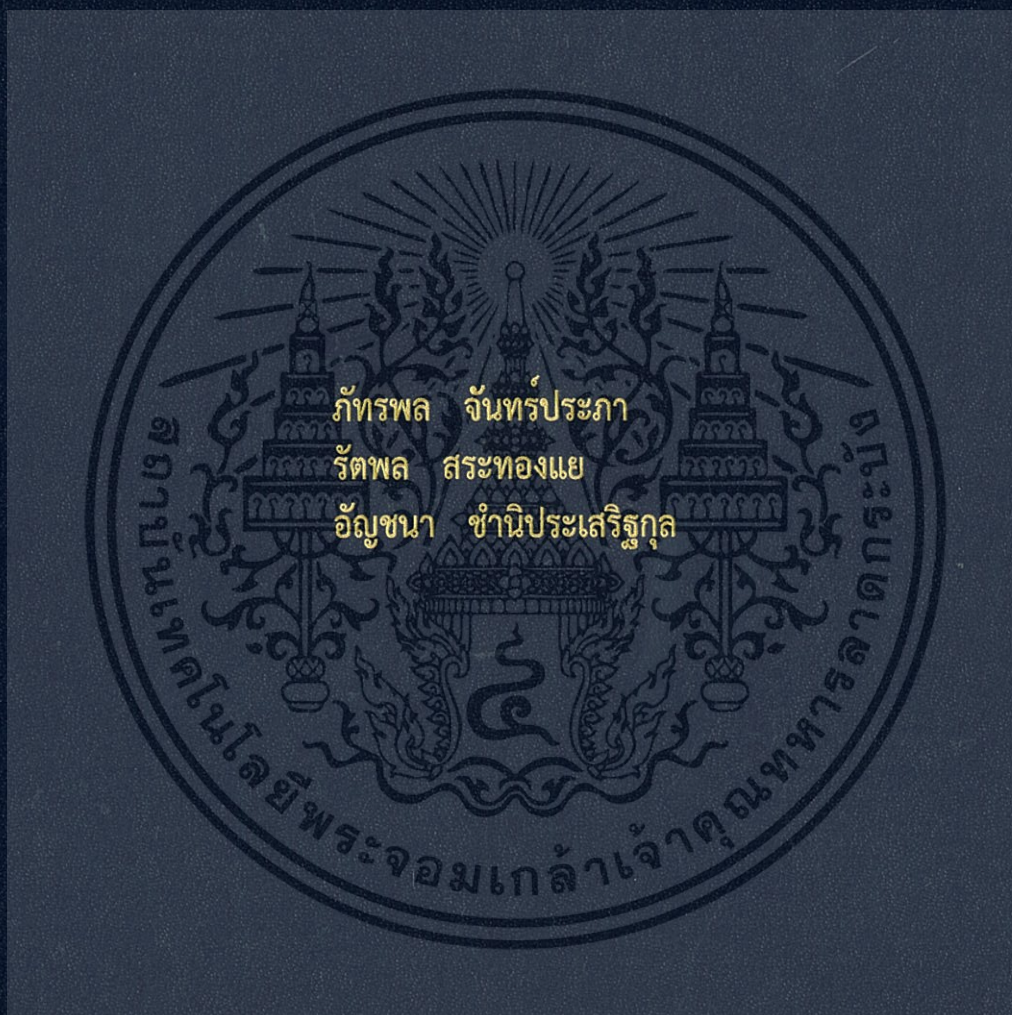


การผลิตกระดาษจากสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*
PAPERMAKING FROM RED ALGAE *Gracilaria fisheri*



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การผลิตกระดาษจากสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*
PAPERMAKING FROM RED ALGAE *Gracilaria fisheri*



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAPERMAKING FROM RED ALGAE *Gracilaria fisheri*



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR
OF SCIENCE (INDUSTRIAL MICROBIOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตกระดาษจากสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*

Papermaking from Red Algae *Gracilaria fisheri*

ชื่อนักศึกษา นาย ภัทรพล จันทร์ประภา รหัสนักศึกษา 55051363

นาย รัตพล สระทองแย รหัสนักศึกษา 55051377

นางสาว อัญชญา ชำนิประเสริฐกุล รหัสนักศึกษา 55051432

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีณา ชูโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยา
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

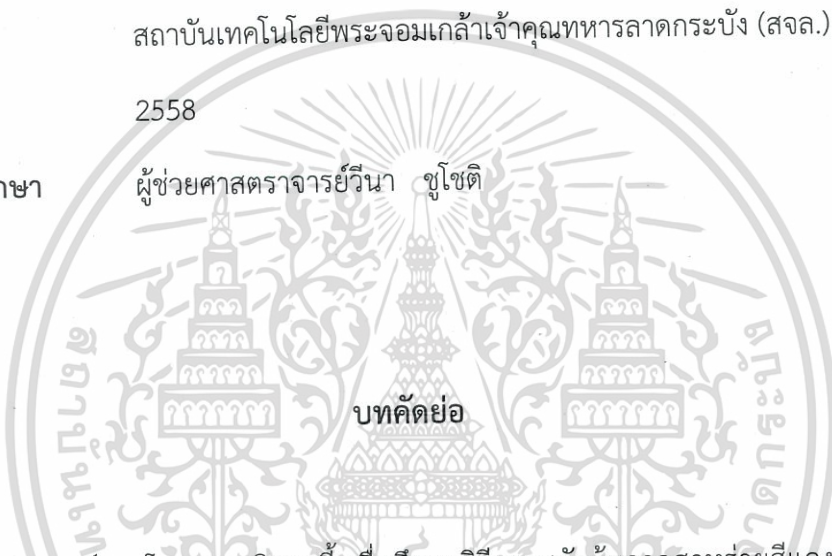
คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดวงใจ โอชัยกุล ประธานกรรมการ	
ผศ.ลินจง สุขลำภู กรรมการ	กนิษฐา สุรคำว
ผศ.วีณา ชูโชติ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตกระดาษจากสาหร่ายสีเขียว <i>Gracilaria fisheri</i>	
ชื่อนักศึกษา	นาย ภัทรพล จันทร์ประภา	รหัสนักศึกษา 55051363
	นาย รัตพล สระทองแย	รหัสนักศึกษา 55051377
	นางสาว อัญชญา ชำนิประเสริฐกุล	รหัสนักศึกษา 55051432
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	ชีววิทยา	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินา ชูโชติ	



วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษนี้ เพื่อศึกษาวิธีการสกัดวุ้นจากสาหร่ายสีเขียว *Gracilaria fisheri* และนำเซลล์โลสที่เหลือจากการสกัดวุ้นมาผลิตกระดาษและศึกษาคุณสมบัติของกระดาษ จากการศึกษ พบว่าการสกัดวุ้นจากสาหร่ายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณวุ้นมากที่สุด 23.17 กรัม สาหร่ายที่ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นให้น้ำหนักแห้งของเซลล์โลสมากที่สุด 17.74 กรัม และจากการศึกษาคุณสมบัติกระดาษ คือ การวัดค่าสี การวัดความหนา การดูดซับน้ำ และการทนต่อแรงดึง พบว่า กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความสว่าง (การวัดค่าสี) $L^* = 89.72$ และค่า $b^* = 4.56$ ความหนา 0.32 มิลลิเมตร การดูดซับน้ำ เวลา 120 วินาที ส่วนกระดาษที่สกัดด้วยน้ำกลั่น มีการทนแรงดึงมากที่สุด 8.37 มิลลิปาสคาล เวลา 4.40 วินาที

คำสำคัญ : กระดาษ การสกัดวุ้น คุณสมบัติกระดาษ สาหร่ายสีเขียว

Title	Papermaking from Red Algae <i>Gracilaria fisheri</i>	
Students	Mr. Pattharapol Janprapa	Student ID 55051363
	Mr. Rattapol Sartongyae	Student ID 55051377
	Miss Anchana Chamniprasertkul	Student ID 55051432
Degree	Bachelor of Science (Industrial microbiology)	
Department	Biology	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Asst. Prof. Weena Choochote	



Abstract

The purpose of this project were (1) to study the extraction of agar from *Gracilaria fisheri*, red algae, (2) to produce paper from cellulose, a byproduct of *G. fisheri* and (3) to study on physical properties of the paper from *G. fisheri*. The results show that sodium hydroxide was the best solvent to extract agar from *G. fisheri* by yielding 23.17 grams of agar while distil water gave the maximum yield of cellulose at 17.74 grams. Four physical properties including colour measurement, thickness, water absorption and tension strength were studied. The results show that paper made from *G. fisheri* extracted with sodium hydroxide has the brightest value at $L^* = 89.72$ and $b^* = 4.56$. The thickness and water absorption of this paper were 0.32 millimeters and 120 seconds, respectively. While paper made from *G. fisheri* extracted with distilled water has higher tension strength at 8.37 millipascal and 4.40 seconds.

Keywords : Paper , Extract agar , Properties of paper , Red algae

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจาก ผศ.วีณา ชูโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางแก้ปัญหาในการทำโครงการพิเศษ และตรวจสอบแก้ไขโครงการพิเศษให้ถูกต้องสมบูรณ์ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดวงใจ โอชัยกุล ประธานกรรมการโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ลินจง สุขล่ำภู กรรมการโครงการพิเศษ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ แผ้วบาง คุณวิทยา เขียวเขิน คุณสมักร แสงจันทร์ และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจน พี่ น้อง เพื่อน ทุกคนที่มีส่วนช่วยในการสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษให้ดำเนินไปอย่างราบรื่นและสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ภัทรพล จันทรประภา

รัตพล สระทองแย

อัษฎนา ขำนิประเสริฐกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สาหร่ายสีแดง <i>Gracilaria fisheri</i>	3
2.1.1 อนุกรมวิธาน.....	3
2.1.2 ลักษณะทั่วไป.....	4
2.1.3 วงจรชีวิต.....	4
2.1.4 ประโยชน์ของสาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	5
2.1.4.1 ด้านอาหาร.....	5
2.1.4.2 ด้านการแพทย์.....	6
2.1.4.3 ด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม.....	6
2.2 กระจดาศ.....	6
2.2.1 การผลิตกระจดาศ.....	6
2.2.2 องค์ประกอบกระจดาศ.....	6
2.2.2.1 องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย.....	6
2.2.2.2 องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย.....	7
2.2.3 ประเภทกระจดาศ.....	7
2.2.4 กระจดาศถ่ายเอกสาร.....	8
2.2.4.1 คุณลักษณะของกระจดาศถ่ายเอกสาร.....	9
2.3 การผลิตกระจดาศจากสาหร่าย.....	9
2.3.1 การสกัดวุ้น.....	10
2.3.2 การปรับสภาพ.....	11
2.3.2.1 การปรับสภาพเชิงกล.....	11
2.3.2.2 การปรับสภาพด้วยความร้อน.....	11
2.3.2.3 การปรับสภาพทางเคมี.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การฟอกขาว.....	12
2.3.4 การขึ้นรูปกระดาษ.....	12
2.3.4.1 การเตรียมเยื่อ.....	12
2.3.4.2 การผลิตกระดาษ.....	13
2.3.5 การทดสอบคุณสมบัติ.....	14
2.3.5.1 สมบัติตามโครงสร้างของกระดาษ.....	14
2.3.5.2 สมบัติการต้านทานของกระดาษ.....	14
2.3.5.3 สมบัติเชิงกลของกระดาษ.....	14
2.3.5.4 สมบัติทางการมองเห็น.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 สาหร่าย.....	17
3.2 สารเคมี.....	17
3.3 อุปกรณ์.....	17
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	18
3.4.1 การเตรียมสาหร่าย.....	18
3.4.2 การศึกษาวิธีการสกัดวุ้นจากสาหร่าย.....	18
3.4.2.1 การสกัดวุ้นจากสาหร่ายด้วยน้ำกลั่น.....	18
3.4.2.2 การสกัดวุ้นจากสาหร่ายด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	19
3.4.2.3 การสกัดวุ้นจากสาหร่ายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	19
3.4.3 การฟอกขาว.....	19
3.4.4 การขึ้นรูป.....	20
3.4.5 การทดสอบคุณสมบัติกระดาษ.....	20
3.4.5.1 การวัดค่าสี.....	20
3.4.5.2 ความหนา.....	20
3.4.5.3 การดูดซับน้ำ.....	20
3.4.5.4 การทนแรงดึง.....	21
3.4.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	22
4.1 ผลการศึกษาวิธีการสกัดวุ้นจากสาหร่าย.....	22
4.2 การผลิตกระดาษ.....	23
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ.....	29
4.3.1 การวัดค่าสี.....	29
4.3.2 ความหนา.....	30
4.3.3 การดูดซับน้ำ.....	30
4.3.4 การทนแรงดึง.....	33

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก.....	39
ภาคผนวก ข.....	40
ภาคผนวก ค.....	41
ภาคผนวก ง.....	44
ภาคผนวก จ.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงปริมาณของวุ้นและเซลล์จากสาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	23
4.2 แสดงค่าสีแต่ละตัวอย่างกระดาศที่ทำการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮดรอกลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์.....	29
4.3 ความหนาของกระดาศ ที่ปรับสภาพด้วย น้ำกลั่น กรดไฮดรอกลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์...30	
4.4 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาศแต่ละตัวอย่างมีหน่วยเป็นวินาที.....	31
4.5 แสดงค่าแรงดึงของกระดาศและระยะเวลาที่ใช้ดึงจนกระดาศขาด.....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	3
2.2 วงจรชีวิตของสาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	5
2.3 โครงสร้างอากาศ.....	10
2.4 โครงสร้างอากาศโรเพคติน.....	10
4.1 การผลิตกระดาษจากสาหร่าย.....	24
4.2 กระดาษตัวควบคุม ภาพจากกล้องอิเล็กทรอนิกส์ (กำลังขยาย 100X)	25
4.3 กระดาษตัวควบคุม ภาพจากกล้องอิเล็กทรอนิกส์ (กำลังขยาย 300X).....	25
4.4 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย100X).....	26
4.5 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย300X).....	26
4.6 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย100X).....	27
4.7 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย300X).....	27
4.8 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย100X).....	28
4.9 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย300X).....	28
4.10 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากตัวควบคุม.....	31
4.11 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น.....	31
4.12 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก.....	32
4.13 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	32
4.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาและแรงดึง.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญของประเทศไทย เนื่องจากสร้างรายได้ให้กับประเทศ และยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกทั้งยังมีความเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน เช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร บรรจุภัณฑ์ต่างๆ และในอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ ไม่ว่าจะเป็นหนังสือพิมพ์ นิตยสาร

กระบวนการผลิตกระดาษมีการใช้วัตถุดิบส่วนใหญ่จากสิ่งแวดล้อม นั่นคือ ต้นไม้ ซึ่งในแต่ละปีจะมีการผลิตกระดาษมหาศาล ส่งผลให้ต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก ต้นไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักจึงมีปริมาณที่ลดน้อยลง ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมตามมามากมาย เป็นเหตุให้อุตสาหกรรมมีขอบเขตที่จำกัดต่อการใช้ต้นไม้ในการผลิตกระดาษ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งวัตถุดิบอื่นๆมาทดแทน

เซลลูโลสเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่พบมากที่สุดในโลก และใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับพื้นที่อุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตกระดาษ การผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร การประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม เนื่องจากลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของเซลลูโลส ได้แก่ มีความแข็งแรง น้ำหนักเบาและมีประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถนำปรีไซเคิลและความต้องการของตลาดสำหรับเส้นใยธรรมชาตินี้มีเพิ่มขึ้น

ชีวมวลทางทะเล (Marine biomass) ได้กลายเป็นที่นิยมมากขึ้นและมีแนวโน้มเป็นแหล่งผลิตเซลลูโลสในอนาคตอันใกล้ สาหร่ายทะเลสามารถแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม ได้แก่ สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีน้ำตาล อย่างไรก็ตามจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายสีแดงอย่างเช่น *Gelidium* (Chena และคณะ, 2016) เป็นแหล่งชีวมวลที่มีศักยภาพสูงสำหรับการใช้งาน เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลลูโลสและวุ้น และยังสามารถย่อยสลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กลูโคสและกาแลคโตส ข้อดีของการใช้ชีวมวลทางทะเล ได้แก่ 1) ชีวมวลของสาหร่ายไม่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนจึงไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่รุนแรงในการกำจัดก่อนที่จะเข้าถึงเซลลูโลส 2) สาหร่ายทะเลมีอัตราการเก็บคาร์โบไฮเดรตสูง เจริญเติบโตได้ง่าย และสามารถใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสง และอนินทรีย์สารได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสิ่งเหล่านี้มีอยู่ในธรรมชาติไม่ต้องมีค่าใช้จ่าย 3) มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว สามารถเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืช

สาหร่ายสีแดงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นในประเทศไทย คือ สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) พบว่าการแพร่หลายกระจายอยู่ตามชายฝั่งของอ่าวไทยและฝั่งมหาสมุทรอินเดีย บริเวณตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี พัทลุง สงขลา เป็นต้น (วีรเทพ, 2554) ส่วนของเซลลูโลสที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการผลิตวุ้นแล้ว จึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาผลิตกระดาษได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาวิธีการการสกัดวุ้นจากสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri* ด้วยวิธีการสกัดด้วยน้ำ (น้ำกลั่น) กรด (ไฮดรอกลอริก) และด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์)
- 2) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา การทนแรงดึง และคุณสมบัติของผิวสัมผัส ได้แก่ การดูดซับน้ำ การส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของกระดาษที่ผลิตจากเซลลูโลสของสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตกระดาษสำหรับถ่ายเอกสารไม่เคลือบผิว โดยใช้ส่วนประกอบหลักจากเซลลูโลสของสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri* หรือสาหร่ายผสมนาง ผสมกับเยื่อกระดาษจากกระดาษถ่ายเอกสาร ในอัตราส่วน 4 : 1 เพื่อทดแทนการผลิตกระดาษที่ใช้เยื่อกระดาษ หรือเยื่อไม้เพียงอย่างเดียว โดยการผลิตกระดาษนี้จะใช้ขั้นตอนในการทำทั้งหมด 4 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 ศึกษาการสกัดวุ้นจากสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri* 3 วิธี คือ การสกัดด้วยน้ำกลั่น การสกัดด้วย ไฮดรอกลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดวุ้น เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่มีปริมาณและคุณภาพมากที่สุด

ขั้นที่ 2 การฟอกขาวโดยวิธี P (Peroxide bleaching) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นร้อยละ 50) และโซเดียมซัลไฟต์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในการฟอกขาว

ขั้นที่ 3 เตรียมส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปกระดาษ ประกอบด้วยเซลลูโลส ชันสน (Gum rosin) และสารส้ม (Aluminium sulfate) (แซ้ให้เกิดความเหนียว และคงความขาว) ผสมกับเยื่อกระดาษจากกระดาษถ่ายเอกสารเหลือใช้

ขั้นที่ 4 การขึ้นรูป โดยจะเทส่วนผสมที่เตรียมไว้จากขั้นที่ 3 ลงในตะแกรงไนลอน ริดน้ำ อบไล่ความชื้น และกดทับให้พื้นผิวเรียบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยการหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ ๆ เช่น เซลลูโลสจากสาหร่าย เพื่อทดแทนเยื่อไม้จากต้นไม้ในการผลิตกระดาษ
- 2) เป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์โดยใช้เซลลูโลสที่เหลือจากกระบวนการสกัดวุ้น

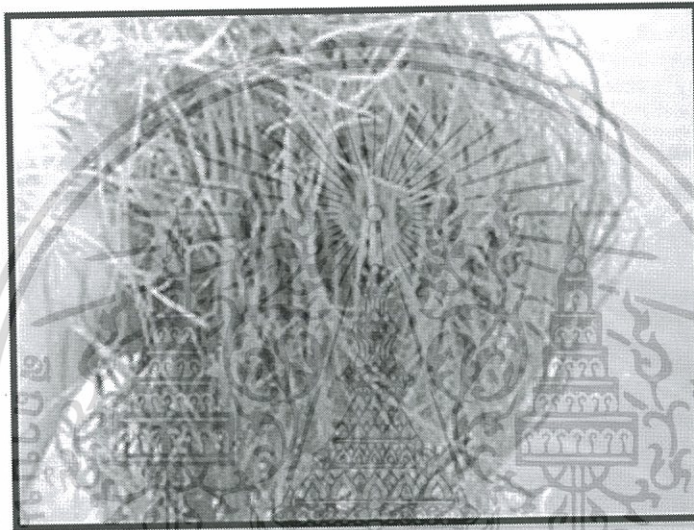
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*

สาหร่าย *Gracilaria fisheri* (รูปที่ 2.1) เป็นสาหร่ายสีแดงในสกุล *Gracilaria* ในประเทศไทย มีชื่อเรียกตามท้องถิ่นว่า สาหร่ายผมนาง สาย หรือสาหร่ายวุ้น เป็นสาหร่ายที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้น เนื่องจากมีวุ้นอยู่บริเวณผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์



รูปที่ 2.1 สาหร่าย *Gracilaria fisheri*

ที่มา : ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี 2555 สืบค้นออนไลน์ <http://fisheriescoastalfeed.blogspot.com/2012/11/blog-post.html> สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559.

ในประเทศไทยมีสาหร่ายสกุล *Gracilaria* spp. หลายชนิด ที่ทราบชื่อวิทยาศาสตร์แล้วมี 13 ชนิด ได้แก่ *Gracilaria bangmeiana*, *G. changii*, *G. edulis*, *G. eucheumoides*, *G. firma*, *G. fisheri*, *G. irregularis*, *G. lemaneiformis*, *G. minuta*, *G. percurrens*, *G. salicornia*, *G. tenuistipitata* และ *G. textori* (กาญจนภาชน์, 2536)

2.1.1 อนุกรมวิธาน

มีการศึกษาเป็นจำนวนมากเกี่ยวกับอนุกรมวิธานของสาหร่ายสีแดง สกุล *Gracilaria* spp. เนื่องจากส่วนใหญ่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะการสกัดวุ้น (Agar) และมีการค้นพบคุณสมบัติของวุ้นที่แตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ของสาหร่าย โดยมีการจัดลำดับอนุกรมวิธาน (Kumar และ Singh, 1971) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Division : Rhodophyta

Class : Rhodophyceae

Order : Gigatinales

Family : Gracilariaceae

Genus : *Gracilaria* spp.

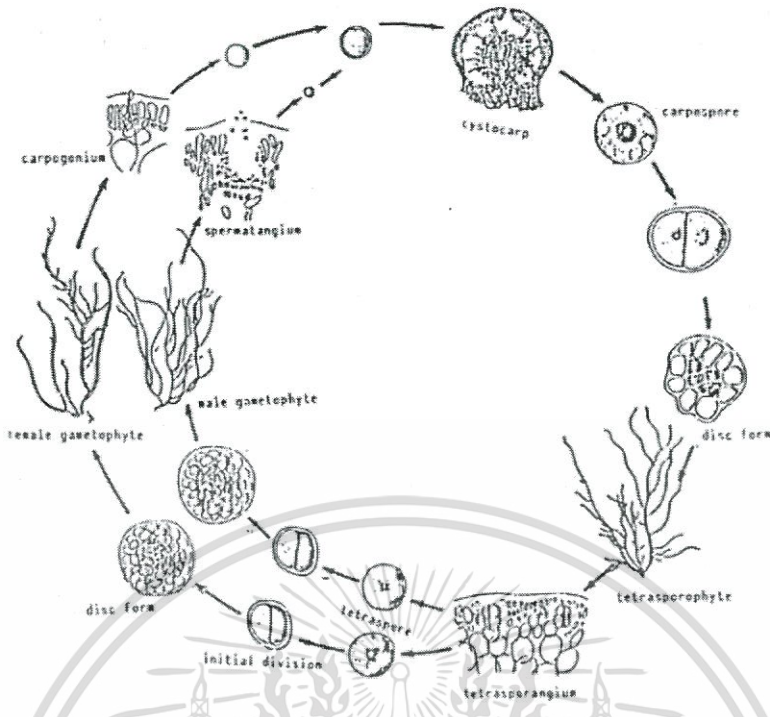
2.1.2 ลักษณะทั่วไป

สาหร่าย *Gracilaria fisheri* มีลักษณะทั่วไป คือ ทัลลัสตั้งตรงเป็นรูปเรียวยาวทรงกระบอกกลมหรือแบน ลักษณะของทัลลัส มีตั้งแต่บอบบาง อ่อนนุ่ม หักง่าย ไปจนกระทั่งเหนียวเหมือนผิวดิน สามารถเจริญเติบโตได้ 2 ทาง คือการเจริญเติบโตที่เซลล์ปลายยอดและการแตกแขนงด้านข้าง ความยาวของทัลลัสมีตั้งแต่ 3.5 เซนติเมตรถึง 4 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5 ถึง 4.0 มิลลิเมตร สารสีของสาหร่ายผสมนาง ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ ดี คาร์โรทีนอยด์ (คณิตและดุสิต, 2535)

2.1.3 วงจรชีวิต

สาหร่าย *Gracilaria fisheri* มีวงจรชีวิตแบบสลับระหว่างมีเพศ (Gametophyte) และไม่มีเพศ (Sporophyte) (วีรเทพ, 2554) (รูปที่ 1.2)

เริ่มจากระยะแกมีโตไฟต์ (Gametophyte phase) เป็นระยะเกิดการผสมระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ เรียกว่า สเปออร์มาเทียม (Spermatium) กับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย เรียกว่า คาร์โปโกเนียม (Carpogonium) โดยการผสมจะเกิดบนต้นเพศเมียในระยะคาร์โปสปอโรไฟต์ จะเกิดการสร้างคาร์โปสปอร์ (Carpospore) อยู่ภายในถุงหุ้มสปอร์ (Cystocarp) หลังจากนั้นคาร์โปสปอร์จะงอกเป็นต้นเพศผู้และเพศเมียอย่างละเท่าๆกัน ในระยะเตตราสปอโรไฟต์



รูปที่ 2.2 วงจรชีวิตของสาหร่าย *Gracilaria fisheri*

ที่มา : วีรเทพ (2554)

2.1.4 ประโยชน์ของสาหร่าย *Gracilaria fisheri*

2.1.4.1 ด้านอาหาร

1) ใช้เป็นอาหารมนุษย์ จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) ของ ระพีพร และคณะ (2549) พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกล็ด มีกรดอะมิโนที่สำคัญ และมีแร่ธาตุสูง (โปแตสเซียมและคลอไรด์) จึงเป็นแหล่งอาหารที่มีศักยภาพสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

2) ใช้เป็นอาหารสัตว์ จากการศึกษาการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* เป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำของ วีรเทพและคณะ (2554) พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่าย *Gracilaria fisheri* มีการเจริญเติบโตที่ดีในทุกๆด้าน ได้แก่ น้ำหนักตัว ความยาว และอัตราการเจริญเติบโต

2.1.4.2 ด้านการแพทย์

สาหร่าย *Gracilaria fisheri* มีแคลอรีต่ำ แต่อุดมไปด้วยเส้นใย ทั้งเส้นใยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ซึ่งป้องกันท้องผูก มะเร็งลำไส้ โรคหัวใจและหลอดเลือด และความอ้วน (ระพีพร และคณะ, 2549)

2.1.4.3 ด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

สาหร่ายผสมนางใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีประโยชน์ เช่น วุ้น ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดงโดยเฉพาะสาหร่ายผสมนาง เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่มีมนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ทำวุ้นชนิดเส้น แผ่น หรือ ผง ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์ ในทางอุตสาหกรรมยา มีการนำไปผลิตเป็นแคปซูลยา นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในงานทางด้านปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์อีกด้วย (นิชาภัทร, 2556)

2.2 กระดาษ

2.2.1 การผลิตกระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุวิศวกรรมที่ผลิตตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ วิธีการทำกระดาษได้พัฒนาจากการสร้างสรรค์ทางศิลปะด้วยมือไปสู่เทคนิคและกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรที่มีความซับซ้อน การดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนเส้นใยหรือวัสดุอื่นๆ ไปเป็นแผ่นกระดาษหรือกระดาษแข็งรวมเรียกว่า การทำกระดาษ (Papermaking) ขั้นตอนหลักของการทำกระดาษประกอบไปด้วยการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation) การกดทับ การรีดเป็นแผ่น และการแปรรูปตามลำดับ โดยการดำเนินงานทั้งหมดนี้มักจะดำเนินการเสร็จทั้งหมดในครั้งเดียวด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ การดำเนินงานเพิ่มเติมอื่นๆ เช่น การผลิตมันววนกระดาษขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ การแปรรูปโดยใช้สารเติมแต่งต่างๆ ลงบนแผ่นกระดาษหรือเครื่องรีดที่มีลูกกลิ้งแตกต่างกัน ทำให้ได้กระดาษหลากหลายเกรด อย่างไรก็ตามคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น พื้นผิว สี การซึมซับ ความชื้น การนำไฟฟ้า ความทึบแสง ความคงทน และความแข็งแรง ต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังในขั้นตอนของการแปรรูป (Poirier และคณะ, 2001)

2.2.2 องค์ประกอบของกระดาษ

กระดาษประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือ ส่วนที่เป็นเส้นใยกับส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (บริษัทเจอาร์ พรินติ้ง แอนด์ คอมพิวเตอร์ จำกัด, 2554)

2.2.2.1 ที่เป็นเส้นใย

ในกระดาษจะมีส่วนเส้นใยอยู่ประมาณร้อยละ 70 ถึงร้อยละ 95 ของน้ำหนักกระดาษ โดยเส้นใยมีทั้งเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว ลักษณะของเส้นใยสั้น ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย ส่วนเส้นใยยาว ทำให้กระดาษมีความเหนียวและคงทน ไม่ฉีกขาดง่าย อย่างไรก็ตาม การเลือกเส้นใยที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าดีเกินไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียบเนียนสม่ำเสมอ มีความทึบแสง แต่ไม่มีความแข็งแรง ส่วนลักษณะของเส้นใยยาว จะมีการยึดเกี่ยวกัน ทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด ในแผ่นกระดาษจึงต้องมีส่วนของเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวผสมกัน จึงทำให้กระดาษมีความเรียบเนียนและแข็งแรง

2.2.2.2 องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย

ส่วนที่นอกเหนือจากเส้นใย จะเป็นสารต่างๆที่ช่วยปรับปรุงทำให้กระดาษมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ได้แก่

1) สารตัวเติม

สารตัวเติมนี้ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษที่มองเห็นได้ ได้แก่ ความขาว ความเรียบเนียน สารที่มักเติมลงไปอยู่ในอุตสาหกรรมกระดาษ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนตและดินขาว โดยแคลเซียมคาร์บอเนตจะช่วยมีการกระจายแสง ทำให้กระดาษมีความทึบแสง ทำให้ลดต้นทุน เนื่องจากไม่ต้องใช้เส้นใยมาก ในการทำให้กระดาษมีความทึบแสง ส่วนดินขาวเป็นแร่ที่สำคัญและใช้อุตสาหกรรมกระดาษมากที่สุดในการใช้เป็นสารตัวเติมและสารเคลือบผิวกระดาษ แต่ได้ลดบทบาทลงหลังจากในปัจจุบันมีการใช้ต่างแทน เนื่องจากมีราคาถูกกว่า (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

2) สารเพิ่มความเหนียว

สารเพิ่มความเหนียวจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ สารที่นิยมใช้ คือ แป้งปรุงแต่ง (Modified starch) จะช่วยเพิ่มพันธะระหว่างเส้นใย ทำให้เส้นใยยึดแน่น เกาะติดกัน (เลอพงค์ และ ตนพรพรช, 2552)

3) สารกันซึม

สารกันซึมจะเพื่อคุณสมบัติด้านการต้านทานการดูดซับน้ำ ช่วยลดพื้นที่ผิวการดูดซับระหว่างเส้นใยกับโมเลกุลของน้ำ ได้แก่ ซันสนและสารส้ม (สินินาฎ, 2555)

2.2.3 ประเภทกระดาษ

กรรมวิธีในการผลิตกระดาษมีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเยื่อกระดาษ สารเคมี ตลอดจนเครื่องจักรในการผลิต มีผลทำให้ลักษณะของกระดาษมีความแตกต่างกันตามวัสดุพื้นฐานในการผลิต (กำธร, 2515)

การจำแนกประเภทกระดาษตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมาคมการพิมพ์ไทย, 2553)

1) กระดาษพิมพ์และเขียน (มอก.287-2533) ได้แก่ กระดาษพิมพ์และเขียน (Printing and writing paper) กระดาษเอ็ม จี (Machine glazed paper) กระดาษอาร์ตหรือกระดาษเคลือบผิว (Art paper or coated paper) กระดาษอัดสำเนา (Mimeograph paper) กระดาษแมนิโฟลด์ (Manifold paper) กระดาษวาดเขียน (Drawing paper) และกระดาษปก (Cover paper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กระดาษแข็งเพื่อการพิมพ์ (มอก.283-2521) ได้แก่ กระดาษกล่อง (Box paper) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ ชนิดเคลือบและไม่เคลือบ

3) กระดาษเหนียว (มอก.170-2529) บางครั้งเรียกว่า กระดาษคราฟท์ (Kraft paper) หรือ กระดาษน้ำตาล แบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ กระดาษถุ้งชั้นเดียว กระดาษถุ้งหลายชั้น (มีทั้งชนิดธรรมดา และชนิดยึดได้) กระดาษผิวกล่อง (สำหรับทำผิวแผ่นกระดาษลูกฟูก) กระดาษเว็ทสเตรงท์ (Wet strength paper) และกระดาษริบคราฟท์ (Ribbed-kraftpaper)

4) กระดาษลูกฟูก (มอก.321-2522) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำกล่อง จึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขนส่งผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ

2.2.4 กระดาษถ่ายเอกสาร

กระดาษถ่ายเอกสาร (Xeroxgraphic papers) หมายถึง กระดาษที่ไม่เคลือบผิว ทำจากเยื่อบริสุทธิ์หรือเยื่อแปรใช้ใหม่ มีสมบัติเหมาะสำหรับถ่ายเอกสารและสิ่งพิมพ์ต่างๆ เพื่อทำสำเนาด้วยเครื่องถ่ายเอกสารหรืออาจนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์ กระดาษถ่ายเอกสารจัดอยู่ในประเภทกระดาษพิมพ์และเขียน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ (จรรยา, 2552)

1) กระดาษถ่ายเอกสารธรรมดา คือกระดาษถ่ายเอกสารที่ผลิตจากเยื่อกระดาษใหม่ ซึ่งถือว่าเป็นกระดาษที่มีคุณภาพดีมาก ผิวกระดาษเรียบลื่น ไม่มีจุดต่างดำสกปรก เช่น กระดาษยี่ห้อ Double A, Quality, Eagle, Lion Paper ฯลฯ นอกจากนี้ ยังมีกระดาษอีกจำพวกหนึ่งที่น่าสนใจกระดาษจากกระบวนการผลิต แต่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาเข้ากระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง ซึ่งจะทำไมเสียเศษไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังได้กระดาษที่มีคุณภาพดีอีกด้วย เช่น กระดาษยี่ห้อ SHI-TZU เป็นต้น

2) กระดาษถ่ายเอกสารรีไซเคิล คือ กระดาษที่ผลิตจากเศษกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วทุกชนิด มาเข้ากระบวนการดูดหมึกออก (D-inking) จากนั้นจึงนำเยื่อกระดาษที่ได้นี้ไปเข้าสู่กระบวนการผลิตตามปกติ ซึ่งกระดาษที่ได้จากการรีไซเคิลจะมีคุณภาพต่ำกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใหม่เนื้อกระดาษจะมีจุดต่างดำ และความเรียบลื่นน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกระดาษใหม่เช่นกระดาษยี่ห้อ Dalmatian เป็นต้น

3) กระดาษถ่ายเอกสารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คือกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกระดาษใหม่ผสมกับเยื่อรีไซเคิล (Eco fiber) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 กล่าวคือ ต้องมีอัตราส่วนไม่น้อยกว่า 70 ต่อ 30 ซึ่งที่ผ่านมามีสินค้าที่ผ่านเกณฑ์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหลายยี่ห้อ (ได้รับเครื่องหมายฉลากสิ่งแวดล้อม เช่น ฉลากเขียว) แต่มีเพียงยี่ห้อเดียวในตลาดที่เริ่มทำการตลาดอย่างจริงจัง นั่นคือกระดาษยี่ห้อ “Idea Green” ผลิตโดย บริษัทผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด ซึ่งระบุว่า เป็นกระดาษเกรดพรีเมียมคุณภาพเทียบเท่ากับยี่ห้อ Double A ทุกประการ แต่ลดการตัดต้นไม้ลงได้ 30 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปัจจุบันทาง บริษัทแอ็ดวานซ์ อะโกร มหาชน จำกัด ได้ผลิตกระดาษชนิดที่ได้รับเครื่องหมาย ฉลากสิ่งแวดล้อม (ฉลากเขียว) ออกจำหน่ายในตลาด โดยใช้ชื่อยี่ห้อ Double A Green

2.2.4.1 คุณลักษณะของกระดาษถ่ายเอกสาร (สำนักงานมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม, 2552)

1) น้ำหนักมาตรฐาน (ISO 536)

น้ำหนักในหน่วย กรัมต่อตารางเมตร เป็นน้ำหนักพื้นฐานภายใต้สภาวะแวดล้อม โดยมวลทั้งหมดคือผลรวมของวัสดุเส้นใย วัสดุที่ใช้ในกระบวนการ และน้ำ

2) ความขาวสว่าง (ISO 2470)

ความสว่างเป็นค่าชี้วัดการสะท้อนแสงสีฟ้าของกระดาษ แสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสว่างมาตรฐานสูงสุด (IR3 standard) มีทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ความสว่าง ISO (ISO-brightness) ภายใต้แสง C (C-light) ความสว่าง D-65 (D65-brightness) ภายใต้แสง D-65 (D65 light) และความสว่างที่กำจัดการเรืองแสง (Fluorescence eliminated)

3) ความทึบแสง (ISO 2471)

ความทึบแสง คือค่าวัดระดับความโปร่งแสงของกระดาษ แสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละใน ส่วนที่สัมพันธ์กับแสงที่สะท้อน โดยกระดาษที่แสงผ่านได้มากเป็นกระดาษที่มีความโปร่งแสง ส่วนกระดาษที่แสงผ่านได้น้อยเป็นกระดาษที่มีความทึบแสง

4) ความหนา (ISO 534)

ความหนาของกระดาษ เป็นการวัดระหว่างด้านทั้งสองด้านของแผ่นกระดาษ ค่าที่ได้จะเป็น ค่าเฉลี่ยต่อแผ่น โดยความหนาของกระดาษจะขึ้นอยู่กับแกรม (Grammage)

5) ความหยابของกระดาษ (ISO 8791-2)

ความหยابวัดได้จากการรั่วไหลของอากาศบนพื้นผิวกระดาษ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 มิลลิลิตร ต่อหน้าที ถึง 3,000 มิลลิลิตรต่อหน้าที

2.3 การผลิตกระดาษจากสาหร่าย

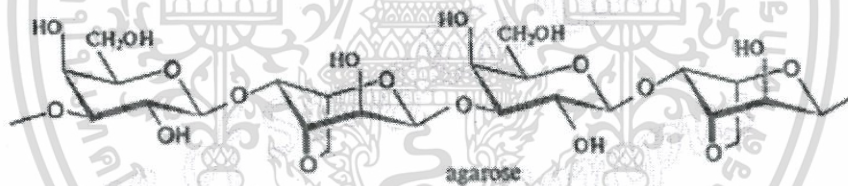
สาหร่ายสีแดง *Gelidium* ประกอบไปด้วยฟิลาเมนต์ที่มีลักษณะคล้ายไรโซยด์ สามารถนำมา ทำเยื่อฟอกขาวที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ บริเวณตรงกลางเซลล์เต็มไปด้วยคาร์โบไฮเดรตที่เป็น เมือก (วุ้น) ต้องทำการสกัดวุ้นออกก่อนจะนำส่วนของเส้นใย (เซลลูโลส) มาทำการฟอกขาวด้วย สารเคมี เพื่อทำเป็นกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การสกัดวุ้น

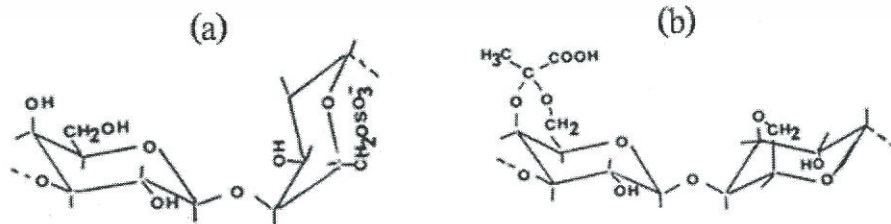
วุ้น (Agar) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสารนี้มีคุณสมบัติหลากหลาย วุ้นมักถูกใช้เป็นตัวให้ความหนืด และทำให้เกิดเจลในอาหารหลายชนิด เพราะเป็นการลดค่าใช้จ่าย หาได้ง่าย และวุ้นยังช่วยให้อาหารก่อตัวเป็นเจลได้เมื่อให้ความเย็น (Yarnpakdee และคณะ, 2015)

โครงสร้างของวุ้นเป็นคาร์โบไฮเดรตสายยาว (Polysaccharide) ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญสองชนิด คืออากาโรส (Agarose) (รูปที่ 2.2) และอากาโรเพคติน (Agarpectin) (รูปที่ 2.3) อากาโรสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์มีประจุเป็นกลางทางไฟฟ้า ประกอบด้วยสายตรงของหน่วยย่อยอากาโรไบโอส (Agarobiose) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 สายของ เบตา-D-กาแลคโตส (β -D-galactose) และ 4 สายของ 3,6-anhydro- α -L-galactose หรือ (3,6-AG) จักรินทร์ (2011) กล่าวว่า อากาโรเพคติน มีโครงสร้างคล้ายกับอากาโรส โดยที่บางโมเลกุลของ 3,6-AG ถูกแทนที่ด้วย L-galactose sulfate และบางโมเลกุลของ D-galactose ถูกแทนที่ด้วย D-galactose sulfate เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุ วุ้นที่มีองค์ประกอบของอากาโรเพคติน ซึ่งมีประจุนี้นี้มากเท่าใด ยิ่งทำให้ความแข็งแรงของวุ้นลดลง ดังนั้นในกระบวนการสกัดวุ้นจึงต้องกำจัดหมู่ซัลเฟตที่จับอยู่กับน้ำตาลนั้นให้มากที่สุด



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอากาโรส

ที่มา : ณิชารักษ์ (2556)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอากาโรเพคติน (a) ; 6-galactan sulfate (b) ; pyruvated agarose

ที่มา : ณิชารักษ์ (2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การปรับสภาพ (Pretreatment)

สาหร่ายขนาดใหญ่ (สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีเขียว และสาหร่ายสีน้ำตาล) มีโครงสร้างที่ซับซ้อนคล้ายกับพืช ประกอบไปด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จึงจำเป็นต้องทำการปรับสภาพสาหร่ายก่อน เพื่อให้เข้าถึงเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น

การปรับสภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับสภาพเชิงกล การปรับสภาพด้วยความร้อน และการปรับสภาพด้วยสารเคมี (กรด-ด่าง) (Rodriguez และคณะ, 2015)

2.3.2.1 การปรับสภาพเชิงกล

สาหร่ายขนาดใหญ่มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงและมีไขมันระดับต่ำ การปรับสภาพเชิงกลเป็นการลดขนาดและลดความเป็นโครงสร้างผลึก ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายง่ายขึ้นและเพิ่มพื้นที่ผิว ในการเข้าทำปฏิกิริยาของสารเคมี วิธีการปรับสภาพเชิงกลสามารถใช้เป็นอิสระ หรือใช้ร่วมกับการปรับสภาพวิธีอื่นๆ โดยการบด การหั่น การฉีก การตัด เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพื่อที่จะเพิ่ม ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลส

2.3.2.2 การปรับสภาพด้วยความร้อน

การประยุกต์ใช้ความร้อนกับสาหร่าย ช่วยเพิ่มการย่อยสลายขึ้นส่วนอนุภาคสารอินทรีย์และย่อยสลายโมเลกุลของพอลิเมอร์บางส่วน การปรับสภาพโดยความร้อนจะมีประสิทธิภาพต่อการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสและโครงสร้างที่ซับซ้อนของลิกโนเซลลูโลส สาหร่ายแห้งที่ทำการปรับสภาพด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องเติมน้ำก่อนทำการปรับสภาพด้วยความร้อนในหม้อต้มภายใต้ความดัน (Pressure cookers) หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclaves) หรือ ถึงปฏิกรณ์ที่มีแจ็กเก็ตหุ้ม (Jacketed reactors) การใช้ความร้อนในการปรับสภาพมี 2 แบบ ได้แก่ การปรับสภาพด้วยความร้อน (Thermal pretreatment) และการปรับสภาพด้วยความร้อนชื้น (Hydrothermal pretreatment) โดยการปรับสภาพด้วยความร้อนจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ สำหรับการปรับสภาพด้วยความร้อนชื้นจะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และเพิ่มความดัน

2.3.1.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี

การปรับสภาพด้วยกรด ด่าง และการออกซิเดชัน นำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพของชีวมวล สารเคมีที่เป็นกรดและด่างโดยทั่วไปจะใช้ในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่อยู่ในชีวมวล ทำให้การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์เกิดได้ง่ายขึ้น การปรับสภาพโดยใช้ด่างพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าในการย่อยสลายลิกนิน ในขณะที่การปรับสภาพด้วยกรดจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสการย่อยสลายด้วยกรด สามารถทำได้โดยการใช้กรดเข้มข้นหรือกรดเจือจาง ที่นิยมใช้ทั่วไป คือ กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และ กรดอะซิติก กรดที่มีความเข้มข้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายเซลลูโลส แต่เป็นกระบวนการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงานและมีค่าใช้จ่ายกรดที่มีความเข้มข้นจะกัดกร่อนและเป็นพิษ กรดเจือจางจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสทั้งหมดให้กลายเป็นน้ำตาล สำหรับการปรับสภาพด้วยต่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียม แอมโมเนียม แคลเซียม และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ประสิทธิภาพของการปรับสภาพด้วยต่าง ขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในชีวมวลนั้นๆ โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพมีมาอย่างยาวนาน เนื่องจากความเป็นเบสแก่ทำให้สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพ จะเห็นได้จากระดับการย่อยสลายของเอนไซม์ที่มากกว่าการใช้อัลคาไลน์อื่นๆ โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำลายพันธะที่เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ในโครงสร้างของลิกนิน-คาร์โบไฮเดรต (Lignin-carbohydrate complexes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะที่แข็งแรงอย่างพันธะอีเธอร์และพันธะเอสเธอร์ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพ และยังสามารถทำลายพันธะคาร์บอนในโมเลกุลของลิกนิน ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการปรับสภาพ โซเดียมไฮดรอกไซด์จะแตกตัวออกเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และโซเดียมไอออน (Na^+) และความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจะเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายก็เพิ่มขึ้นด้วย (Kim และคณะ, 2015)

2.3.3 การฟอกขาว

การฟอกสีเป็นส่วนสำคัญในการผลิตกระดาษในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้คุณภาพกระดาษเป็นไปตามมาตรฐาน การควบคุมและวางแผนการฟอกสีได้ดีสามารถช่วยลดต้นทุนได้ ขั้นตอนในการฟอกเยื่อกระดาษสามารถทำให้กระดาษขาวขึ้นได้ โดยการฟอกสีและเพิ่มความสว่างของเยื่อกระดาษขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ เช่นคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ ไฮโปคลอไรต์ เป็นต้น ส่วนการเพิ่มความสว่างของเยื่อนั้นทำได้โดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ตัวแปรที่มีผลต่อการ ฟอกสี ได้แก่ การปรับสภาพเยื่อ อุณหภูมิ ค่าพีเอชและความแข็งแรงของเยื่อกระดาษ การเพิ่มอุณหภูมิขณะฟอกจะทำให้ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์รุนแรงขึ้นทำให้ประหยัดเวลาในการฟอกขาวลง แต่ความแข็งแรงของเส้นใยจะลดลงเมื่อทำการฟอกขาวเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ไปทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตและทำลายพันธะระหว่างเซลลูโลส (Major และคณะ, 2005)

2.3.4 การขึ้นรูปกระดาษ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550)

2.3.4.1 การเตรียมเยื่อ

ขั้นตอนของการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation) มีความสำคัญมากต่อคุณสมบัติของกระดาษ ในส่วนของการเตรียมเยื่อนั้นจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ

1) การตีเยื่อ : เส้นใยของเยื่อจะถูกตีด้วยแรงทางกลจนได้เยื่อที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ

2) การเติมสารเคมี : สารเคมีที่เติมลงไปจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำเยื่อ และยังช่วยทำให้กระบวนการผลิตกระดาษดีขึ้น ตัวอย่างของสารเคมีที่มีการเติม เช่น กรดและเบส สารส้ม สี สารช่วยในการเก็บรักษา สารช่วยในการดูดซับน้ำ สารป้องกันจุลินทรีย์

3) การคัดแยกและการทำความสะอาด : น้ำเยื่อจะถูกคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออก หลังจากนั้นจะถูกนำไปเก็บในถังเก็บน้ำเยื่อ เพื่อเตรียมนำไปใช้สำหรับ การผลิตกระดาษต่อไป

2.3.4.2 การผลิตกระดาษ

น้ำเยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปยังเครื่องผลิตกระดาษ ซึ่งแบ่งออกเป็น ชั้นส่วนเปียก(Wet end) และชั้นส่วนแห้ง (Dry end) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในชั้นส่วนเปียก จะครอบคลุมตั้งแต่ส่วนที่ทำการเก็บน้ำเยื่อ จนถึงส่วนที่ทำการกดรีดน้ำ สำหรับในชั้นส่วนแห้ง จะเริ่มตั้งแต่การอบแห้ง และส่วนแปรรูปตกแต่งผลิตภัณฑ์

ขั้นการดำเนินการในส่วนเปียก (Wet end operations) : จะประกอบด้วย ถังจ่ายเยื่อ (Head box) ตะแกรงลวดเดินแผ่น (Wire section) และส่วนกดรีดน้ำ (Press section) ในส่วนนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ชั้น คือ

1) การขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ (Sheet formation) : เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิต การขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ จะเริ่มจากการฉีดน้ำเยื่อ โดยผ่านถึงถังจ่ายเยื่อ (Head box) ลงไปบนแผ่นตะแกรงลวดเดินแผ่นที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะมีน้ำบางส่วนในน้ำเยื่อถูกดึงออกไป โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งหลังจากผ่านส่วนนี้ไป จะเริ่มกลายเป็นแผ่นกระดาษ แต่ยังมีลักษณะที่เปียกอยู่ มีความชื้นสูง

2) การกดรีดน้ำ (Pressing) : กระดาษบนแผ่นตะแกรงลวดเดินแผ่นจะผ่านเข้าสู่ส่วนกดรีดน้ำ (Press section) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่กดรีดน้ำออกจากแผ่นเปียกแล้ว การกดยังจะทำให้แผ่นเยื่อเกิดการประสานยึดติดแน่นรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ผิวหน้ามีความเรียบ เพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55 ถึง 60

ขั้นการดำเนินการในส่วนแห้ง (Dry end operations) : จะประกอบด้วยส่วนอบแห้งกระดาษ (Dryer section) ส่วนรีดกระดาษ (Calender stack) ส่วนนำกระดาษเข้าม้วน (Reel building) และ ส่วนหยุดเครื่อง เสริมจลินกระบวนการ (Offmachine finishing operations)

1) ส่วนอบแห้งกระดาษ (Dryer section) : หลังจากผ่านการกดทับ กระดาษจะถูกส่งไปยังส่วนอบแห้ง เพื่อทำการระเหยดึงน้ำส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ออกไป โดยผ่านกระดาษที่ยังขึ้นอยู่ไปบนลูกอบที่ร้อน ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน เกิดการระเหยของน้ำออกไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณของไอน้ำที่เข้าไปในลูกอบ เวลาที่ใช้ในการสัมผัส รวมถึง ความเอกละเอียดเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นที่สัมผัสระหว่างลูกอบและแผ่นกระดาษ คุณสมบัติของผ้าสักหลาด และการหมุนเวียนของอากาศร้อน เป็นต้น หลังจากนั้น กระดาษที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านไปยังส่วนของการปรับปรุงผิวกระดาษโดยการใช้น้ำแป้ง

2) ส่วนรีดกระดาษ (Calender stack) : การรีดกระดาษจะเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบ และมีการปรับปรุงความหนาของกระดาษให้มีความหนาที่สม่ำเสมอ พร้อมกับทำให้กระดาษมีเนื้อแน่นขึ้น

3) ส่วนพักกระดาษเข้าม้วน (Reel-up) : ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นำกระดาษเข้าม้วน รอกการนำไปตัดแบ่งให้ได้ขนาดที่ต้องการ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.3.5 การทดสอบคุณภาพของกระดาษ

กระดาษที่ได้จากการขึ้นรูป จากขั้นตอนกระบวนการตั้งแต่การเตรียมน้ำเยื่อ การพอกขาว สารที่เติมแต่งลงไป ทำให้กระดาษที่ได้มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณสมบัติ (นุชตรา, 2553 ; โสรญา, 2557) ได้ดังนี้

2.3.5.1 สมบัติตามโครงสร้างของกระดาษ

โครงสร้างของกระดาษเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยการผสมกันของเส้นใย ลักษณะของ ส่งผลให้กระดาษมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ได้แก่

- 1) น้ำหนักมาตรฐาน เป็นน้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นหน่วยกรัมต่อตารางเมตร ในมาตรฐานของ ISO จะใช้คำว่า แกรม (Gramage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน
- 2) ความหนา จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐานและแรงที่กดลงบนกระดาษในระหว่างการขึ้นรูป มีหน่วยเป็นไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร
- 3) ความเรียบเนียน เกิดจากการผสมกันระหว่างเส้นใยกับสารที่เติมแต่ง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน เนื่องจากถ้ากระดาษไม่มีความเรียบเนียนเมื่อนำไปพิมพ์จะทำให้มีคุณสมบัติที่ไม่ดี

2.3.5.2 สมบัติการต้านทานของกระดาษ เป็นการต้านทานของกระดาษต่อสิ่งมาสัมผัส

การดูดซับน้ำ เป็นการดูดซับน้ำของกระดาษในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร ถ้าการดูดซับน้ำมีค่ามาก จะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง

2.3.5.3 สมบัติเชิงกลของกระดาษ เป็นสิ่งที่บ่งชี้ความแข็งแรงทนทานต่อการนำกระดาษไปใช้งาน และความสามารถในการทนต่อแรงที่กระทำที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิต ดังนั้นการเลือกกระดาษไปใช้งาน ต้องคำนึงถึงสมบัติเชิงกล ดังนี้

- 1) การทนต่อแรงดึง เป็นการทนต่อแรงที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษพิมพ์ เนื่องจากถ้าการทนต่อแรงดึงน้อย อาจทำให้กระดาษขาดระหว่างการพิมพ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทนต่อแรงฉีกขาด เป็นแรงที่สามารถทำให้กระดาษขาดออกจากกันหน่วยเป็นมิลลิวัตตัน หรือ กรัม กระดาษที่ต้องตรวจสอบคุณสมบัตินี้ คือ กระดาษพิมพ์และเขียน

2.3.5.4 สมบัติทางการมองเห็น เป็นสมบัติที่มองเห็นได้ด้วยตา ต้องอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ร่วมกับจิตวิทยา ได้แก่

1) ความขาวสว่าง (Brightness) เป็นการวัดการสะท้อนกลับแสงของตัวอย่างกระดาษหลายแผ่นซ้อนกันจนแสงไม่สามารถผ่านได้ ด้วยเครื่องวัดความขาวสว่าง ที่ความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน 457 นาโนเมตร

2) ความทึบแสง (Opacity) เป็นการวัดการสะท้อนกลับของแสง เป็นอัตราส่วนระหว่างการสะท้อนกลับของแสงของกระดาษแผ่นเดียวที่ปิดด้วยวัตถุดำสนิท (Black body) ต่อการสะท้อนกลับของแสงของกระดาษที่ปิดหลังด้วยวัตถุที่ขาวสนิท (White body) คือ MgO ที่ความยาวคลื่นแสง 557 นาโนเมตร

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การฟอกขาวเยื่อกระดาษที่ได้จากเส้นใยสาหร่ายสีแดงมีการจัดทำขึ้นทำขึ้น เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2009-2010 โดย Yoon และคณะ (2012) มีการนำมาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษซึ่งพบว่ามีความทึบแสงและความเรียบเนียนของกระดาษที่ดีมาก นอกจากนี้ในส่วนของขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษนั้นจะมีวัฏจักรเกิดขึ้นในสารสกัดซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลได้หลังจากที่นำมาผ่านกระบวนการย่อยสลาย การทำให้บริสุทธิ์และการหมัก

Seo และคณะ (2010) รายงานว่าการใช้สาหร่ายสีแดงในการทำเยื่อสาหร่ายฟอกขาว โดยใช้สาหร่ายสีแดง 2 สายพันธุ์ คือ *Gelidium amansii* และ *Gelidium corneum* เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเยื่อไม้ฟอกขาวด้วยสารเคมี พบว่าผลผลิตของเยื่อฟอกขาวที่ได้จากสาหร่าย *Gelidium amansii* ร้อยละ 8 และสาหร่าย *Gelidium corneum* ร้อยละ 11 และมีค่าความสว่าง (Brightness) มากกว่าร้อยละ 80 และกระดาษที่ได้จากเยื่อสาหร่ายสีแดง มีความเรียบเนียนและความทึบแสงสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อไม้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์

Chao และคณะ (2000) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่าย *Rhizoclonium* จากแหล่งน้ำกร่อย ประเทศไต้หวันเพื่อทำเป็นกระดาษ โดยผ่านกระบวนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 25 ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีประจุต่ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาสั้นๆ ที่ 30 ถึง 120 นาที จะให้ค่าผลผลิตของเยื่อสาหร่ายในปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 ถึงร้อยละ 80 ในกระบวนการนี้จะไม่มีซัลเฟตเกิดขึ้น แต่จะต้องใช้น้ำในปริมาณมาก โดยเยื่อสาหร่ายที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Seo และคณะ (2009) รายงานว่าการทำกระดาษเส้นใยมัดเบอร์รี่ เรียกว่ากระดาษฮันจิ ซึ่งเป็นกระดาษที่ทำด้วยมือของประเทศเกาหลี พบว่ากระดาษฮันจิที่มีการผสมกับเยื่อสาหร่าย ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ แต่สำหรับการปรับปรุงความทึบแสงและความเรียบเนียนนั้นยังเป็นเรื่องยาก

Machmud และคณะ (2013) ศึกษาการใช้สาหร่ายสีเขียว *Gracilaria* เป็นแหล่งทดแทนเยื่อไม้ เนื่องจากประชากรเพิ่มมากขึ้นทำให้การผลิตกระดาษมีเพิ่มมากขึ้น จึงต้องหาสิ่งมาทดแทนต้นไม้ในการทำกระดาษ จากผลการศึกษาสาหร่ายสีเขียว 2 สกุล คือ *Gracilaria* และ *Eucaema* เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงกับกระดาษที่ได้จากเยื่อไม้ พบว่าสาหร่ายทั้งสองสกุลนี้ มีศักยภาพมากพอที่สามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สาหร่าย

3.1.1 สาหร่ายสีแดง (*Gracilaria fisheri*) ซื้อมาจากร้าน sunny seaweed จังหวัด ระนอง

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) (Laboratory reagent grade)
- 3.2.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) (Commercial grade)
- 3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (Laboratory reagent grade)
- 3.2.4 โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) (Commercial grade)
- 3.2.5 ชันสน (Gum rosin) (Commercial grade)
- 3.2.6 สารส้ม (Aluminium sulphate) (Commercial grade)
- 3.2.7 แอลกอฮอล์ (Absolute alcohol) (Laboratory reagent grade)

3.3 อุปกรณ์

- 3.3.1 ตู้เย็น ;SANYO : SR-F808I
- 3.3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักสี่ตำแหน่ง ;Adventure : AR2140
- 3.3.3 หม้อนึ่งอัตโนมัติ (Autoclave) ;Tomy : ES-315,
- 3.3.4 เครื่องจักรขึ้นรูปพลาสติก (Hydraulic presses) ;Labtech engineering
- 3.3.5 เครื่องวัดสี (Colourimeter) ;Minolta : CR-300
- 3.3.6 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ;Contherm : thermotec 2000
- 3.3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ;ZEISS : EVO MA10
- 3.3.8 เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot plate stirrer)
- 3.3.9 เครื่องวัดแรงดึง ;LLOYD INSTRUMENTS : LR5K
- 3.3.10 เครื่องวัดมุมสัมผัส ;Contact angle system : OCA
- 3.3.11 ตู้แช่เยือกแข็ง (Deep freezer)
- 3.3.12 เครื่องวัดความกว้าง (Vernier caliper)
- 3.3.13 เครื่องวัดความหนา (Thickness gauge) ,Peacock made in japan model G
- 3.3.14 เครื่องบดละเอียด ,Retsch SK 100
- 3.3.15 ชุดกรวยกรอง (Buchner funnel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.16 ภาชนะเก็บน้ำร้อน (Vacuum flask)
- 3.3.17 ภาตพลาสติก ภาตสแตนเลส
- 3.3.18 ตะแกรงไนลอนขนาด 100 ไมโครเมตร
- 3.3.19 หม้อสแตนเลส
- 3.3.20 แผ่นเหล็กขนาด 16x16 เซนติเมตร
- 3.3.21 กระดาษเหลือใช้
- 3.3.22 ตะแกรงร่อนแป้ง ผ้าขาวบาง กรรไกร กระดาษทิชชู กระดาษไข ฟองน้ำ ถังร้อน หนึ่ง
 ยาง ซ้อนตักสาร ถ้วยกระดาษใส่สาร ไม้แคะอุ่นอาหารเลี้ยงเชื้อ ฟ็อกกี้
- 3.3.23 เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ปีกเกอร์ ฟลาสก์ แท่งแก้วคนสาร ปีกเกอร์สแตนเลส
 ปีเปตแก้ว จุกยาง ขวดปรับปริมาตร กระบอกตวง

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษมีขั้นตอนหลักๆ คือ การเตรียมสาหร่าย การศึกษาการสกัดจากสาหร่าย การฟอกขาว การขึ้นรูปและการตรวจสอบคุณสมบัติของกระดาษ

3.4.1 การเตรียมสาหร่าย

นำสาหร่ายสีแดง *Garcillaria fisheri* แห่ง (ซื้อจากจังหวัดระนองร้าน suny seaweed) มาตัดให้มีขนาดสั้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร จากนั้นนำสาหร่ายที่ตัดมาล้างน้ำ ให้สะอาดเพื่อขจัดเศษทรายและกลิ่นไม่พึงประสงค์ สังเกตสีของน้ำที่ล้างสาหร่ายต้องใส จากนั้นนำสาหร่ายที่ล้างสะอาดแล้วไปอบตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าสาหร่ายจะแห้งสนิท เมื่อสาหร่ายแห้งแล้วนำไปเข้าเครื่องบดละเอียดเพื่อให้สาหร่ายมีขนาดเท่ากับ 0.75 เซนติเมตร

3.4.2 การศึกษาวิธีการสกัดจากสาหร่าย

นำสาหร่ายจากข้อ 3.4.1 มาทำการสกัดด้วย 3 วิธี คือ การสกัดด้วยน้ำ การสกัดด้วยกรด และการสกัดด้วยเบส ดังนี้

3.4.2.1 การสกัดจากสาหร่ายด้วยน้ำกลั่น

นำสาหร่ายแห้งจากข้อ 3.4.1 ไปชั่งน้ำหนักแบ่งใส่ ฟลาสก์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ฟลาสก์ แต่ละฟลาสก์ใส่สาหร่าย 7.5 กรัม และใส่น้ำกลั่น 375 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกสำลีหุ้มด้วยกระดาษมัตยง นำไปสกัดในหม้อหนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการสกัดแล้ว มากรองแยกอุ่นออกจากเซลล์โดยใช้ชุดกรวยกรอง กรองผ่านผ้าขาวบางที่ตัดแปลงแทนกระดาษกรอง เก็บส่วนของเหลวที่มีอุ่นผสมอยู่ไปแช่ในตู้แช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วจึงค่อยนำไปนํ้าหนักของอุ่นต่อไป สำหรับส่วนที่เป็นเซลล์ของเอกสางนั้นเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับให้ใส่กรดสแตนเลสใช้กระดาษไขรองกันกรดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าสำหรับจะแห้ง

3.4.2.2 การสกัดวันจากสาหร่ายด้วยกรดไฮดรอกลอริก

นำสาหร่ายแห้งจากข้อ 3.4.1 ไปชั่งน้ำหนักแบ่งใส่ ฟลาสก์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ฟลาสก์ แต่ละฟลาสก์ใส่สาหร่าย 7.5 กรัม และใส่สารละลายกรดไฮดรอกลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 375 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกสำลีหุ้มด้วยกระดาษมัตยาง นำไปสกัดวันในหม้อหนึ่ง ความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการสกัดวันแล้ว มากรองแยกวันออกจากเซลล์โดยใช้ชุดกรวยกรอง กรองผ่านผ้าขาวบางที่ดัดแปลงแทนกระดาษกรอง เก็บส่วนของเหลวที่มีวันผสม อยู่ไปแช่ในตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วจึงค่อยนำไปหาน้ำหนักของวันต่อไป สำหรับส่วนที่เป็นเซลล์ของสาหร่ายให้ใส่กรดสแตนเลสใช้กระดาษไขรองกันกรดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าสำหรับจะแห้ง

3.4.2.3 การสกัดวันจากสาหร่ายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำสาหร่ายแห้งจากข้อ 3.4.1 ไปชั่งน้ำหนักแบ่งใส่ ฟลาสก์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ฟลาสก์ แต่ละฟลาสก์ใส่สาหร่าย 7.5 กรัม และใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 375 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกสำลีหุ้มด้วยกระดาษมัตยาง นำไปสกัดวันในหม้อหนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการสกัดวันแล้ว มากรองแยกวันออกจากเซลล์โดยใช้ชุดกรวยกรอง กรองผ่านผ้าขาวบางที่ดัดแปลงแทนกระดาษกรอง เก็บส่วนของเหลวที่มีวันผสมอยู่ไปแช่ในตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วจึงค่อยนำไปหาน้ำหนักของวันต่อไป สำหรับส่วนที่เป็นเซลล์ของสาหร่ายให้ใส่กรด สแตนเลสใช้กระดาษไขรองกันกรดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าสาหร่ายจะแห้ง

3.4.3 การฟอกขาว

1. นำสาหร่ายที่ผ่านการสกัดวันด้วยน้ำ กรด และด่าง อบจนแห้งชั่งน้ำหนัก 20 กรัมแล้วนำมาฟอกสีโดยใส่ในบีกเกอร์สแตนเลสจากนั้นใส่น้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร
2. นำไปให้ความร้อนบนฮอตเพลทที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส รอจนน้ำเดือด จึงใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไป 10 มิลลิลิตร (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50) และโซเดียมซัลเฟต 10 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนเพื่อให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับสาหร่ายแห้งได้ดีขึ้นโดยใช้เวลา 30 นาที
3. เมื่อครบเวลาจึงทำการเติมสารสองชนิดตามข้างต้น (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโซเดียมซัลเฟตโดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรเท่าเดิม) ลงไปอีก 2 ครั้งหรือจนกว่าสาหร่ายจะมีสีขาวขึ้นเรียกว่าเยื่อฟอกขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การขึ้นรูป

1. นำเยื่อสำหรับรายที่ผ่านการฟอกขาวจากข้อ 3.4.3 แขนในสารละลายชั้นสน(ความเข้มข้นร้อยละ 5) เป็นเวลา 15 นาทีเมื่อครบเวลานำมาแขวนในสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ต่ออีก 15 นาที
2. นำไปผสมกับกระดาษเหลือใช้ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงใส่น้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทำการปั่นให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องปั่น
3. จากนั้นนำเยื่อสำหรับรายที่ปั่นรวมกับกระดาษเหลือใช้จากข้อ 3.4.4 (2) มาแบ่งใส่บีกเกอร์ให้มีปริมาตร 80 มิลลิลิตร เพื่อเตรียมนำไปเทบนตะแกรงเพื่อขึ้นรูป
4. นำผ้าขาวบางมาตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าแผ่นตะแกรงเล็กน้อยจำนวนสองผืน ผืนแรกนำไปวางบนตะแกรงเพื่อป้องกันไม่ให้เยื่อสำหรับรายจากข้อ 3.3.4 (3) ลอดผ่านตะแกรง ส่วนอีกผืนหนึ่งเก็บไว้วางทับบนเยื่อกระดาษจากสำหรับรายหลังจากที่ทำการเกลี่ยบนตะแกรงเรียบร้อยแล้ว
5. ทำการเทเยื่อกระดาษจากสำหรับรายลงบนตะแกรงเกลี่ยให้เรียบและสม่ำเสมอจากนั้นนำฟองน้ำมากดเพื่อขับน้ำและให้เยื่อเกาะกันเป็นแผ่น แล้วค่อยๆลอกผ้าขาวบางทั้งชั้นบนและชั้นล่างโดยมีเยื่อกระดาษจากสำหรับรายอยู่ตรงกลางออกจากตะแกรง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้นำแผ่นเหล็กมาประกบทั้งบนและล่างแล้วอบต่ออีก 24 ชั่วโมง
6. นำแผ่นกระดาษจากสำหรับรายที่อบแล้วออกจากแผ่นเหล็ก ค่อยๆลอกกระดาษจากสำหรับรายออกจากผ้าขาวบาง นำแผ่นกระดาษที่ลอกออกมาได้ไปทำให้เรียบโดยเครื่องอัดแรงดันไฮดรอลิก ภายใต้ความดัน ที่ 200 นิวตัน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที

3.4.5 การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

3.4.5.1 วัดค่าสี (Color value) ด้วยระบบ CIELAB นำกระดาษทั้ง 4 ชนิดคือกระดาษเหลือใช้ที่นำมาขึ้นรูปเป็นตัวควบคุม กระดาษที่สกัดจากรายด้วยน้ำกลั่น กรดและเบส ชนิดละสามแผ่น มาทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี และรายงานในระบบ มาตรฐาน การส่องสว่างของ CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) โดยค่า L^* หมายถึงความสว่าง a^* หมายถึง สีแดงกับสีเขียว และ b^* หมายถึงสีเหลืองกับสีน้ำเงิน (Yarnpakdee และคณะ, 2015) โดยค่าที่สนใจคือค่า L^* (ค่าของความสว่าง) และค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง)

3.4.5.2 ความหนา วัดความหนาของกระดาษด้วยเครื่องวัดความหนา (Thickness gauge) ,Peacock made in japan model G ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.4.5.3 การดูดซับน้ำ โดยการหยดน้ำและน้ำมันลงในกระดาษทั้ง 4 ตัวอย่าง สังเกตการซึมของหยดน้ำพร้อมกับจับเวลา (Bunyaphiphat และคณะ, 2015)

3.4.5.4 การทนแรงดึง ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง ซึ่งเป็นแรงดึงสูงสุดที่แผ่นกระดาษนั้นสามารถรับได้ก่อนที่มันจะขาดจากกัน มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (Yung-Bum และคณะ, 2010)

3.4.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลของการวิเคราะห์คุณภาพของกระดาษจากการสกัดทั้ง 3 วิธี มาทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่ได้รายงานเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาวิธีการสกัดวุ้นจากสาหร่าย

ผลการสกัดวุ้นจากสาหร่าย 30 กรัม (แบ่งใส่ฟลาสละ 7.5 กรัม ทั้งหมด 4 ฟลาสก์) ที่สกัดด้วยน้ำกลั่น กรดไฮดรอกลอลริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อนำมากรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นวุ้น และเซลล์ลอสออกจากกัน นำส่วนเหลวที่มีวุ้นไปแช่ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปหาน้ำหนักของวุ้นที่สกัดออกมาได้ ผลการทดลองพบว่าปริมาณวุ้นที่ทำการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นกรดไฮดรอกลอลริก และน้ำกลั่น มีปริมาณวุ้น 23.17 กรัม 17.77 กรัม และ 11.99 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาการสกัดวุ้นของ Kumar และ Fotedar (2009) รายงานว่าสาหร่าย Gelidium มีวุ้นที่คุณภาพต่ำเนื่องจากมีปริมาณซัลเฟตมาก การสกัดด้วยต่างทำให้การสกัดวุ้นดีขึ้น โดยทำการแช่สาหร่ายในสารละลายต่างก่อนที่จะนำไปสกัดด้วยความร้อน สำหรับปริมาณของเซลล์ลอสของสาหร่าย เมื่อทำการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าส่วนเซลล์ลอสที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮดรอกลอลริก 17.74 กรัม 15.35 กรัม และ 10.21 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 และเมื่อนำแผ่นกระดาษไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะเห็นว่าปริมาณของเส้นใยที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีปริมาณเส้นใยที่หนาแน่นมากมีรูพรุนน้อย(รูปที่4.1 และ4.2) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอลริก (รูปที่ 4.3 และ4.4) และน้ำ (รูปที่ 4.5 และ4.6) จะเห็นว่าขนาดของเส้นใยและมีรูพรุนที่มากกว่า การใช้กรดและความร้อนขึ้น ทำให้โครงสร้างของเซลล์ลอสแตกหักออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆเกิดเป็นรูพรุน ปริมาณเซลล์ลอสจึงลดลงไปด้วย (Pu และคณะ, 2013) และจากการศึกษาการผลิตกระดาษของ Seo และคณะ (2009) รายงานว่าการสกัดวุ้นออกจากเซลล์ลอสก่อนที่จะนำไปฟอกขาวเพื่อผลิตเป็นกระดาษ ในขั้นตอนของการสกัดด้วยน้ำกลั่น กรด และ ต่าง พบว่าการสกัดด้วยกรดจะทำให้ค่าผลได้ของ เซลล์ลอสลดลง เมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะเซลล์ลอสเล็กและเรียวย ส่วนเส้นใยของกระดาษที่ได้จากเยื่อไม้จะมีขนาดใหญ่กว่าดังนั้นกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดวุ้นด้วยต่างจะได้ปริมาณวุ้นมากที่สุดส่วนกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่นนั้นได้ปริมาณน้ำหนักแห้งของเซลล์ลอสมากที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของวุ้นและเซลล์โลสจากสาหร่าย *Gracilaria fisheri*

สารที่ใช้สกัดวุ้น	ปริมาณวุ้นที่สกัดด้วยวิธีที่ต่างกัน (กรัม)	น้ำหนักแห้งของเซลล์โลส (กรัม)
น้ำกลั่น	11.99±2.05 ^c	17.74±0.85 ^a
ไฮโดรคอลลอริก (ร้อยละ 0.1)	17.77±2.76 ^b	10.21±1.03 ^c
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	23.17±2.46 ^a	15.35±1.10 ^b

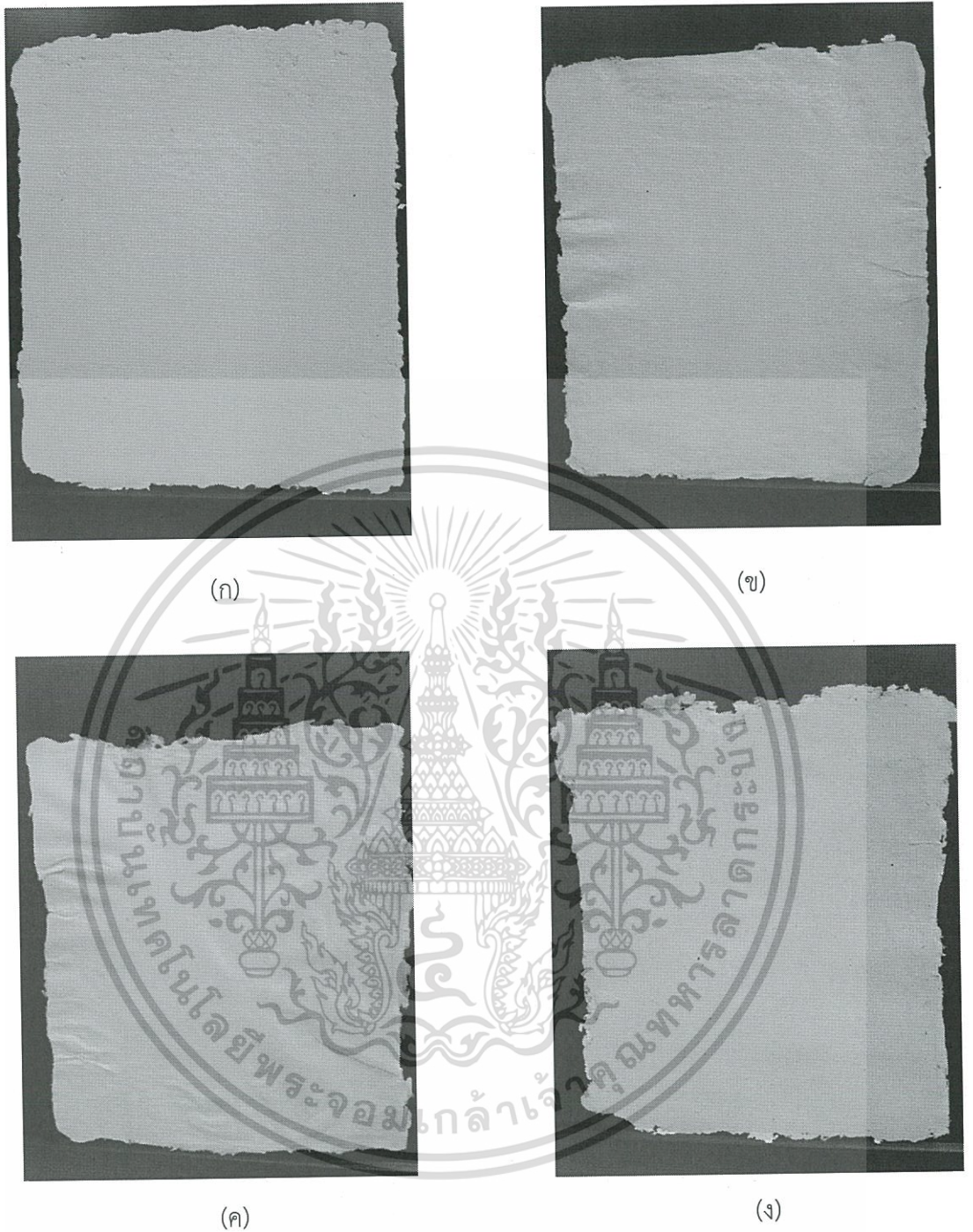
*ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ±SD (n=5)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เขียนอยู่เหนืออักษรตัวอื่นในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P <0.05)

4.2 การผลิตกระดาษ

จากการนำส่วนของเซลล์โลสที่ผ่านการสกัดวุ้นออกแล้วนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ ได้แก่ กระดาษจากกระดาษถ่ายเอกสาร(ตัวควบคุม) กระดาษจากสาหร่ายที่ทำการสกัดวุ้นด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคอลลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปขึ้นรูป (รูปที่ 4.1)

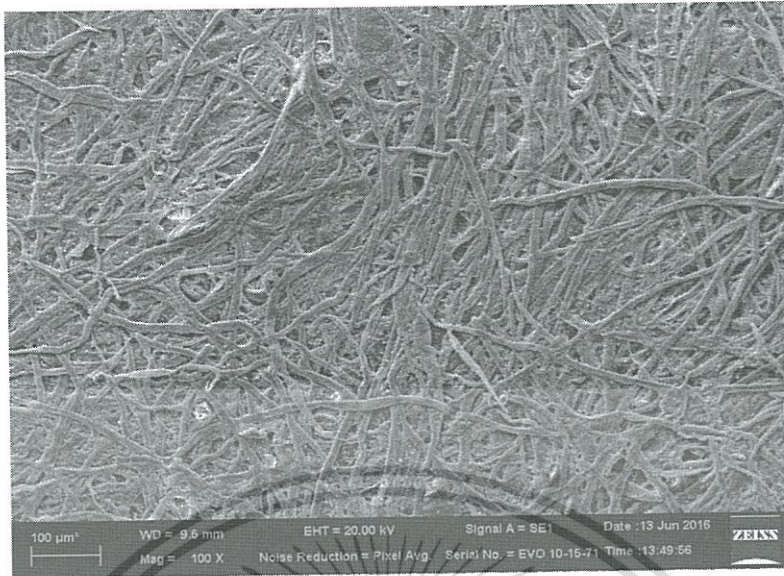
จากนั้นนำกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่น ไปศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนเพื่อดูลักษณะ และการเรียงตัวของเซลล์โลสของสาหร่ายที่กำลังขยาย 100X และ 300X จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นเส้นใยของกระดาษมีลักษณะเป็นป็นสีขาวกระจายตัวอย่างหนาแน่น รูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่สกัดวุ้นด้วยน้ำกลั่น มีเซลล์โลสไม่หนาแน่นเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจึงพบรูพรุนบนพื้นผิวของกระดาษ รูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่สกัดวุ้นด้วยกรดไฮโดรคอลลอริกจะเห็นป็นสีขาวของกระดาษชัดเจนแต่พบเซลล์โลสของสาหร่ายน้อย เนื่องจากเซลล์โลสของสาหร่ายเสียสภาพจากการสกัดด้วยกรด รูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่สกัดวุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเห็นป็นสีขาวของกระดาษซึ่งน้อยกว่ากระดาษที่สกัดวุ้นด้วยกรดไฮโดรคอลลอริกและมีการเรียงตัวของเซลล์โลสที่เป็นระเบียบกว่ากระดาษชนิดอื่น



รูปที่ 4.1 การผลิตกระดาษจากสาหร่าย

- (ก) กระดาษจากกระดาษถ่ายเอกสาร (ตัวควบคุม)
- (ข) กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น
- (ค) กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก
- (ง) กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

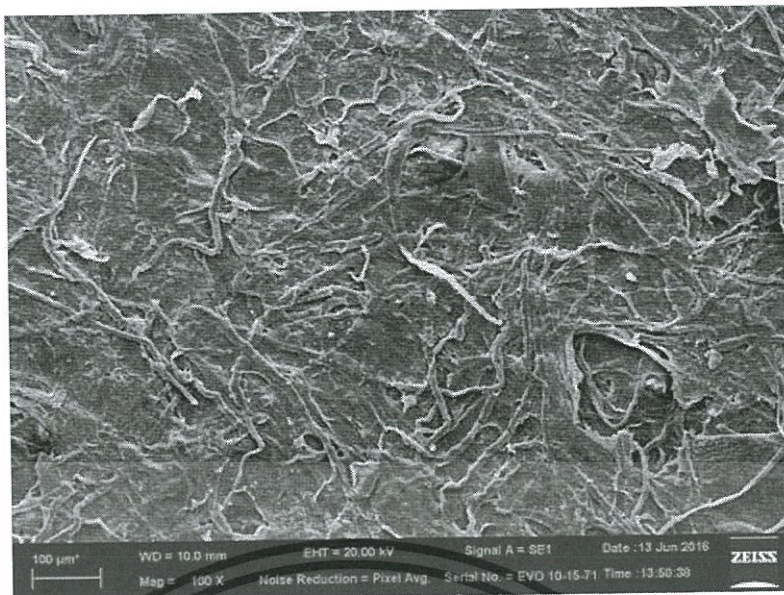


รูปที่ 4.2 กระดาษตัวควบคุม
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 100X)



รูปที่ 4.3 กระดาษตัวควบคุม
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 300X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 100X)

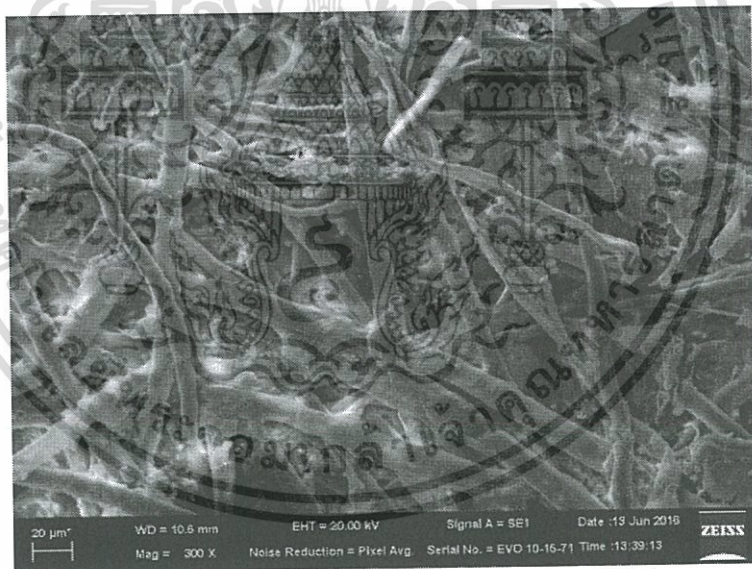


รูปที่ 4.5 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 300X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอลริก
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 100X)



รูปที่ 4.7 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอลริก
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 300X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 100X)



รูปที่ 4.9 กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 300X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

กระดาษที่ผลิตจากเซลลูโลสของสาหร่ายมีทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ กระดาษที่ผลิตจากเซลลูโลสของสาหร่ายที่ทำการสกัดด้วยน้ำ กรดไฮดรอกลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.3.1 วัดค่าสี

ทำการวัดค่าสีจากเครื่องวัดสีโดยสนใจเฉพาะค่า L^* ซึ่งเป็นค่าความสว่าง และค่า b^* ซึ่งเป็นค่าสีน้ำเงินและสีเหลือง Tindal (2001) จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่ากระดาษตัวควบคุมมีความสว่างมากที่สุดคือมีค่า $L^* = 91.68$ ซึ่งสอดคล้องกับค่า $b^* = -5.34$ เป็นค่าสีเหลืองซึ่งน้อยที่สุดเช่นกัน ส่วนการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองใกล้เคียงกับกระดาษตัวควบคุมมากที่สุด ค่า $L^* = 89.72$ ค่า $b^* = 4.56$ และมีค่าความแตกต่างของค่าสีรวมน้อยที่สุด มีค่า $\Delta E^* = 9.31$ ส่วนกระดาษที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก มีค่า $L^* = 86.35$ ค่า $b^* = 8.66$ ซึ่งมีค่าสีเหลือง มากที่สุด และค่า $\Delta E^* = 11.43$ และกระดาษที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่า $L^* = 86.48$ มีค่า $b^* = 7.04$ และ $\Delta E^* = 11.13$ โดยกระดาษที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก และน้ำกลั่นมีค่าความสว่าง ค่าความเหลือง และค่าความแตกต่างของค่าสีรวมที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งความขาวของกระดาษมีความสัมพันธ์กับการสกัดจากสาหร่ายดังนั้นกระดาษที่ทำการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความขาวมากที่สุด จากการศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวของ Yoon และคณะ (2012) พบว่าการที่จะผลิตเยื่อกระดาษ ฟอกขาวให้มีคุณภาพสูงการกำจัดเอา สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วย ซัลเฟตกาแลคแตน (Sulphate Galactan) ออกไป ในขั้นตอน ของการสกัดด้วยน้ำ ทำให้การฟอกขาวเกิดขึ้นได้ง่าย ไม่สิ้นเปลืองสารเคมี ซึ่งการสกัดด้วยด่างสามารถกำจัดซัลเฟตออกไปได้มากที่สุด เมื่อนำเซลลูโลสไปฟอกขาวแล้วจึงทำให้กระดาษมีความขาวสว่างมากที่สุด

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสีแต่ละตัวอย่างกระดาษที่ทำการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮดรอกลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างกระดาษ	ค่าสี			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
กระดาษตัวควบคุม	91.68 ^a ±0.10	2.13 ^a ±0.03	-5.34 ^d ±0.04	15.26 ^a ±0.03
น้ำกลั่น	86.48 ^c ±0.63	-1.26 ^c ±0.08	7.04 ^b ±1.03	11.13 ^b ±0.60
ไฮดรอกลอริก (ร้อยละ 0.1)	86.35 ^c ±0.84	-1.06 ^c ±0.22	8.66 ^a ±0.93	11.43 ^b ±0.81
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	89.72 ^b ±0.29	0.29 ^b ±0.06	4.56 ^c ±0.85	9.31 ^c ±0.05

*ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ±SD (n=5)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เขียนอยู่เหนืออักษรตัวอื่นในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

L^* = ค่าความสว่าง ; $+L^*$ = สีขาว , $-L^*$ = สีดำ

a^* = สีเขียวและสีแดง ; $+a^*$ = สีแดง , $-a^*$ = สีเขียว

b^* = สีน้ำเงินและสีเหลือง ; $+b^*$ = สีเหลือง , $-b^*$ = สีน้ำเงิน

ΔE^* = ค่าความแตกต่างของสี

4.3.2 ความหนา

วัดความหนาด้วยเครื่องมือวัดความหนาพบว่ากระดาษตัวควบคุมมีความหนามากที่สุดกระดาษจากสาหร่ายที่ทำการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความหนาที่ไม่แตกต่างกันทั้งกระดาษตัวควบคุม และกระดาษชนิดอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 0.32 มิลลิเมตร รองลงมาเป็นกระดาษที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีความหนาเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และกระดาษที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีความหนา น้อยที่สุดเท่ากับ 0.24 มิลลิเมตร ซึ่งกระดาษสองชนิดสุดท้ายนี้มีความหนาที่ไม่แตกต่างกัน แสดงดัง ตารางที่ 4.3 ดังนั้นกระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยต่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) มีความหนา มากที่สุดเมื่อเทียบกับกระดาษตัวควบคุม ซึ่งความหนาจะส่งผลต่อความทึบแสงของกระดาษ ยิ่งหนา มากยิ่งมีความทึบแสงมาก จากการศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวของ Yoon และคณะ (2012) ลักษณะทางสัณฐานของ ความหนาของกระดาษขึ้นอยู่กับลักษณะเส้นใย เซลลูโลสจากสาหร่ายที่มี ลักษณะเล็กและเร็ว การจัดเรียงตัวกันของเซลลูโลสจะเป็นตัวกำหนดความทึบแสงของกระดาษ การจัดเรียงตัวกันหนาแน่น ทำให้มีความทึบแสงมาก (Rosenthal ,1997)

ตารางที่ 4.3 ความหนาของกระดาษที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกและ โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างกระดาษ	ความหนา (มิลลิเมตร)
กระดาษตัวควบคุม	0.41±0.01 ^a
น้ำกลั่น	0.29±0.08 ^b
ไฮโดรคลอริก (ร้อยละ 0.1)	0.24±0.05 ^b
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	0.32±0.07 ^{ab}

*ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ \pm SD (n=5)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เขียนอยู่เหนืออักษรตัวอื่นในคอลัมน์ เดียวกันแสดงถึงความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ (P <0.05)

4.3.3 การดูดซับน้ำ

จากการวัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องมือสัมผัสพบว่าแผ่นกระดาษที่ทำการสกัดด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์มีการดูดซับน้ำได้ช้าที่สุดเป็นเวลา 120.57 วินาที (ดังรูปที่ 4.12) รองลงมาคือ กระดาษที่สกัดด้วย น้ำกลั่น เป็นเวลา 58.33 วินาที (ดังรูปที่ 4.10) รองลงมาเป็นกระดาษสกัด ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 7.70 วินาที (ดังรูปที่ 4.11) และกระดาษตัวควบคุมมีการซึมของ หยดน้ำเร็วที่สุดที่เวลา 0.83 วินาที (ดังรูปที่ 4.9) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนั้นกระดาษที่สกัดด้วย ต่างน้ำซึมผ่านยากมี ผิวหน้าที่ละเอียดมากเนื่องจากลักษณะของพื้นผิวมีผลต่อมุมสัมผัส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

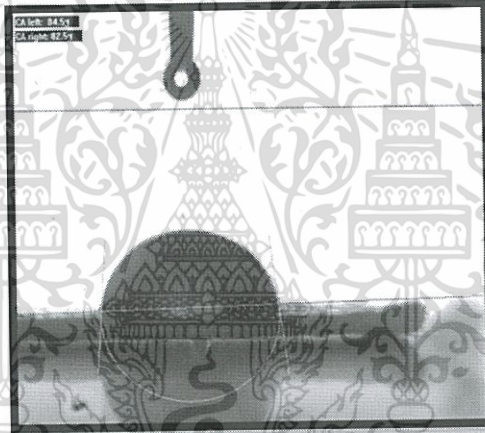
ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ Modaressi (2002) และจากความหนาแน่นของเซลล์โลสที่มีลักษณะสั้น และแคบเรียงตัวกันแน่นทำให้พื้นผิวหน้าของกระดาษมีการดูดซึมน้ำได้ช้า (Yoon และคณะ, 2012)

ตารางที่ 4.4 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษแต่ละตัวอย่างมีหน่วยเป็นวินาที

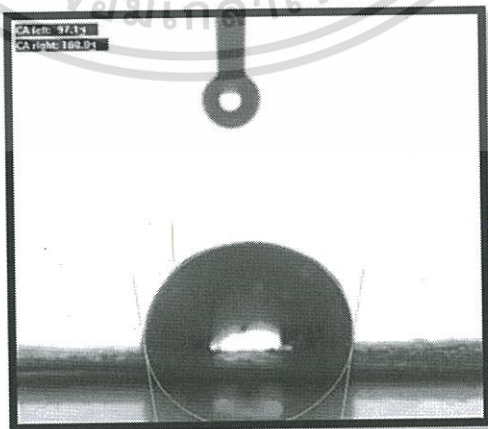
ตัวอย่างกระดาษ	เวลา (วินาที)
กระดาษตัวควบคุม	$0.83^c \pm 0.21$
น้ำกลั่น	$58.33^b \pm 3.51$
กรดไฮดรอกลอริก (ร้อยละ 0.1)	$7.70^c \pm 1.81$
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	$120.57^a \pm 12.46$

*ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ \pm SD (n=3)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เขียนอยู่เหนืออักษรตัวอื่นในคอลัมน์ เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

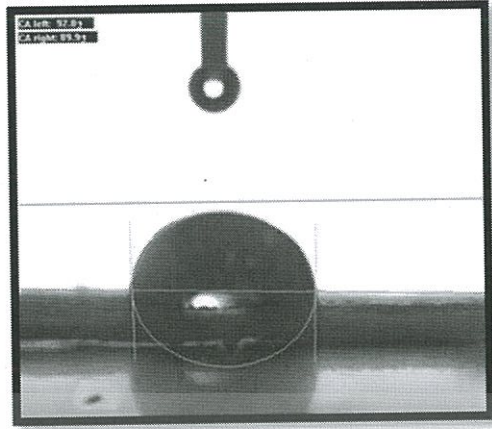


รูปที่ 4.10 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากตัวควบคุม

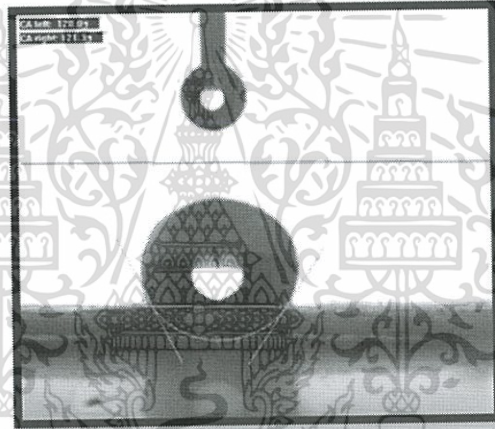


รูปที่ 4.11 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษจากสารละลายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การดุดับของหยดน้ำบนกระดาษจากสายรัยที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริก



รูปที่ 4.13 การดุดับของหยดน้ำบนกระดาษจากสายรัยที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.3.4 การทนแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึงต่อการฉีกขาดด้วยเครื่องวัดแรงดึงโดยหาค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลองแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ พบว่ากระดาษที่สกัดด้วยน้ำกลั่นสามารถทนต่อแรงดึงได้มากที่สุด โดยสามารถทนแรงดึงเฉลี่ยได้ถึง 8.37 มิลลิปาสคาล เป็นเวลาเฉลี่ย 4.40 วินาที ก่อนที่กระดาษจะขาดออกจากกันซึ่งเวลาที่ใช้ในการดึงของกระดาษที่สกัดด้วยน้ำกลั่นนี้ไม่มีความแตกต่างกันกับกระดาษควบคุม ส่วนกระดาษที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทนแรงดึงเฉลี่ยได้ 2.15 มิลลิปาสคาล เป็นเวลาเฉลี่ย 3.37 วินาที และกระดาษที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกลอริกมีแรงดึงเฉลี่ย 0.82 มิลลิปาสคาล เป็นเวลาเฉลี่ย 3.17 วินาที และกระดาษตัวควบคุมมีแรงดึงเฉลี่ย 0.21 มิลลิปาสคาลเป็นเวลาเฉลี่ย 3.83 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไม่แตกต่างกันกับกระดาษชนิดอื่นโดยกระดาษสามชนิดสุดท้ายนี้มีแรงในการดึงที่ไม่แตกต่างกัน ค่าทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.6 เมื่อนำไปคำนวณค่าทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

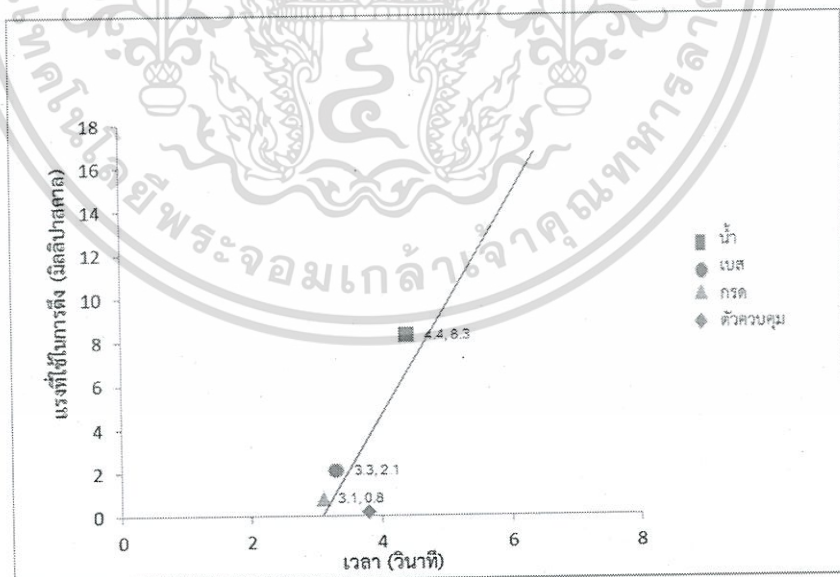
สถิติแสดงผลดังตารางที่ 4.5 และกราฟแสดงผลแสดงดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นกระดาษจาก สหราชอาณาจักรที่สกัดด้วยน้ำกลั่นสามารถทนแรงดึงได้ดีที่สุด การใช้กรดในการสกัด จะทำลาย โครงสร้างของเซลลูโลส ทำให้เซลลูโลสแตกหัก โครงสร้างบางส่วนหลุดหายไป (Rodriguez และคณะ, 2015) ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง เมื่อนำไปทดสอบการทนต่อแรงดึง กระดาษที่ สกัดจากกรดไฮดรอกลอริก สามารถทนต่อแรงดึงได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดึงของกระดาษและระยะเวลาที่ใช้ดึง

ตัวอย่าง	แรงที่ใช้ในการดึง (Stress) มีหน่วยเป็นมิลลิปาสคาล (MPa)	ระยะเวลาที่ดึงจนกระดาษขาด (time) มีหน่วยเป็นวินาที (sec)
กระดาษตัวควบคุม	0.21 ^b ±0.08	3.83 ^{ab} ±0.24
น้ำกลั่น	8.37 ^a ±1.79	4.40 ^a ±0.75
กรดไฮดรอกลอริก (ร้อยละ 0.1)	0.82 ^b ±0.46	3.17 ^b ±0.40
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	2.15 ^b ±1.79	3.37 ^b ±0.23

*ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ ±SD (n=3)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เขียนอยู่เหนืออักษรตัวอื่นในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาและแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการสกัดวุ้นจากสาหร่าย

จากการสกัดวุ้นออกจากสาหร่าย *Gracilaria fisheri* พบว่าการสกัดวุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณวุ้นมากที่สุด ได้น้ำหนักวุ้นเท่ากับ 23.17 สาหร่ายที่ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นให้น้ำหนักแห้งของเซลล์สูงที่สุด เท่ากับ 17.74 กรัม

5.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

5.1.2.1 วัดค่าสี ดูค่าความสว่างของกระดาษ ทำ พบว่ากระดาษที่ผสมเยื่อสาหร่ายที่สกัดวุ้นด้วยเบสมีค่า L เท่ากับ 89.72 และค่า b เท่ากับ 4.56 ซึ่งมีความสว่างมากที่สุด

5.1.2.2 ความหนา จากการวัดความหนา พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่ทำการสกัดวุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความหนา 0.32 มิลลิเมตร

5.1.2.3 การดูดซับน้ำ จากการวัดการดูดซับน้ำ พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่ทำการสกัดวุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการดูดซับน้ำได้ช้าที่สุดที่เวลา 120 วินาที

5.1.2.4 การทนแรงดึง จากการวัดการทนต่อแรงดึง พบว่ากระดาษจากสาหร่ายที่ทำการสกัดวุ้นด้วยน้ำกลั่นสามารถทนแรงดึงเฉลี่ยได้สูงที่สุด 8.37 มิลลิปาสคาล ที่เวลาเฉลี่ย 4.40 วินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาสิ่งที่เป็นตัวเชื่อมเซลล์ของสาหร่ายให้ยึดติดกัน โดยไม่ต้องผสมกระดาษเหลือใช้ เช่น พวกลายธรรมชาติ แป้งคัดแปลง
2. ควรหาวิธีการที่ทำให้วุ้นที่สกัดมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มคุณค่าของวุ้นให้มีเกรดที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นุชศรา นงนุช. 2553. “ความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อจากกระดาษคราฟท์ และกระดาษกล่องมาผลิตกระดาษเช็ดมือ.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- วีรเทพ ศรีปราชญ์, วิโรจน์ กิติคุณ, ภัคพงศ์ ปวงสุข และ ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2554. “การใช้สาหร่ายผสมนาง (*Gracilaria fisheri*) เป็นวัตถุดิบในอาหารกุ้งกุลาดำ.” แก่นเกษตร. 39 : 150 - 170.
- โสธญา สัมเขียวหวาน. 2557. “ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Chao, K.P., Su, Y.C. and Chen, C.S. 2000. “Feasibility of utilizing *Rhizoclonium* in pulping and papermaking.” *Journal of Applied Phycology*. 12 : 53-62.
- Chena, Y.W., Leea, H.V. and Juana, J.C. 2016. “Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*.” *Carbohydrate Polymers*. 151 : 1210–1219.
- Kim, J.S., Lee, Y.Y. and Kim, T.H. 2015. “A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass.” *Bioresource Technology*. 199 : 42–48.
- Kumar, V., and R. K. Fotedar. 2009. “Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii* (Withell, Miller and Kraft, 1994).” *Carbohydrate Polymers* 78: 813-819.
- Kumar, H. D. and Singh, H. N. 1971. A Textbook on Algae. Affiliated East-West-West Press PVT.LTD. New Delhi. 200 p.
- Machmud, M.N., Fadi, F., Fuadi, Z., and Kokarkin, C. 2013. "Alternative fiber sources from *Gracilaria sp.* and *Euclimac cottonii* for papermaking." *International Journal of Science and Engineering (IJSE)*. 6(1) : 1-10.
- Major, D., Perrier, M., Gendron, S., Lupien, B. 2005. “Pulp bleaching control and optimization.” *IFAC Proceedings Volumes*. (1) : 466–476.
- Modaressi, H., and Garnier, G., 2002. "Mechanism of wetting and absorption of water droplets on sized paper : effects of chemical and physical heterogeneity" *Paprican and the Department of Chemical Engineering*. 18 (3) : 642–649.
- Poirier, N.A., Pikulik, I.I. and Abdullahi, R.G. 2001. “Papermaking.” *Encyclopedia of Materials. Science and Technology* (Second Edition) : 6739-6747.
- Pu, Y., Hu, F., Davison H. V., Rakauskas, A. J. 2013. “Assessing the molecular structure basis for biomass recalcitrance during dilute acid and hydrothermal pretreatments.” *Biotechnology for Biofuels*. 6: 1-13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rodriguez, C., Alaswad, A., Mooney, J., Prescott, T. and Olabi, A.G. 2015. "Pre-treatment techniques used for anaerobic digestion of algae." *Fuel Processing Technology*. 138 : 765-779.
- Rosenthal, M. R. 1977. "Effective thickness of paper : appraisal and further development." *Forest Service Research Paper*. 287 : 11-12.
- Seo, Y.B., Kim, Y.W., Lee, M.W. and Jung, S.Y. 2009. "Improvements in the physical properties of hanji by using red algae pulp." *Journal of Korea TAPPI*. 41(5) : 33-37.
- Seo, Y.B., Lee, Y.W., Lee, C.H., and You, H.C. 2010. "Red algae and their use in papermaking." *Bioresource Technology*. 101(7) : 2549-2553.
- Tindal, A. process for controlling the brightness of paper products. cUS20030188393 A1. August 2001.
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., and Kingwascharapong, P. 2015. "Physico-chemical and gel properties of agar from the lake of Songkhla ,Thailand." *Food Hydrocolloids*. 51: 217-226.
- Yoon, M.H. Lee, Y.W. Lee, C.H. Lee, Seo, Y.B. 2012. "Simultaneous production of bioethanol and bleached pulp from red algae." *Bioresource Technology*. 126 : 198-201.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2550. การใช้ประโยชน์แคลเซียมคาร์บอเนต. [Online]. Available : <http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=124&articleid=255>. วันที่สืบค้น 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์. 2536. สาหร่ายวุ้นสกุล *Gracilaria* ในประเทศไทย. [Online]. Available : [file:///C:/Users/SONY/Downloads/KC3104001%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/SONY/Downloads/KC3104001%20(1).pdf). วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- กำธร สติกรกุล. 2515. ชนิดของกระดาษ (Type of paper). [Online]. Available : <http://www.infinityprinting.co.th/main/content.php?page=sub&category=2 0 &d=53>. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- คณิต ไชยาคำ และดุสิต ต้นวิไลย. 2535. การทดลองเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง *Gracilaria fisheri* บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก. [Online]. Available : <http://www.sklonline.com/>
- จัญญญา สังข์อารีย์กุล. 2552. เจาะลึกตลาดกระดาษถ่ายเอกสารและกลยุทธ์การจัดซื้อ. [Online]. Available : http://pantavanij.blogspot.com/2009/03/blog-post_03.html. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- ณิชากัทร สมบูรณ์. 2556. สมบัติของเจลผสมระหว่างวุ้นกับเจลาตินปลา. [Online]. Available : <http://slbkb.psu.ac.th/jspui/handle/2558/855>. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- บริษัทเจอาร์ พรินติ้ง แอนด์ คอมพิวเตอร์ จำกัด. 2554. องค์ประกอบของกระดาษ. [Online]. Available : <http://www.rongpimjr.com.html>. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2550. คู่มือฝึกอบรมผู้เชี่ยวชาญการอนุรักษ์พลังงานใน
อุตสาหกรรมกระดาษ. [Online]. Available : http://www.endolab.com/paper/file_downloads/Couse_train/Training_Executive.pdf. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ.
2559.
- ระพีพร เรื่องช่วย, โชคชัย เหลืองธวัชประณีต, นิรัตติชัย เพชรสุภา, อมมี คุณอารี และพายัพ มาศนิยม.
2549. โครงการ “การเลี้ยงสาหร่ายผมนางเพื่อเป็นอาชีพทางเลือกใหม่ สำหรับ
ชาวประมงพื้นบ้านในอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี”. [Online]. Available :
http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=RDG4820035. วันที่สืบค้น 14
กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- เลอพงศ์ จารุพันธ์ และ ตนพรพรช หรรษอุดม. 2552. อิทธิพลของสารเพิ่มความเหนียวและสารกันซึม
ต่อสมบัติเชิงกลของเยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์
เยื่อกระดาษ ขึ้นรูป. [Online]. Available : http://rdi.ku.ac.th/kasresearch52/foods/lur-pong/food_00.html. วันที่สืบค้น 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์. 2545. การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพเยื่อและกระดาษสา. [Online].
Available : http://posaa.kapi.ku.ac.th/Document/PDF/ISBN1521/1521_11.pdf. วันที่สืบค้น
5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี. 2555. สาหร่ายทะเล. [Online]. Available :
<http://fisheriescoastalfeed.blogspot.com/2012/11/blog-post.html>. วันที่สืบค้น 5
กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- สมาคมการพิมพ์ไทย. 2553. อุตสาหกรรมกระดาษของไทย. [Online]. Available :
http://www.thaiprint.org/thaiprint/index.php?Itemid=11&option=com_zoo&view=item&item_id=350. วันที่สืบค้น 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- สินินาฏ จงคง. 2555. การผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตของแข็งเหลือทิ้ง
หลังกระบวนการหมักเอทานอลจากเปลือกกล้วยสด. [Online]. Available :
<http://www.clibin.psu.ac.th/pub/portip.t/%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A0%E0%B8%952015/392984.pdf>. วันที่สืบค้น 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- สำนักงานมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม. 2552. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษถ่าย
เอกสาร. [Online]. Available : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/data/pdf/2552/e/132/5.PDF>. วันที่สืบค้น 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จากกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 36 ความหนาแน่น (density, d) 1.18

กรดไฮโดรคลอริกความหนาแน่น 1.18 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 1.18 กรัม
ถ้าต้องการกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ดังนั้น
กรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีกรดไฮโดรคลอริก 0.1 กรัม

เนื้อสาร 100 มิลลิลิตร มีกรดไฮโดรคลอริก 36 มิลลิลิตร ดังนั้น
ความหนาแน่น 1.18 g·HCl ใช้กรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 1 มิลลิลิตร
ถ้าความเข้มข้นร้อยละ 0.1 g·HCl ใช้ปริมาตร $\frac{1 \times 0.1}{1.18} = 0.085$ มิลลิลิตร

ต้องการเนื้อสารกรดไฮโดรคลอริก 36 กรัม ต้องตวง 1,000 มิลลิลิตร
ถ้าต้องการเนื้อสารกรดไฮโดรคลอริก 0.085 กรัม ต้องตวง $\frac{0.085 \times 100}{36} =$
0.236 ต่อปริมาตร 100 มิลลิลิตร

จากการทดลองใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ดังนั้น
เตรียมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ต้องตวงกรดไฮโดรคลอริก 0.236 มิลลิลิตรถ้า
ต้องการเตรียม 1,500 มิลลิลิตร ต้องตวงกรดไฮโดรคลอริก $\frac{1,500 \times 0.236}{100} = 3.54$
มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5

ต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
หมายความว่าสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีเนื้อสารโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ 5 กรัม
ถ้าต้องการสารละลาย 1,500 มิลลิลิตร จะมีเนื้อสารโซเดียมไฮดรอกไซด์
 $\frac{1,500 \times 5}{100} = 75$ กรัม

ภาคผนวก ข

วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติ

1. ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดสี

- เมื่อเปิดเครื่องวัดสี ทำการเลือกฟังก์ชันกว่าต้องการวัดรูปแบบใดให้ตรงกับแหล่งกำเนิดแสง เราต้องเลือก x.y.x แล้วทำการคาลิเบตเครื่องโดยนำหัววัดไปทาบบกับ แผ่นคาร์บริเบตสีขาวเพื่อดูว่าค่าที่เราได้ตรงกับแหล่งกำเนิดแสงหรือไม่ (เราต้องใช้แหล่งกำเนิด แสงชนิด C) เมื่อค่าทั้งสองตรงกันจึงทำการวัดสีของกระดาษ

- ทำการวัดสีของกระดาษแต่ละชนิด ชนิดละสามแผ่น โดยหนึ่งแผ่นจะทำการวัดค่ากระจายให้ทั่วแผ่นทั้งหมดสิบจุด

- จัดบันทึกค่าข้อมูลดิบไปวิเคราะห์ทางสถิติ

2. ขั้นตอนการวัดความหนา

- นำกระดาษทั้ง 4 ชนิด มาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา (Thickness Gauge) โดยทำการวัดทั่วทั้งแผ่นกระดาษ 12 จุด ทั้งหมด 3 ซ้ำ

2. ขั้นตอนการวัดแรงดึง

- นำแผ่นกระดาษทั้ง 4 ชนิดมาตัดให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.6 เซนติเมตร จากนั้นนำแผ่นกระดาษที่ตัดนำไปเข้าเครื่องวัดแรงดึง แล้วทำการตั้งค่าในคอมพิวเตอร์เมื่อเครื่องเริ่มทำงานจะออกแรงดึงให้กระดาษขาด เราสามารถดูข้อมูลและกราฟได้จากจอคอมพิวเตอร์

3. ขั้นตอนการวัดค่าการดูดซึม

- นำกระดาษทั้งสี่ชนิดมาตัดให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตรแล้วนำไปเข้าเครื่องวัดมุมสัมผัส จะมีเข็มหยดน้ำลงบนกระดาษ จับเวลาการซึมของน้ำจนกว่าน้ำจะซึมหมด ทำการทดลองกับกระดาษแต่ละชนิดอย่างละ 3 ซ้ำ

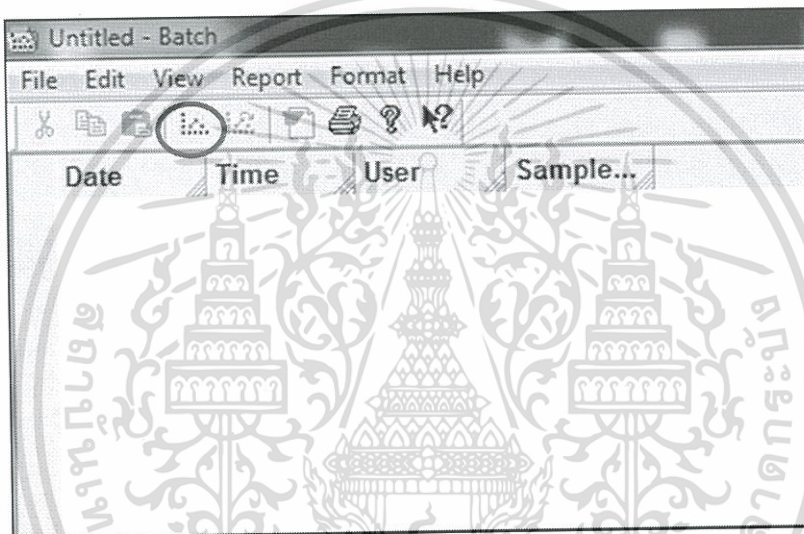
ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม NEXYGEN สำหรับการวัดค่าแรงฉีกขาด

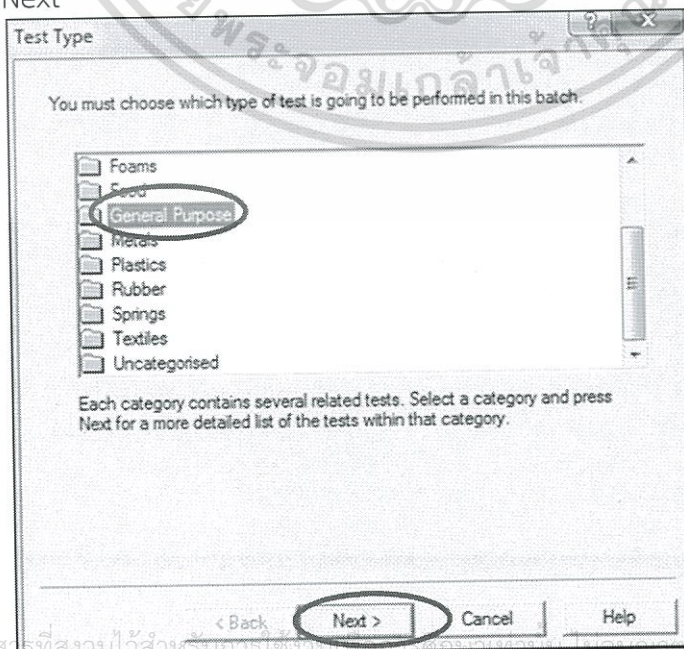
1. เปิดโปรแกรม NEXYGEN



2. เมื่อเปิดหน้าจอหน้าเม้าส์มาคลิกตรงรูปที่วงกลมสีแดงไว้

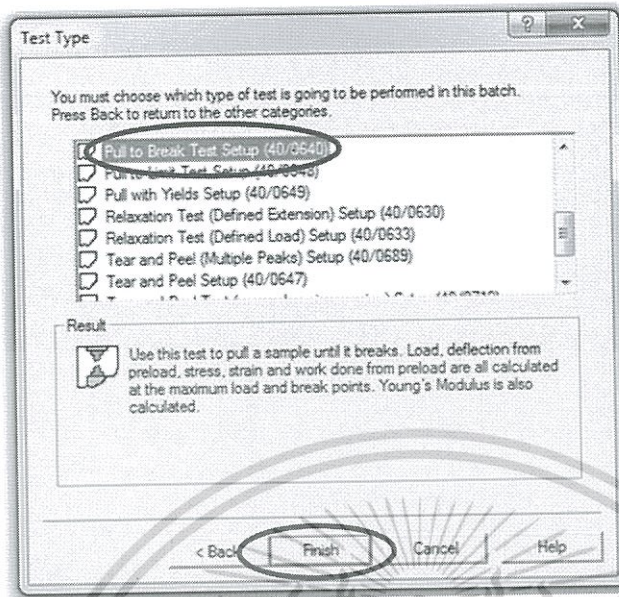


3. เราจะต้องเลือกว่าจะทำการทดสอบแบบไหน ให้เลือก General Purpose แล้วกด Next

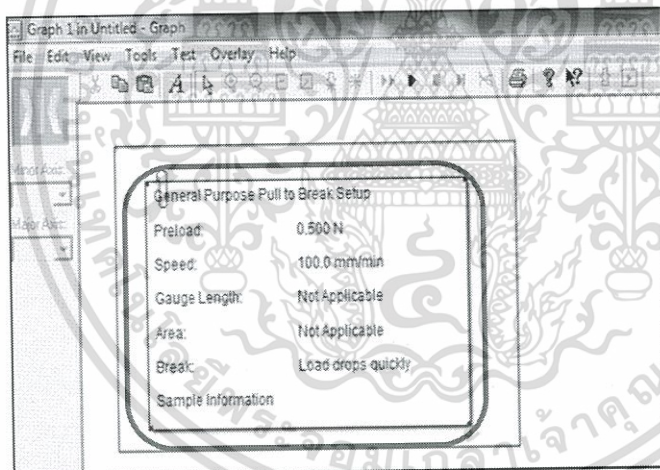


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับพนักงานใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

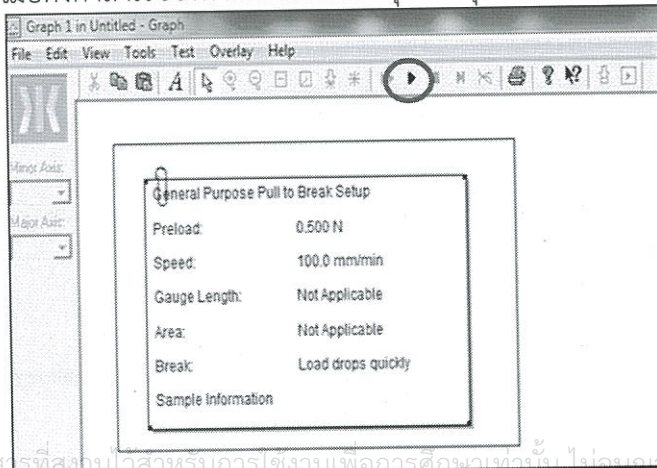
4. เลือกการทดสอบแรงดึงการฉีกขาดแล้วกดปุ่ม Finish



5. ทำการดับเบิลคลิกในรอบเพื่อตั้งค่าตามที่เรารต้องการ



6. เมื่อตั้งค่าสำเร็จจึงทำการวัดโดยกดปุ่ม กดปุ่ม สามเหลี่ยมสีดำ



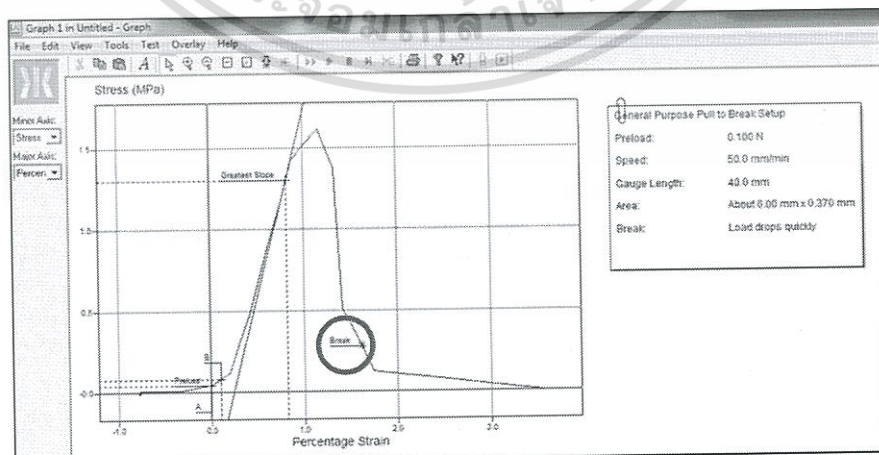
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อเครื่องทำงานเสร็จเราจะได้อ่านค่าต่างๆออกมา

	Maximum	Minimum	Mean	Median	Coefficient of Variance	Standard Deviation	True
Sample Passed							100.00%
Gauge Length	40.300 mm	40.090 mm	40.000 mm	40.000 mm	0.00%	0.00000 mm	
Width	0.63000 cm	0.60000 cm	0.60000 cm	0.60000 cm	0.00%	0.00000 cm	
Breadth	0.41000 mm	0.37000 mm	0.38333 mm	0.37000 mm	4.92%	0.018856 mm	
Area	2.43000 mm ²	2.22000 mm ²	2.30000 mm ²	2.22000 mm ²	4.92%	0.11314 mm ²	
Speed	50.300 mm/min	50.090 mm/min	50.090 mm/min	50.090 mm/min	0.00%	0.0000055505 mm/min	100.00%
Preload							
Maximum Load	4.137 N	3.245 N	3.674 N	3.580 N	10.74%	0.3344 N	
Deflection at Maximum Load	0.72126 mm	0.46777 mm	0.62897 mm	0.69839 mm	16.29%	0.11506 mm	
Stress at Maximum Load	1.8306 MPa	1.3190 MPa	1.6074 MPa	1.6126 MPa	14.52%	0.23336 MPa	
Percentage Strain at Maximum Load	1.8332	1.1689	1.5724	1.7472	18.29%	0.28764	
Work to Maximum Load	1.6560 Nmm	0.85163 Nmm	1.2067 Nmm	1.1125 Nmm	27.71%	0.33505 Nmm	
Stiffness	12.446 N/mm	6.5664 N/mm	9.2387 N/mm	8.7141 N/mm	26.33%	2.4327 N/mm	
Young's Modulus	224.25 MPa	106.61 MPa	162.62 MPa	157.91 MPa	23.03%	40.109 MPa	
Load at Break	0.62361 N	0.35938 N	0.46650 N	0.44125 N	25.12%	0.11756 N	
Deflection at Break	1.2357 mm	0.64934 mm	1.0023 mm	1.0587 mm	25.74%	0.25797 mm	
Stress at Break	0.23091 MPa	0.13796 MPa	0.20588 MPa	0.19876 MPa	28.45%	0.058575 MPa	
Percentage Strain at Break	3.1458	1.6233	2.3056	2.7469	25.74%	0.64492	
Work to Break	0.032259 J	0.0012138 J	0.0017418 J	0.0017425 J	24.73%	0.00043083 J	
Point A	0.0310000	0.0010000	0.0010000	0.0010000	0.00%	0.00000	
Point B	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	0.00%	0.00000	
Chord Slope	3329.6 N/m	580.19 N/m	2101.1 N/m	1953.6 N/m	45.75%	962.17 N/m	
Chord Modulus	59.993 MPa	15.930 MPa	37.284 MPa	35.920 MPa	48.31%	18.011 MPa	
Number of Rows that Passed							3
Number of Rows that Failed							0

8. เมื่อเราต้องการดูกราฟให้ทำการกดดับเบิลคลิกที่ข้อมูล

Date	Time	Mass	Sample	Sample Identification	Gauge Length	Width	Breadth	Area	Batch Reference	Sample Reference	Speed	Preload	Maximum Load
6/6/2559	12:07:46	Executive	True		40.000 mm	0.37000	0.41000	2.2200		3	50.000	True	1.630 N
6/6/2559	12:07:32	Executive	True		40.000 mm	0.37000	0.41000	2.2200		3	50.000	True	4.137 N
6/6/2559	12:09:28	Executive	True		40.000 mm	0.60000	0.41000	2.4500		3	50.000	True	3.245 N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการสกัดวันเซลลูโลสจากสาหร่าย

ตารางที่ 1 ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่าย (มีหน่วยเป็นกรัม)

สารที่ใช้สกัดวุ้น	N	Subset		
		1	2	3
น้ำกลั่น	5	11.9920		
0.1%ไฮโดรคลอริก	5		17.7700	
5%โซเดียมไฮดรอกไซด์	5			23.1660
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางที่ 2 ปริมาณเซลลูโลสสาหร่ายหลังจากสกัดวุ้นแล้ว (มีหน่วยเป็นกรัม)

สารที่ใช้สกัดวุ้น	N	Subset		
		1	2	3
0.1%ไฮโดรคลอริก	5	10.2060		
5%โซเดียมไฮดรอกไซด์	5		15.3500	
น้ำกลั่น	5			17.7420
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางที่ 3 ความหนาของกระดาษ

ตัวอย่าง	N	Subset	
		1	2
0.1%ไฮโดรคลอริก	3	.2367	
น้ำกลั่น	3	.2900	
5%โซเดียมไฮดรอกไซด์	3	.3233	.3233
เยื่อกระดาษ	3		.4133
Sig.		.111	.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การดูดซับของหยดน้ำบนกระดาษแต่ละตัวอย่างมีหน่วยเป็นวินาที

ตัวอย่าง	N	Subset	
		1	2
Plup	3	.2100	
HCL	3	.8167	
NaOH	3	2.1500	
H2O	3		8.3733
Sig.		.114	1.000

ตารางที่ 5 แรงที่ใช้ในการดึง(Stress) มีหน่วยเป็นมิลลิปาสคาล (MPa)

ตัวอย่าง	N	Subset		
		1	2	3
Plup	3	.8333		
HCL	3	7.7000		
H2O	3		58.3333	
NaOH	3			120.5667
Sig.		.234	1.000	1.000

ตารางที่ 6 ระยะเวลาที่ดึงจนกระดาษขาด มีหน่วยเป็นวินาที (sec)

ตัวอย่าง	N	Subset	
		1	2
HCL	3	3.1667	
NaOH	3	3.3667	
Plup	3	3.8267	3.8267
H2O	3		4.4000
Sig.		.130	.165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แรงที่ใช้ในการดึงกระดาษและระยะเวลาที่ใช้ดึงจนกระดาษขาด

	แรงที่ใช้ในการดึง(Stress) มีหน่วยเป็นมิลลิปาสคาล (MPa)	ระยะเวลาที่ดึงจนกระดาษขาด (time) มีหน่วยเป็นวินาที (sec)
จำนวนซ้ำ	กระดาษตัวควบคุม	
1	0.29	3.60
2	0.20	4.08
3	0.14	3.8
ค่าเฉลี่ย	0.21	3.83
จำนวนซ้ำ	กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำกลั่น	
1	6.60	4.50
2	8.34	3.60
3	10.18	5.10
ค่าเฉลี่ย	8.37	4.40
จำนวนซ้ำ	กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยกรดไฮดรอกคอลริก	
1	0.46	2.70
2	1.34	3.40
3	0.65	3.40
ค่าเฉลี่ย	0.82	3.17
จำนวนซ้ำ	กระดาษจากสาหร่ายที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	
1	2.22	3.10
2	0.33	3.50
3	3.90	3.50
ค่าเฉลี่ย	2.15	3.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่าการวัดสีของกระดาษ

ตัวอย่างกระดาษ	L*	a*	b*	ΔE^*
กระดาษตัวควบคุม	91.66	2.14	-5.30	15.24
	91.60	2.16	-5.33	15.29
	91.79	2.10	-5.38	15.24
น้ำกลั่น	85.82	-1.17	6.75	11.76
	87.07	-1.32	6.19	10.56
	86.54	-1.28	8.18	11.08
กรดไฮดรอกลอริก (ร้อยละ 0.1)	85.81	-1.24	9.08	9.36
	85.91	-1.12	9.31	9.31
	87.32	-0.82	7.59	9.26
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	89.72	0.29	4.31	11.90
	90.01	0.34	3.87	11.89
	89.44	0.23	5.51	10.49

ตารางที่ 9 ระยะเวลาการดูดซับน้ำ มีหน่วยเป็นวินาที (sec)

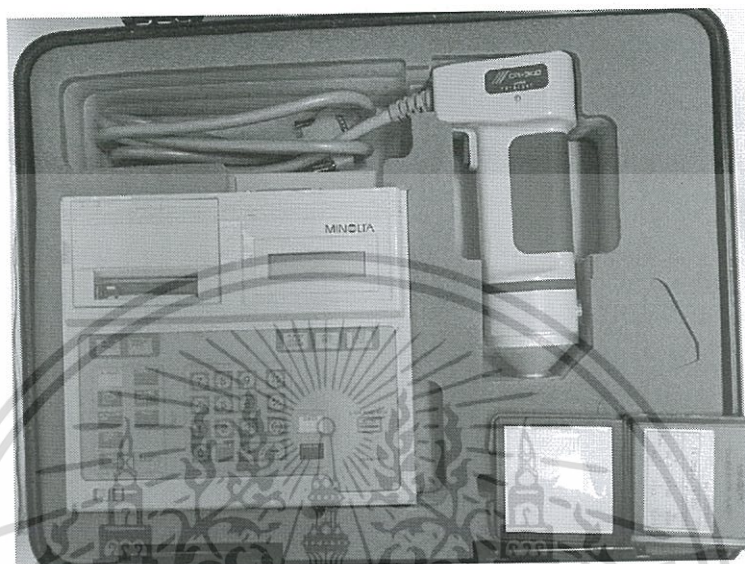
ตัวอย่างกระดาษ	เวลา (วินาที)
กระดาษตัวควบคุม	0.60
	0.90
	1.00
น้ำกลั่น	62.00
	55.00
	58.00
กรดไฮดรอกลอริก (ร้อยละ 0.1)	6.00
	7.50
	9.60
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5)	125.00
	106.50
	130.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติกระดาษ

1. เครื่องวัดสีเครื่องวัดสี (Colourimeter) ;Minolta : CR-300



2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
;ZEISS : EVO MA10

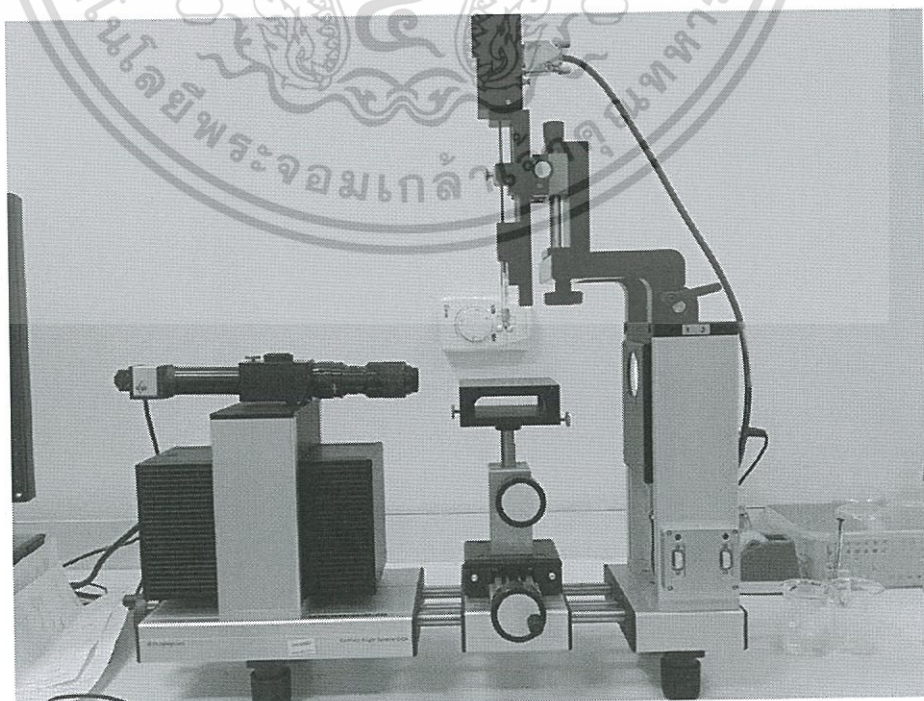


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องวัดแรงดึง ;LLOYD INSTRUMENTS : LR5K

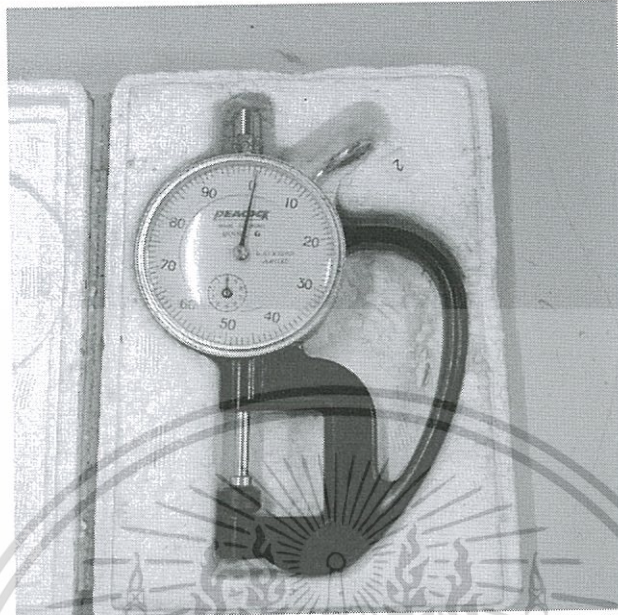


4. เครื่องวัดมุมสัมผัส ;Contact Angle System : OCA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องวัดความหนา Thickness Gauge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้