาษ	3
2.1.1 ความหมาย	3
2.1.2 ประวัติความเป็นมาของกระดาษ	4
2.1.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ	5
2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้	6
2.1.5 การผลิตเยื่อกระดาษ	9
2.1.6 การผลิตแผ่นกระดาษ	10
2.1.7 องค์ประกอบของกระดาษ	11
2.1.8 ประเภทของกระดาษ	13
2.1.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติกระดาษ	13
2.2 ต้นโสน	15
2.3 เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา	15
2.4 นาโนซิงค์ออกไซด์	17
2.5 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอีดีทีเอกับโลหะไอออน	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์	26
3.3 เครื่องทดสอบ	27
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
3.5 การทดสอบสมบัติของกระดาษ	30
3.6 การประยุกต์ใช้กระดาษต้นโสนเพื่อใช้เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนัก	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก	74
ภาคผนวก ข	97
ภาคผนวก ค	103
ภาคผนวก ง	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน 9

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าพีเอช ที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับอีดีทีเอ 21

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาขนาดอนุภาคของ$CaCO_3$ ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษสภาวะต่างๆ 64

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปา เมื่อผ่านการกรองที่ กระดาษสภาวะต่างๆ 65

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบหา clear zone บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ของกระดาษที่สภาวะต่างๆ 66

ตารางที่ 4.4 แสดงการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน 67

ตารางที่ 4.5 แสดงการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนบนกระดาษกรองเบอร์42 กับกระดาษที่ผลิตจากต้นโสน 68

ตารางที่ ก.1 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาว 74

ตารางที่ ก.2 การทดสอบความหนาของกระดาษ 75

ตารางที่ ก.3 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ 76

ตารางที่ ก.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ 77

ตารางที่ ก.5 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ 78

ตารางที่ ก.6 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ 79

ตารางที่ ก.7 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ 80

ตารางที่ ก.8 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ผ่านการฟอก 80

ตารางที่ ก.9 การทดสอบความหนาของกระดาษ 81

ตารางที่ ก.10 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ 82

ตารางที่ ก.12 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ 83

ตารางที่ ก.13 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ 84

ตารางที่ ก.14 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ 84

ตารางที่ ก.15 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 85

ตารางที่ ก.16 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 86

ตารางที่ ก.17 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 87

ตารางที่ ก.18การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.19 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 89
ตารางที่ ก.20 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 90
ตารางที่ ก.21 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 90
ตารางที่ ก.22 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 91
ตารางที่ ก.23 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 92
ตารางที่ ก.24 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 93
ตารางที่ ก.25 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 94
ตารางที่ ก.26 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 95
ตารางที่ ก.27การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 96
ตารางที่ ก.28การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส	7
รูปที่ 2.2โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน	8
รูปที่ 2.4โครงสร้างของ *Staphylococcus aureus*	16
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ *Micrococcus luteus*	16
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ *Serratia marcescen*	17
รูปที่ 2.7โครงสร้างของนาโนซิงค์ออกไซด์	18
รูปที่ 2.8 โครงสร้างสารเชิงซ้อนแบบซีเลตของ M^{+} กับอีดีทีเอ	19
รูปที่ 2.9 ค่าพีเอชที่ต่ำที่สุดที่โลหะต่างๆสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ	20
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ	36
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ	37
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ	38
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ	39
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ	40
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ	41
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ	42
รูปที่ 4.8 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษ	43
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ	44
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ	45
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ	46
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความด้านทานแรงฉีกขาดของ	47
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ	48
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ	49
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์	50
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์	51
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์	52
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์	53
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 55
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 56
รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 57
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 58
รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์
และแป้งมัน 59
รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ
ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 60
รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ
ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 61
รูปที่ 4.27 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ
ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 62
รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมัน 63
รูปที่ ข.1 ภาพกระดาษจากต้นโสนที่กำลังขยาย 100 เท่า 97
รูปที่ ข.2 ภาพกระดาษกรองเบอร์1 ที่กำลังขยาย 100 เท่า 97
รูปที่ ข.3 ภาพกระดาษจากต้นโสนที่กำลังขยาย 500 เท่า 98
รูปที่ ข.4 ภาพกระดาษกรองเบอร์1 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 98
รูปที่ ข.5 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปา 99
รูปที่ ข.6 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษ
ที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมัน 99
รูปที่ ข.7 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออก
ไซด์และผสมแป้ง 6 % 100
รูปที่ ข.8 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออก
ไซด์ 0.6 g 100
รูปที่ ข.9 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Micrococcus* letues 101
รูปที่ ข.10 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้ง เชื้อ *S.aureus* 101
รูปที่ ข.11 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Serrat.a* 102
รูปที่ ค.1 ภาพสารละลายคอปเปอร์ 103
รูปที่ ค.2 ภาพสารละลายเหล็ก(ii) 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.3 ภาพสารละลายโครเมียม	105
รูปที่ ค.4 ภาพสารละลายนิกเกิล	106
รูปที่ ง.1 ภาพนาโนซิงออกไซด์ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า	107
รูปที่ ง.2 ภาพนาโนซิงออกไซด์ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงทำให้ทุกภูมิภาคของประเทศจะมีต้นโสนขึ้นอยู่เองตามธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ซึ่งในอดีตจะเป็นภาระของเจ้าของพื้นที่ที่ต้องกำจัดออก แต่ในปัจจุบันมีการนำต้นโสนมาก่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้นโดยนำมาทำเป็นดอกไม้ประดับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งโครงการนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลอยู่ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์อีกด้วย

กระดาษเป็นวัสดุที่เราใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวันทั้งเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุสิ่งของต่างๆ เป็นเอกสารเพื่อใช้ในการบันทึกข้อความ รวมทั้งใช้เป็นกระดาษกรองในงานทางด้านวิทยาศาสตร์อีกด้วยจึงทำให้ในปัจจุบันมีอัตราการใช้กระดาษเพิ่มสูงขึ้น อันเป็นเหตุให้มีความต้องการวัตถุดิบในการผลิตกระดาษเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลต่อจำนวนป่าไม้ของประเทศที่ลดลง

ปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการนำเซลลูโลสที่มีในพืชเกือบทุกชนิดมาใช้ประโยชน์และยังมีการผลิตเซลลูโลสจากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์อีกด้วย การนำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ก็มีมากมายก่อให้เกิดรายได้ในชุมชน เช่น การผลิตกระดาษสา การผลิตกระดาษเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนพลาสติก จนเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก [1,2]

ในอุตสาหกรรมกระดาษได้มีประยุกต์ใช้กระดาษเคลือบกับสารบางอย่าง เช่น อีดีทีเอเพื่อใช้เป็นชุดทดสอบโลหะหนัก[3] และได้มีการนำซิงค์ออกไซด์มาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษเพราะสมบัติที่น่าสนใจของซิงค์ออกไซด์มีหลายประการ คือ เมื่อซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตรนั้น จะมีสมบัติที่ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ได้แก่ สมบัติในการเรืองแสง (Luminescence) การดูดซับ (Adsorption) การสะท้อนกลับ (Reflectivity) การเหนี่ยวนำทางแสง (Photoconductivity) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และการโปร่งแสง (Transparency invisible) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆเพื่อต่อต้านแบคทีเรียด้วย [4]

จากความจำเป็นในการใช้กระดาษที่มากขึ้นและการนำซิงค์ออกไซด์มาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับปริมาณต้นโสนที่มีจำนวนมาก และเป็นภาระต่อเจ้าของพื้นที่ที่จะต้องขุดออกจากพื้นที่และนำไปเผาเพื่อจัดต่อไป จึงเป็นแรงจูงใจในการทำการศึกษาทดลองในการนำเส้นใยเซลลูโลสจากต้นโสนมาทำเป็นกระดาษเพื่อใช้ประยุกต์ใช้ในงานต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากต้นโสน

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกระดาษจากต้นโสนมาใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์

3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมแผ่นกระดาษจากต้นโสนผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปาของกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

5. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, และ *Serratia marcescen* ของกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

6. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากต้นโสน เพื่อนำมาใช้เป็นชุดทดสอบโลหะหนัก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมในการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

2. ศึกษาวิธีการทำกระดาษจากต้นโสนเพื่อทำบรรจุภัณฑ์

3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมแผ่นกระดาษจากต้นโสนผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

4. ศึกษาประสิทธิภาพการกรองฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปาของกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

5. ศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ *Micrococcus luteus* , *Staphylococcus aureus* และ *Serratia marcescen* ของกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

6. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากต้นโสนเพื่อนำมาใช้เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนัก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตกระดาษจากต้นโสนได้

2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากต้นโสน

3. สามารถนำกระดาษจากต้นโสนมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ได้

4. สามารถนำกระดาษผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมันมาฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้

5. สามารถนำแผ่นกระดาษจากต้นโสนมาประยุกต์เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระดาษ

2.1.1 ความหมายของกระดาษ [5 ,6]

กระดาษ (Paper) ใยแผ่นวัสดุบางซึ่งทำจากเส้นใยของพืช ฟางหญ้า หรือเศษผ้า ใช้เขียนหรือพิมพ์หรือห่อของและอื่นๆ นอกจากนี้อาจมีการผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) ต่างๆตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสารเติมแต่งอาจเติมไปก่อนการขึ้นแผ่น (sheet forming) หรือหลังการขึ้นแผ่นแล้วก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระดาษที่ต้องการ กระดาษที่ผลิตโดยทั่วไปมีน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ระดับสูงกว่า 35-225 g/m^2 กระดาษที่ผลิตที่ระดับสูงกว่า 225 g/m^2 ถือว่าเป็นกระดาษแข็ง (paperboard)

แต่ถ้ากล่าวถึงความหมายของกระดาษในเชิงเส้นใย สามารถกล่าวได้ดังนี้

กระดาษ คือ แผ่นเส้นใยซึ่งเรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบและสามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน คำจำจัดความนี้สามารถอธิบายกระดาษและกระดาษแข็งได้ทุกชนิดกระดาษและกระดาษแข็งแต่ละชนิดอาจมีสมบัติต่างกัน แต่มีพื้นฐานที่เหมือนกัน คือ

ก.เส้นใยสามารถเกิดพันธะระหว่างกันได้โดยไม่ต้องใช้สารยึดเกาะ (Adhesive) หรือกาว (Glue)

ข.เส้นใยเรียงตัวกันอย่างไม่มีระเบียบ

จากคำจำกัดความพื้นฐานข้อ ก. เห็นได้ชัดว่าเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) จัดเป็นเส้นใยที่มีสมบัติตามคำจำกัดความ เพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ และจากการที่พันธะเส้นใยสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกันได้ ทำให้เส้นใยเซลลูโลสสามารถแขวนลอยและกระจายในน้ำได้ คำกำจัดความพื้นฐานของข้อ ข. จึงเป็นไปได้ เพราะเส้นใยสามารถเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบได้

เส้นใยพืชทุกชนิดสามารถนำมาใช้ทำกระดาษได้ เส้นใยเหล่านี้สามารถแขวนลอยและกระจายได้ในน้ำ ขั้วโมเลกุลน้ำและกลุ่มไฮดรอกซิลในเซลลูโลสเกิดพันธะระหว่างกันได้ การเลือกใช้พืชชนิดใดในการผลิตกระดาษ ขึ้นอยู่กับสมบัติด้านความแข็งแรง ความเรียบของผิวและสมบัติอื่นๆที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมใช้เส้นใยจากไม้เป็นหลักในการผลิตกระดาษแต่บางครั้งก็ใช้เส้นใยจากพืชอื่นที่ไม่ใช่ไม้ เช่น ปอกระเจา ฟางข้าว ชานอ้อย ไม้ไผ่ ในกรณีที่ซึ่งเกิดกระบวนการผลิดเยื่อชนิดต่างๆขึ้นมา โดยได้เริ่มมีการผลิตเยื่อเชิงกลสำเร็จเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1840 ที่ประเทศเยอรมัน และในปี ค.ศ. 1851 ได้ค้นพบกระบวนการผลิตเยื่อเคมีโซดาได้สำเร็จเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี ค.ศ. 1884 ที่ประเทศเยอรมันมีการค้นพบการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญในกระบวนการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ต้มภายใต้ความดันได้สำเร็จ เยื่อกระดาษที่ได้มีความเหนียวมาก จึงเรียกกระบวนการผลิตเยื่อแบบนี้ว่า “kraft process” มาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำศัพท์ภาษาเยอรมันแปลว่า “เหนียว” หรือเรียกว่า กระบวนการซัลเฟต (sulfate kraft process) ซึ่งเยื่อส่วนมากที่ใช้ในปัจจุบันผลิตจากกระบวนการนี้เป็นส่วนใหญ่

2.1.2 ประวัติและความเป็นมาของกระดาษ

1) วิวัฒนาการของกระดาษ [5]

เมื่อประมาณ 2400 ปีก่อนคริสตกาล ชาวอียิปต์โบราณได้ค้นพบวิธีในการบันทึกเรื่องราวต่างๆ บนแผ่นวัสดุ ซึ่งทำจากพืชชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ปาปิรุส (papypus) โดยนำส่วนลำต้นปาปิรุสมาฝานเป็นชิ้นบางๆ ตามความยาวของลำต้นแล้วนำมาเรียงซ้อนในลักษณะขวางกัน หลังจากนั้นนำไปทุบให้เป็นแผ่นบางแล้วเคลือบผิวด้วยกาว ดังนั้นคำว่า “paper” มีรากศัพท์มาจากคำว่า “papyrus” ของชาวอียิปต์โบราณนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามคำว่า “papyrus” ไม่ได้มีความหมายเดียวกันกับคำว่า paper ที่เราใช้กันในปัจจุบัน เพราะเส้นใยของปาปิรุสไม่ได้แยกตัวออกจากกันตามความหมายของการผลิตกระดาษแบบปัจจุบัน

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

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

การผลิตกระดาษในระยะแรกๆนั้น เป็นการผลิตด้วยมือ ทั้งสิ้น ซึ่งไม่สามารถสนองต่อความต้องการการใช้กระดาษได้อย่างเพียงพอ ในปี ค.ศ. 1789 ชาวฝรั่งเศส ชื่อ Nicolas Loius Robert ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรผลิตกระดาษที่มีความยาวต่อเนื่องได้สำเร็จ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับวิธีการผลิตกระดาษด้วยมือ ต่อมามีพี่น้องตระกูล Fourdrinier ได้ปรับปรุงพัฒนาเครื่องจักรให้ดีขึ้นกว่าเดิม และให้ชื่อเครื่องจักรที่ผลิตกระดาษว่า Fourdrinier ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษจนตราบทุกวันนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษเชิงอุตสาหกรรมในช่วงแรกเป็นการใช้เส้นใยที่ได้จากเศษผ้าและฝ้าย ซึ่งมีปริมาณไม่มากพอกับความต้องการใช้กระดาษ จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าการนำเส้นใยจากไม้มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษซึ่งทำให้เกิดกระบวนการผลิตเยื่อต่างๆขึ้นมา การผลิตเยื่อเชิงกลสำเร็จครั้งแรกในปี ค.ศ. 1840 ที่ประเทศเยอรมัน และในปี ค.ศ. 1851 ได้ค้นพบกระบวนการผลิตเยื่อเคมีโซดาได้สำเร็จเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี ค.ศ. 1884 ที่ประเทศเยอรมันมีการค้นพบการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญในกระบวนการผลิตเยื่อโดยใช้สารเคมี 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ ต้มภายใต้ความดัน เยื่อกระดาษที่ได้จะมีความเหนียวมาก จึงเรียกกระบวนการผลิตแบบนี้ว่า " kraft process " มาจากคำศัพท์ภาษาเยอรมันว่า
"เหนียว" หรือเรียกว่ากระบวนการซัลเฟต (sulfate kraft process) ซึ่งเยื่อส่วนมากที่ใช้ในปัจจุบันผลิตจากกระบวนการนี้เป็นส่วนใหญ่

2) วิวัฒนาการของกระดาษในประเทศไทย [5]

ในปี พ.ศ. 1826 สมัยสุโขทัยได้เริ่มมีการประดิษฐ์อักษรไทย การบันทึกเรื่องราวของคนไทยเป็นการเขียนด้วยมือลงบนใบลานและบนกระดาษข่อย

ต่อมาในสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่4 โปรดเกล้าฯให้จัดตั้งโรงพิมพ์หลวงขึ้นเป็นครั้งแรก แต่ในสมัยนั้นต้องสั่งกระดาษเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งมีราคาแพงและไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2466 ปลายรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 โปรดเกล้าฯ ให้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตกระดาษด้วยเครื่องจักรขึ้นแห่งแรกในประเทศไทยที่ท่าพายัพ ตำบลสามเสน พระนคร วัตถุดิบที่ใช้เป็นเศษกระดาษที่เก็บจากสถานที่ทำการของรัฐบาลและซื้อมาจากประชาชน นำมาบดเป็นเยื่อเพื่อทำเป็นกระดาษ

ในปี พ.ศ. 2479 กรมแผนที่ทหารบกได้ดำเนินจัดสร้างโรงงานกระดาษขึ้นอีกแห่งหนึ่งที่จังหวัดกาญจนบุรี และเปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2481 วัตถุดิบที่ใช้ทำเยื่อกระดาษเป็นไม้ไผ่ ไม้ราก ไม้เบญจพรรณเนื้ออ่อน ต่อมาในปี พ.ศ. 2500 ทางราชการได้จัดตั้งโรงงานกระดาษบางประอินขึ้นที่ตำบลบางกระสั้น อำเภอบางประอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลิตกระดาษจากหญ้าขจรจบ ฟางข้าว และเยื่อกระดาษที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ กระดาษที่ผลิตได้เป็นกระดาษปอนด์ขาวที่ใช้เป็นกระดาษสำหรับพิมพ์และเขียน หลังจากปีนี้ทางราชการได้มีการส่งเสริมให้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตกระดาษของเอกชนขึ้น ซึ่งได้เกิดขึ้นมากมายจนถึงปัจจุบัน

แต่การผลิตกระดาษของไทยที่มีมาตั้งแต่ในอดีตนั้นยังคงขาดการพัฒนาด้านเทคโนโลยี จึงทำให้กระบวนการผลิตมีคุณภาพต่ำและให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตแต่ก็ยังให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อการใช้งานในประเทศ ยังคงต้องสั่งซื้อกระดาษจากต่างประเทศเข้ามาใช้อยู่อีกเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในงานด้านการพิมพ์และการเขียน

2.1.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ [6]

ไม้จัดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำเยื่อกระดาษ (wood pulp) ไม้ทุกชนิดสามารถนำมาเป็นเยื่อกระดาษได้ เราสามารถจำแนกไม้ได้เป็น 2 พวกคือ

1) พวกที่เป็นเนื้อไม้ (wood) เป็นส่วนที่ได้จากส่วนเนื้อของลำต้นพืชยืนต้น ซึ่งให้เส้นใยขนาดต่างๆกัน อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) เป็นเนื้อไม้จากพืชยืนต้นพวกเองจิโอสเปอร์ม (angiosperm) ไม้พวกนี้มีการผลัดใบ มีใบกว้าง เช่น ไม้สัก ไม้ยาง ไม้เนื้อแข็ง มีเส้นใยค่อนข้างสั้น แข็ง มีสีเข้ม มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เส้นใยที่ได้จากไม้พวกนี้ มีคุณภาพค่อนข้างต่ำไม่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเรียกว่าเยื่อใยสั้น และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร "L" (Leaved) นำหน้าเพื่อบอกว่าเป็นเยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง

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

2) พวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (Non-wood) เป็นส่วนที่ได้จากพืชล้มลุกและเปลือกไม้ของพืชบางชนิด เส้นใยมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิด อาจแบ่งเป็น 4 กลุ่ม

ก. พืชตระกูลหญ้า (Nature 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

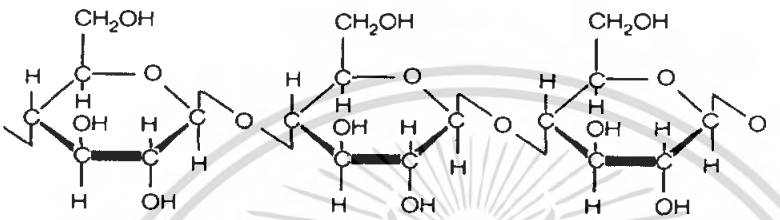
คุณสมบัติที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับคัดเลือกเป็นวัตถุดิบเพื่อทำกระดาษได้แก่ ความยาวของเส้นใย (fiber length) ปริมาณของเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถแยกออกได้ง่ายแหล่งของพืชหรือไม้ รวมทั้งต้นทุนในการผลิตวัตถุดิบจากพืชหรือไม้นั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ จะมีข้อเสียเปรียบพวกที่เป็นเนื้อไม้ เนื่องจากมีลักษณะเบา สิ้นเปลืองค่าขนส่ง แหล่งที่อยู่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป มีฤดูเก็บเกี่ยวทำให้ต้องมีการเก็บไว้ใช้ตลอดปีซึ่งพืชเหล่านั้นเสื่อมสภาพได้ง่าย การเก็บรักษาจึงมีค่าใช้จ่ายสูง[3]

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ [5]

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษไม่ว่าจะเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน หรือพวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ จะประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose)เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) สารสกัด (Extractive) เป็นต้น[3]

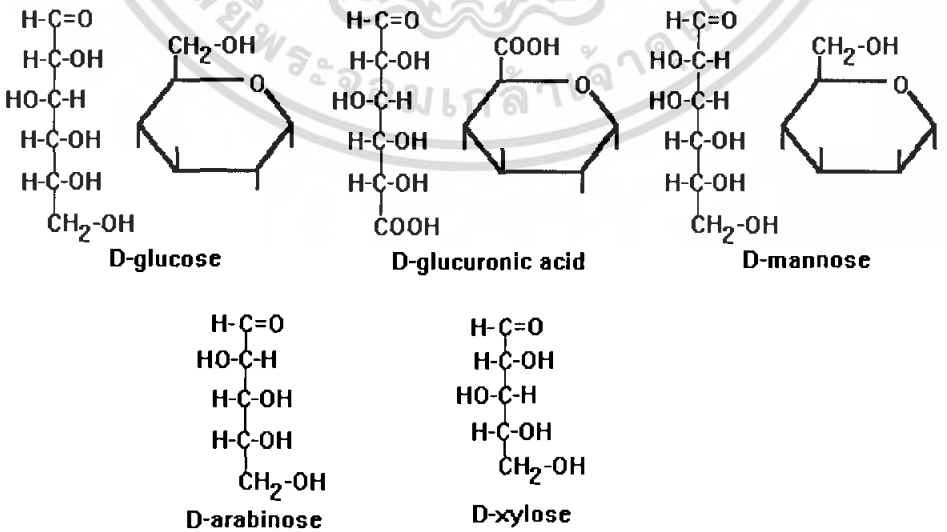
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เซลลูโลส (Cellulose) พบในเฉพาะพืชเท่านั้นและจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของดี-กลูโคส (D-Glucose) เรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะแบบเบต้า-กลูโคสิดิก ß-glucose bond โมเลกุลของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรงสีขาวและแข็งแรงมาก โมเลกุลเซลลูโลสประมาณ 3-4 โมเลกุลรวมตัวกันเป็นเส้นฟีบริล (Fibril) มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย เส้นนี้จะประกอบกันเป็นลำตัวของเส้นใยและถูกยึดติดกันด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ดังรูปที่2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส[6]

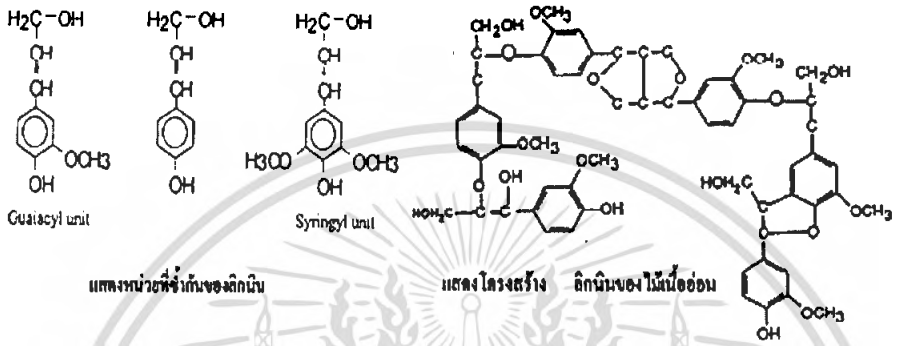
2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นเฮทเทอร์โรพอลิเมอร์ของน้ำตาลหลายชนิดผสมกัน เช่น เฮกโซส (Hexose) แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) อราบิโนส (Arabinose) น้ำตาลเหล่านี้มีสมบัติพิเศษ สามารถอมน้ำและพองตัวเมื่อสัมผัสน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญและมีความจำเป็นต่อการทำกระดาษ เฮมิเซลลูโลสจึงเป็นทำให้เส้นใยเปียกน้ำและอมน้ำ ทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ แสดงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ลิกนิน (Lignin) เป็นสารโพลิเมอร์ของสารฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane) ที่จับตัวกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่มีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ทำหน้าที่ประสานเส้นใยเข้าด้วยกันทำให้เส้นใยแข็งแรง ลิกนินเป็นสารต้านน้ำ (Hydrophobic) ถ้าเส้นใยมีปริมาณลิกนินมากจะทำให้เส้นใยไม่เปียกน้ำหรืออมน้ำ และไม่สามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ ทำให้เส้นมีคุณภาพไม่ดี แสดงโครงสร้างของลินนินดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน[6]

4) สารสกัดได้ (Extractive) เป็นสารชนิดต่างๆที่มีอยู่ในพืชเป็นสารพวกชันสนหรือยางไม้ ซึ่งถูกสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน ไดคลอโรมีเทน แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น

เส้นใยต้องประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เพื่อสร้างความแข็งแรงของเส้นใยและให้เส้นใยสามารถสร้างพันธะได้ ส่วนลิกนินเป็นตัวต้านการเกิดพันธะดังนั้นต้องกำจัดออกโดยตรงปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไว้ตามเดิม ซึ่งการกำจัดลิกนินออกในทางปฏิบัตินั้น ต้องใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่รุนแรงซึ่งจะทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเวลาเดียวกัน ดังนั้น

เมื่อกำจัดลิกนินออกมากความแข็งแรงของเส้นใยก็จะต่ำลง หรืออีกนัยหนึ่ง ถ้ายิ่งทำให้เส้นใยเปียกน้ำมากขึ้น เส้นใยก็จะยิ่งอ่อนแรงลง ในทางปฏิบัติพบว่า กระดาษมีความแข็งแรงสูงสุด เมื่อในเส้นใยมีเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 20 และลิกนินไม่เกินร้อยละ 4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน [4]

องค์ประกอบทางเคมี	ไม้เนื้ออ่อน (ร้อยละ)	ไม้เนื้อแข็ง (ร้อยละ)
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 [5,6]

เป็นขั้นตอนที่นำวัตถุดิบจากส่วนต่างๆของพืชมาย่อยด้วยกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อทำให้วัตถุดิบมีความอ่อนและแยกออกจากกันเป็นเส้นใย วัตถุดิบที่ใช้อาจมีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนนำวัตถุดิบไปย่อยจึงต้องทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก ด้วยวิธีต่างๆ เช่น ตัด บด เพื่อให้สะดวกต่อการนำเข้าไปในเครื่องย่อย การผลิตเยื่อกระดาษมีขั้นตอนในการผลิตดังต่อไปนี้

1) การย่อยเยื่อ เมื่อทำชิ้นวัตถุดิบให้มีขนาดตามที่ต้องการแล้วจึงนำวัตถุดิบไปย่อยให้เป็นเส้นใย ซึ่งมีวิธีทำได้หลายวิธี

ก. วิธีเชิงกล (Mechanical process) เป็นการย่อยวัตถุดิบด้วยวิธีกลโดยการบดให้วัตถุดิบแตกออกจากกันจนเป็นเยื่อกระดาษหรือเส้นใย เป็นวิธีการที่รวดเร็วและประหยัดที่สุดที่เยื่อเชิงกลมักใช้ในการผลิกกระดาษคุณภาพต่ำ หรืออาจใช้ผสมร่วมกันกับเยื่อประเภทอื่นเพื่อลดต้นทุน

ข. วิธีทางเคมี (Chemical process) เป็นวิธีวิธีย่อยเยื่อที่ใช้ปฏิกิริยาจากสารเคมีและความร้อนเพื่อแยกลิกนินออก สารเคมีที่ใช้ได้แก่ สารจำพวกอัลคาไลด์ ซัลเฟตและกรดซัลไฟต์ วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับเยื่อน้อยที่สุด เยื่อทางเคมีที่มีความแข็งที่สุดเตรียมได้จากการสกัดด้วยสารพวกซัลเฟต ซึ่งรู้จักโดยทั่วไปในชื่อ เยื่อคราฟท์ (Kraft pulp) วิธีนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ค. วิธีกึ่งเคมี (Semi chemical process) เป็นวิธีย่อยเยื่อด้วยการต้มด้วยสารเคมีและบดให้เส้นใยแยกออกจากกัน เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการย่อยเยื่อ และให้เยื่อที่มีคุณภาพดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตกระดาษชนิดต่างๆได้

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

2) การล้างร่อนเยื่อ เยื่อกระดาษที่ผ่านการย่อยมาแล้วอาจมีสิ่งต่างๆตกค้างในเส้นใย และเส้นใยที่ได้ยังมีขนาดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการล้างเส้นใยเพื่อทำให้เส้นใยมีความสะอาดเพิ่มขึ้นพร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแยกเส้นใยที่ยังถูกย่อยไม่สมบรูณ์ออกจากกันด้วยตะแกรงร่อน เยื่อที่ได้หลังจากล้างและแยกเพื่อคัดขนาดแล้วจะมีสีน้ำตาลหรือเหลือง ซึ่งสามารถนำไปทำกระดาษที่ไม่ต้องการความขาวมากนัก แต่กระดาษที่จะมีคุณภาพเหมาะสมกับงานบางชนิดเท่านั้น

3) การฟอกเยื่อ เส้นใยของเยื่อกระดาษที่ผ่านการล้างร่อนเยื่อมาแล้วจะมีสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เนื่องจากบางส่วนของเส้นใยยังคงมีลิกนินติดอยู่ โดยการฟอกเยื่อมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เยื่อมีสีขาวขึ้น และเหมาะสำหรับทำกระดาษเพื่อการสื่อสาร เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน สารเคมีที่ใช้ฟอกได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ หรือแคลเซียมไฮโปคลลอไรต์ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซคลอรีนที่เป็นอันตรายก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการใส่สารเคมีอื่นที่ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า สารที่ใช้คือ เปอร์ออกไซด์ ซึ่งมี 2 ชนิดคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na_2O_2) ได้กระดาษที่ขาวกว่าการใช้คลอรีน และไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม แต่มีราคาแพงกว่าคลอรีน

2.1.6 การผลิตแผ่นกระดาษ [6]

เป็นการนำกระดาษที่ย่อยจนเป็นเส้นเรียบร้อยแล้วมาทำให้เป็นแผ่นกระดาษโดยผ่านกระบวนการต่างๆดังนี้

1) การเตรียมเยื่อ (Stock preparation) เยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วนำมาผสมกับน้ำแล้วส่งเข้าไปในเครื่องบดเยื่อ (Refiner) เพื่อทำให้เส้นใยอ่อนตัวเพิ่มขึ้นและแยกเป็นเส้นใยเดียวซึ่งมีขนาดและความยามตามที่ต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับการทำกระดาษแต่ละชนิด นอกจากนี้การบดเยื่อจะทำให้เส้นใยบางส่วนแตกออกเป็นริ้วๆ ซึ่งส่วนที่แตกออกเป็นริ้วของเส้นใยจะช่วยเพิ่มพื้นที่ไปการยึดเหนียวและมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ในระหว่างที่มีการเติมสารบางชนิดลงไปด้วยเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพกระดาษ เช่น สารกันซึม สารทึบแสง

2) การผลิตแผ่นกระดาษ เยื่อที่ผสมส่วนประกอบต่างๆจนมีสมบัติตามที่ต้องการแล้วจะถูกนำไปทำเป็นกระดาษด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

ก. การทำแผ่นกระดาษ (Sheet formation) เป็นการทำให้เยื่อกระดาษเรียงตัวกันเป็นแผ่น โดยการผ่านน้ำเยื่อกระดาษลงบนตะแกรง น้ำจะไหลผ่านตะแกรงและเหลือแผ่นกระดาษตกค้างอยู่บนตะแกรง

ข. การอัดรีดกระดาษ (Pressing) กระดาษที่เป็นแผ่นแล้วยังคงมีน้ำตกค้างอยู่จึงต้องอัดรีดกระดาษเพื่อไล่น้ำออก และยังทำให้กระดาษมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและเป็นแผ่นเรียบ

ค. การอบกระดาษ (Drying) กระดาษที่อัดรีดเพื่อไล่น้ำออกยังมีน้ำตกค้างอยู่สูงกว่าความต้องการ จึงต้องอบกระดาษเหล่านั้นต่อไปอีกเพื่อให้มีปริมาณของน้ำในกระดาษตามต้องการ โดยปกติกระดาษจะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การเข้าม้วน (Reeling) กระดาษที่อบแห้งแล้วจะนำไปเข้าม้วนเพื่อใช้งานต่อไป

กระดาษที่ผ่านกระบวนการเหล่านี้ เมื่อตรวจสอบคุณภาพจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของแผ่นกระดาษโดยตรงหรือแปรรูป เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้

2.1.7 องค์ประกอบของกระดาษ [6]

กระดาษที่ผลิตได้ตามที่กล่าวแล้ว จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) ส่วนเส้นใย

ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณของเส้นใยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษต้องการผลิตโดยเส้นใยนี้ได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชจำพวกที่ไม่ใช่เนื้อไม้ เป็นต้น เยื่อ (pulp) ที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้น

2) สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เติมลงในกระดาษขณะทำการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(2.1) สารเติมแต่งหลัก (Functional additive) ทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติเฉพาะของกระดาษแบ่งเป็น 6 ชนิด คือ

ก. สารต้านการซึมน้ำ (sizing agent) เป็นสารที่ใส่ลงไปหรือเคลือบบนกระดาษ เพื่อเพิ่มสมบัติต้านทานการซึมน้ำของกระดาษทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำมากจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับได้ง่าย การเติมสารชนิดนี้จะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด สารต้านการซึมน้ำที่ใช้ได้แก่ สารส้ม ชันสน ไขผึ้ง ยางมะตอย เป็นต้น

ข. ตัวเติม (Filter) เป็นผงแร่สีขาวใส่ลงไปเพื่อทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้นเพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษ ทำให้กระดาษมีการดูดซึมหมึกได้ดีขึ้น และลดต้นทุนในการผลิต ผงแร่ที่ใช้ต้องมีขนาดเล็กละเอียด ควรมีขนาดประมาณ 1 – 10 ไมครอน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวภายในกระดาษโดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศ และผงแร่กับเส้นใย ทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสงของกระดาษกระดาษที่ได้จึงมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมาก เมื่อใส่ลงไปทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษ ได้แก่ ดินขาว (kaolin,clay) ไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO_2) หินปูน($CaCO_3$) แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารเพิ่มความเหนียว (dry strength agent) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และด้านแรงดันทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นกันของกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมาก สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่ใช้ ได้แก่ แป้ง แป้งประจุบวกกัม และพอลิอะคริลอะมีด ปัจจุบันนิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลอะมิดมากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ง. สารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก (Wet strength agent) เป็นสารเคมีที่เติมลงไป เพื่อรักษาความเหนียวของกระดาษให้คงไว้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของความเหนียวเดิมปกติจะไม่ใส่สารชนิดนี้ในกระดาษพิมพ์ทั่วไป แต่อาจพบในกระดาษพิมพ์งานพิเศษที่ต้องการความเหนียวเมื่อเปียกสูง เช่น กระดาษพิมพ์แผ่นที่ กระดาษธนบัตร เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ พอลิอะมีด และพอลิเอมีน

จ. สารสีย้อม (Dyes) สารเติมแต่งชนิดที่ใส่ลงไปโดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการด้วยกัน คือ

(1) ต้องการทำกระดาษสี (Colored paper) ในกรณีนี้สีย้อมจะถูกเติมลงไปในส่วนผสมของน้ำเยื่อจนได้สีตามที่ต้องการ

(2) สารฟอกขาว เมื่อต้องการสีขาว เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)และใช้ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) โซเดียมซิลิเกต(Na_2SiO_3) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฟอกของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)ให้ดีขึ้น

ฉ. สารฟอกนวล (optical brightening agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีย้อมแบบเรืองแสง มีสมบัติพิเศษ คือ ดูดซับแสงยูวีไว้คายแสงออกมาในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน คือ เปลี่ยนแสงในช่วงคลื่นที่ตาไม่สามารถมองเห็นให้เป็นแสงในช่วงที่ตาสามารถมองเห็นได้ ดังนั้นเมื่อเติมสารฟอกนวลลงไปจะทำให้กระดาษมีความขาวสว่างขึ้น กระดาษพิมพ์เขียนทุกชนิดจะมีสารฟอกนวลผสมอยู่ด้วย

(2.2) สารเติมแต่งเสริม (Chemical processing aids) ทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารเติมแต่งหลักทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการบำรุงดูแลรักษาความสะอาดของเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อสามารถเดินกระดาษได้ดี สารเติมแต่งประเภทนี้สามารถแบ่งได้เป็น 6 ชนิด ตามลักษณะหน้าที่ ดังนี้

ก. สารเพิ่มการตกค้าง (retention aids) ช่วยให้มีการตกค้างของเส้นใยละเอียดและตัวเติมค้างในเยื่อกระดาษมากขึ้น

ข. สารต้านการเกิดฟอง (deformers) ช่วยป้องกันการเกิดฟองและทำให้เนื้อกระดาษมีความสม่ำเสมอมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำแยกตัวจากเยื่อได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารควบคุมจุลชีวะ (microbiological control agent) ช่วยควบคุมการเกิดเมือก และการแพร่ขยายของจุลชีวะ

ง. สารช่วยแยกน้ำ (drainage aids) ช่วยเพิ่มอัตราการแยกน้ำออกจากกระดาษให้เร็วขึ้น

จ. สารควบคุมการเกิดจุดดำ (pitch control agent)

ฉ. สารช่วยกระจายตัว (formation aids) ช่วยให้เส้นใยกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดการจับกลุ่มก้อนของเส้นใย

2.1.8 ประเภทของกระดาษ [4]

ปัจจุบันมีการใช้กระดาษในกิจกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย ในประเภทของงานและลักษณะงานที่แตกต่างกัน จึงจำแนกประเภทกระดาษตามการใช้งานได้เป็น 4 ประเภทคือ

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

2) กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และเขียน (Printing-writing Paper) เป็นกระดาษที่ใช้เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร ในการพิมพ์และเขียน ดังนั้นความขาวสว่างและความทึบแสง จึงเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับกระดาษประเภทนี้

3) กระดาษทิชชู่ เป็นกระดาษที่ดูดสารในรูปแบบต่างๆ หรือใช้ดูดกลิ่น ได้แก่กระดาษชำระ กระดาษเช็ดมือ สมบัติที่สำคัญของกระดาษประเภทนี้ คือ ต้องดูดซับน้ำได้เร็ว และถ้าเป็นกระดาษชำระต้องกระจายตัวในน้ำได้ง่าย ส่วนกระดาษที่ใช้เช็ดหน้าหรือเช็ดปาก ต้องสะอาดและไม่ยุ่ยง่ายเมื่อเปียกน้ำ ซึ่งเป็นกระดาษที่มีความต้านแรงดึงเปียก

4) กระดาษชนิดพิเศษ เป็นกระดาษผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในงานเฉพาะเจาะจงตามความต้องการของผู้ใช้เท่านั้น เช่น กระดาษทำฝาผนัง (wall paper) กระดาษธนบัตร กระดาษกรอง กระดาษดูดซับเสียงเพื่อลดเสียงก้อง เป็นต้น

2.1.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษ [7,8]

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษนั้น จะยึดถือมาตรฐานของชาติ หรือมาตรฐานสากล ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก ทั้งนี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องและสามารถเปรียบเทียบในแต่ละครั้งได้ มาตรฐานที่นิยมใช้ เช่น

- มอก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)ของสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- ISO ของ International Organization for Testing Material
- ASTM ของ American Society for Testing Material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TAPPI ของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry

เนื่องกระดาษมีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะอากาศแวดล้อม ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ จำเป็นต้องมีการปรับสภาวะชิ้นทดสอบให้สมดุลกับสภาวะการทดสอบมาตรฐาน สภาวะดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามภูมิอากาศของแต่ละประเทศ ซึ่งประเทศไทยใช้สภาวะที่อุณหภูมิที่ 27±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ±2 (มอก.296)

ก. ความหนา (thickness) หมายถึงระยะทางตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของกระดาษเป็นไมครอนหรือมิลลิเมตร ความหนาของกระดาษนี้บางครั้งเรียกว่า คาลิเปอร์ (caliper) มีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียวในการโค้งงอและความคงรูป ราคา และกรรมวิธีต่างๆในการแปรรูปเป็นภาชนะบรรจุ เช่น การพิมพ์ การตัด เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้วัดความหนาของกระดาษบาง คือ ไมโครมิเตอร์ (micrometer) ถ้าเป็นกระดาษหนาใช้เวอร์เนียในการวัด เช่น กระดาษลูกฟูกและแผ่นกระดาษแข็ง

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

ค. การต้านแรงดึงขาด (tensile strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จุดต้านแรงดึงซึ่งกระทำที่ข้างใดข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนชิ้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อความกว้างเป็นเมตร

ง. ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength) หมายถึงความดันสูงสุดที่ระบบไฮโดรลิกของเครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุดันแผ่นไดอะแฟรมให้ยืดตัวผ่านพื้นที่วงกลมแล้วดันให้กระดาษทะลุ

จ.ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength) หมายถึงค่าแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการฉีกกระดาษหนึ่งแผ่นต่อจากรอยตัดนำ ถ้าตัดนำในแนวขนานค่าที่ได้เป็นค่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาดในแนวขนานในทำนองเดียวกัน ถ้าตัดนำในแนวขวางค่าที่ได้เป็นค่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาดในแนวขวาง

ฉ. การดูดซึมน้ำ (water absorption) หมายถึง ปริมาณของน้ำเป็นกรัมที่กระดาษซึ่งมีพื้นที่ 1 ตารางเมตรสามารถดูดซึมได้ภายในเวลาที่กำหนดให้ ค่านี้จะบอกถึงของเหลวที่ใช้กับกระดาษ เช่น น้ำ กาวเหลว หมึกพิมพ์ จะซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษมากน้อยเพียงไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ต้นโสน [9]

ชื่อไทย : โสนคางคก

ชื่อสามัญ : Jointvetch

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Aeschynomene indica* L.

ชื่อวงศ์ : Leguminosae

ลักษณะทั่วไป เป็นไม้พุ่มหรือไม้ล้มลุก สูง 1-4 เมตร ใบประกอบแบบขนนก เรียงสลับ ใบย่อย 10-30 คู่ รูปแบบแก้มขอบขนาน กว้าง 2-4 มม. ยาว 12-25 มม. โคนใบมน ปลายใบกลม ก้านใบสั้นมาก หูใบรูปแถบ ยาว 5-6 มม. ช่อดอกจะยาวได้ถึง 10 ซม. ออกที่ซอกใบและปลายกิ่ง ดอกย่อย 5-12 ดอก ก้านดอกย่อยยาว 10-12 มม. กลีบเลี้ยง 5 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นหลอดปลายแยกเป็นแฉกรูปดอกถั่ว สีเหลืองยาว 2.5 ซม. ฝักรูปทรงกระบอกยาว กว้าง 0.4 ซม. ยาว 18-20 ซม. สีม่วงหรือน้ำตาล เมล็ดรูปทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มม.

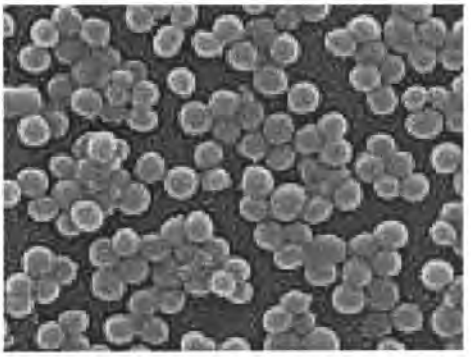
ต้นโสนนี้ขึ้นเองทั่วไปตามธรรมชาติ โดยเฉพาะตามริมคูน้ำริมคลอง ในที่ชื้นแฉะ เป็นพืชที่ขึ้นง่าย โสนในเมืองไทยมีหลายพันธุ์ คือ โสนหิน โสนคางคก โสนหางไก่ใหญ่ โสนหางไก่เล็ก เนื้อไม้ของโสนใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมเบาของภาคกลาง เช่นใช้ทำเป็นของเล่นเด็ก ในปัจจุบันคนอยุธยาใช้เนื้อไม้จากต้นโสนประดิษฐ์เป็นดอกไม้หลายรูปแบบ เช่น ดอกมะลิ ดอกกุหลาบ ดอกจำปา เป็นต้น เนื่องจากเยื่อไม้ของต้นโสนเป็นไม้เนื้อบาง เบาเหนียว สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้ได้อย่างประณีตและงดงามการใช้ไม้โสนมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้นั้นทำมาตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาและเป็นรายได้เสริมกับชาวบ้านในท้องถิ่นและไม้โสนยังใช้เป็นทุ่นหรือเชื้อติดไฟได้

2.3 เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาวิจัย[10]

2.3.1 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus เซลล์มีลักษณะกลม อาจอยู่ในลักษณะเป็น pairs, short chains หรือ bunched, grape-like clusters ก็ได้ เป็นแบคทีเรียอยู่ใน gram-positive แฟมมิลี่ Micrococcaceae จีนัส Staphylococcus มีกระบวนการเมตาบอลิซึมแบบ respiratory พบในดิน น้ำ ผิวหนังของคนและสัตว์ ไม่สร้างสปอร์ สามารถสร้างสารพิษที่ทนความร้อนเป็น enterotoxin ซึ่งสร้างภายในเซลล์ และเมื่อผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีเซลล์ของแบคทีเรียชนิดนี้ในจำนวนมากพอ ก็จะเกิดอาการอาหารเป็นพิษขึ้นมาได้ สารพิษเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 25,000 ดาลตัน ทนความร้อนที่น้ำเดือดได้นานถึง 60 นาที ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จึงทำลายสารพิษนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ *Staphylococcus aureus* [10]

2.3.2 *Micrococcus luteus*

Micrococcus luteus เป็นแบคทีเรียกลุ่มรูปร่างกลม อยู่ในกลุ่ม Gram-positive cocci แฟมมิลี่ Micrococcaceae จีนัส Micrococcus เมื่อมีการแบ่งเซลล์จะเกิดการแบ่งมากกว่าหนึ่งแนว ทำให้มีการเกาะกลุ่ม แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดได้ แต่ไม่ผลิตก๊าซ มีกระบวนการเมตาบอลิซึมแบบ respiratory พบในดิน น้ำ ผิวหนังของคนและสัตว์ เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์จากอาหารบางประเภทเสีย เช่น ผลิตภัณฑ์จากเนื้อ ไก่ ปลา เป็นต้น

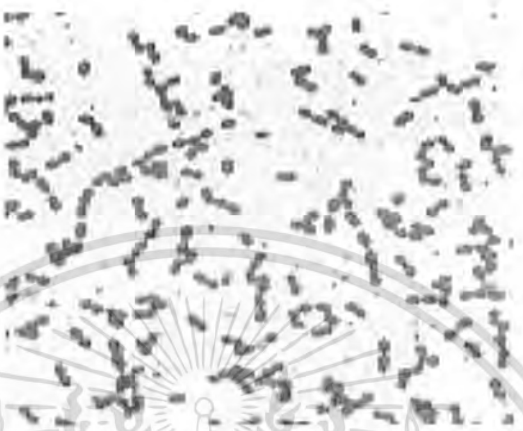
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ *Micrococcus luteus* [10]

2.3.3 *Serratia marcescen*

Serratia marcescen เป็นแบคทีเรียกลุ่มรูปร่างเป็นท่อน อยู่ในกลุ่ม Gram-negative แฟมมิลี่ Enterobacteri aceae จีนัส Enterobacter *Serratia marcescen* แตกต่างจากเชื้ออื่น ๆ ในตระกูลเอนเทอโรแบคทีริเอซี ที่มีความสามารถในการสร้าง Extracellular DNase , ลิเพส เจลาติเนส และดื้อยา โคลิสติน และเซฟาโลทิน ในธรรมชาติจะพบแพร่กระจายอยู่ในดิน น้ำ พืช และสัตว์ รวมทั้งแมลงซึ่งอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดโรคได้ มีความต้องการออกซิเจน เคลื่อนที่ได้ ผลิตรงควัตถุสีแดงโพรดิจิโอซิน (prodigiosin) ละลายในabsolute alcohol และตัวทำละลายสารอินทรีย์ชนิดต่างๆแต่ไม่ละลายในน้ำ เป็นเชื้อที่ต้านต่อยาปฏิชีวนะเนื่องจากการอยู่ร่วมกันเป็นR-factors ที่ plasmids



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ *Serratia marcescen* [10]

2.4 นาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [11]

ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นสารประกอบที่พบมากในธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ และไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้ซิงค์ออกไซด์ถูกใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในครีมกันแดด ซึ่งซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลต

นอกจากนี้ ซิงค์ออกไซด์ยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สี ยางรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ ตัวเร่งปฏิกิริยา เซรามิกส์ และนอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อผ้าเพื่อต่อต้านแบคทีเรียด้วย

สมบัติที่น่าสนใจของซิงค์ออกไซด์มีหลายประการ คือ เมื่อซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตรนั้น จะมีสมบัติที่ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ ได้แก่ สมบัติในการเรืองแสง (Luminescence) การดูดซับ (Adsorption) การสะท้อนกลับ (Reflectivity) การเหนี่ยวนำทางแสง (Photoconductivity) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และการโปร่งแสง (Transparency invisible) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107907

รูปที่ 2.7โครงสร้างของนาโนซิงค์ออกไซด์ [11]

2.5 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอีดีทีเอกับโลหะไอออน[3]

ในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอาจจะมีการปนเปื้อนของสารเคมีเนื่องจากกระบวนการผลิตที่ใช้สารเคมีที่มีพวกโลหะหนัก เช่น Cu^{2+}, Cr^{6+}, หรือ Fe^{2+} ไอออนเจือปนซึ่งเมื่อเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและมีผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น สิ่งมีชีวิตจำพวก ปลา กุ้ง หรือหอย เมื่อได้รับสารพิษและสะสมเอาไว้อาจทำให้สิ่งมีชีวิตตายหรือ เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารได้ เป็นต้น

จากการทดลองจะใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ในการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาว่ามีโลหะหนักชนิดใดปนเปื้อนอยู่ในน้ำที่ปล่อยมาจากโรงงานอุตสาหกรรม

โดยปกติ EDTA จะอยู่ในรูป acid form ซึ่งจะเขียนแทนด้วย H_4Y โดย H จะแทน acidic hydro กรัมen atom และ Y แทนกลุ่มโมเลกุลที่เหลือ acid form ของ EDTA จะละลายน้ำได้ไม่ดีพอที่จะนำมาใช้เป็น titrant ดังนั้นจึงทำการ neutralized ให้อยู่ในรูป disodium salt EDTA (Na_2H_2Y) ซึ่งจะละลายน้ำได้ดีมากเหมาะที่จะใช้เป็น titrant ที่ดีด้วย hydroกรัมen ion จะค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาระหว่างการทำปฏิกิริยาระหว่าง metal ion กับ disodium EDTA ดังสมการ

$M\text{กรัม}^{2+} + H_2Y^{2-} \longrightarrow M\text{กรัม}Y^{2-} + 2H^+$

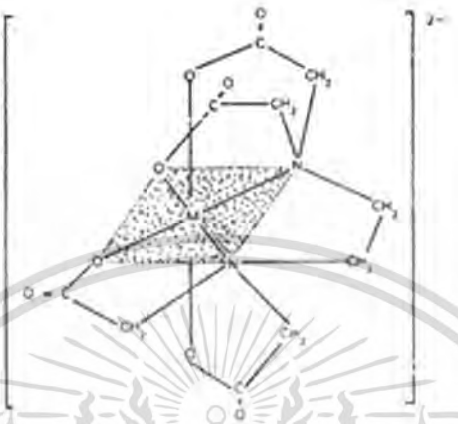
$Al^{3+} + H_2Y^{2-} \longrightarrow AlY^{2-} + 2H^+$

$Th^{4-} + H_2Y^{2-} \longrightarrow ThY + 2H^+$

$\text{Metal ion}^+ + H_2Y^{2-} \longrightarrow [MY]^{n-4} + 2H^+$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDTA มีโครงสร้างดังนี้

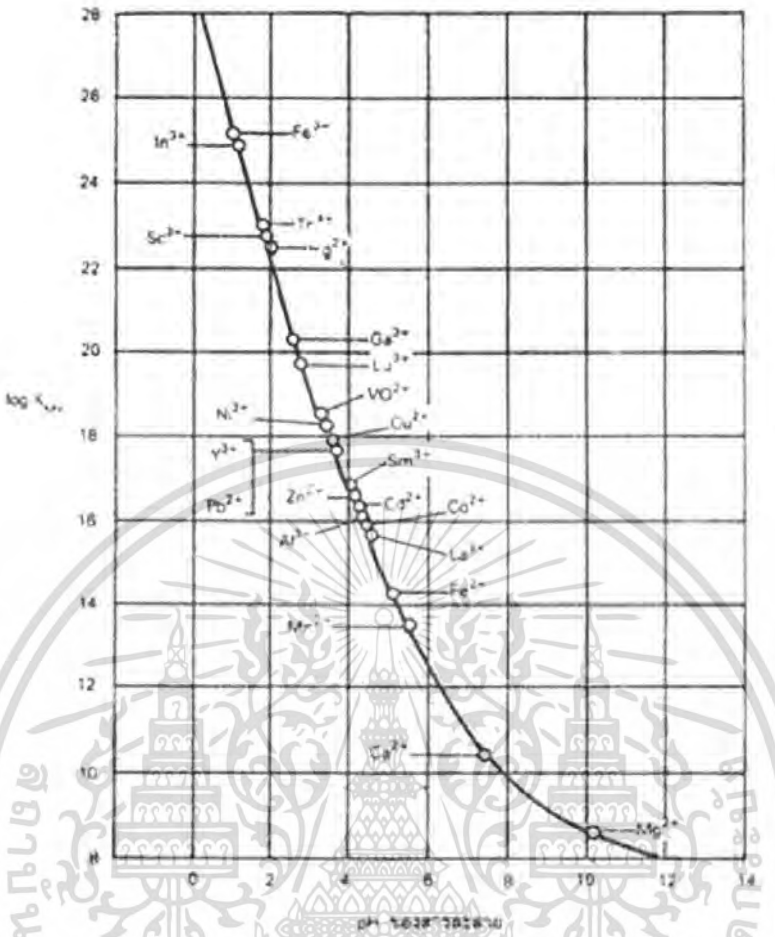


รูปที่ 2.8 โครงสร้างสารเชิงซ้อนแบบซีเลตของ M^{+} กับอีดีทีเอ

EDTA เป็น chelatinกรัม aกรัมent โดยที่หนึ่งโมเลกุลสามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ได้ 6 พันธะกับไอออนของโลหะ เช่น Cu^{2+} และ Fe^{2+} เป็นต้น ซึ่งสารละลายมาตรฐาน EDTA เตรียมจาก disodium EDTA (มวลโมเลกุล 372.25) ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า EDTA เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ไอออนลบแทนด้วย H_2Y^{2-} เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ Cu^{2+} และ Fe^{2+} มีสูตร CuY^{2-}และ FeY^{2-} ตามลำดับ EDTA จะทำปฏิกิริยากับ metal ion ในอัตราส่วน 1:1 เสมอ metal-EDTA ที่เกิดขึ้นจะละลายได้ดีในน้ำเนื่องจากมี hydrophilic กรัมroup (amino poly carboxylic acid) ในส่วนของโครงสร้างจำนวนมาก EDTA chelate ส่วนใหญ่จะไม่มีสี ยกเว้น EDTA-chelate ของโลหะ transition บางตัว

การหาว่ามีสารโลหะชนิดใดบ้างที่อยู่ในน้ำที่เราต้องการวิเคราะห์ EDTA นั้นต้องควบคุมสารละลายให้มี pH ตามที่กำหนดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมอีดีทีเอได้ดียิ่งขึ้น การปรับ pH ของสารละลาย วิธีนี้จะใช้ต่อเมื่อโลหะที่ผสมอยู่นั้นจะเกิด complex กับ EDTA ได้ใน pH ที่แตกต่างกันเช่น โลหะในกลุ่ม alkali earth metals จะเกิด complex ที่คงตัวกับ EDTA ที่ pH>7 แต่โลหะพวก transition elements จะเกิด complex ที่คงตัวกับ EDTA ที่ pH ต่ำ ๆ (pH~1-3)ควรทำการปรับพีเอชให้ได้ตามตารางให้เหมาะสมกับตัวโลหะที่ใช้ในการทดลอง โดยการควบคุมพีเอชแสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ค่าพีเอชที่ต่ำที่สุดที่โลหะต่างๆสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ [17]

จากรูปแสดงถึงค่าพีเอชที่ต่ำที่สุดที่โลหะต่างๆสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอได้ เราแบ่งโลหะออกเป็นสามหมู่ด้วยกัน คือ โลหะไอออนที่มีประจุ 4+ โลหะที่มีประจุ 3+ และโลหะที่มีประจุ 2+ จะเห็นได้ว่าโลหะไอออนพวกอัลคาไลน์เอิร์ทจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายอีดีทีเอในสารละลายที่เป็นเบส ส่วน Fe (III) จะเกิดสารเชิงซ้อนได้ง่าย ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง เราสามารถวิเคราะห์หา Ni (II) ได้ในสารละลายที่มีพีเอช เท่ากับ 4 โดยไม่ถูกรบกวนจาก Ca^{2+} และ Mกรัม$^{2+}$ ดังในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า พีเอช ที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับอีดีทีเอ

ความเป็นกรด เป็นเบส	โลหะ
กรด 1-3	Zr^{4+},Hf^{4+},Th^{4+},Bi^{3+},Fe^{3+}
กลาง 4-6	Pb^{2+},Cu^{2+},Co^{2+},Ni^{2+},Mn^{2+},Fe^{2+},Al^{3+},Cd^{2+},Sn^{2+},Zn^{2+}
เบส	Ca^{2+},Sr^{2+},Ba^{2+},Mกรัม$^{2+}$

จากตารางแสดงถึงความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อน M- EDTA ในสารละลายที่มีพีเอชต่างๆ ทำให้เห็นสีอย่างชัดเจนและสามารถระบุได้ว่าสารละลายดังกล่าวมีโลหะหนักชนิดใดอยู่ในน้ำบ้าง ซึ่งจะยกตัวอย่างการวิเคราะห์ต่อไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นวภรณ์ อนันตธนานิชย์ และคณะ (2544)[12] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียมโดยการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) กับผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการเชิงกล โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ส่วนที่สองคือการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์ ผสมเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ คือสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสม ปริมาณหญ้าแฝก และขนาดของหญ้าแฝก จากผลการทดลองตอนหนึ่งพบว่า ปริมาณการเติมผงหญ้าแฝกที่ 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด อย่างไรก็ดี สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง ส่วนสมบัติทางความร้อน และเปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า พอลิเมอร์เมตริกซ์พบช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง

ยุทธการ อาจารีย์ และคณะ [13] ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องตีเส้นใยพืชและเปรียบเทียบคุณสมบัติใยพืชของต้นกล้วย ต้นกกและต้นอ้อ เพื่อใช้ทดแทนกระดาษ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองและค้นคว้าเกี่ยวกับวัชพืชอื่นๆ จนประสบความสำเร็จมากกว่า 60 ชนิด ซึ่งสามารถอธิบายได้ ว่า เซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน เป็นเนื้อเมือกลื่น ซึ่งกระบวนการในการทำกระดาษแต่เดิมนั้นหลังจากการตีให้เป็นเยื่อกระดาษแล้ว มักปล่อยน้ำในเครื่องตีทิ้งไป แล้วกรองไว้แต่เนื้อเยื่อเท่านั้น นั่นคือการทิ้งลิกนินไป ซึ่งลิกนินนี้มีประโยชน์ในการประสานเส้นใยให้เป็นเนื้อแน่น ถ้ามีน้อยเกินไปอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป้งมันผสมน้ำร้อนให้พอเป็นเมือก เพื่อทดแทนลิกนินก็สามารถทำได้ ดังนั้นจึงควรกรองเอาลิกนินไว้ใช้งานให้มากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ทิ้งน้ำหากไม่จำเป็น จึงสามารถเก็บรักษาลิกนินได้

สราวุธ พัชรชมพู(2545) [14] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากต้นกล้วยน้ำว้ามาผลิตเยื่อกระดาษ โดยทำการศึกษาในแต่ละส่วนของต้นกล้วยน้ำว้าที่ทำการแยกออกเป็น 3 กลุ่ม คือแกนกลาง กาบใน และกาบนอก ทั้งแบบสดและแบบแห้ง จากนั้นนำมาแปรสภาพเป็นเยื่อด้วยกระบวนการผลิตแบบเปียกระบบเปิด โดยกำหนดปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น 3 อัตราส่วน คือร้อยละ 10 12 และ 14 ของน้ำหนักวัตถุดิบอบแห้ง จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษแล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ส่วนที่เป็นกาบนอกแห้งมีศักยภาพเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากเส้นใยมีโครงสร้างสมบูรณ์ ส่วนที่เป็นแกนกลางทั้งสดและแห้งไม่สามารถขึ้นแผ่นกระดาษได้ ส่วนด้านกระบวนการผลิตเยื่อต้นกล้วยน้ำว้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักวัตถุดิบอบแห้ง และจากการนำมาผลิตเป็นหัตถกรรมในครัวเรือน พบว่า สามารถนำมาทำเป็นแผ่นมีลวดลาย และย้อมสีได้มีความเหมาะสมในงานประดิษฐ์ งานหัตถศิลป์ และงานผลิตภัณฑ์หีบห่อ

ฐิริญญา เสือยง และคณะ (2547)[15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าหลังตัดเครือแล้วสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ความเข้มข้นของสารละลายเบส เวลาที่ใช้ต้มย่อยเยื่อ วิธีการลดขนาดของกาบกล้วยและสารละลายเบสที่ใช้ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการตรวจสอบสมบัติเชิงกล การซึมน้ำ และน้ำมัน และสัณฐานวิทยาของกระดาษ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายเบสร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาในการต้มย่อยเยื่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและวิธีการลดขนาดกาบกล้วยแบบปั่นละเอียดเป็นสภาวะที่ให้กระดาษที่มีค่าความแข็งแรงดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกระดาษที่เตรียมจากสารผสมกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดสูง โดยกระดาษจากกล้วย 100% มีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับกระดาษคราฟท์มาตรฐานชนิด KA 230 ส่วนกระดาษที่มีการผสมกระดาษเก่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักมีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับกระดาษ ตราฟท์มาตรฐาน KA 185

มาวิณี แย้มจันทรามาศ และคณะ (2548)[16]ได้ทำการศึกษาวิจัยการสร้างเซลลูโลสในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวและสูตรเวย์ สูตรเวย์ให้ผลผลิตเซลลูโลสสูงกว่าสูตรน้ำมะพร้าวโดยให้ความหนาแน่นและผลผลิตเซลลูโลส 0.68 เซนติเมตร และ 0.788 กรัมต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับในวันที่ 6 ของการหมัก นำอาหารสูตรเวย์มาผสมสารละลายไคโตซานในความเข้มข้นต่างๆ (0-1เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรต่อปริมาตร) เพื่อผลิตกระดาษ พบว่าการใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จะให้ความหนาของแผ่นเซลลูโลสสูง กระดาษที่ได้มีสมบัติเชิงกลสูงสุด คือ ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 2,107.67 MPa ค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 56.18 MPa และค่าการยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ จุดขาดเท่ากับร้อยละ 2.33 แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคไม่สามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ กระดาษที่ค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำ 1,105 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 22,750 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งสูงกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย สุคนธ์ พานิชพันธ์ และคณะ (2548)[10] ได้ทำการศึกษาการชุบเคลือบสารละลาย ZnO ลงบนผ้า เพื่อทดสอบการต้านทานเชื้อรา/แบคทีเรีย มีผ้าอยู่สองชนิด สีขาวกับสีเขียว ตัดให้ได้ขนาดประมาณ A4 แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น ผ้าที่ชุบ ZnO อย่างเดียว ผ้าที่ชุบสารละลายของ PEI และ ZnO พร้อมๆ กัน ผ้าที่ชุบ PEI ก่อนแล้วจึงนำมาชุบด้วย ZnOเตรียมสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% w/v แยกทำการทดลองตาม condition ต่างๆ ทั้งผ้าสีขาวและสีเขียว โดยในแต่ละ condition ทำซ้ำ 2 ครั้ง โดยนำผ้าที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาจุ่มลงในสารละลายให้ทั่วแล้วนำไปเข้าเครื่อง Padder โดย ได้กำหนด % pick up = 80 % ซึ่งเป็น % ความชื้นของสารละลายที่อยู่ในผืนผ้านำผ้าที่ผ่านการ Pad แล้วไปเข้าเครื่องอบ Mini dryer ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยผ้าสีขาวใช้เวลาอบ 2 นาที ส่วนผ้าสีเขียวใช้เวลาอบ 2.5 นาที ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิจึงนำผ้าไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำผ้าที่ผ่านการชุบสารเคมีแล้ว มาทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Rhizopusoligosporus* , *Penicillium oxalicum* ,*Aspergillus fumigatus* ,*Aspergillus awamori* ,*Escherichia coli* ,*Bacillus subtilis* ,*Staphylococcus aureus* อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ออกฤทธิ์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ คือ 50 mg/ml ZnO (50 ppm) โดย *Aspergillus fumigatus* เป็นตัวแทนของเชื้อรา และ Bacillus subtilis เป็นตัวแทนของเชื้อแบคทีเรีย การยับยั้งเชื้อ *Aspergillus fumigatus* ด้วย ZnO ที่ 50 mg/ml ZnO (50 ppm ZnO) และ 100 mg/ml ZnO (100 ppm ZnO) ปริมาณ 100 µl การยับยั้งเชื้อ *Bacillus subtilis* ด้วย ZnO ที่ 50 mg/ml ZnO (50 ppm ZnO) และ 100 mg/ml ZnO (100 ppm ZnO) ปริมาณ 100 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งเชื้อรา และแบคทีเรีย ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านและทำลายเชื้อจุลินทรีย์จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีฤทธิ์ต้านทานและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยดูผล Clearzone(cm.) แสดงผลการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราด้วยZnO

ณัฐพิรา เนตรสว่าง และคณะ (2548)[4] ได้ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตของนาโนซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์ โดยศึกษากระบวนการที่ใช้ใน การสังเคราะห์ ขั้นตอนการผลิต รูปแบบและโครงสร้างต่างๆ ของนาโนซิงค์ออกไซด์และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังศึกษาข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้น จากการนำนาโนซิงค์ออกไซด์ไปใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่านาโนเมตร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical routeเปรียบเทียบกับ Precursor process พบว่าการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical route พบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าวิธี Precursor process จากการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นพบว่าการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

process มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวิธีการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวิธี Organochemical route สำหรับกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์วิธี Organochemical route นั้นถ้าต้องการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นควรเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก ethylene glycol เป็นสารอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ลำต้นโสน
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดการค้า จากบริษัท Fluka chemical
3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดการค้า จากบริษัท Fluka chemical
4. ชันสน เกรดการค้า
5. สารส้ม เกรดการค้า
6. แป้งมันสำปะหลัง
7. แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เกรดการค้า จากบริษัท Fluka chemical
8. โซเดียมซิลิเกต(Na_2SiO_3) เกรดการค้า จากบริษัท Fluka chemical
9. Tryptone
10. Yeast extract
11. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
12. ผงวุ้น
13. นาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท นาโน เมททีเรียล เทคโนโลยี จำกัด
14. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
15. Beef extract
16. Peptone
17. น้ำกลั่น
18. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
19. สารมาตรฐานโซเดียมอีดีทีเอ [Sodium EDTA]เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
20. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
21. เฟอรัสซัลเฟต($FeSO_4$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
22. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
23. นิเกิลไนเตรต ($NiNO_2$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
24. ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical
25. โพแทสเซียมไดโครเมต($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka chemical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

2. บีกเกอร์ขนาด 100, 150, 250, และ 1000 มิลลิลิตร

3. ปิเปตขนาด 0.1, 10 มิลลิลิตร

4. เครื่องชั่ง

5. เครื่องกระจายเยื่อขนาด 2.0 ลิตร บริษัท Testing Machine Inc Co., Ltd กรมวิทยาศาสตร์บริการ

6. เครื่องกระจายเยื่อขนาด 25 ลิตร บริษัท Testing Machine Inc Co., Ltd กรมวิทยาศาสตร์บริการ

7 . เครื่องคัดแยกขนาดเส้นใย บริษัท Voith Sulzer Co., Ltd กรมวิทยาศาสตร์บริการ

8. เครื่องกวนแบบใบพัด บริษัท KIRA Co., Ltd.กรมวิทยาศาสตร์บริการ

9. เครื่องเตรียมแผ่นกระดาษ Hand Sheet แบบTappi Standard Sheetบริษัท Toyoseiki Co., Ltd กรมวิทยาศาสตร์บริการ

10 .อ่างควบคุมอุณหภูมิ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

11. เครื่องหาความชื้น บริษัท Cenco Co., Ltd.กรมวิทยาศาสตร์บริการ

12. เครื่องตากกระดาษ

13. ลูกยางแดง

14. มีด

15. เขียง

16. นาฬิกาจับเวลา

17. ขวดน้ำกลั่น

18. ช้อนตักสาร

19. หม้อต้มเยื่อบริษัท Hirayama Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

20. Plate

21. Auto clave

22. ตู้ปลอดเชื้อ

23. แท่งแก้วงอ

24. เครื่องวัดขนาดอนุภาค บริษัท Malvern Co., Ltd. รุ่น Mastersizer x

25. Loop

26. กล้องจุลทรรศน์

27. กระดาษ Universalindikator

28. Hot plate หรือ Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. หลอดทดลอง (Tube) และตะแกรงใส่หลอดทดลอง

30. กระดาษกรองวอชแมนเบอร์ 42

3.3 เครื่องทดสอบ

1.ไมโครมิเตอร์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.เครื่องทดสอบแรงดึงแบบ Pendulum บริษัท Toyoseiki Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3. เครื่องทดสอบสมบัติการต้านแรงฉีกขาด บริษัท Lorentzer & Wettre Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

4. เครื่องทดสอบสมบัติการต้านแรงดันทะลุ บริษัท H.E. Messmer Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

5. เครื่องทดสอบความหนาแบบอัตโนมัติ บริษัท Lorentzer & Wettre Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

6. เครื่องชั่งน้ำหนักกระดาษ Buchel –Van Der Korputneder Land . B.V. Co., Ltd. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning electron microscope,SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น1455 VT

3.4. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ

3.4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการย่อยเยื่อ

โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น18, 20 และ 22 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.4.1.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ

โดยทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง

โดยเลือกสภาวะในข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ที่ให้แผ่นกระดาษที่มีคุณสมบัติพื้นฐานดีและเปอร์เซนต์ผลผลิตเป็นเกณฑ์ จากนั้นนำมาขึ้นรูปกระดาษตามขั้นตอนในข้อ 3.4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเตรียมแผ่นกระดาษจากต้นโสน

โดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.2.1 ขั้นตอนการต้มเยื่อ

1) หั่นลำต้นโสนยาว 1 นิ้ว แล้วเฉือนเป็น แผ่นๆหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร

2) ชั่งโสนมา 200 กรัมโดยน้ำหนักแห้งของโสน (โสนมีความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซนต์) ลงในบอมส์

3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 18, 20 และ 22 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ แล้วเติมน้ำในแต่ละบอมส์ประมาณ 1.6 ลิตร

4) ปิดบอมส์แล้วอัดความดันเข้าไป รอเวลาประมาณ 5 นาทีแล้วปล่อยลมออกจากบอมส์

5) นำบอมส์ไปใส่ในหม้อต้มเยื่อแล้วขันสกรูให้แน่น ทำการต้มเยื่อเป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4.2.2 ขั้นตอนการล้างและคัดแยกขนาดเยื่อกระดาษ

1) นำโสนที่ผ่านการต้มแล้วมาล้างให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ออก

2) นำมากระจายเยื่อด้วยเครื่องกระจายเยื่อขนาด 25 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

3) คัดแยกเยื่อด้วยเครื่องคัดแยกขนาดเยื่อ

4) หาความชื้นของเยื่อกระดาษที่คัดแยกได้

3.4.2.3 ขั้นตอนการฟอกเยื่อกระดาษ

1) ชั่งเยื่อกระดาษจากข้อ 3.4.3.2 มา 15 กรัมโดยน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้ง (เยื่อกระดาษมีความชื้นประมาณ 90%) ใส่ลงในถุงพลาสติก

2) เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงไป 3.0 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากับเยื่อกระดาษ

3) เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตความเข้มข้น 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงไป 0.7 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากับเยื่อกระดาษ

4) เติมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงไป 0.01 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากับเยื่อกระดาษ

5) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงไป 0.15 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากับเยื่อกระดาษ

6) นำถุงเยื่อกระดาษแต่ละถุงที่เติมสารเคมีครบแล้ว ใส่ในหม้อที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

7) นำเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วมาล้างแล้วหาความชื้นของเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.4 ขั้นตอนการขึ้นแผ่นกระดาษเพื่อทำบรรจุภัณฑ์จากเยื่อโสนที่ผ่านการฟอกและไม่ผ่านการฟอก

1) ชั่งเยื่อกระดาษที่ผ่านการฟอกมา 15 กรัมโดยน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้ง (เยื่อกระดาษมีความชื้นประมาณ 90%) เติมน้ำลงไป 1.8 ลิตร

2) นำมากระจายเยื่อด้วยเครื่องกระจายเยื่อขนาด 2.0 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

3)นำเยื่อกระดาษที่ผ่านการกระจายเยื่อแล้วใส่ลงไปในหม้อกวนเยื่อ แล้วเติมน้ำลงไปให้ได้ปริมาตร 8 ลิตร เปิดเครื่อง เครื่องจะทำการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาทีตลอดเวลา

4) เตรียมสารละลายน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมลงไปในหม้อกวนเยื่อ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเยื่อแห้งของเยื่อกระดาษ เติมลงไป 15 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 5 นาที

5) เตรียมสารละลายชันสนที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมลงไปในหม้อกวนเยื่อ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเยื่อแห้งของเยื่อกระดาษ เติมลงไป 9 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 5 นาที

6) เตรียมสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมลงไปในหม้อกวนเยื่อ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเยื่อแห้งของเยื่อกระดาษ เติมลงไป 7.5 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 5 นาที

7) ตวงน้ำจากหม้อกวนเยื่อประมาณ 640 มิลลิลิตร ต่อการทำกระดาษ 1 แผ่น(น้ำหนักกระดาษ 1.2 กรัมต่อกระดาษ 1 แผ่น)ขั้นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ

8) เยื่อที่ไม่ผ่านการฟอกก็นำมาขึ้นแผ่นในลักษณะเดียวกัน

3.4.2.5 ขั้นตอนการขึ้นแผ่นกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.4.2.5.1 ขั้นตอนการเตรียมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมันผสมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

1) เตรียมสารละลายแป้งมันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ต้องเติมลงไปในหม้อกวนเยื่อ 6 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้ง ฉะนั้นต้องใช้แป้งมันที่เตรียมเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ เป็นปริมาตร 18 มิลลิลิตรแล้วเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในสารละลายแป้งมัน 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ

2) เตรียมสารละลายแป้งมันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ต้องเติมลงไปในหม้อกวนเยื่อ 7 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้ง ฉะนั้นต้องใช้แป้งมันที่เตรียมเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ เป็นปริมาตร 21 มิลลิลิตร แล้วเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในสารละลายแป้งมัน 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ

3) เตรียมสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ลงในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.5.2 ขั้นตอนการขึ้นแผ่นกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน

1) ชั่งเยื่อกระดาษที่ผ่านการฟอกมา 15 กรัมโดยน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้ง (เยื่อกระดาษมีความชื้นประมาณ 90%) เติมน้ำลงไป 1.8 ลิตร

2) นำมากระจายเยื่อด้วยเครื่องกระจายเยื่อขนาด 2.0 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

3) นำเยื่อกระดาษที่ผ่านการกระจายเยื่อแล้วใส่ลงไปในหม้อกวนเยื่อ แล้วเติมน้ำลงไปให้ได้ปริมาตร 8 ลิตร เปิดเครื่อง เครื่องจะทำการปั่นกวนตลอดเวลา

4) เติมสารละลายน้ำแป้งมันที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเยื่อกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในสารละลายแป้งมัน 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 10 นาที

5) ตวงน้ำจากหม้อกวนเยื่อประมาณ 640 มิลลิลิตร ต่อการทำกระดาษ 1 แผ่น(น้ำหนักกระดาษ 1.2 กรัมต่อกระดาษ 1 แผ่น) มาขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ

6) การขึ้นแผ่นกระดาษที่เติมสารละลายน้ำแป้งมันที่ความเข้มข้น 7 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้งที่ผสม นาโนซิงค์ออกไซด์ลงในสารละลายแป้งมัน 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและเติมโนซิงค์ออกไซด์ 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ก็ขึ้นแผ่นกระดาษในลักษณะเดียวกัน

3.5 การทดสอบสมบัติของกระดาษ

3.5.1 การทดสอบสมบัติพื้นฐานของกระดาษ

1) น้ำหนักมาตรฐาน(Basis weight, grammage)

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น มาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งเครื่องน้ำหนักกระดาษที่มีการเทียบมาตรฐาน

2) ความหนา (Thickness)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 534

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น เครื่องมือที่ใช้วัดคือ ไมโครมิเตอร์

3) ความต้านแรงดึง(Tensile strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1924

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น ผ่านเครื่องทดสอบแรงดึงแบบ Pendulum ดึงชิ้นทดสอบจนชิ้นทดสอบขาด บันทึกแรงดึงสูงสุดที่ใช้

คำนวณค่า ความต้านแรงดึง(Tensile strength)

Tensile index (kN.m/kg) = Tensile strength / Basis weight

4) ความต้านแรงดันทะลุ(Bursting strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI 403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น ผ่านเครื่องทดสอบสมบัติการต้านแรงดันทะลุ เพิ่มความดันจนชิ้นทดสอบทะลุ อ่านค่า ความต้านแรงดันทะลุหน่ายเป็นกิโลพาสคัล

คำนวณค่า ความต้านแรงดันทะลุ(Bursting strength)

Bursting index ($kPa.m^2/g$) = Bursting strength / Basis weight

5) ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI 414

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น ผ่านเครื่องทดสอบสมบัติการต้านแรงฉีกขาด ปล่อยPendulum จาก Pendulum catch จนชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

คำนวณค่า ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength)

Tear index ($N.m^2/g$) = Tear strength / Basis weight

6) สมบัติการซึมน้ำ

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.321-2522

ใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น โดยเลือกชิ้นงานที่มีความหนาใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความหนากระดาษ(มิลลิเมตร) เวลาที่ใช้ในการซึมผ่าน(วินาที)

วิธีทดสอบดังนี้

1. วัดความหนาของกระดาษที่ต้องการทดสอบในหน่วยมิลลิเมตร
2. ใช้หลอดหยด หยดน้ำหรือน้ำมัน 1 หยดลงบนกระดาษที่ต้องการทดสอบ
3. จับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดจนกระทั่งซึมผ่านหมดในหน่วยนาที แล้วบันทึกผล

7) สัณฐานวิทยา

เพื่อศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใย ความมีรูพรุนของแผ่นกระดาษ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning electron microscope, SEM)

8) ทดสอบขนาดอนุภาคที่ผ่านกระดาษ

ทำการทดลองโดย

(1) ละลายแคลเซียมคาร์บอเนต 0.8 กรัมลงในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

(2) กรองผ่านกระดาษกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัมผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักแห้งของเยื่อกระดาษ

(3) นำไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมันเพื่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

3.5.2.1 การคัดเลือกกระดาษ การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและการเตรียมเชื้อ

1) นำกระดาษที่มีสมบัติการซึมน้ำและสมบัติการต้านแรงดึงดีมาใช้ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

2) จากข้อ 1) สามารถคัดเลือกกระดาษได้ ดังนี้

(1) กระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และแป้งมันเป็นแบลงค์

(2) กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม

(3) กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัมผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักแห้งของเยื่อกระดาษ

3) การเตรียมอาหารแข็ง LB 300 มิลลิลิตร มีขั้นตอนดังนี้

(1) ชั่ง Tryptone 3.0 กรัม Yeast extract 2.4 กรัม NaCl 3.0 กรัม

(2) เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร

(3) ปรับ pH 7.2 แล้วเติม ผงวุ้น 2.4 กรัม

(4) ฆ่าเชื้อด้วย auto clave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

4) การเตรียมอาหารแข็ง NB 300 มิลลิลิตร มีขั้นตอนดังนี้

(1) ชั่ง Peptone 1.5 กรัม Yeast extract 1.5 กรัม Beef extract 0.3 กรัม

(2) เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร

(3) ปรับ pH 7.2 แล้วเติมผงวุ้น 2.0 กรัมถ้าเป็นการเตรียมอาหารเหลวNBจะไม่เติมผงวุ้น

(4) ฆ่าเชื้อด้วย auto clave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

5) การเตรียมเชื้อ *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescen*

(1) ฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้วย auto clave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

(2) ทำการทดลองในตู้ปลอดเชื้อ โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว NB ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วลงในขวดรูปชมพู่

(3) ใช้ Loop แคะเชื้อ *Micrococcus luteus* ลงไปในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อ พร้อมกับปั่นเหวี่ยงตลอดเวลา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(4) ในการเตรียมเชื้อ *Staphylococcus aureus* , *Serratia marcescen* ก็เตรียมในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมันเพื่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปา

1) ส่องกล้องจุลทรรศน์ดูแบคทีเรียในน้ำประปาว่ามีชนิดใดบ้าง

2) ฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้วย auto clave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

3) ทำการทดลองในตู้ปลอดเชื้อ โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อ LB ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วลงใน plate แล้วรอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง

4) ปิเปตน้ำประปาที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม ลงไป 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำแท่งแก้วงอที่ผ่านการชุบแอลกอฮอล์และลนไฟแล้วรอให้เย็น มาเกลี่ยน้ำให้ทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ

5) การเลี้ยงเชื้อจากน้ำประปาและน้ำประปาที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่เติมสารละลายน้ำแป้งมันที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเยื่อกระดาษแห้งผสม นาโนซิงค์ออกไซด์ลงในสารละลายแป้งมัน 1.0 กรัม และกระดาษที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม กระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมัน ก็ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน

6) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

7) เมื่อครบกำหนดนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่ขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.5.2.3 การทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมแป้งมันเพื่อการยับยั้งเชื้อ *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescen*

1) ฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้วย auto clave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

2) ทำการทดลองในตู้ปลอดเชื้อ โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วลงใน plate แล้วรอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง

3) ปิเปตเชื้อ *Micrococcus luteus* จากอาหารเหลว NB ลงไปใน plate 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำแท่งแก้วงอที่ผ่านการชุบแอลกอฮอล์และลนไฟแล้วรอให้เย็น มาเกลี่ยทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อใน plate

4) แบ่งพื้นที่ plate เป็น 4 ส่วน

5) นำกระดาษที่ตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วซึ่งเป็นกระดาษที่ขึ้นแผ่นไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับแป้งมัน มาชุ่มน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้เปียก แล้วนำมาวางบนพื้นที่ plate ในส่วนที่ 1

6) นำกระดาษที่ตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วซึ่งเป็นกระดาษที่ขึ้นแผ่นผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม มาชุ่มน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้เปียก แล้วนำมาวางบนพื้นที่ plate ในส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) นำกระดาษที่ตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วซึ่งเป็นกระดาษที่ขึ้นแผ่นผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัมกับแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักกระดาษแห้งมาชุ่มน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้เปียก แล้วนำมาวางบนพื้นที่ plate ในส่วนที่3

8) ในส่วนของเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescen* ก็ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน

9) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

10) เมื่อครบกำหนดบันทึกพื้นที่ที่เชื้อไม่ขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.6 การประยุกต์ใช้กระดาษจากต้นโสนเพื่อนำมาใช้เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนัก

เตรียมสารละลายไอออนของโลหะหนักเข้มข้น 10^{-2} M ของโลหะหนักแต่ละชนิดดังนี้

1) เตรียมสารละลายไอออน Cu^{2+} จาก $CuSO_4 . 5H_2O$ ชั่ง $CuSO_4 . 5H_2O$ มา2.49 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายไอออน Fe^{2+} จาก $FeSO_4 . 5H_2O$ ชั่ง $FeSO_4 . 5H_2O$ มา 2.78 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริก 5 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาแนตจนสารละลายมรสีชมพู่อ่อน

3) เตรียมสารละลายไอออน Cr^{3+} จาก $K_2Cr_2O_7 . 7H_2O$ ชั่ง $K_2Cr_2O_7 . 7H_2O$ มา 2.94 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

4) เตรียมสารละลายไอออน Ni^{2+} จาก $NiNO_3 . 6H_2O$ ชั่ง $NiNO_3 . 6H_2O$ มา g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

5) เตรียมสารละลายไอออน $Pb(NO_3)$ ชั่ง $Pb(NO_3)_2$มา 3.31 g ละลายในน้ำปรับปริมาตรเป็น 1000 ml

3.5.3.2 การวิเคราะห์การเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน

1) เตรียมสารละลายโซเดียว อีดีทีเอ ความเข้มข้น 0.1 M โดยทำการชั่งโซเดียมอีดีทีเอมา 37.2 g นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายโลหะไอออน Fe^{2+},Cu^{2+},Cr^{3+},Ni^{2+} และโลหะPb ที่ความเข้มข้น 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3} และ 10^{-2}M ตามลำดับ เพื่อนำไปใช้หยดลงในสารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการวิเคราะห์การเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน

3) ทำการปิเปตสารละลายโซเตียม อีดีทีเอ 5 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลองทุกหลอด (สำหรับสารละลายโลหะไอออน 1 ชนิด จะทำการทดลองเป็นสองชุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดทดลองที่ 1 ไม่มีการปรับสภาวะของ pH (มีพีเอชเริ่มต้นที่4)
- ชุดทดลองที่ 2 ทำการควบคุมสภาวะของ pH ให้อยู่ประมาณ 5 โดยใช้สารละลาย NaOH ในการปรับ pH

4) ทำการหยดสารละลายโลหะไอออนลงในสารละลายโซเดียม อีดีทีเอ ทั้ง2ชุด สังเกตผลที่ได้ทำการบันทึกผล และทำการเปรียบเทียบการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างทั้ง 2 ชุดการทดลอง

3.5.3.3 การทำการเปรียบเทียบสีโดยการใช้กระดาษประเภทต่างๆที่ผ่านการชุบสารละลายโซเดียมอีดีทีเอเพื่อใช้เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนัก โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำเอากระดาษกรองเบอร์ 42 และกระดาษที่ทำการผลิตขึ้นเองจากต้นโสน มาทำการตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมพื้นผ้าขนาด 1 × 10 cm นำมาชุบสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ และนำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105°c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2) นำกระดาษกรองที่เตรียมมาจุ่มสารละลายโลหะหนักเพื่อทำการวิเคราะห์เทียบสีกันระหว่างกระดาษกรอง และ กระดาษที่ผลิตได้จากต้นโสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

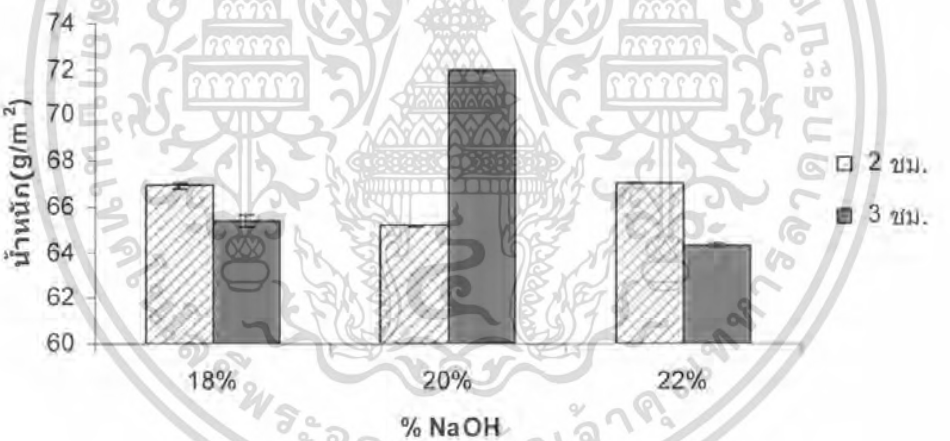
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1. ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกที่มีผสมสารส้ม แป้งมันและชันสน

ในการเลือกทดลองต้มเยื่อที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 18-22 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่น้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง จะทำให้เยื่อโสนไม่นิ่มมากพอที่จะผลิตเป็นแผ่นกระดาษได้ และการเลือกต้มเยื่อที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่า 22 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่มากกว่า 3 ชั่วโมง จะทำให้เยื่อโสนที่ได้จากการต้มเสียสภาพไป

4.1.1 ผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษ

การทดสอบน้ำหนักของกระดาษขนาดพื้นที่ทดสอบ 200 ตารางเซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน เปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.1



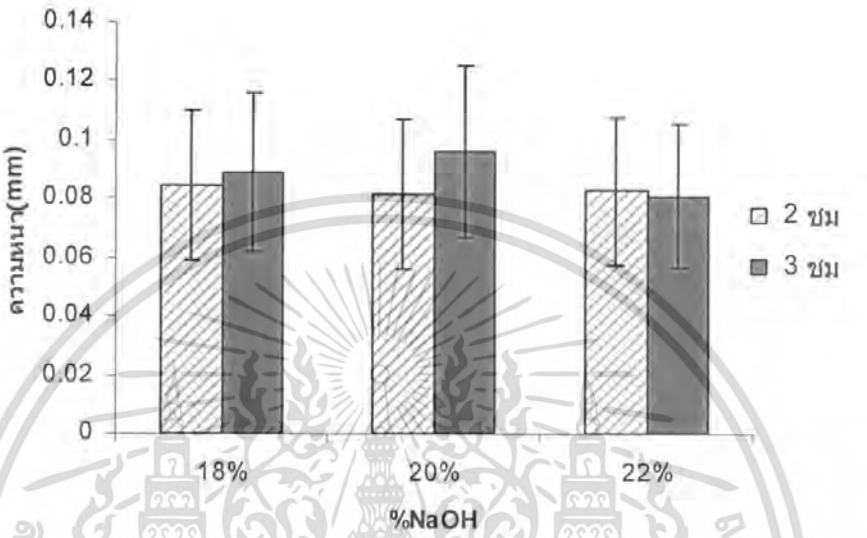
รูปที่4.1 การเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากผลการทดสอบพบว่า จำนวนแกรมของกระดาษที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 65.00 แกรม แต่ที่สภาวะการต้มเยื่อที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีค่าจำนวนแกรมมากที่สุดที่ 71.94 แกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความหนาของชิ้นทดสอบ (thickness)

การทดสอบความหนาของกระดาษโดยวัดความหนาของกระดาษ 5 แผ่นในหน่วยมิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆ กันเปรียบเทียบความหนาของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 4.2



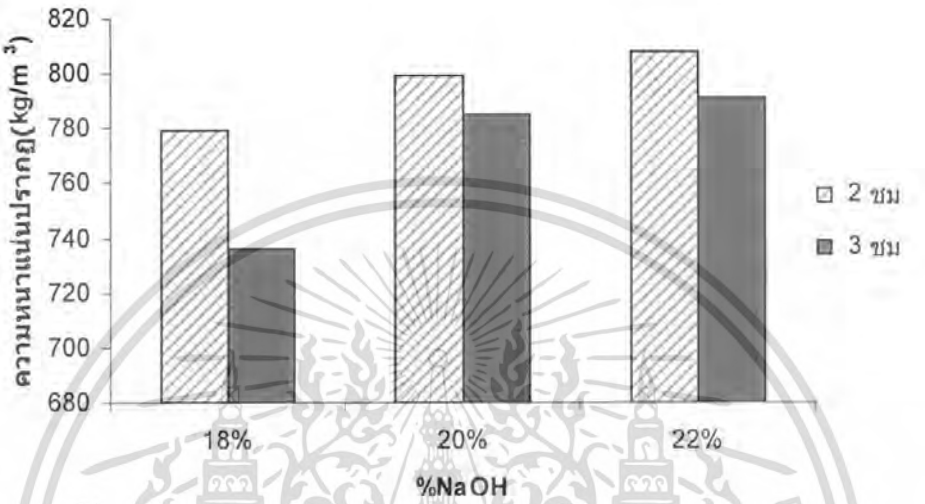
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากผลการทดสอบความหนาของกระดาษความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน จะมีค่าความหนาใกล้เคียงกัน คือประมาณ 0.0850 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

การทดสอบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษโดยคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่4.3



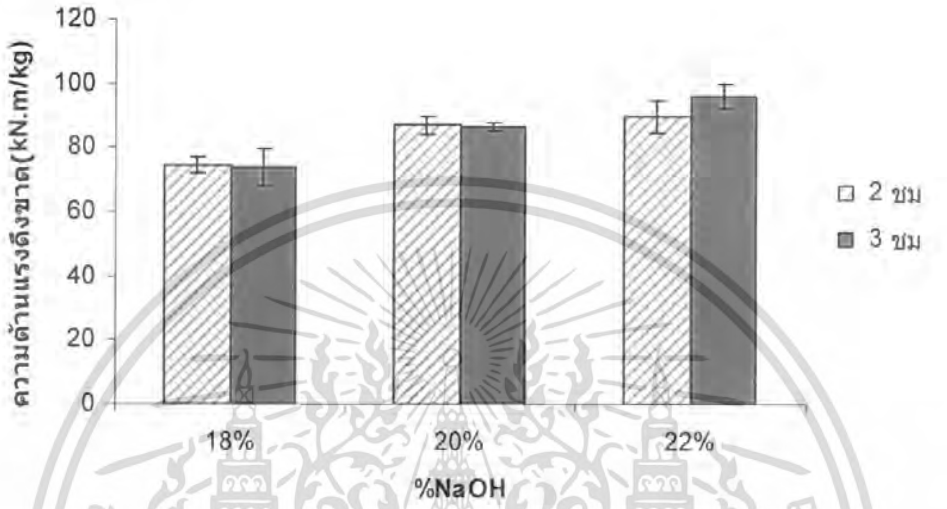
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการคำนวณพบว่า ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมงมีความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 808.56 kg/m^3 และที่ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษน้อยที่สุดที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 735.79 kg/m^3 (ข้อมูลนี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยจึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษโดยทดสอบในหน่วยนิวตันต่อความกว้างของกระดาษ 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่4.4



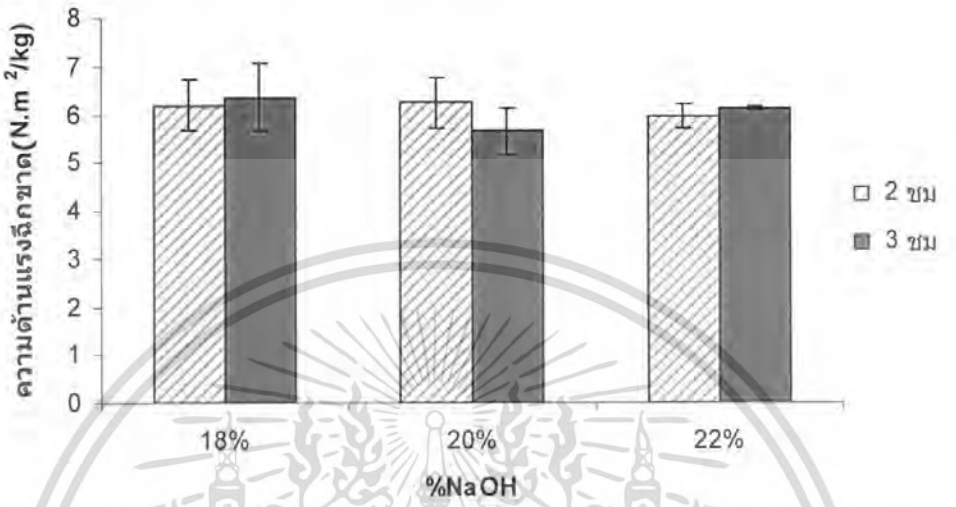
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 95.99 kN.m /kg และที่ความต้านทานแรงดึงขาดน้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 73.85 kN.m /kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength)

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษโดยทดสอบครั้งละ 4 แผ่น ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.5



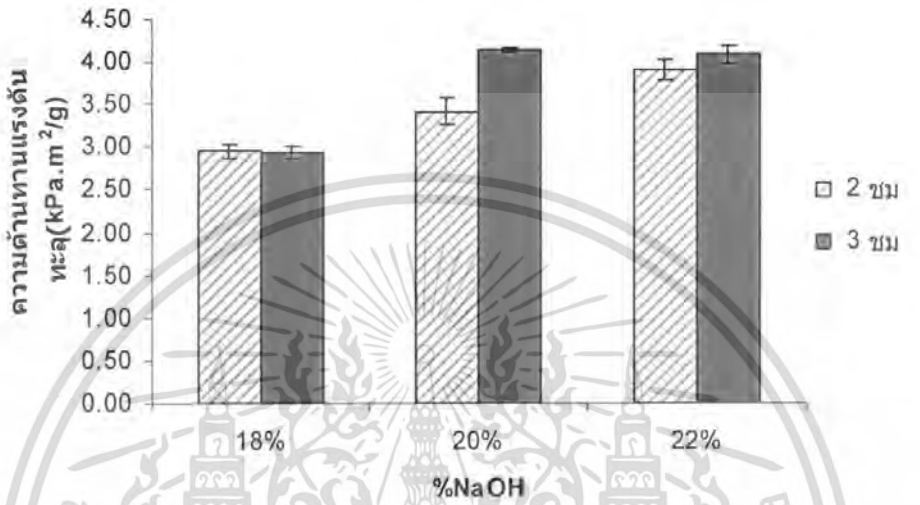
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาวมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 6.37 $N.m^2/kg$ และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมงจะมีความต้านทานแรงฉีกขาดน้อยที่สุด เท่ากับ 5.97 $N.m^2/kg$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.6



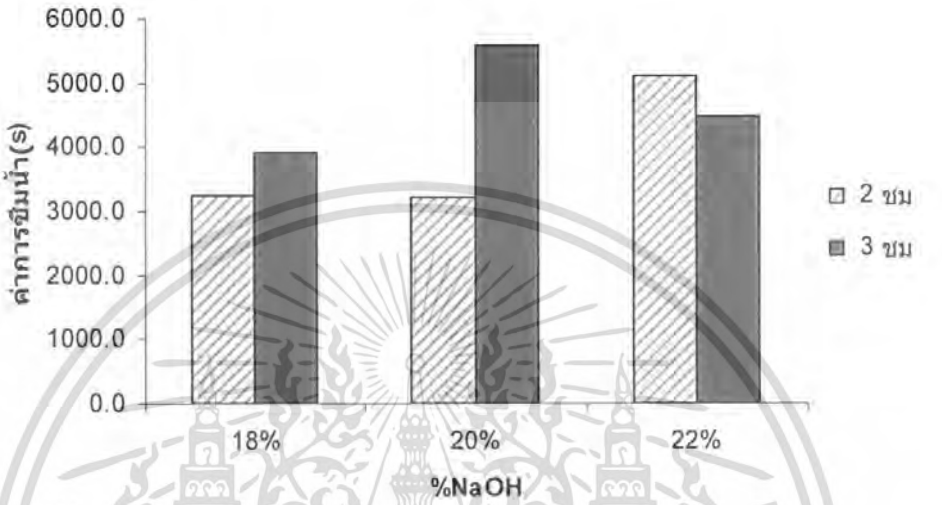
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 4.14 $kPa.m^2/g$ และที่ความต้านทานแรงดันทะลุน้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 2.93 $kPa.m^2/g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ค่าการซึมน้ำ (water drop test)

การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษโดยการหยดน้ำที่มีปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงบนกระดาษแล้วจับระยะเวลาที่กระดาษซึมน้ำหมด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.7



รูปที่4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

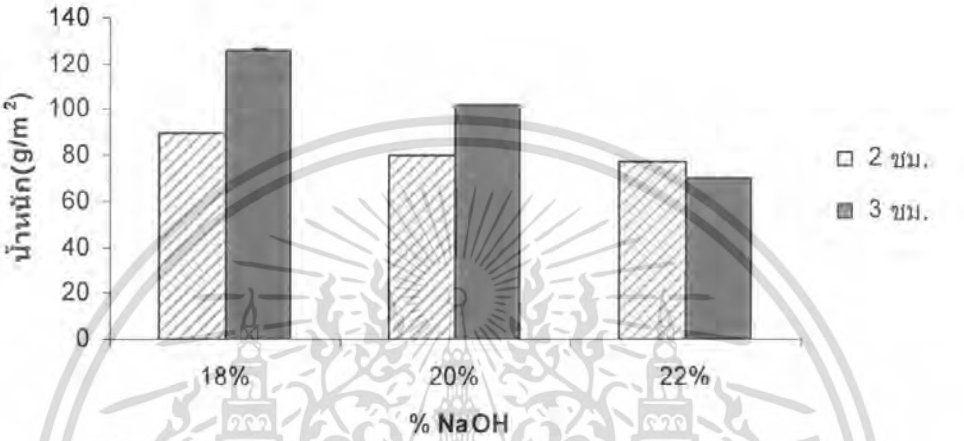
จากการทดสอบพบว่า ค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมงมีค่าการซึมน้ำของกระดาษเร็วที่สุด เท่ากับ 3261.5 วินาที และค่าการซึมน้ำที่ช้าที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 5585.0 วินาที (การทดสอบมี 2 ค่า จึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวที่ผสมสารส้ม แป้งมันและชันสน

4.2.1 ผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษ

การทดสอบน้ำหนักของกระดาษขนาดพื้นที่ทดสอบ 200 ตารางเซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน เปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.8



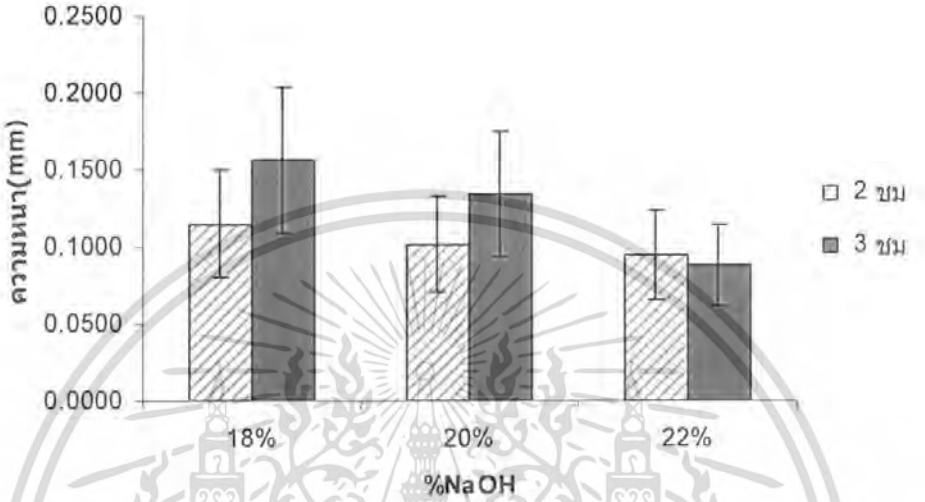
รูปที่ 4.8 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากผลการทดสอบพบว่า จำนวนแกรมของกระดาษที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีค่าจำนวนแกรมมากที่สุดที่ 126.1 g/m^{2}ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 22(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีค่าจำนวนแกรมน้อยที่สุดที่ 70.6 g/m^2 เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาวและที่ผ่านการฟอกขาวพบว่ากระดาษที่ผ่านการฟอกขาวมีน้ำหนักของกระดาษมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความหนาของชิ้นทดสอบ (thickness)

การทดสอบความหนาของกระดาษโดยวัดความหนาของกระดาษ 5 แผ่นในหน่วยมิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความหนาของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่4.9



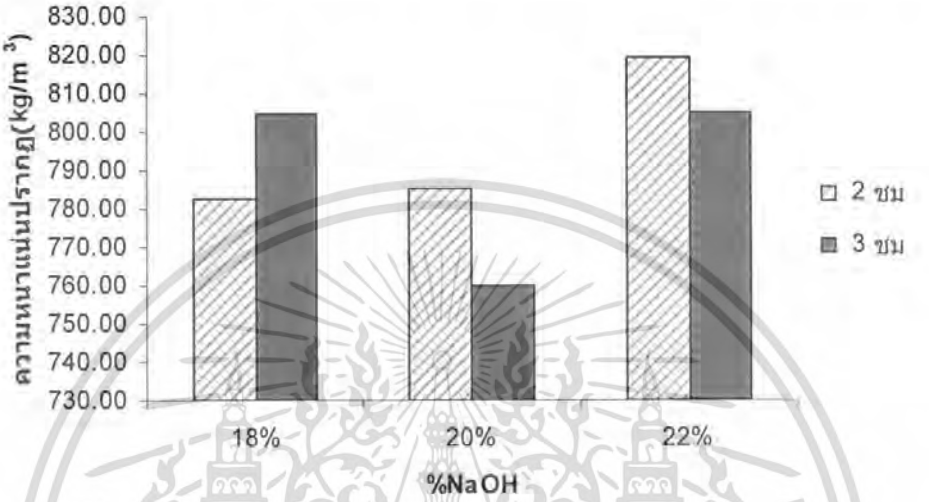
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากผลการทดสอบความหนาของกระดาษที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีความหนาของกระดาษมากที่สุดเท่ากับ 0.1567 mm. และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงจะมีความหนาของกระดาษน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0877 mm. เมื่อเปรียบเทียบความหนาของกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาวและที่ผ่านการฟอกขาวพบว่ากระดาษที่ผ่านการฟอกขาวมีความหนามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

การทดสอบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษโดยคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.10



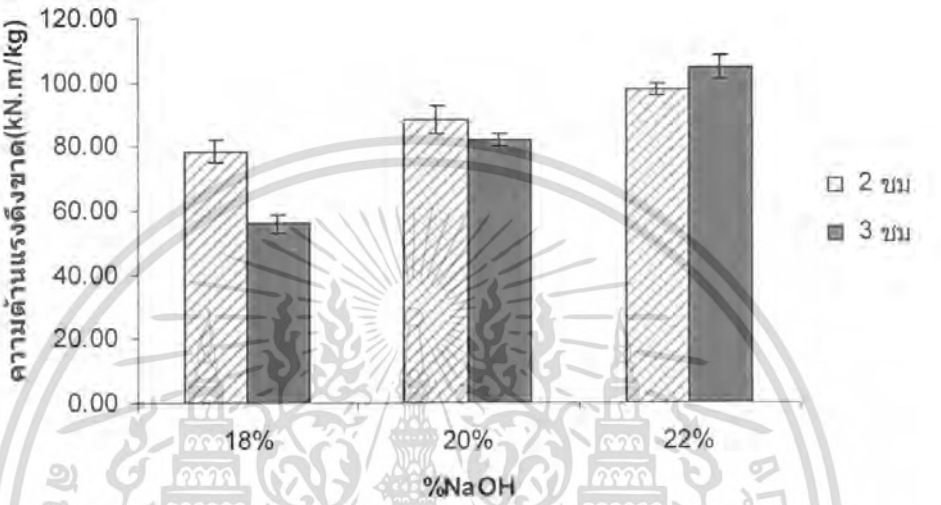
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการคำนวณพบว่า ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมงมีความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 819.43 kg/m^3 ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว และกระดาษที่มีความหนาแน่นปรากฏน้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 760.06 kg/m^3 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระดาษที่ผ่านการฟอกขาวจะแล้วที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน จะมีความหนาแน่นปรากฏมากกว่ากระดาษที่ยังไม่ผ่านการฟอกขาว (ข้อมูลนี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยจึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษโดยทดสอบในหน่วยนิวตันต่อความกว้างของกระดาษ 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่4.11



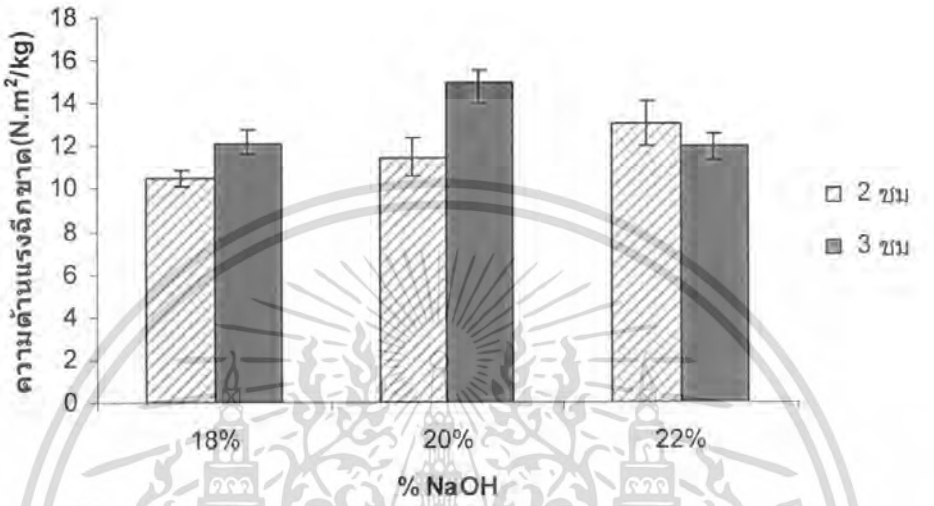
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 104.82 kN.m /kg และที่ความต้านทานแรงดึงขาดน้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 55.69 kN.m /kg ซึ่งมีความสอดคล้องกับความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ยังไม่ผ่านการฟอก ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ผ่านการฟอกและไม่ผ่านการฟอกมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength)

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษโดยทดสอบครั้งละ 4 แผ่น ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.12



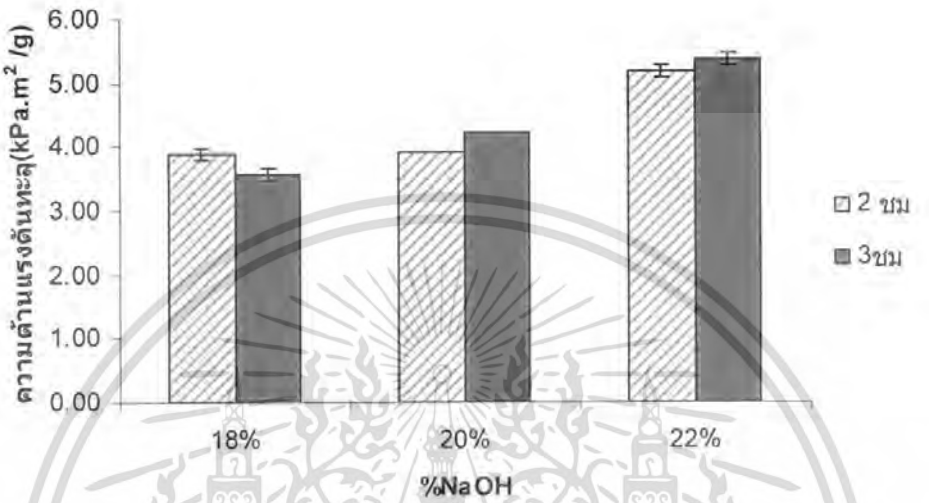
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 14.93 $N.m^{2}/kg$ ซึ่งมีความสอดคล้องกับความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ยังไม่ผ่านการฟอก และ ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่น้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 10.54 $N.m^{2}/kg$ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ผ่านการฟอกจะมีความต้านทานแรงฉีกขาดมากกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกันเปรียบเทียบความต้านแรงดันลุของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.13



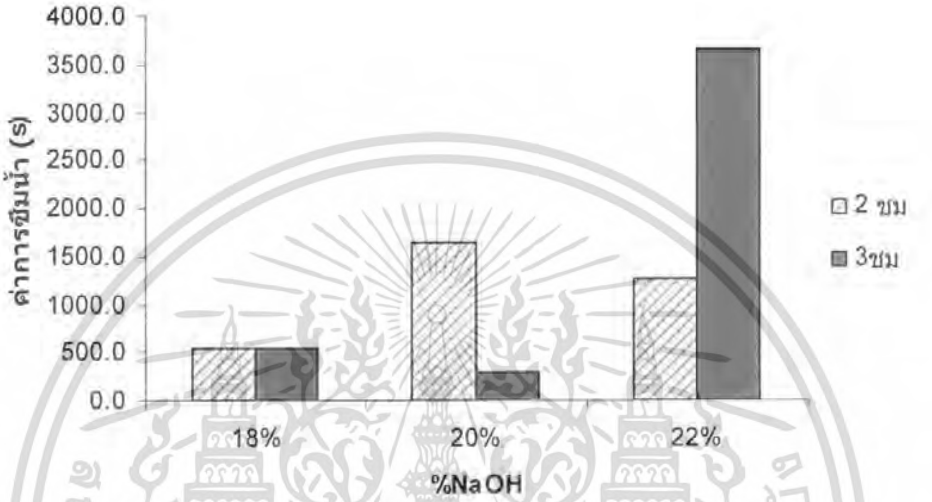
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 5.36 $kPa.m^2/g$ และที่ความต้านทานแรงดันทะลุน้อยอยู่ที่สุดที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 3.57 $kPa.m^2/g$ ซึ่งจะเห็นว่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวมากกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ค่าการซึมน้ำ (water drop test)

การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษโดยการหยดน้ำที่มีปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงบนกระดาษแล้วจับระยะเวลาที่กระดาษซึมน้ำหมด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน เปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ต้มด้วยสภาวะต่างๆดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

จากการทดสอบพบว่า ค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงมีค่าการซึมน้ำของกระดาษเร็วที่สุด เท่ากับ 300.5 (s) และที่ช้าที่สุด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 3659.0 (s) ซึ่งจะเห็นว่าการซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวมีค่าการซึมน้ำเร็วกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาว (การทดสอบมี 2 ค่า จึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

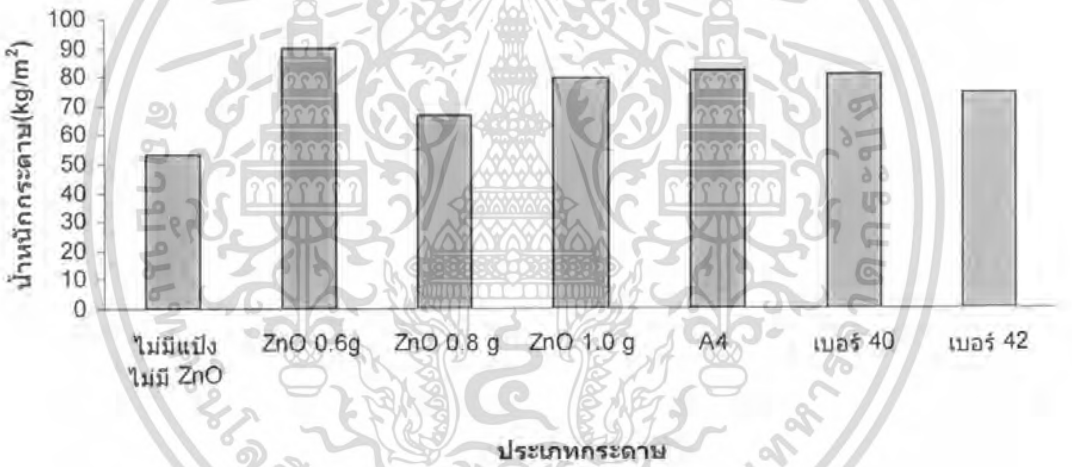
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ไม่ผสมแป้งมันที่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ต่างกัน และกระดาษมาตรฐาน

ในการเลือกเยื่อที่ต้มด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) มาทำการทดลองต่อโดยทำการผสมแป้งมันและผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่จะนำกระดาษที่ผลิตได้ไปใช้ในการกรองซึ่งต้องการกระดาษที่มีคุณสมบัติต้าน ทานแรงดันทะลุมากที่สุด

4.3.1 ผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษ

การทดสอบน้ำหนักของกระดาษขนาดพื้นที่ทดสอบ 200 ตารางเซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.15



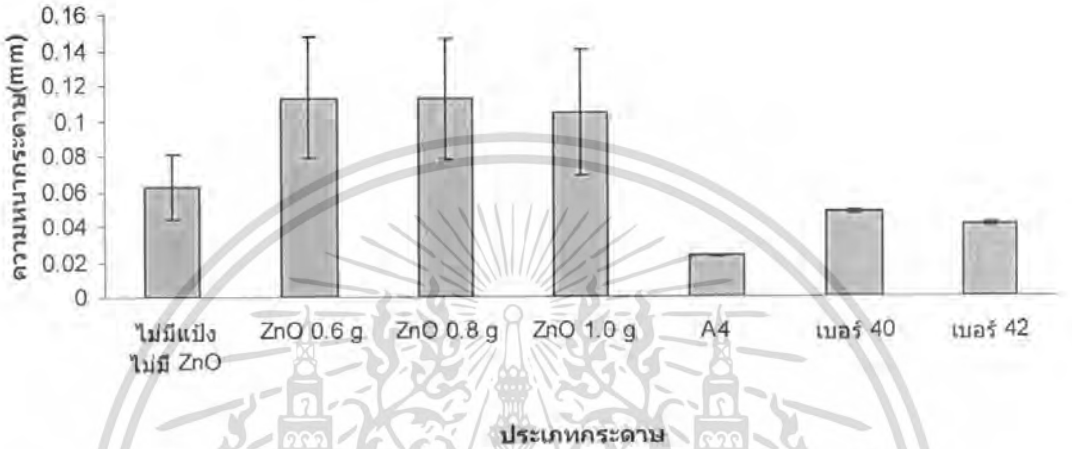
รูปที่4.15 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษพบว่า น้ำหนักของกระดาษมาตรฐานมีค่ามากกว่ากระดาษจากต้นโสนที่ไม่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์กับแป้งมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความหนาของชิ้นทดสอบ (thickness)

การทดสอบความหนาของกระดาษโดยวัดความหนาของกระดาษ 5 แผ่นในหน่วยมิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบความหนาของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่4.16



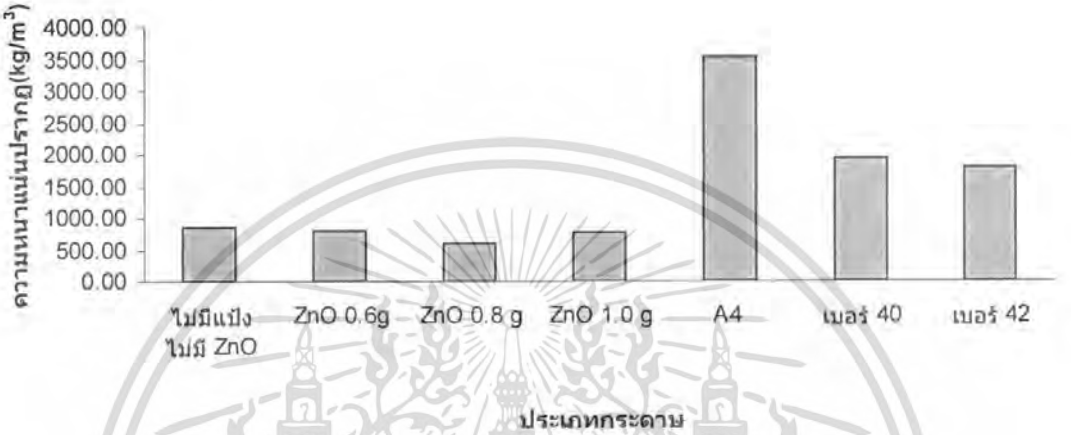
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบพบว่า ความหนาของกระดาษมาตรฐาน ทั้งกระดาษ A4, กระดาษกรองเบอร์ 40 และ 42 พบว่ากระดาษมาตรฐานมีความหนาน้อยกว่ากระดาษที่ทำจากต้นโสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

การทดสอบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษโดยคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.17



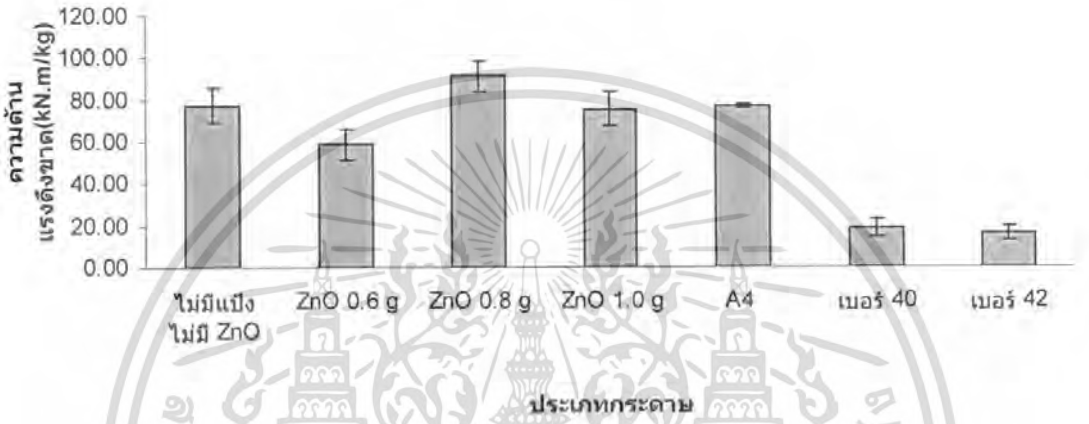
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบพบว่า กระดาษที่ทำจากต้นโสนมีค่าความหนาแน่นปรากฏใกล้เคียงกัน แต่กระดาษมาตรฐานมีค่าความหนาแน่นปรากฏของสูงกว่ากระดาษที่ทำจากต้นโสนมาก (ข้อมูลนี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยจึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษโดยทดสอบในหน่วยนิวตันต่อความกว้างของกระดาษ 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.18



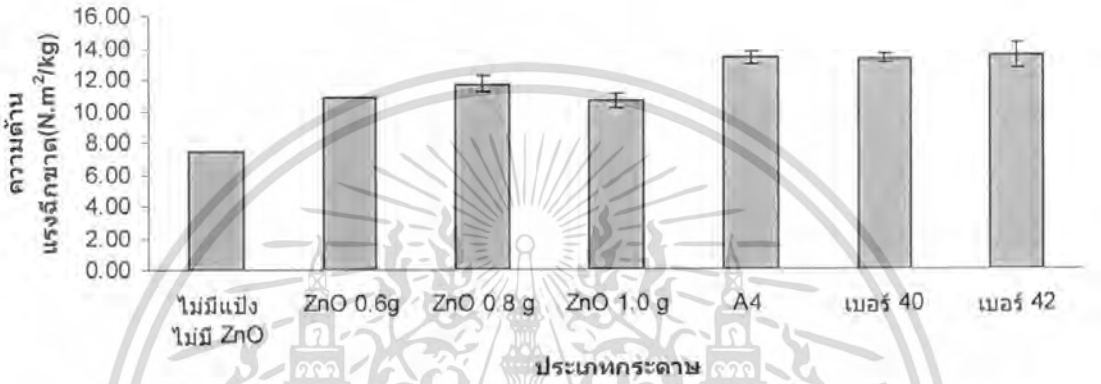
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.8 g มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากที่สุดเท่ากับ 91.43 kN.m /kg และที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.6 g มีค่าความต้านทานแรงดึงน้อยที่สุดเท่ากับ 58.72 kN.m /kg และจะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่ทำจากต้นโสนมีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ A4 แต่จะมีค่าต่างกับความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษกรองมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength)

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษโดยทดสอบครั้งละ 4 ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.19



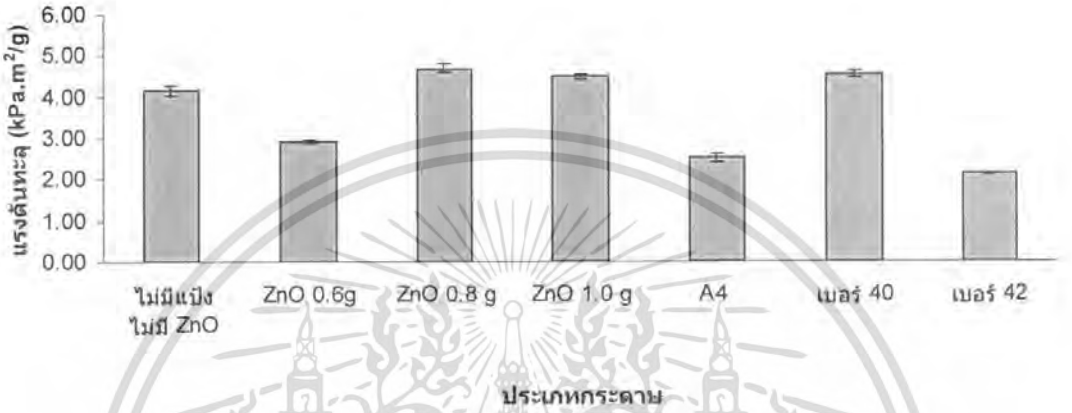
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษที่ทำจากต้นโสนที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.8 g จะมีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดมากที่สุดคือเท่ากับ 5.84 $N.m^2/kg$ และค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากต้นโสนที่ไม่มีแป้งและไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีค่าความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษน้อยที่สุดเท่ากับ 3.70 $N.m^2/kg$ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษมาตรฐานทั้ง 3 ประเภทแล้ว ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ทำจากต้นโสนจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.20



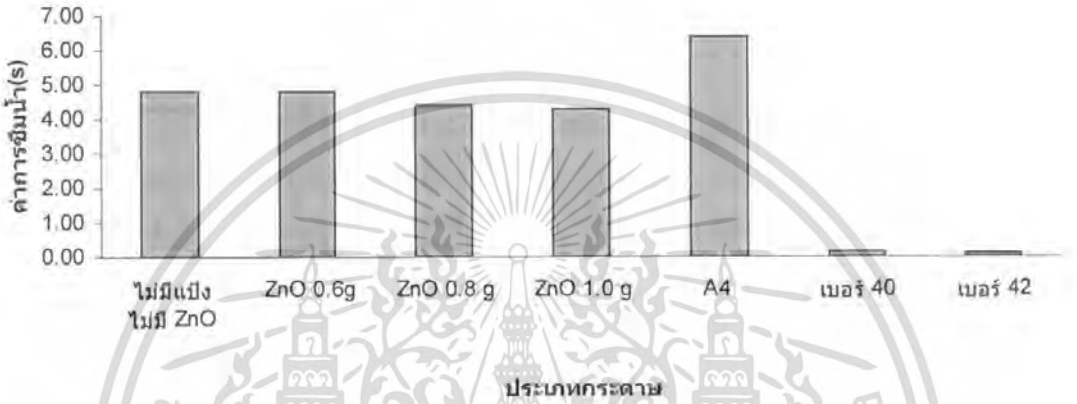
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความต้านแรงดันทะลุของกระดาษที่ทำจากต้นโสนที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.8 g จะมีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดมากที่สุดคือเท่ากับ 4.67 $kPa.m^2/g$ และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.6 g จะมีค่าความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ น้อยที่สุดเท่ากับ 2.93 $kPa.m^2/g$ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษมาตรฐานทั้ง 3 ประเภทแล้ว ค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ทำจากต้นโสนจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ A4 และกรองเบอร์ 42 แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษกรองเบอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ค่าการซึมน้ำ (water drop test)

การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษโดยการหยดน้ำที่มีปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงบนกระดาษแล้วจับระยะเวลาที่กระดาษซึมน้ำหมด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0, 0.6, 0.8, 1.0 กรัม และทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษจากต้นโสนที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับกระดาษมาตรฐานดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

จากการทดสอบพบว่า ค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ทำจากต้นโสน ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0, 0.6, 0.8, 1.0 กรัม มีค่าการซึมน้ำใกล้เคียงกัน โดยมีค่ามากกว่ากระดาษกรองเบอร์ 40 และ 42 มาก แต่จะมีค่าน้อยกว่ากระดาษ A4 เล็กน้อย (การทดสอบมี 2 ค่า จึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผสมแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ที่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ต่างกัน

4.4.1 ผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษ

การทดสอบน้ำหนักของกระดาษขนาดพื้นที่ทดสอบ 200 ตารางเซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.22

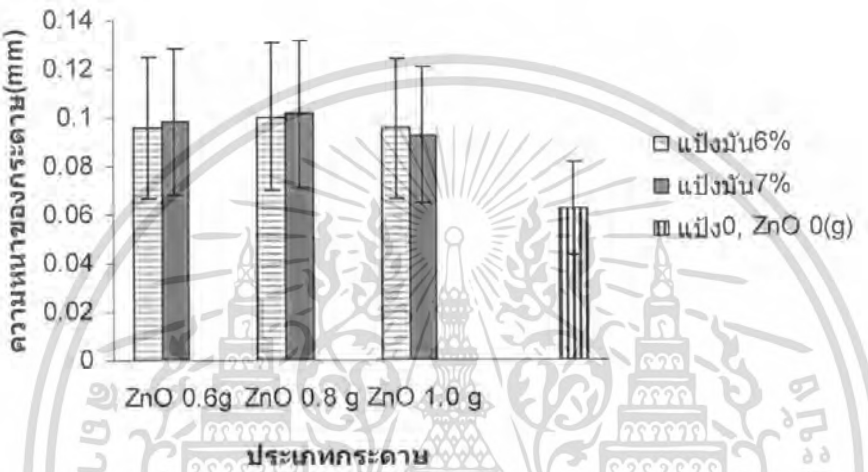
รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและผสมแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการทดสอบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ พบว่า ค่าการทดสอบน้ำหนักของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน แต่น้ำหนักของกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งจะมีน้ำหนักน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ความหนาของกระดาษ (thickness)

การทดสอบความหนาของกระดาษโดยวัดความหนาของกระดาษ 5 แผ่นในหน่วยมิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบความหนาของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.23



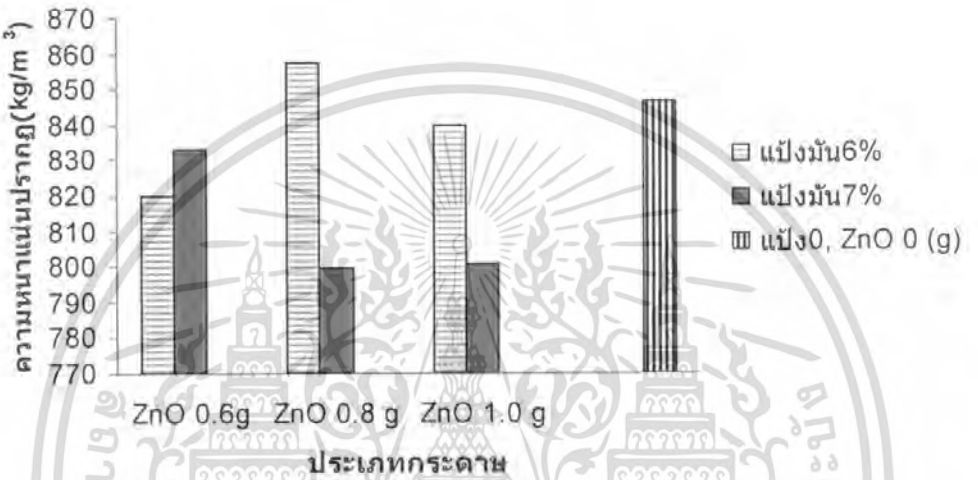
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและผสมแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม และผสมแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ พบว่า ค่าการทดสอบความหนาของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน แต่กระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งจะมีค่าความหนาน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

การทดสอบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษโดยคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.24



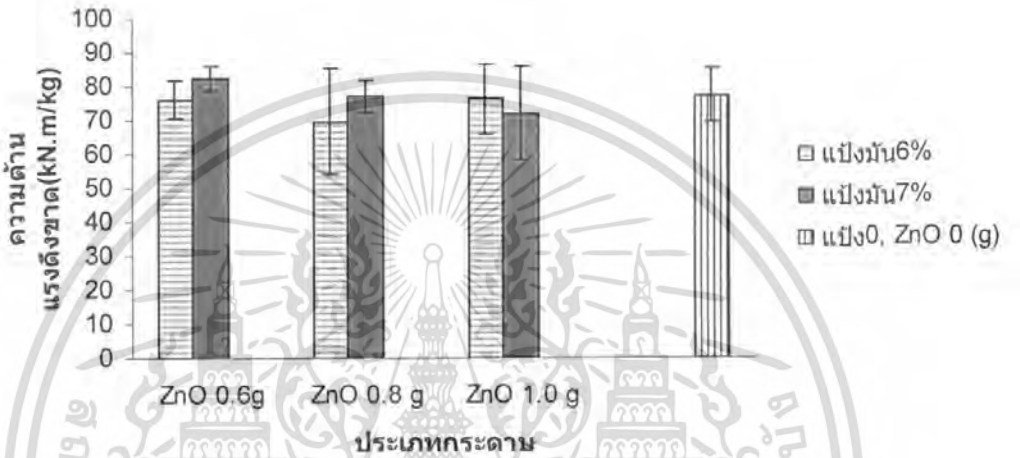
รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและผสมแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการคำนวณความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ พบว่า ค่าความหนาแน่นปรากฏของกระดาษที่ผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์มีค่าใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้ง และมีค่ามากกว่ากระดาษที่ผสมแป้งมัน 7 เปอร์เซนต์ (ข้อมูลนี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยจึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ความต้านแรงดึงขาด (tensile strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษโดยทดสอบในหน่วย นิวตันต่อความกว้างของกระดาษ 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 เปอร์เซนต์/น้ำหนักแห้งของไม้ เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.25



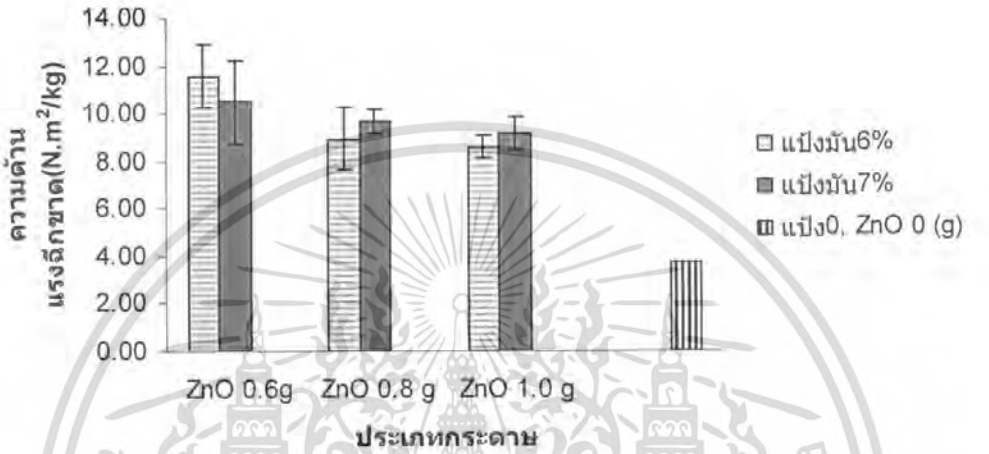
รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและผสมแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการทดสอบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22(เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ และกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งพบว่า ค่าการทดสอบความต้านแรงดึงขาดของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear strength)

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษโดยทดสอบครั้งละ 4 ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.26



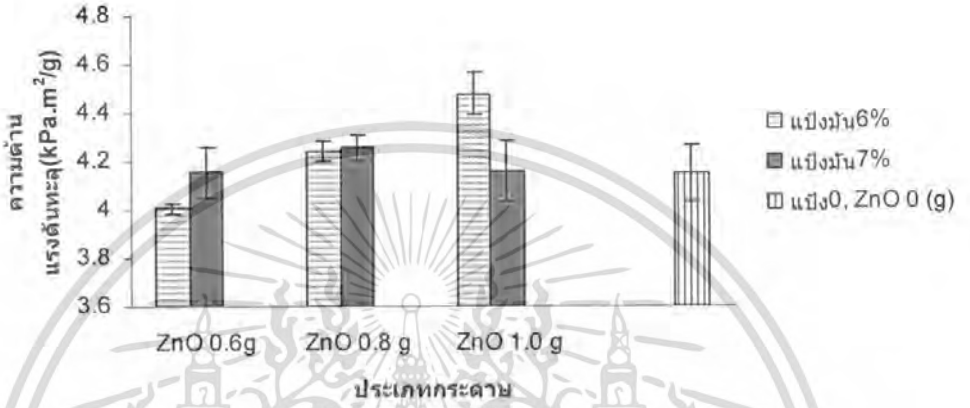
รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมและผสมแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการทดสอบความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ พบว่า ค่าการทดสอบความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน แต่กระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมันจะมีค่าความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษน้อยกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 เปอร์เซนต์/น้ำหนักแห้งของไม้ เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ที่น้ำหนักของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ที่กระจายตัวอยู่ในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม และผสมแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซนต์

จากผลการทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ และกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมัน พบว่า ค่าการทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7 ค่าการซึมน้ำ (water drop test)

การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษโดยการหยดน้ำที่มีปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงบนกระดาษแล้วจับระยะเวลาที่กระดาษซึมน้ำหมด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 (เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมงที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้งมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.28

รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ 7 เปอร์เซนต์

จากการทดสอบพบว่า ค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ทำจากต้นโสน ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0.6, 0.8, 1.0 กรัม มีค่าการซึมน้ำใกล้เคียงกัน และกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมันจะมีค่าการซึมน้ำมากกว่าเล็กน้อย (การทดสอบมี 2 ค่า จึงไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. การทดสอบขนาดอนุภาค

4.5.1 การทดสอบขนาดอนุภาคของ $CaCO_3$ เมื่อผ่านกระดาษกรอง

การทดสอบขนาดอนุภาคของ $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองที่สภาวะต่างๆ ดังนี้คือ ขนาดอนุภาคที่ยังไม่ผ่านการกรอง,ขนาดอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษเปล่าที่ไม่มีแป้งไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์ , ขนาดอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 g , ขนาดอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวในแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์ ขนาดอนุภาคที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่สภาวะต่างๆ ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาขนาดอนุภาคของ $CaCO_3$ ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษสภาวะต่างๆ

ตัวอย่างที่	สาร	D(4,3) (micrometers)	Sauter mean (D[3,2]) (micrometers)
1	$CaCO_3$	33.2	11.46
2	$CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองที่ไม่ผสมแป้งและไม่มี ZnO	6.62	4.57
3	$CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองที่ไม่ผสมแป้งแต่มี ZnO 1.0 g	8.51	5.30
4	$CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองที่ผสมแป้ง6%และมี ZnO 1.0 g	6.71	4.57

จากผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาคโดยเครื่อง Mastisizer x พบว่า ขนาดอนุภาคของ $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองจะมีขนาดลดลง โดยที่ขนาดอนุภาคที่ผ่านกระดาษกรองที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมันและกระดาษกรองที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์ จะมีขนาดอนุภาคที่ Sauter mean (D[3,2]) เล็กเท่ากันคือ 4.57 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6. การทดสอบเชื้อแบคทีเรีย

4.6.1 การทดสอบจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปาเมื่อผ่านการกรอง

การทดสอบจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปา เมื่อนำน้ำประปามากรองผ่านกระดาษที่สภาวะต่างๆ ดังนี้คือ กระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมัน, กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 1.0 กรัม, กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปา เมื่อผ่านการกรองที่กระดาษสภาวะต่างๆ

สารตัวอย่าง	จำนวนโคโลนี (โคโลนี/มิลลิลิตร)			
	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย
น้ำประปา	14.00	19.00	19.00	17.33
น้ำที่กรองผ่านกระดาษที่ไม่ผสม ZnO และไม่ผสมแป้งมัน	14.00	14.00	19.00	15.67
น้ำที่กรองผ่านกระดาษที่ผสม ZnO 1.0 g	5.00	12.00	13.00	10.00
น้ำที่กรองผ่านกระดาษที่ผสม ZnO 1.0 g และผสม แป้ง6%	8.00	7.00	6.00	7.00

จากผลการทดสอบพบว่า จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในน้ำประปา มีจำนวนโคโลนีลดลงหลังจากผ่านกระดาษกรอง โดยที่น้ำประปาที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมในแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์ มีจำนวนโคโลนีน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การทดสอบการยับยั้งเชื้อ

การทดสอบการยับยั้งเชื้อคือ เมื่อนำกระดาษที่สภาวะต่างๆ จุ่มน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมเชื้อมาแล้ว เพื่อวัดรัศมีของการยับยั้งเชื้อของกระดาษโดยมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบหา clear zone บนอาหารเลี้ยงเชื้อของกระดาษที่สภาวะต่างๆ

สภาวะ	เชื้อ *Micrococcus*			เชื้อ *S.aureus*			เชื้อ *Serrat.a*		
	clear zone (cm)		เฉลี่ย (cm)	clear zone (cm)		เฉลี่ย (cm)	clear zone (cm)		เฉลี่ย (cm)
กระดาษเปล่า	0	0	0	0	0	0	0	0	0
กระดาษที่ผสมZnO 1.0 g	3.10	3.00	3.05	1.50	1.60	1.55	1.20	1.40	1.30
กระดาษที่ผสมZnO 1.0 g และผสมแป้ง6%	3.40	3.50	3.45	2.20	2.50	2.35	1.70	1.90	1.80

จากผลการทดสอบพบว่า ที่กระดาษไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้งมันไม่ปรากฏ clear zone และที่กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมแป้งมัน 6 เปอร์เซนต์ จะมีclear zone มากกว่ากระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์อย่างเดียวทุกเชื้อ และพบว่า นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งเชื้อ *Micrococcus* ได้ดีกว่าเชื้อ *S. aureus* และดีกว่า เชื้อ *Serrat.a* ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7. ผลการทดลองการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน

4.7.2 การวิเคราะห์การเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนผลการทดลอง

จากการทดลองหลังหยดสารละลายโลหะไอออนลงในสารละลายโซเดียมอีดีทีเอพบว่าในชุดทดลองที่1 ที่ไม่ผ่านการปรับสภาวะของpH เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 2 ผลที่ได้ชุดการทดลองที่ 1 มีความเข้นของการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่จางกว่าสีที่ปรากฏในชุดการทดลองที่ 2 เนื่องจากมีการปรับสภาวะของพีเอชให้เหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่ได้ปรับสภาวะพีเอช

ตารางที่ 4.4 แสดงการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน

สารละลายโลหะไอออน	ความเข้มข้น (Molar)	สีที่สังเกตเห็น	หมายเหตุ
$FeSO_4$	1.00×10^{-2}	สีน้ำตาล	ภาคผนวก ค
	1.00×10^{-3}	สีน้ำตาลอ่อน	รูป
	1.00×10^{-4}	สีน้ำตาลอ่อน	
	1.00×10^{-5}	สีใส	
$CuSO_4$	1.00×10^{-2}	สีฟ้า	ภาคผนวก ค
	1.00×10^{-3}	สีฟ้าอ่อน	รูป
	1.00×10^{-4}	สีฟ้าอ่อน	
	1.00×10^{-5}	สีใส	
$NiNO_3$	1.00×10^{-2}	สีเขียวอ่อน	ภาคผนวก ค
	1.00×10^{-3}	สีเขียวอ่อน	รูป
	1.00×10^{-4}	สีเขียวอ่อน	
	1.00×10^{-5}	สีใส	
$K_2Cr_2O_7$	1.00×10^{-2}	สีส้ม	ภาคผนวก ค
	1.00×10^{-3}	สีส้มอ่อน	รูป
	1.00×10^{-4}	สีส้มอ่อน	
	1.00×10^{-5}	สีใส	
$Pb(NO_3)_2$	1.00×10^{-2}	สีใส	ภาคผนวก ค
	1.00×10^{-3}	สีใส	รูป
	1.00×10^{-4}	สีใส	
	1.00×10^{-5}	สีใส	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการวิเคราะห์การเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนผลการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปทำการเปรียบเทียบสีโดยการใช้กระดาษประเภทต่างๆที่ผ่านการชุบสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เพื่อใช้เป็นชุดวิเคราะห์โลหะหนัก โดยนำกระดาษกรองเบอร์ 42 และกระดาษที่ผลิตได้จากต้นโสน มาชุบในสารละลายโลหะหนัก ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนบนกระดาษกรองเบอร์42 กับกระดาษที่ผลิตจากต้นโสน

สารละลายโลหะไอออน	ประเภทของกระดาษ		หมายเหตุ
	กระดาษกรองเบอร์ 42	กระดาษที่ผลิตจากต้นโสน	
$FeSO_4$	น้ำตาลอ่อน	พบสีที่อ่อนกว่า	ภาคผนวก ค
$CuSO_4$	ฟ้าอ่อน	“	รูป
$NiNO_3$	เขียวอ่อน	“	
$K_2Cr_2O_7$	ส้มอ่อน	“	
$Pb(NO_3)_2$	ไม่ปรากฏสี	ไม่ปรากฏสี	

ผลการวิเคราะห์พบว่าสีที่ปรากฏบนกระดาษกรองเบอร์ 42 เมื่อทำการชุบสารละลายโลหะจะมีสีที่เห็นได้ชัดกว่า กระดาษที่ผลิตได้จากต้นโสน อาจเป็นสาเหตุมาจากที่สีของเนื้อกระดาษที่ผลิตจากต้นโสนมีสีที่เหลืองนวลเล็กน้อยทำให้สีที่ปรากฏออกมาไม่ชัดเจน ในขั้นตอนดังกล่าวอาจต้องมีการพัฒนาคุณภาพของกระดาษต่อไป โดยทำด้วยวิธีการเติมสารซิงค์ออกไซด์ เพื่อเพิ่มความขาวแก่ตัวเนื้อกระดาษให้มากขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการขึ้นแผ่นกระดาษจากต้นโสน

จากการทดสอบสมบัติพื้นฐานสามารถสรุปได้ ดังนี้

1.เยื่อที่ผ่านการต้มด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและจำนวนชั่วโมงที่ต่างกัน จะให้กระดาษที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แต่เยื่อที่ต้มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20% เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุด

2. เยื่อที่ผ่านการฟอกขาวแล้วจะให้กระดาษที่ความแข็งแรงสูงกว่ากระดาษที่ยังไม่ผ่านการฟอกขาว แต่จะมีค่าการซึมน้ำที่เร็วกว่ากระดาษที่ยังไม่การฟอก

3.เยื่อที่ผ่านการต้มที่สภาวะเดียวกัน แต่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ต่างกัน จะให้คุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลไม่ต่างกัน

4. เยื่อที่ผ่านการต้มที่สภาวะเดียวกัน ที่ผสมแป้งมันที่มีความเข้มข้นต่างกัน จะให้คุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลไม่ต่างกัน

5. กระดาษกรองที่ทำจากต้นโสนจะมีค่าการซึมน้ำช้ากว่ากระดาษกรองมาตรฐานมาก

6. อนุภาคที่ผ่านกระดาษกรองเปล่าที่ไม่ผสมแป้งและนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคที่ผ่านกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับแป้งจะมีอนุภาคขนาดเท่ากัน และเล็กกว่าอนุภาคที่ผ่านกระดาษกรองที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว

5.2 สรุปผลการทดลองการขึ้นแผ่นกระดาษจากต้นโสนผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ และกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมในแป้งมัน

จากการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. น้ำประปาที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองที่มีส่วนผสมของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมในแป้งมัน จะมีจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย น้อยกว่ากระดาษกรองที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ และกระดาษกรองที่ไม่มีส่วนผสมของแป้งและนาโนซิงค์ออกไซด์

2. ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่า กระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมแป้งมันจะมีรัศมีการยับยั้งเชื้อมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผลการทดลองการการประยุกต์ใช้กระดาษจากต้นโสนเพื่อทำเป็นชุดทดสอบโลหะหนัก

1. จากผลทดลองทำการเทียบเปรียบสีโดยการใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกระดาษที่ผลิตได้จากต้นโสน พบว่าสีที่ปรากฏบนกระดาษกรองเมื่อทำการชุบจะมีสีที่เห็นได้ชัดกว่า กระดาษที่ผลิตได้จากต้นโสน อาจเป็นสาเหตุมาจากที่สีของเนื้อกระดาษที่ผลิตจากต้นโสนมีสีที่นวลเหลืองเล็กน้อย ทำให้สีที่ปรากฏออกมาไม่ชัดเจน ในขั้นตอนดังกล่าวอาจต้องมีการพัฒนาคุณภาพของกระดาษต่อไป โดยทำด้วยวิธีการเติมสารซิงค์ออกไซด์ เพื่อเพิ่มความขาวแกตัวเนื้อกระดาษให้มากขึ้น เป็นต้น

2. สารละลายโลหะไอออนชุด control ทำเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 โดยที่ชุด control เป็นการเตรียมสารละลายstock ไม่ทำการเติมสารละลายอีดีทีเอในหลอดทดลอง

3.จากผลทดลองหลังหยดสารละลายโลหะไอออนลงในสารละลายโซเดียมอีดีทีเอพบว่าในชุดทดลองที่1 ที่ไม่ผ่านการปรับสภาวะของpH เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 2 ผลที่ได้ชุดการทดลองที่ 1 มีความเข้นของการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่จางกว่า สีที่ปรากฏในชุดการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปรับสภาวะให้เหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่าที่ไม่ได้ควบคุมสภาวะ

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. กระดาษจากต้นโสนที่ขึ้นแผ่นผสมชันสนเพื่อลดการซึมผ่านของน้ำสามารถพัฒนามาเป็นแก้วกระดาษใช้แทนแก้วพลาสติกที่ย่อยสลายยากได้

2. กระดาษจากต้นโสนที่ขึ้นแผ่นจากสารเติมแต่งที่เหมาะสมสามารถพัฒนามาเป็นกระดาษพิมพ์เขียนได้

3. กระดาษจากต้นโสนที่ขึ้นแผ่นผสมแป้งมันและนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อการเพิ่มคุณสมบัติให้ดีขึ้นควรเปลี่ยนจากแป้งมันเป็นโพลิเอทิลีน โพลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงดึงให้กระดาษเพิ่มมากขึ้น

4. สามารถนำมาทำเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนได้ เพียงแต่ต้องมีหม้อต้มเยื่อที่ให้ความร้อนสูง ซึ่งสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยใช้ต้นทุนไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1]. ชาติชาย ธรรมธนารักษ์. ภาชนะกระดาษทดแทนพลาสติก. **วารสารพายัพ**.ปีที่ 3. ฉบับที่ 59. กรุงเทพฯ.กันยายน 2544:หน้า40-44.

[2]. อัญชลี กมลรัตนกุล.**คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ.**1.กรุงเทพฯ:สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.2545.

[3]. ปิยะวุฒิ อินทรักษ์, สัณหวิชย์ สมุทรแสง.**การเตรียมหลอดตรวจวัดหาปริมาณเหล็ก(II).** ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2547.

[4] ณัฐพิรา เนตรสว่าง, ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ,สุรเทพ เขียวหอม. **การศึกษาวัฏจักรชีวิตของนาโนซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์.**วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.2548.

[5]. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ .**ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ.** กรุงเทพฯ:กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ.2546.

[6]. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.**วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชนนานาสาระ(3)**. 1. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.2544.

[7].สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.**มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง เล่ม 3 วิธีหาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบที่มีอัตราการเพิ่มแรงดึงคงที่.**กรุงเทพฯ:1-3.2540.

[8]. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. **ระเบียบปฏิบัติงาน**. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2540.

[9]. **ลักษณะทั่วไปของต้นโสน** . [Online].เข้าถึงได้จาก http://www.samunpai.com/samunpai/show.p

[10] **แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค** . [Online].เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/

[11]. สุคนธ์ พานิชพันธ์. **การผลิตชุดป้องกันการติดเชื้อทางการแพทย์**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.2548.

[12]. นวภรณ์ อนันตธนวนิชย์, นุชรี ปัญจะผลินกุลและพัชรี มณฑาทิพย์.**การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน(พีพี)และเส้ยใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์.**ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13]. ยุทธการ อาจารีย์ .**โครงการพัฒนาเครื่องตีเส้นใยพืชและเปรียบเทียบคุณสมบัติของต้นกล้วย ต้นกก และต้นอ้อ เพื่อทดแทนกระดาษ**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.2544.

[14]. สราวุธ พัชรชมพู.**การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยต้นกล้วยน้ำว้ามาผลิตเยื่อกระดาษ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.2545.

[15]. ฐิริญญา เสือยงและมณฑล วงศ์วิจิตร.**การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์**.ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต.ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2547.

[16]. มาวิณี แย้มจันทรามาศ.**การผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับไคโตซาน**.ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ.คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2547.

[17]. "Vogel's Textbook of Quantitative, Chemical Analysis" 5th ed., revised by Jeffery G.H, Bassett J., Mendham J. and Denny R.C., ELBS/Longman, Bath Press Ltd., 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	น้ำหนักของกระดาษตามสภาวะในการต้มเยื่อ (g/1 sheet)					
ครั้งที่	NaOH 18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH 20% 3 ชม.	NaOH 22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
1	1.4007	1.2519	1.2227	1.4430	1.3985	1.2704
2	1.3557	1.2466	1.3406	1.3749	1.3722	1.2971
3	1.3406	1.2587	1.2918	1.3900	1.2953	1.3127
4	1.3406	1.2963	1.4846	1.4533	1.3688	1.3151
5	1.3196	1.3735	1.3133	1.3780	1.3632	1.2239
6	1.3182	1.3194	1.2275	1.5203	1.3462	1.2522
7	1.3388	1.3509	1.2788	1.4425	1.3127	1.2814
8	1.3249	1.3644	1.2917	1.5033	1.3110	1.2585
9	1.3420	1.3056	1.3059	1.4228	1.3362	1.3177
10	1.3085	1.3004	1.2753	1.4618	1.3035	1.3396
เฉลี่ย	1.3390	1.3068	1.3032	1.4390	1.3408	1.2869
ค่า S.D	0.0259	0.0459	0.0732	0.0494	0.0346	0.0359
basic weight (g/m^2)	66.9480	65.3385	65.1610	71.9495	67.0380	64.3430

ตัวอย่างการคำนวณค่า basic weight (g/m^2)

จากการทดลองได้ว่า ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ในพื้นที่ $200\times10^{-4}\ m^2$ ชิ้นทดสอบมี นน .เฉลี่ย = 1.3390 g

ในพื้นที่ $1\ m^2$ ชิ้นทดสอบมี นน. เฉลี่ย $= (1.3390)\times(1)/(200\times10^{-4})$

$= 66.9480\ g/m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความหนาของกระดาษตามสภาวะในการต้มเยื่อ (mm./ 5sheets)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH 18% 3 ชม.	NaOH 20% 2 ชม.	NaOH 20% 3 ชม.	NaOH 22% 2 ชม.	NaOH 22% 3ชม.
1	0.428	0.440	0.457	0.482	0.425	0.414
	0.426	0.431	0.416	0.483	0.408	0.401
	0.422	0.423	0.413	0.481	0.418	0.410
	0.421	0.426	0.418	0.480	0.402	0.413
	0.431	0.432	0.475	0.478	0.408	0.408
2	0.423	0.487	0.376	0.474	0.415	0.400
	0.422	0.444	0.376	0.489	0.414	0.400
	0.417	0.436	0.378	0.480	0.407	0.428
	0.418	0.454	0.379	0.478	0.430	0.396
	0.420	0.465	0.389	0.479	0.417	0.396
เฉลี่ย	0.4228	0.4438	0.4077	0.4804	0.4144	0.4066
ค่า S.D	0.0044	0.0199	0.0353	0.0039	0.0086	0.0101
thickness 1sheet(mm)	0.0846	0.0888	0.0815	0.0961	0.0829	0.0813

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ความหนาของชิ้นทดสอบต่อแผ่น = 0.4228/5 mm.

= 0.0846 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความหนาแน่นแน่นปรากฏของกระดาษตามสภาวะในการต้มเยื่อ (kg/m^3)					
ตัวแปร	NaOH18% 2 ชม.	NaOH 18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH 20% 3 ชม.	NaOH 22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
basic weight (g/m^2)	66.94	65.33	65.16	71.94	67.03	64.34
thickness 1 sheet (mm)	0.0846	0.0888	0.0815	0.0916	0.0829	0.0813
apparent density(kg/m^3)	791.34	735.79	799.52	785.47	808.56	791.42

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

apparent density ; kg/m^3 = basic weight (g/m^2) / thickness (m)

= 66.9480(g/m^2) / (0.0846 / 10^3) (m)

= 791.34 kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงดึงขาดตามสภาวะในการต้มเยื่อ(N /width15 mm.)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH 20% 3 ชม.	NaOH 22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
1	72.53	73.26	84.98	96.70	87.67	97.92
2	74.24	82.05	88.40	98.17	93.77	90.84
3	79.12	70.33	86.69	95.48	82.30	94.02
4	73.50	69.60	81.32	98.17	94.99	90.84
5	74.48	66.67	83.03	95.48	92.30	89.62
เฉลี่ย	74.77	72.38	84.88	96.80	90.21	92.65
ค่า S.D	2.55	5.89	2.82	1.35	5.22	3.37
basic weight (g/m^2)	66.95	65.34	65.16	71.95	67.04	64.34
tensile index kN.m /kg	74.46	73.85	86.85	89.69	89.71	95.99

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

tensile strength เฉลี่ย = 74.77 N/ 15 mm

และจาก tensile index ; kN.m /kg = tensile strength / basis weight

= (74.77×1000) / (15 × 66.94) $kN.m^2/kg$

= 74.46 $kN.m^2/kg$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงฉีกขาดตามสภาวะในการต้มเยื่อ(div)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH 20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
1	12.0	9.0	10.0	13.0	10.0	10.1
2	10.0	12.0	12.0	13.0	11.0	10.0
3	10.0	10.0	10.0	12.0	10.0	10.1
4	10.0	11.0	10.0	14.0	10.0	10.0
5	11.0	11.0	10.0	13.0	10.0	10.1
เฉลี่ย	10.60	10.60	10.40	13.00	10.20	10.06
F (mN)	415.94	415.94	408.10	510.12	400.25	394.75
basic weight (g/m^2)	66.95	65.34	65.16	71.95	67.04	64.34
tear index $N.m^2/kg$	6.21	6.37	6.26	5.67	5.97	6.14

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Factor ของ pendulum ที่ใช้ คือ 137.6 g.cm/div

จาก $F = W/S$ จะได้ $F = 10.6 \text{ div} \times 137.6 \text{ g.cm/div} / 34.4 \text{ cm}$

$= 415.94 \text{ mN}$

จาก tear index $=$ F / basic weight

$= 415.94 \times 10^{-3} \text{ N} / 66.95 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$

ดังนั้นชิ้นทดสอบมีค่า tear index $= 6.21 \text{ N.m}^2/\text{kg}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงดันทะลุตามสภาวะในการต้มเยื่อ(kPa)					
ครั้งที่	NaoH18% 2 ชม.	NaoH 18% 3 ชม.	NaoH 20% 2 ชม.	NaoH20% 3 ชม.	NaoH22% 2 ชม.	NaoH22% 3 ชม.
1	203.40	197.80	220.12	300.00	248.80	261.50
2	202.30	188.50	207.90	299.30	259.30	269.20
3	190.20	187.40	228.00	297.60	265.10	265.70
4	197.10	195.40	233.20	299.00	267.10	267.80
5	193.00	188.50	225.60	294.20	266.80	251.90
เฉลี่ย	197.20	191.52	222.96	298.02	261.42	263.22
ค่า S.D	5.72	4.74	9.64	2.31	7.72	6.96
basic weight (g/m^2)	66.95	65.34	65.16	71.95	67.04	64.34
burst index ($kPa.m^2/g$)	2.95	2.93	3.42	4.14	3.90	4.09

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากการทดลองได้ค่าความต้านแรงดันทะลุเฉลี่ย = 197.2 kPa

และจาก burst index ; $kPa.m^2/g$ = bursting strength / basic weight

= 197.2/ 66.95

ดังนั้นชิ้นทดสอบมีค่า burst index = 2.95 $kPa.m^2/g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ค่าการซึมน้ำของกระดาษที่ไม่ฟอกตามสภาวะในการต้มเยื่อ (s)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
1	2911.0	3912.0	2904.0	5424.0	5097.0	4483.0
2	3612.0	3950.0	3566.0	5746.0	5109.0	4509.0
เฉลี่ย	3261.5	3931.0	3235.0	5585.0	5103.0	4496.0

ตารางที่ ก.8 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ผ่านการฟอกขาว ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	น้ำหนักของกระดาษตามสภาวะในการต้มเยื่อ (g)					
ครั้งที่	NaOH 18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
1	1.9633	2.5081	1.6476	1.9732	1.5129	1.5541
2	1.6382	2.6381	1.6484	2.0879	1.5342	1.4342
3	1.7851	2.6177	1.6905	2.0267	1.5979	1.3852
4	2.0327	2.6455	1.5026	1.9365	1.598	1.4169
5	1.6148	2.5652	1.6391	2.0107	1.5718	1.3656
6	1.7735	1.8203	1.5112	1.9936	1.5414	1.5165
7	1.8596	2.7456	1.5504	2.0808	1.5353	1.3106
8	1.7759	2.5489	1.6092	2.0842	1.5018	1.3909
9	1.8272	2.5198	1.5923	2.0663	1.5388	1.3795
10	1.7689	2.6182	1.5694	2.1568	1.5914	1.3665
เฉลี่ย	1.8039	2.5227	1.5961	2.0417	1.5524	1.4120
ค่า S.D	0.1282	0.2565	0.0624	0.0655	0.0351	0.0733
basic weight (g/m^2)	90.1	126.1	79.8	102.0	77.6	70.6

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความหนาของกระดาษตามสภาวะในการต้มเยื่อ (mm./ 5sheets)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH 22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
1	0.591	0.807	0.518	0.688	0.476	0.456
	0.578	0.793	0.512	0.68	0.482	0.435
	0.57	0.807	0.5	0.674	0.471	0.436
	0.58	0.816	0.504	0.682	0.475	0.443
	0.583	0.801	0.517	0.675	0.472	0.447
2	0.57	0.726	0.544	0.666	0.473	0.425
	0.573	0.76	0.494	0.659	0.472	0.446
	0.566	0.801	0.496	0.674	0.47	0.441
	0.573	0.779	0.495	0.657	0.467	0.432
	0.57	0.747	0.498	0.656	0.478	0.425
เฉลี่ย	0.5754	0.7837	0.5078	0.6711	0.4736	0.4386
ค่า S.D	0.0076	0.0300	0.0156	0.0111	0.0043	0.0099
thickness 1sheet(mm)	0.1151	0.1567	0.1016	0.1342	0.0947	0.0877

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความหนาแน่นปรากฏตามสภาวะในการต้มเยื่อ (kg/m^3)					
ตัวแปร	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
basic weight (g/m^2)	90.1	126.1	79.8	102	77.6	70.6
thickness 1 sheet(mm)	0.1151	0.1567	0.1016	0.1342	0.0947	0.0877
apparent density(kg/m^3)	782.79	804.72	785.43	760.06	819.43	805.01

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

ตารางที่ ก.11 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงดึงขาด(N /width15 mm.)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
1	102.80	109.60	109.60	125.80	114.00	112.80
2	111.80	104.00	104.00	127.50	112.30	113.80
3	104.80	113.20	113.20	123.30	115.30	114.50
4	100.90	101.00	101.00	123.00	117.20	108.20
5	110.60	102.30	102.30	128.90	111.60	105.70
เฉลี่ย	106.18	106.02	106.02	125.70	114.08	111.00
ค่า S.D	4.80	5.18	5.18	2.58	2.27	3.85
basic weight (g/m^2)	90.19	126.31	79.8	102.08	77.61	70.6
tensile index	78.49	55.96	88.57	82.09	97.99	104.82

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงฉีกขาดตามสภาวะในการต้มเยื่อ(div)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
1	24	41	21	38	26	20
2	25	39	23	35	26	23
3	23	37	24	40	24	22
4	24	38	26	40	29	22
5	25	40	23	41	24	21
เฉลี่ย	24.2	39	23.4	38.8	25.8	21.6
F (mN)	949.61	1530.36	918.22	1522.51	1012.39	847.58
basic weight (g/m^2)	90.19	126.31	79.80	102.08	77.60	70.60
tear index ($N.m^2/kg$)	10.54	12.12	11.51	14.91	13.05	12.01

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ความต้านทานแรงดันทะลุ(kPa)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH22% 3 ชม.
1	346.80	435.50	316.70	425.10	397.10	376.60
2	354.10	458.00	307.30	429.30	417.50	374.20
3	342.30	445.20	313.40	433.40	396.40	373.10
4	358.20	460.10	314.60	432.10	390.50	384.90
5	348.20	452.30	309.10	436.10	406.10	384.90
เฉลี่ย	349.92	450.22	312.22	431.20	401.52	378.74
ค่า S.D	6.3	10.1	3.9	4.2	10.5	5.8
basic weight (g/m^2)	90.10	126.10	79.80	102.00	77.60	70.60
burst index ($kPa.m^2/g$)	3.88	3.57	3.91	4.23	5.17	5.36

คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18%เป็นเวลา2ชั่วโมงที่ไม่ผ่านการฟอก

ตารางที่ ก.14 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแห้งของไม้) และจำนวนชั่วโมงที่ต้มเยื่อต่างๆกัน

	ค่าการซึมน้ำเยื่อที่ฟอก (s)					
ครั้งที่	NaOH18% 2 ชม.	NaOH18% 3 ชม.	NaOH20% 2 ชม.	NaOH20% 3 ชม.	NaOH22% 2 ชม.	NaOH 22% 3 ชม.
1	362.0	421.0	1485.0	258.0	1019.0	4444.0
2	730.0	672.0	1797.0	343.0	1498.0	2874.0
เฉลี่ย	546.0	546.5	1641.0	300.5	1258.5	3659.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15การทดสอบน้ำหนักของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักของกระดาษที่ไม่มีแป้งมัน (g)				น้ำหนักของกระดาษมาตรฐาน(g)		
	เปล่า	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
1	1.0723	1.706	1.2227	1.5126	1.6392	1.6286	1.4534
2	1.0481	1.7839	1.3406	1.6069	1.6542	1.6166	1.4894
3	1.0616	1.6204	1.2918	1.7138	1.6478	1.6126	1.5118
4	1.1386	2.0092	1.4846	1.6351	1.6268	1.6102	1.4933
5	0.9796	1.8696	1.3133	1.4597	1.6194	1.6287	1.4665
เฉลี่ย	1.0600	1.7978	1.3306	1.5856	1.6374	1.6193	1.4828
ค่า S.D	0.0569	0.1499	0.0965	0.1006	0.0144	0.0088	0.0230
basic weight (g/m^2)	53.00	89.89	66.53	79.28	81.87	80.97	74.14

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ครั้งที่	ความหนากระดาษไม่มีแป้งมัน (mm./ 5sheets)				ความหนาของกระดาษมาตรฐาน (mm.)		
	เปล่า	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
1	0.309	0.581	0.559	0.519	0.117	0.203	0.209
	0.314	0.544	0.559	0.526	0.117	0.204	0.209
	0.304	0.566	0.555	0.517	0.116	0.205	0.202
	0.319	0.557	0.595	0.544	0.116	0.217	0.201
	0.321	0.560	0.556	0.508	0.114	0.216	0.201
2	0.306	0.601	0.548	0.517	-	-	-
	0.306	0.546	0.556	0.508	-	-	-
	0.306	0.569	0.576	0.533	-	-	-
	0.322	0.561	0.566	0.526	-	-	-
	0.322	0.568	0.548	0.524	-	-	-
เฉลี่ย	0.3129	0.5653	0.5618	0.5222	0.1160	0.2090	0.2044
ค่า S.D	0.0075	0.0166	0.0143	0.0110	0.0012	0.0069	0.0042
thickness 1sheet(mm)	0.0626	0.1131	0.1124	0.1044	0.0232	0.0418	0.0409

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ตัวแปร	ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษไม่มีแป้ง (kg/m^3)				ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมาตรฐาน (kg/m^3)		
	เปล่า	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
basic weight (g/m^2)	53.00	89.89	66.53	79.28	81.87	80.97	74.14
thickness 1sheet (mm)	0.0626	0.1131	0.1124	0.1044	0.0232	0.0418	0.0409
apparent density(kg/m^3)	846.65	794.78	591.90	759.39	3529.05	1937.01	1813.70

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

	ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษไม่มีแป้ง(N /width15 mm.)				ความต้านแรงดึงขาดของกระดาษมาตรฐาน(N/width15mm)		
ครั้งที่	เปล่า	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
1	63.25	78.63	88.89	91.82	93.77	19.29	17.95
2	61.05	91.09	81.80	74.24	96.95	28.19	13.19
3	55.43	86.20	91.33	89.68	93.4	18.8	23.69
4	56.17	71.55	91.58	101.00	93.89	29.79	15.82
5	71.30	68.38	102.60	93.53	95.72	20.31	19.97
เฉลี่ย	61.44	79.17	91.24	90.05	94.75	23.28	18.12
ค่า S.D	6.4137	9.5693	7.4801	9.8137	1.5251	5.2749	4.0022
basic weight (g/m^2)	53.00	89.89	66.53	79.28	81.87	80.97	74.14
tensile index (kN.m /kg)	77.28	58.72	91.43	75.73	77.15	19.16	16.30

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ครั้งที่		ความต้านแรงฉีกขาดกระดาษไม่ผสมแป้ง(div)				ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษมาตรฐาน(div)		
		เปล่า	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
	1	10	25	19	21	27	27	27
	2	10	25	19	23	29	28	24
	3	10	25	20	20	28	28	24
	4	10	25	20	22	28	27	27
	5	10	25	21	21	27	27	25
เฉลี่ย		10.00	25.00	19.80	21.40	27.80	27.40	25.40
ค่า S.D		0	0	0.8367	1.1402	0.8367	0.5477	1.5166
F (mN)		196.20	490.50	388.48	419.87	545.44	537.59	498.35
basic weight (g/m_2)		53.00	89.89	66.53	79.28	81.87	80.97	74.14
tear index ($N.m^2/kg$)		3.70	5.46	5.84	5.30	6.66	6.64	6.72

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (แต่ใช้ factor pendulum = 68.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.20 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ครั้งที่	ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษไม่มีแป้งมัน(kPa)				ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษมาตรฐาน (kPa)		
	เปล่า	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
1	214.80	265.20	318.20	365.20	248.10	371.10	157.00
2	215.50	259.50	316.30	350.60	263.00	371.10	157.00
3	228.00	259.30	312.50	351.70	249.80	371.10	157.00
4	216.80	265.70	301.40	354.40	267.10	371.10	158.00
5	225.60	265.00	305.90	355.20	0.11	357.90	158.00
เฉลี่ย	220.14	262.94	310.86	355.42	205.62	368.46	157.40
ค่า S.D	6.1805	3.2424	7.0755	5.7838	115.1753	5.9032	0.5477
basic weight (g/m^2)	53.00	89.89	66.53	79.28	81.87	80.97	74.14
burst index ($kPa.m^2/g$)	4.15	2.93	4.67	4.48	2.51	4.55	2.12

คำนวณเช่นเดียวกันกับที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% ที่เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ก.21 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม

ครั้งที่	ค่าการซึมน้ำไม่มีแป้ง (s)				ค่าการซึมน้ำ (s)		
	เปล่า	Zno 0.6g	Zno 0.8 g	Zno 1.0 g	A4	เบอร์ 40	เบอร์ 42
1	5.36	5.02	4.62	4.35	6.51	0.15	0.11
2	4.28	4.59	4.23	4.28	6.34	0.12	0.13
เฉลี่ย	4.82	4.81	4.43	4.32	6.43	0.14	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.22 การทดสอบน้ำหนักของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่	น้ำหนักของกระดาษผสมแป้งมัน6% (g)			น้ำหนักของกระดาษผสมแป้งมัน7% (g)		
	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	1.664	1.8176	1.5359	1.6550	1.6591	1.5511
2	1.4844	1.7097	1.6084	1.6333	1.6168	1.6358
3	1.5008	1.72	1.6375	1.6562	1.7035	1.5767
4	1.5248	1.6894	1.6585	1.7088	1.6358	1.6080
5	1.6999	1.6652	1.5796	1.6595	1.5744	1.5962
เฉลี่ย	1.5748	1.7204	1.6040	1.6626	1.6379	1.5936
ค่า S.D	0.0997	0.0582	0.0483	0.0278	0.0480	0.0320
basic weight (g/m^2)	78.74	86.02	80.20	83.13	81.90	79.68

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.23 การทดสอบความหนาของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่	ความหนากระดาษผสมแป้งมัน6% (mm./ 5sheets)			ความหนากระดาษผสมแป้งมัน7% (mm./ 5sheets)		
	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	0.485	0.500	0.473	0.499	0.503	0.466
	0.472	0.499	0.492	0.494	0.500	0.476
	0.474	0.518	0.466	0.495	0.507	0.450
	0.478	0.503	0.479	0.482	0.519	0.474
	0.483	0.493	0.475	0.484	0.513	0.463
2	0.473	0.498	0.473	0.498	0.504	0.464
	0.498	0.511	0.478	0.511	0.512	0.447
	0.473	0.492	0.480	0.486	0.489	0.472
	0.486	0.495	0.485	0.488	0.511	0.457
	0.478	0.508	0.472	0.477	0.505	0.463
เฉลี่ย	0.480	0.502	0.477	0.491	0.506	0.463
ค่า S.D	0.0082	0.0084	0.0073	0.0100	0.0083	0.0097
thickness 1sheet(mm)	0.0960	0.1003	0.0955	0.0983	0.1013	0.0926

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 การคำนวณความหนาแน่นของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซ็นต์

ตัวแปร	ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ ผสมแป้ง 6 % (kg/m^3)			ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ ผสมแป้ง 7 % (kg/m^3)		
	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
basic weight (g/m^2)	78.74	86.02	80.2	81.87	80.97	74.14
thickness 1 sheet(mm)	0.0960	0.1003	0.0955	0.0983	0.1013	0.0926
apparent density (kg/m^3)	820.21	857.63	839.79	832.86	799.31	800.65

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.25 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6และ7 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่	แรงดึงขาดของกระดาษผสมแป้ง6% (N /width15 mm.)			แรงดึงขาดของกระดาษผสมแป้ง7% (N /width15 mm.)		
	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	97.68	63.74	102.70	103.30	93.53	88.40
2	93.04	109.60	105.30	97.44	91.33	68.86
3	90.84	73.02	82.54	106.00	104.80	99.63
4	86.69	97.44	91.82	98.66	94.26	68.86
5	80.59	104.90	76.68	108.20	89.62	104.00
เฉลี่ย	89.77	89.74	91.81	102.72	94.71	85.95
ค่า S.D	6.4839	20.2429	12.4039	4.6230	5.9316	16.6064
basic weight (g/m^2)	78.74	86.02	80.2	83.13	81.9	79.68
tensile index (kN.m /kg)	76.00	69.55	76.32	82.38	77.09	71.91

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.26 การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซ็นต์

	ความต้านแรงฉีกขาดกระดาษ ผสมแป้ง6%(div)			ความต้านแรงฉีกขาดกระดาษ ผสมแป้ง7%(div)		
ครั้งที่	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	21	17	17	18.00	22.00	20.00
2	25	17	17	20.00	20.00	20.00
3	27	24	19	25.00	20.00	18.00
4	21	20	17	21.00	20.00	17.00
5	22	20	18	27.00	19.00	18.00
เฉลี่ย	23.2	19.6	17.6	22.20	20.20	18.60
ค่า S.D	2.6833	2.8810	0.8944	3.7014	1.0954	1.3416
F (mN)	455.18	384.55	345.31	435.56	396.32	364.93
basic weight (g/m^2)	78.74	86.02	80.2	83.13	81.90	79.68
tear index ($N.m^2/kg$)	5.78	4.47	4.31	5.24	4.84	4.58

คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แต่ใช้ค่า (factor pendulum = 68.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.27 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่	ความต้านทานแรงดันทะลุผสมแป้งมัน6% (kPa)			ความต้านทานแรงดันทะลุผสมแป้งมัน7% (kPa)		
	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6 g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	313.20	366.20	355.50	339.20	347.90	334.00
2	316.30	369.30	354.10	338.50	344.70	337.50
3	317.40	365.90	364.10	358.70	355.80	343.00
4	315.80	360.70	369.20	341.70	345.90	321.60
5	314.70	361.40	353.10	349.80	348.20	320.10
เฉลี่ย	315.48	364.70	359.20	345.58	348.50	331.24
ค่า S.D	1.6022	3.5965	7.0873	8.5998	4.3284	10.0266
basic weight (g/m^2)	78.74	86.02	80.20	83.13	81.90	79.68
burst index ($kPa.m^2/g$)	4.01	4.24	4.48	4.16	4.26	4.16

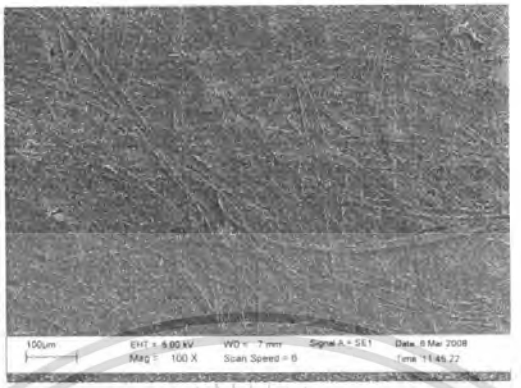
คำนวณเช่นเดียวกันกับ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ ก.28 การทดสอบค่าการซึมน้ำของกระดาษ ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 0, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ที่ผสมในแป้งมัน 6 และ7 เปอร์เซ็นต์

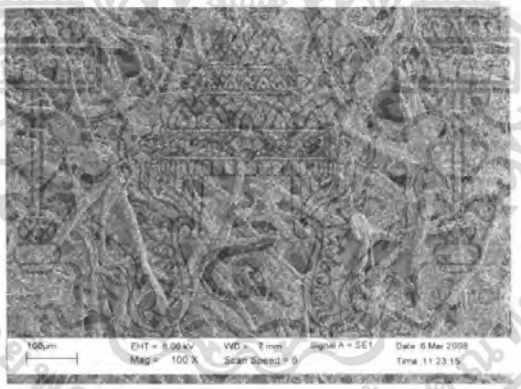
ครั้งที่	ค่าการซึมน้ำแบบผสมแป้ง6% (s)			ค่าการซึมน้ำแบบผสมแป้ง7% (s)		
	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g	ZnO 0.6g	ZnO 0.8 g	ZnO 1.0 g
1	4.18	4.20	4.16	4.01	4.08	4.13
2	4.17	4.11	4.19	4.18	4.12	4.11
เฉลี่ย	4.17	4.15	4.17	4.10	4.10	4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

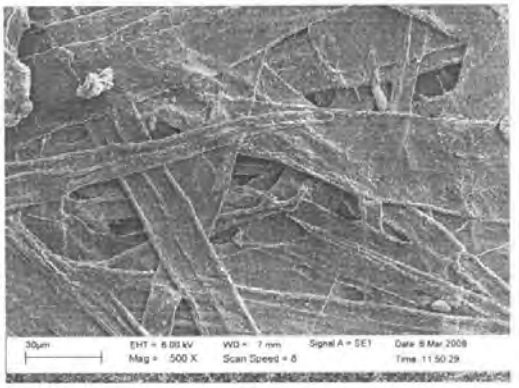


รูปที่ ข.1 ภาพกระดาษจากต้นโสนที่กำลังขยาย 100 เท่า

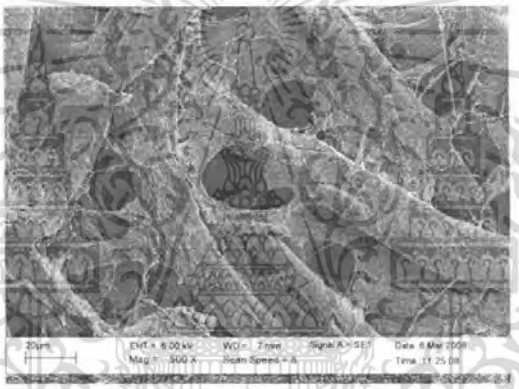


รูปที่ ข.2 ภาพกระดาษกรองเบอร์1 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

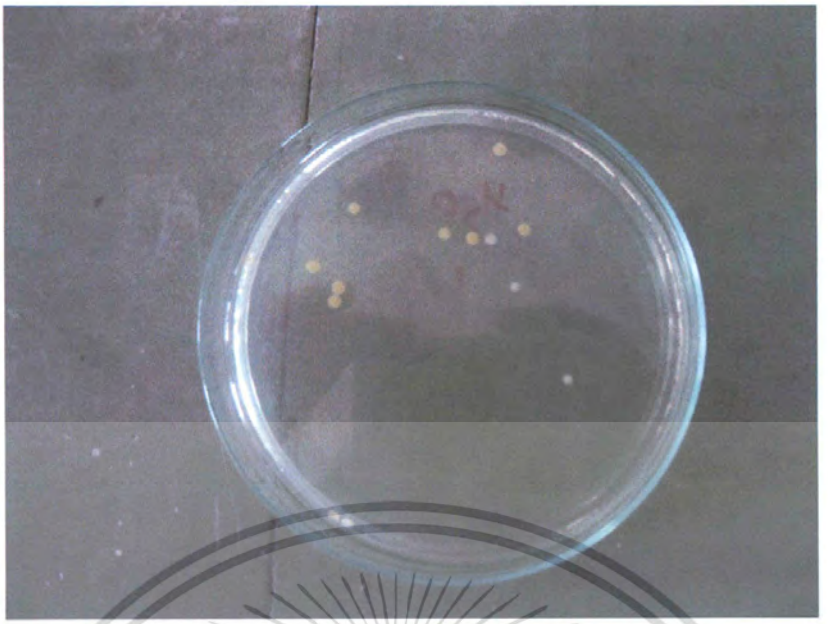


รูปที่ ข.3 ภาพกระดาษจากต้นโสนที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ข. 4 ภาพกระดาษกรองเบอร์1 ที่กำลังขยาย 500 เท่า

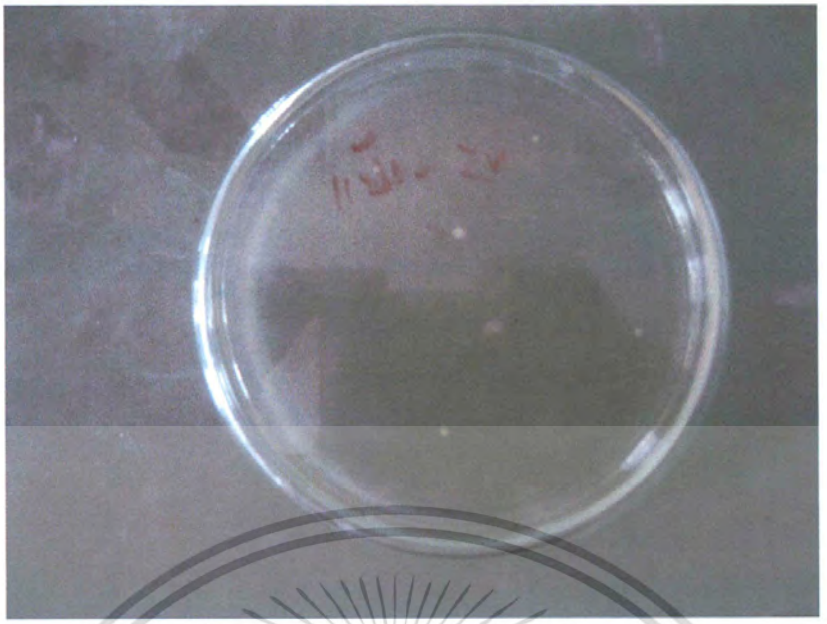
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปา

รูปที่ ข.6 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษที่ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ผสมแป้ง

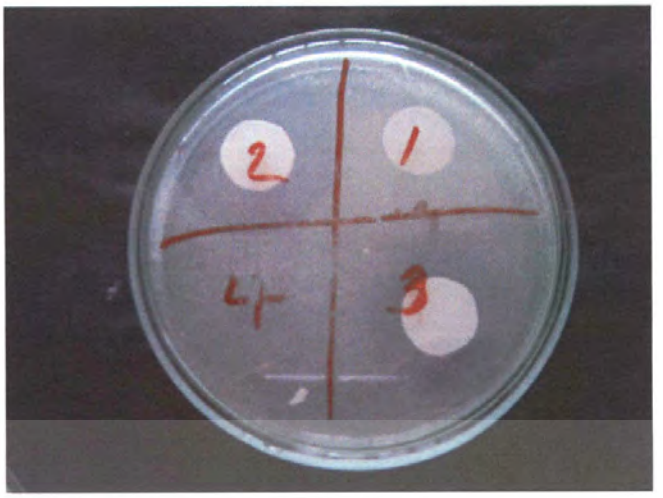
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษทผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และผสมแป้ง 6 %

รูปที่ ข.8 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากน้ำประปาที่ผ่านการกรองจากกระดาษที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.6 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Micrococcus* letues

รูปที่ ข.10 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้ง เชื้อ *S.aureus*

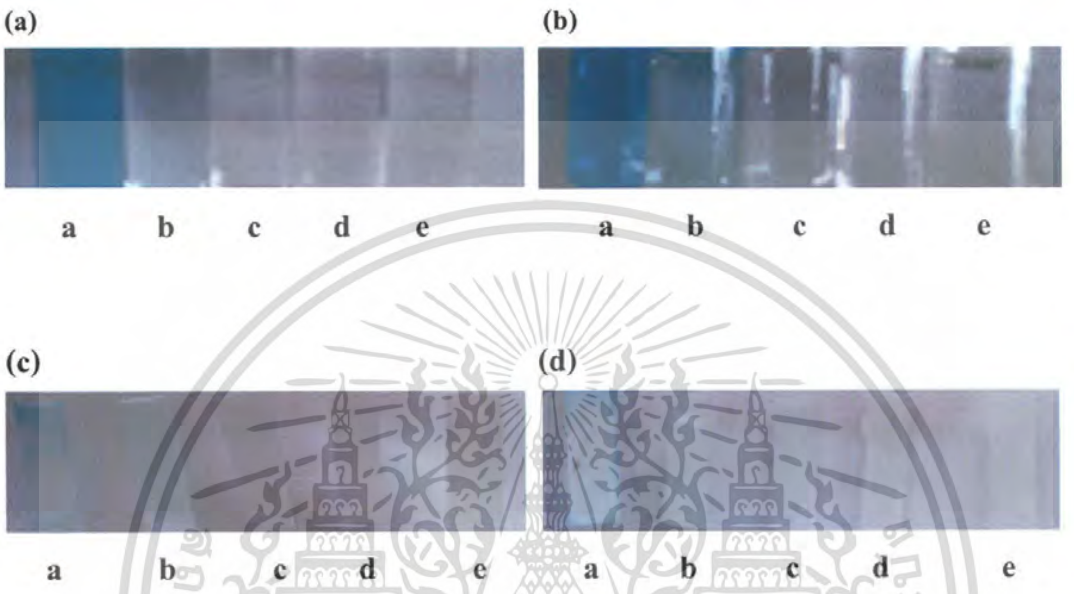
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.11 ภาพ clear zone จากการผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Serrat.a*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปที่ ค.1 ภาพสารละลายคอปเปอร์



รูป (a) สีของสารละลายโลหะไอออน Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M , c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M

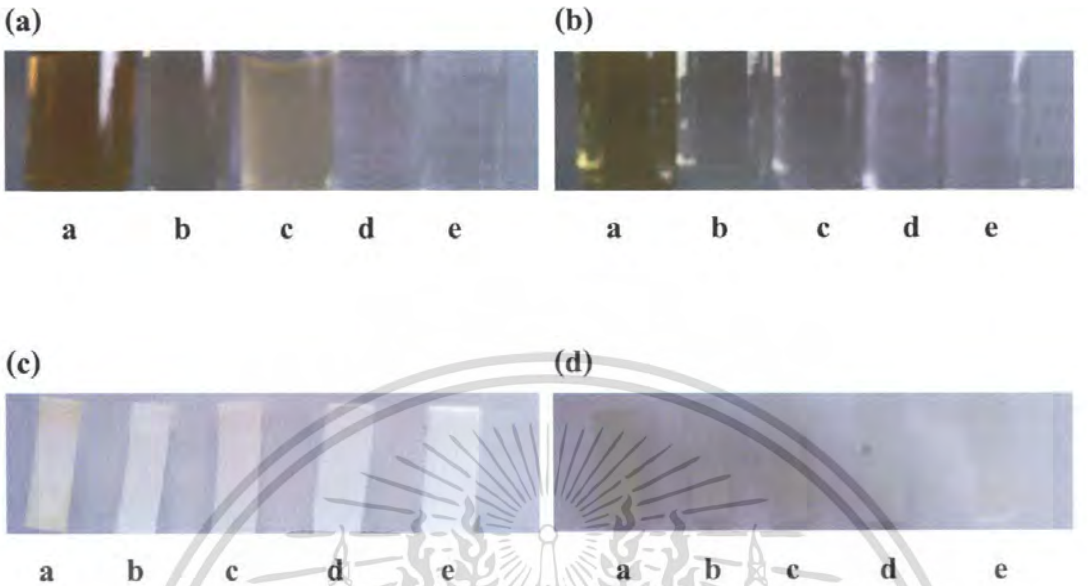
รูป (b) สีของสารละลายโลหะไอออน Cu^{2+} กับ 0.1 M EDTA ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (c) สีของกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Cu^{2+} ที่ความเข้มขัน a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (d) สีของกระดาษโสนที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001Mตามลำดับ ที่ pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 ภาพสารละลายเหล็ก(ii)



รูป (a) สีของสารละลายโลหะไอออน Fe^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M , c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M

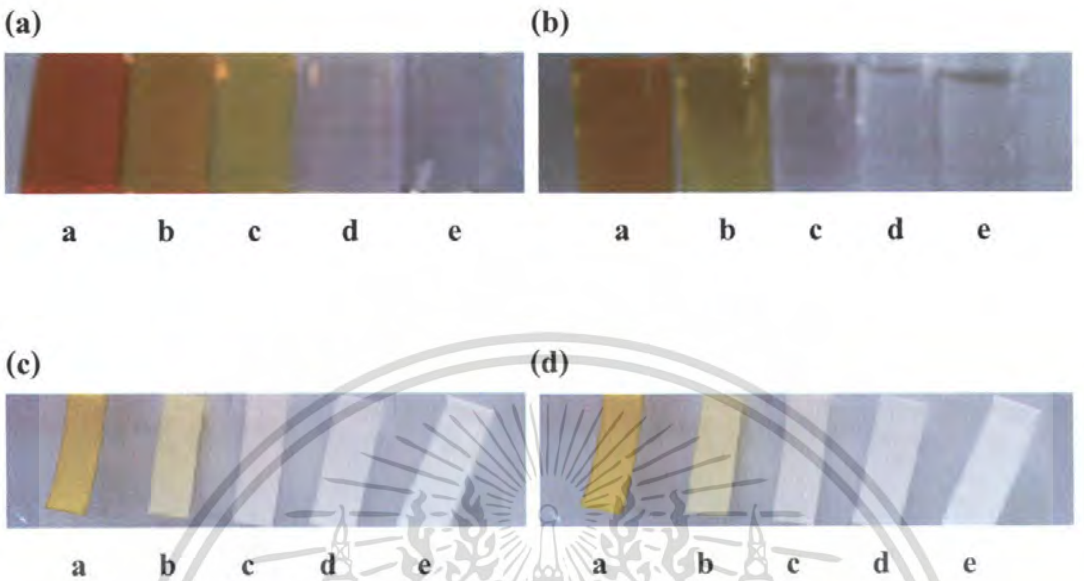
รูป (b) สีของสารละลายโลหะไอออน Fe^{2+} กับ 0.1 M EDTA ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001Mตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (c) สีของกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001Mตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (d) สีของกระดาษโสนที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001Mตามลำดับ ที่ pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.3 ภาพสารละลายโครเมียม



รูป (a) สีของสารละลายโลหะไอออน Cr^{6+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M , c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M

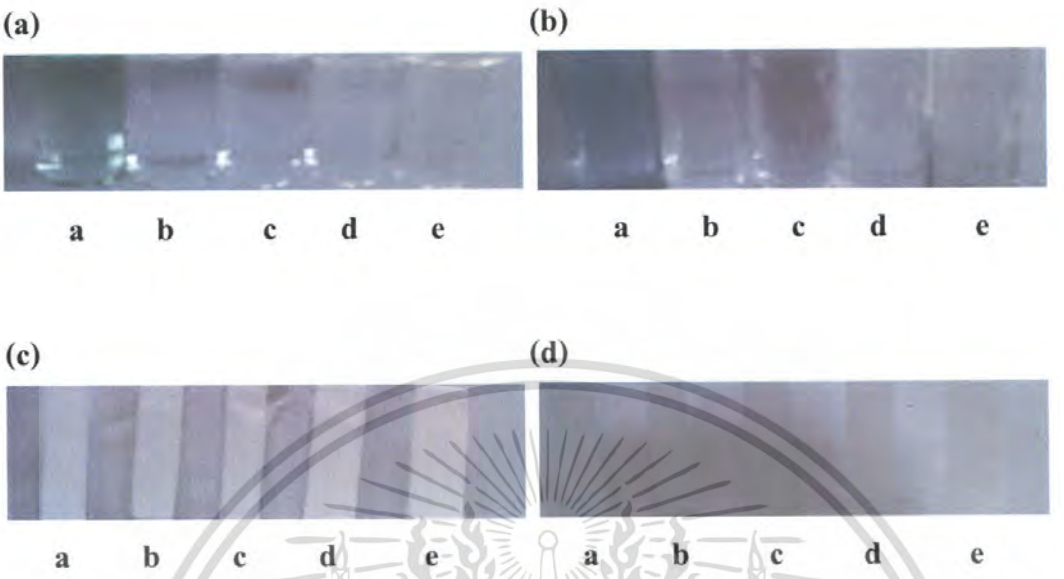
รูป (b) สีของสารละลายโลหะไอออน Cr^{6+} กับ 0.1 M EDTA ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (c) สีของกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Cr^{6+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (d) สีของกระดาษโสนที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Cr^{6+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.4 ภาพสารละลายนิกเกิล



รูป (a) สีของสารละลายโลหะไอออน Ni^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M , c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M

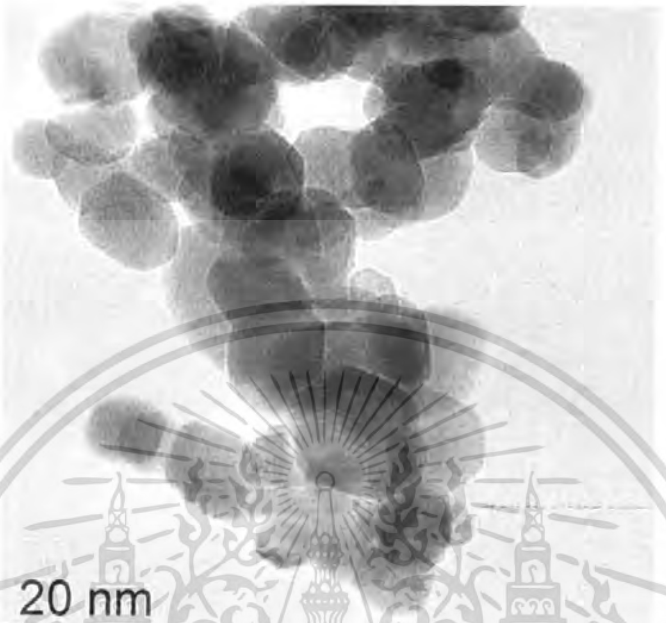
รูป (b) สีของสารละลายโลหะไอออน Ni^{2+} กับ 0.1 M EDTA ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

รูป (c) สีของกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Ni^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

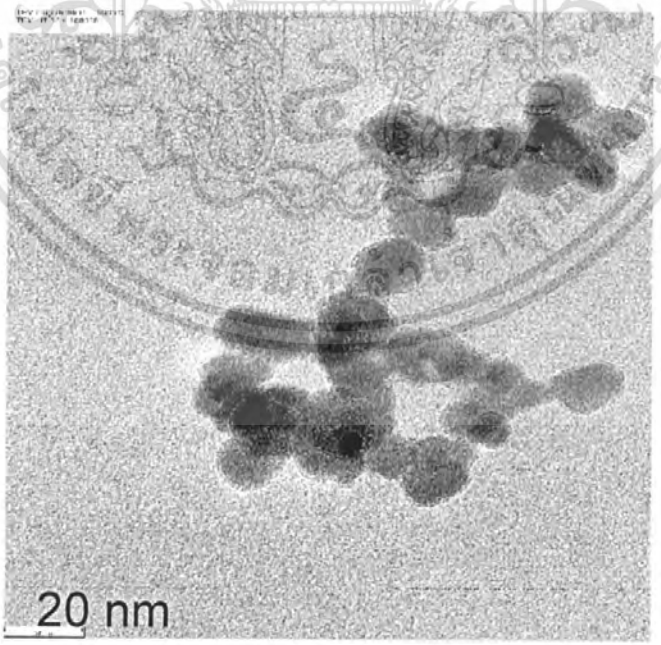
รูป (d) สีของกระดาษโสนที่ชุบด้วย 0.1 M EDTA หลังจากเกิดปฏิกิริยากับ Ni^{2+} ที่ความเข้มข้น a) 1 M , b) 0.1M ,c) 0.01M ,d) 0.001M , e) 0.0001M ตามลำดับ ที่ pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง



รูป ง.1 ภาพนาโนซิงออกไซด์ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า



รูป ง.2 ภาพนาโนซิงออกไซด์ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้