



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเชื้อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

โดย นางสาวพัชรียา รัชฎา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

20 พฤษภาคม 2551

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฎ จันทรานูภาพ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประวิตร จันทรานูภาพ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม แผลมศักดิ์)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริศาสตร์ เอื้อใจ)

อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเชื้อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

นางสาวพัชรียา รัชฎา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวพัชรียา รัชฎา
ชื่อวิทยานิพนธ์ : อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเยื่อจากทางใบ
ปาล์มน้ำมัน
สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฎ จันทรานุกาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประวิตร จันทรานุกาพ
ปีการศึกษา : 2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการผลิตเยื่อกระดาษจากทางใบของปาล์มน้ำมัน โดยออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม DESIGN-EXPERT ซึ่งใช้เทคนิค Central Composite Design แสดงแบบจำลองเป็นสมการกำลังสอง หรือ สมการแบบ Quadratic ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ที่อุณหภูมิ 150-165°C และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35-45 โดยน้ำหนักของทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง โดยควบคุมปริมาณสารที่เพิ่มเติมเข้าไป คือ แอนทราควิโนนตลอดการทดลองเป็นร้อยละ 0.1 พบว่า ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้จากการต้มโดยเติมสารละลายแอนทราควิโนนมีปริมาณสูงกว่าเยื่อที่ไม่ได้เติมคุณสมบัติของเยื่อที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษได้ และผลที่ได้จากโปรแกรม DESIGN EXPERT ยังสอดคล้องกับผลผลิตและคุณสมบัติเชิงกลของเยื่อที่ได้จากการทดลอง (วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 101 หน้า)

คำสำคัญ : เยื่อกระดาษ, กระดาษ, ทางใบปาล์มน้ำมัน

Name : Miss Phachareeya Ratchada
Thesis Title : Effect of Pulping Variables on the Characteristics of Oil-Palm Frond Fiber
Major Field : Chemical Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Dr.Panitnad Chandranupap
Co-Advisor : Assistant Professor Pravitra Chandranupap
Academic Year : 2007

Abstract

Soda-Anthraquinone pulping of oil-palm frond-fiber strands was done following a central composite design involving two pulping variables (temperature: 150-165 °C, alkali charge: 35-45% NaOH, anthraquinone was fixed at 0.1%). Responses of pulp properties to the process variables were analyzed using statistical software (Design-expert). The results indicated that with the use of the additive anthraquinone, total yield was higher. These properties were good to use in the paper industry. Pulping temperature and alkali charge statistically played important roles to the properties of the resultant pulps.

(Total 101 pages)

Keywords : Pulping, Papers, Oil Palm Fronds

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน” ซึ่งเป็นเรื่องเฉพาะทางจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทางและความรู้ทางด้าน เคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical Chemistry) และ การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis) ดังนั้นโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจึงต้องอาศัยบุคลากรแขนงต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ข้อมูลวิชาการ เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงขอขอบพระคุณคณาจารย์ และหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฏ จันทรานุกาพ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงความช่วยเหลือในด้านสถานที่ (โรงประลอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประวิตร จันทรานุกาพ อาจารย์ ดร.ศิริศาสตร์ เอื้อใจ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม แหลมศักดิ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมถึงความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้งานสำเร็จได้ด้วยดี

นายกนิษฐ์ ตรีสุวรรณ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและแนะนำวิธีการใช้ คือหม้อต้มเชื้อพร้อมชุดควบคุมที่เป็นประโยชน์แก่การทำโครงการพิเศษ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการทำโครงการพิเศษพร้อมทั้งสอนวิธีการขึ้นแผ่นกระดาษ และวิธีการทดสอบต่างๆ

คณาจารย์ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และความคิดเห็นต่างๆ เพื่อแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ศิษย์ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้เกิดข้อผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

พัชรียา รัชฎา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 วิธีการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 ความเป็นมาของกระดาษ	5
2.2 ความรู้เบื้องต้น	7
2.3 กระบวนการผลิตเยื่อ	15
2.4 คุณสมบัติของกระดาษ	21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	35
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีในกระบวนการต้มเยื่อ	35
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	35
3.3 วิธีการต้มเยื่อ	36
3.4 การทดสอบเยื่อ	38
3.5 วิธีทำการทดสอบเยื่อ	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	47
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน	47
4.2 คุณสมบัติต่างๆ ของเยื่อหลังผ่านกระบวนการต้มเยื่อ	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	61
5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน	61
5.2 สภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเยื่อ และสมบัติของเยื่อ	61
5.3 ข้อเสนอแนะ	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก ก	67
การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Design-Expert	68
ภาคผนวก ข	75
การเตรียมสารเคมีและวิธีคำนวณต่างๆ เกี่ยวกับการขึ้นแผ่นกระดาษ	76
ภาคผนวก ค	91
วัตถุดิบทางไบโพลีเมอร์น้ำมัน	92
ประวัติผู้วิจัย	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 แนวทางปริมาณอุปสงค์และศักยภาพในการผลิตเชื้อกระดาษในประเทศไทย (หน่วย : หมื่นตัน)	2
1-2 สถิติกำลังการผลิต การผลิต อัตราการใช้กำลังการผลิต และการบริโภคกระดาษ ประเภทต่างๆ ของประเทศไทยปี 2006 (หน่วย : ล้านตัน)	3
1-3 อัตราการบริโภคกระดาษต่อประชากร 1 คนของประเทศไทย (Per Capital Consumption) (หน่วย : กิโลกรัม)	3
2-1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ	11
2-2 เปรียบเทียบกระบวนการเตรียมเชื้อกระดาษ 3 แบบ	21
3-1 รายการและวิธีการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน	37
3-2 แสดงสถานะที่ใช้ในการต้มเชื้อทางใบปาล์ม	37
3-3 แสดงมาตรฐานต่างๆ ที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเชื้อ	38
3-4 ค่าแฟกเตอร์ f สำหรับปรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเปอร์แมแกนตที่ใช้	46
4-1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันพันธุ์ <i>Elaeis Guineensis</i>	47
4-2 ค่าของตัวแปรที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม Design-Expert และผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการต้มเชื้อ ด้วยวิธีโซดา-แอนทราควิโนน	50
4-3 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการต้มเชื้อ ด้วยวิธีโซดาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Design-Expert	51
ก-1 แสดงค่าความชื้นของทางใบปาล์มน้ำมัน	71
ก-2 แสดงค่าความชื้นของเชื้อที่ได้ ปริมาณเชื้อที่ผ่านการคัดแยกเชื้อ และปริมาณเชื้อที่ไม่สามารถผ่านการคัดแยกเชื้อ	71
ก-3 แสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเชื้อ	72
ก-4 แสดงค่าความขาวสว่างของเชื้อ	72
ก-5 แสดงดัชนีความต้านแรงดึงขาด	73
ก-6 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุขาด	73
ก-7 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด	74

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	9
2-2 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส	10
2-3 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน	11
2-4 องค์ประกอบภายในของเนื้อไม้	12
2-5 รูปร่างของเซลล์ชนิดต่างๆ ในไม้ใบแคบ และไม้ใบกว้าง	13
2-6 แสดงโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย	15
2-7 แสดงกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษในปัจจุบัน	18
2-8 เครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐาน	23
2-9 วิธีตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)	24
2-10 ความแตกต่างของผิวกระดาษทั้ง 2 ด้าน ในด้านการจัดเรียงตัวของเส้นใย	25
2-11 รอยตะแกรงของผิวกระดาษ	25
2-12 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการโค้งงอของกระดาษ	26
2-13 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการฉีกกระดาษ	26
2-14 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการพับกระดาษ	27
2-15 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูความทรงรูป	27
3-1 หม้อต้มเยื่อพร้อมชุดควบคุม	35
4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้หลังจากการต้ม กับสถานะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	52
4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด (ก) และ เยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (ข) กับสถานะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	52
4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแคลปากับสถานะในการต้มเยื่อต่างๆ ที่เวลา 2 ชั่วโมง	53
4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อกับสถานะ ในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	54
4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขาวสว่างกับสถานะ ในการต้มเยื่อต่างๆ กันที่เวลา 2 ชั่วโมง	55
4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความต้านแรงดึงขาดกับสถานะ ในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุขาดกับสภาวะในการต้มเชื้อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	57
4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีการต้านแรงฉีกขาดกับสภาวะในการต้มเชื้อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง	58
ค-1 ดัชนี และทางใบปาล์มน้ำมันตามธรรมชาติ	92
ค-2 ลักษณะของทางใบปาล์มน้ำมันที่ลอกเปลือกออกแล้ว	92
ค-3 เครื่องกระจายเชื้อ (Disintegrater)	92
ค-4 เครื่องกระจายเชื้อความชื้นสูง (Hydra Pulper)	92
ค-5 เครื่องคัดแยกเชื้อแบบตะแกรงราบ (Screener)	92
ค-6 เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน	93
ค-7 เครื่องอัดแผ่นทดสอบมาตรฐาน	93
ค-8 เครื่องวัดปริมาณความชื้นแบบอัตโนมัติ (Moisture Analyzer)	93
ค-9 เครื่องชั่ง (Analytical Balance)	93
ค-10 เครื่องทดสอบการอุ้มน้ำของเชื้อ (Freeness Tester)	93
ค-11 ตู้อบกระดาษ	93
ค-12 อุปกรณ์ตัดชิ้น	
ค-13 ชุดทดสอบ	94
ค-14 เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ	94
ค-15 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง Pendulum	94
ค-16 เครื่องทดสอบความต้านแรงฉีกขาด	94
ค-17 แสดงส่วนประกอบของหม้อต้ม	95
ค-18 เชื้อที่ผ่านการต้มแล้ว (pH=7)	96
ค-19 เชื้อที่ผ่านการต้มและล้าง	96
ค-20 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 150°C, 35% NaOH	96
ค-21 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 165°C, 35% NaOH	96
ค-22 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 150°C, 45% NaOH	97
ค-23 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 165°C, 45% NaOH	97
ค-24 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 155°C, 40% NaOH	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ค-25 เชื้อที่ดัมที่สภาวะ 147°C , 40% NaOH	98
ค-26 เชื้อที่ดัมที่สภาวะ 168°C , 40% NaOH	98
ค-27 เชื้อที่ดัมที่สภาวะ 155°C , 33% NaOH	98
ค-28 เชื้อที่ดัมที่สภาวะ 155°C , 47% NaOH	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การใช้กระดาษแต่ละประเภท ผู้ใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่างๆ โดยที่ความต้องการใช้กระดาษแต่ละประเภทมีปริมาณแตกต่างกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับสภาพสังคม เศรษฐกิจ และอัตราการเพิ่มของประชากรแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย ความต้องการใช้กระดาษทุกประเภทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณเยื่อที่ผลิตได้กับเยื่อที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นด้วย จะเห็นได้จากตารางที่ 1-1, 1-2 และ 1-3 ส่งผลให้การผลิตเยื่อกระดาษทุกประเภทในประเทศไทย ประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ ประกอบกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเชิงอนุรักษ์ การผลิตเยื่อกระดาษจากพืชยืนต้นจึงลดลง เนื่องจากพืชยืนต้นเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในตัวมากกว่าที่จะนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ อีกทั้งการตัดพืชยืนต้นจากป่าธรรมชาติ เพื่อการผลิตเยื่อกระดาษเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ป่าไม้ถูกทำลายอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพสมดุลของระบบนิเวศโลก (Biosphere) และเนื่องจากเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ในประเทศไทย จัดว่าเป็นเยื่อใยสั้นถึงปานกลาง จึงจำเป็นต้องนำเข้าเยื่อใยยาวจากต่างประเทศในปริมาณสูงต่อปี ด้วยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลให้ทั้งทางภาครัฐบาลและเอกชนพยายามหาวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ทำเส้นใย ทดแทนเส้นใยยาวที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แนวทางการแก้ไขปัญหการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ เพื่อให้มีกระดาษใช้งานได้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นทำได้หลายวิธี ได้แก่ การนำกระดาษที่ใช้แล้วหมุนเวียนกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต (Recycle) และการศึกษาวิจัยหาแหล่งวัตถุดิบจากพืชล้มลุก โดยเฉพาะวัชพืชที่มีอยู่มากมายหลายชนิด

ผู้ผลิตกระดาษหลายๆบริษัททางตอนเหนือของยุโรป และอเมริกา ค้นหาแหล่งของเส้นใยทดแทน และพบว่าปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ *Elaeis Guineensis* สามารถนำมาผลิตเป็นเส้นใยของกระดาษได้เช่นเดียวกับวัตถุดิบอื่นๆ ทางตะวันตก และภาคกลางของแอฟริกา นิยมปลูกปาล์มน้ำมันกันอย่างกว้างขวาง เช่นเดียวกับมาเลเซีย และอินโดนีเซีย [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไทย เกษตรกรรายย่อยหันมาปลูกปาล์มกันอย่างจริงจัง ทำให้ปาล์มน้ำมันพัฒนาเข้าสู่ระบบการค้าและอุตสาหกรรมมากขึ้น และเนื่องจากจำเป็นที่จะต้องตัดทางใบทิ้งทุกปี และทุกครั้งที่ตัดทะลายปาล์ม ทางใบปาล์มจะใช้คลุมพื้นที่ส่วนที่เป็นทางเดินระหว่างแถวปลูก แต่เมื่อมีเป็นจำนวนมากจึงทำให้เกิดขวางทางเดินแล้วยังเป็นที่อยู่อาศัยของหนู ซึ่งจะกลับมาทำความเสียหายให้กับสวนปาล์มโดยการกินผลปาล์ม

ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น อีกทั้งเส้นใยที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมัน เป็นเส้นใยที่ค่อนข้างยาว โดยความยาวเฉลี่ย 1.59 มิลลิเมตร ยาวกว่าเส้นใยจากไม้ใบกว้าง (Hardwood) บางชนิดอีกด้วย เส้นใยที่ได้มีความทนต่อการยืด และดึงได้สูง [2] ดังนั้นทางใบปาล์มน้ำมันนับว่าเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากอีกทางหนึ่ง ในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

ตารางที่ 1-1 แนวทางปริมาณอุปสงค์และศักยภาพในการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย
(หน่วย : หนึ่งตัน)

ปี	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumption								
- Short fiber	754	862	914	969	1,027	1,088	1,154	1,223
- Long fiber	426	363	338	358	379	402	425	450
Total	1,810	1,225	1,252	1,327	1,406	1,490	1,579	1,673
Capacity								
- Short fiber	987	1,143	1,143	1,143	1,343	1,543	1,543	1,543
- Long fiber	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	987	1,143	1,143	1,143	1,343	1,543	1,543	1,543
Production								
- Short fiber	1,000	1,000	1,061	1,143	1,283	1,503	1,543	1,543
- Long fiber	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,000	1,000	1,061	1,143	1,283	1,503	1,543	1,543
Surplus (Shortage)	246	138	148	174	256	415	389	320
- Short fiber	(426)	(363)	(338)	(358)	(379)	(402)	(425)	(450)
- Long fiber								

ที่มา : สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย : พฤศจิกายน 2549

ตารางที่ 1-2 สถิติกำลังการผลิต การผลิต อัตราการใช้กำลังการผลิต และการบริโภคกระดาษ
ประเภทต่างๆ ของประเทศไทยปี 2006 (หน่วย : ล้านตัน)

ประเภท	กำลังการผลิต		การผลิต		อัตรา การใช้ กำลัง การ ผลิต	การบริโภค		ปริมาณ การ บริโภคต่อ หัว
	ปริมาณ (พันตัน)	ร้อยละ	ปริมาณ (พันตัน)	ร้อยละ		ปริมาณ (พันตัน)	ร้อยละ	
กระดาษกราฟท์	2,673	59	2,405	61	90	1,913	57	31
กระดาษพิมพ์เขียน	1,264	28	1,074	27	85	803	24	13
กระดาษแข็ง	300	7	255	6	85	268	8	4
กระดาษหนังสือพิมพ์	135	3	131	3	97	289	9	5
กระดาษชำระ	129	3	103	3	80	71	2	1
รวม	4,501	100	3,968	100	87	3,344	100	54

ที่มา : สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย : พฤศจิกายน 2549

ตารางที่ 1-3 อัตราการบริโภคกระดาษต่อประชากร 1 คนของประเทศไทย
(Per Capital Consumption) (หน่วย : กิโลกรัม)

ปี	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ปริมาณบริโภค	42	47	50	54	57	61	65	70

ที่มา : สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย : พฤศจิกายน 2549

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ (Pulping) สำหรับวัตถุดิบประเภทวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ นิยมใช้กระบวนการโซดา (Soda Process) โดยการใช้สารเคมีคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการกำจัดลิกนิน ซึ่งคุณภาพของเยื่อกระดาษที่ได้จะขึ้นอยู่กับสถานะต่างๆที่ใช้ในกระบวนการต้มเยื่อที่สำคัญได้แก่ ขนาดของชิ้นไม้ อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อ เวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อ ปริมาณสารเคมีที่เติมเข้าไป และอัตราส่วนของสารละลายต่อเนื้อไม้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตเยื่อ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองของการผลิตเยื่อ ด้วยวิธีการที่พื้นผิวสนองตอบต่อตัวแปรในการทดลอง ด้วยวิธีการคิดเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยโปรแกรมดีไซน์เอ็กซ์เพิร์ท (Design Expert) จึงถูกออกแบบเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ให้มีความน่าเชื่อถือหรือหาค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการและขั้นตอนการผลิตเชื้อจากส่วนหางใบของปาล์มน้ำมัน โดยใช้วิธีเคมี
- 1.2.2 วิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีต่างๆ ของวัตถุดิบ เช่น ปริมาณลิกนิน, ปริมาณเซลลูโลส เป็นต้น
- 1.2.3 ศึกษาผลของคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษจากเชื้อที่ผลิตได้ โดยศึกษาผลกระทบของเวลาและสารเคมีที่ใช้
- 1.2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษจากเชื้อที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีกับกระบวนการผลิตเชื้อกระดาษ รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขจัดลิกนิน ในกระบวนการผลิตเชื้อ
- 1.3.3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเชื้อที่เตรียมได้

1.4 วิธีการวิจัย

- 1.4.1 จัดหาและเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อจากปาล์มน้ำมัน
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎี รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเลือกกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเชื้อด้วยวิธีเคมี
- 1.4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขจัดลิกนิน ในการผลิตเชื้อ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณสารเคมี และ เวลาที่ใช้ในการผลิตเชื้อ
- 1.4.4 ศึกษาหาคุณสมบัติของเชื้อที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ โดยวัดหาดัชนีความขาวสว่าง, ดัชนีความต้านแรงดึงขาด, ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และหาปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่จากค่าแคลปา

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

- 1.5.1 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า
- 1.5.2 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการผลิตเชื้อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- 1.5.3 เป็นทางเลือกในการใช้วัสดุทดแทนในการผลิตเชื้อกระดาษ

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความเป็นมาของกระดาษ

และถ่ายทอดภาพสู่อนุชนรุ่นหลัง แต่เมื่อไม่มีวัสดุใดๆ จะสนองความนึกคิดเช่นนั้น คนสมัยดึก-ดำบรรพ์จึงใช้วิธีวาดภาพสัตว์ต่างๆ ลงบนผนังถ้ำ เช่น คนจีนโบราณนิยมแกะสลักกระดูกสัตว์หรือสิ่งของคนกรีกในอดีตมักจะเขียนความรู้ และความคิดลงบนผนังสัตว์

ชนเผ่ามายาใช้วิธีวาดภาพบนเปลือกไม้ ชาวอียิปต์โบราณผลิตกระดาษจากหญ้าที่เรียกว่า ปาปิรุส (Papyrus) และเรียกว่า กระดาษปาปิรุส พบว่ามีการใช้จารึกบทสวด และคำสาบานบรรจุไว้ในพีระมิดของอียิปต์ นักประวัติศาสตร์เชื่อว่าการใช้กระดาษที่ทำจากปาปิรุสมาตั้งแต่ปฐมราชวงศ์ของอียิปต์ (ราว 3,000 ปีก่อนคริสตกาล)

ในปี ค.ศ. 105 [4] จีน โดย Tsai Lun ทำกระดาษโดยใช้ผ้าขี้ริ้ว และด้ายที่ใช้ทอแห กระดาษที่เขาประดิษฐ์ขึ้นนี้มีจุดมุ่งหมายจะให้ป็นวัสดุสำหรับเขียนแทนผ้าไหม เพราะผ้าไหมในสมัยนั้นมีราคาแพงมาก นอกจากคนจีนจะรู้จักทำกระดาษสำหรับเขียนแล้ว ยังรู้จักใช้เงินที่ทำด้วยกระดาษอีกด้วย

กองทัพจีนรบกับกองทัพมุสลิม เชลยศึกชาวจีน 2 คน ได้เปิดเผยวิธีการทำกระดาษแก่ชาวมุสลิมก่อนได้รับการปล่อยตัวไป ชาวมุสลิมปรับปรุงวิธีการทำกระดาษให้บางขึ้นโดยนำผ้าลินินตอกด้วยก้อน เพื่อให้เยื่อที่ได้มีลักษณะบางขึ้นแทนเปลือกของต้นหม่อนอย่างที่ทำชาวจีนทำ แรกทีเดียวสมัยนั้นมีโรงงานทำกระดาษมากมาย จากนั้นยังกระจายไปสู่อีกหลายๆ ส่วนของโลก กระดาษที่ส่งออกไปยุโรปโดยมากทำในเมืองดามัสกัส (ซีเรียในปัจจุบัน) จากนั้นโรงงานกระดาษที่เฟื่องฟูอยู่ในอิรัก ซีเรีย และปาเลสไตน์ ก็ขยายตัวไปสู่ทางตะวันตก ในทวีปอาฟริกา โรงงานกระดาษแห่งแรกของประเทศอียิปต์ตั้งขึ้น

ในปี ค.ศ.850 [5] จากนั้นขยายไปมอริอ็อกโก และแน่นอนในปีค.ศ.950 จึงขยายไปยังอาณาจักรมุสลิม อันดาลูเซีย (สเปนสมัยนี้) ศูนย์กลางของโรงงานกระดาษที่ อันดาลูเซียอยู่ที่ ซาติบา (Xatiba) จากสเปนและเกาะซิซิลี การทำกระดาษได้ขยายไปสู่ชาวคริสเตียนในอิตาลี ดูเหมือนว่าจะมีการอ้างอิงถึงกระดาษเป็นครั้งแรกในโลกตะวันตกช่วงกลางศตวรรษที่ 12 จากหนังสือ “The Art of the Painter” ใน Theophilus Presbyter จากนั้นในปี ค.ศ.1293 มีการตั้งโรงงานกระดาษที่โบโลญญา (Bologna)

ในปี ค.ศ.1309 เริ่มมีการใช้กระดาษเป็นครั้งแรกในอังกฤษ จากนั้นในปลายศตวรรษที่ 14 ชาวเยอรมันจึงเพิ่งรู้จักกระดาษ จนถึงสิ้นสุดโลกสมัยกลางที่ศูนย์กลางการผลิตกระดาษของยุโรปอยู่ที่ด้านเหนือของอิตาลี

คำว่า กระดาษ [5] ในภาษาไทยไม่ปรากฏที่มาอย่างแน่ชัด มีผู้สันนิษฐานว่าน่าจะทับศัพท์มาจากภาษาโปรตุเกสว่า Kratus แต่ความจริงแล้ว คำว่ากระดาษ ในภาษาโปรตุเกส ใช้ว่า Papel ส่วนที่ใกล้เคียงภาษาไทยมากที่สุด น่าจะเป็นคำศัพท์ในภาษามลายูคือ Kertas หมายถึงกระดาษเช่นกัน กระดาษในสยามไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจน ประวัติกระดาษในสมัยโบราณของไทย การศึกษาส่วนมากจะอาศัยการท่องจำต่อๆ กันมาในระดับท้องถิ่น มีบางส่วนที่ได้จัดบันทึกไว้เป็นตำราบนแผ่นศิลา แผ่นหนัง แผ่นดินเผา ใบลาน เมื่อมีการทำกระดาษก็จัดบันทึกลงบนกระดาษ สำหรับกระดาษในระยะแรกๆ เป็นกระดาษที่ทำจากเยื่อข่อย เรียกว่า สมุดข่อย กระดาษข่อยในสมัยโบราณมี 2 สี ได้แก่ กระดาษข่อยสีขาว เขียนด้วยสีดำ สีแดง หรือสีทอง และกระดาษข่อยสีดำที่ผสมหรือทาด้วยผงถ่านสีดำ เขียนด้วยสีขาวหรือสีทองสีทองส่วนมากทำจากหอยระดานกลีบทอง สีทองที่ทำจากผงทองคำก็มี [3] เรามีกระดาษที่เรียกว่า สมุดไทย ผลิตจากเยื่อไม้ทุบละเอียด ต้มจนเปื่อย ไล่แป้งเพื่อให้เนื้อกระดาษเหนียว แล้วนำไปกรองในกระเบาะเล็กๆ ทิ้งไว้จนแห้ง แล้วลอกออกมาเป็นแผ่น พับทบไปมาจนตลอดความยาว จึงได้เป็นเล่มสมุด เรียกว่า สมุดไทยขาว หากต้องการสมุดไทยดำ ก็จะผสมผงถ่านในขั้นตอนการผลิต ในทางภาคเหนือของไทย มีการผลิตกระดาษด้วยวิธีการคล้ายคลึงกัน เรียกว่า กระดาษสา เมื่อนำมาทำเป็นสมุดใช้เขียนเรียกว่า ปับสา

รัฐบาลในอดีต ได้เริ่มเห็นความสำคัญของการผลิตเยื่อกระดาษ เพื่อทดแทนการนำเข้า โดยจัดตั้งโรงงานขึ้น 2 แห่ง คือ โรงงานกระดาษสามเสน เมื่อปี พ.ศ. 2466 เป็นการริเริ่มของกรมแผนที่ทหารบก กระทรวงกลาโหม ทำการผลิตกระดาษด้วยเศษกระดาษได้วันละ 1 ตัน และโรงงานกระดาษกาญจนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2478 ทำการผลิตเยื่อกระดาษ และกระดาษพิมพ์เขียน โดยใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบผลิตกระดาษเขียนได้วันละ 10 ตัน ต่อมาในปี พ.ศ. 2485 ได้มีการจัดตั้งกระทรวงอุตสาหกรรมขึ้น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษทั้ง 2 แห่ง จึงได้มีการโอนกิจการขึ้นกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2488 รัฐบาลในสมัยนั้นได้จัดตั้งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษพิมพ์เขียนขึ้นอีก 1 แห่ง คือ โรงงานกระดาษบางปะอิน โดยใช้ฟางข้าวและหญ้าจรรยาเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยสามารถผลิตเยื่อกระดาษได้ประมาณปีละ 9,000 ตัน และกระดาษพิมพ์เขียนได้ประมาณปีละ 12,000 ตัน กระดาษเป็นแผ่นวัสดุที่ได้จากการประสานติดกันของเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่า เยื่อ (Pulp) กระจัดกระจายอยู่ในเนื้อกระดาษประมาณร้อยละ 70-90 ของน้ำหนักกระดาษ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของเยื่อกระดาษ และทำให้เยื่อกระดาษมีหลายชนิดคือ ชนิดของพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ สภาพและกระบวนการผลิตเยื่อ ซึ่งมีอยู่

3 กระบวนการ คือ การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulping Process) การผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping Process) และการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-Chemical Pulping Process)

2.2 ความรู้เบื้องต้น

2.2.1 ประเภทของเส้นใย ปัจจุบันจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้มนุษย์สามารถสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมาใช้เองได้ นอกเหนือจากเส้นใยที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ ดังนั้นอาจแบ่งแหล่งที่มาของเส้นใยได้ ดังนี้

2.2.1.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) อาจแยกตามแหล่งกำเนิดได้ ดังนี้

ก) เส้นใยสัตว์ (Animals Fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีนโดยส่วนใหญ่แหล่งเส้นใย ได้แก่

1. ขนสัตว์และผม (Wool and Hair) เป็นเส้นใยที่ได้จากขนและผมของสัตว์ เช่น ขนแกะ และผมอูฐ เป็นต้น

2. เส้นไหม (Silk) เช่น เส้นไหมที่ได้จากตัวไหม

ข) เส้นใยไม้ (Wood Fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ได้จากไม้ยืนต้น (Wood) และพวกที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้น (Non-Wood) เช่น ไม้สน ไม้ยูคาลิปตัส และฟางข้าว เป็นต้น

ค) เส้นใยจากแร่ (Mineral Fiber) เป็นเส้นใยแร่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น Asbestos ชนิดต่างๆ

2.2.1.2 เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic or Man-Made Fiber) เกิดขึ้นจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี เส้นใยที่ได้มีทั้งที่ทำจากวัตถุดิบจำพวกสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ เส้นใยในกลุ่มนี้มีมากมาย และ ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เช่น Viscose-Rayon, Nylon, Acrylic, Elastomer และ Glaso-Fiber เป็นต้น

2.2.2 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ ไม้จัดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำเยื่อกระดาษ (Wood Pulp) สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.2.2.1 ไม้ยืนต้น (Wood) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด [6] คือ

ก) ไม้ใบแคบ (Softwood) เป็นไม้จำพวก Coniferous หรือ Gymnosperm มีใบเป็นรูปเข็มไม่ผลัดใบ เช่น Spruce, Pine และ Fir ในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ สนสองใบ และ สนสามใบ เส้นใยมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เยื่อที่ได้จากไม้ใบแคบเรียกว่า เยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “N” (Needle) นำหน้า เช่น NBKP (Needle Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว

ข) ไม้ใบกว้าง(Hardwood) เป็นไม้จำพวกAngiosperm โดยทั่วไปมีใบกว้าง (Broad Leaved) ในเขตอบอุ่นไม้พวกนี้จะผลัดใบ (Deciduous) เส้นใยของไม้ใบกว้างมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เช่น Eucalyptus, Birch, Aspen และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “L” (Leaved) นำหน้า เช่น LBKP (Leaved Bleached Kraft Pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อไม้ใบกว้าง

2.2.2.2 พวกที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้น (Non – Wood) เส้นใยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้จาก

ก) ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร (Agriculture Residue) เช่น ฟางข้าว และชานอ้อย

ข) พืชตระกูลหญ้า (Natural Growing Plants) เช่น ไม้ไผ่ และหญ้าขจรจบ

ค) พืชเส้นใยต่างๆ (Crop Fiber)

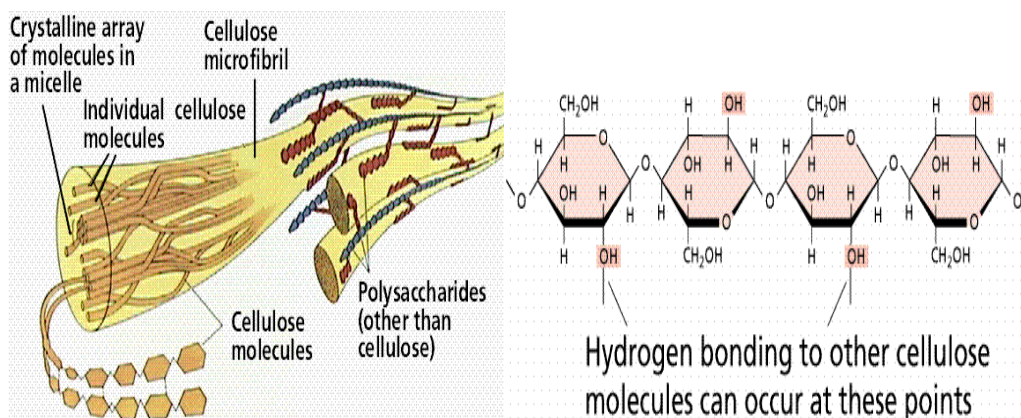
1. เส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกและลำต้น (Bast or Stem) เช่น Hemp, Ramie, Flax, ปอกระเจา (Jute), ปอแก้ว (Kenaf) และปอกระสา เป็นต้น

2. เส้นใยที่ได้จากส่วนใบ (Leaf Fiber) เช่น Abaca, ตับปะรดและป่านศรนารายณ์ (Sisal) เป็นต้น

3. เส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed Fiber) เช่น ฝ้าย

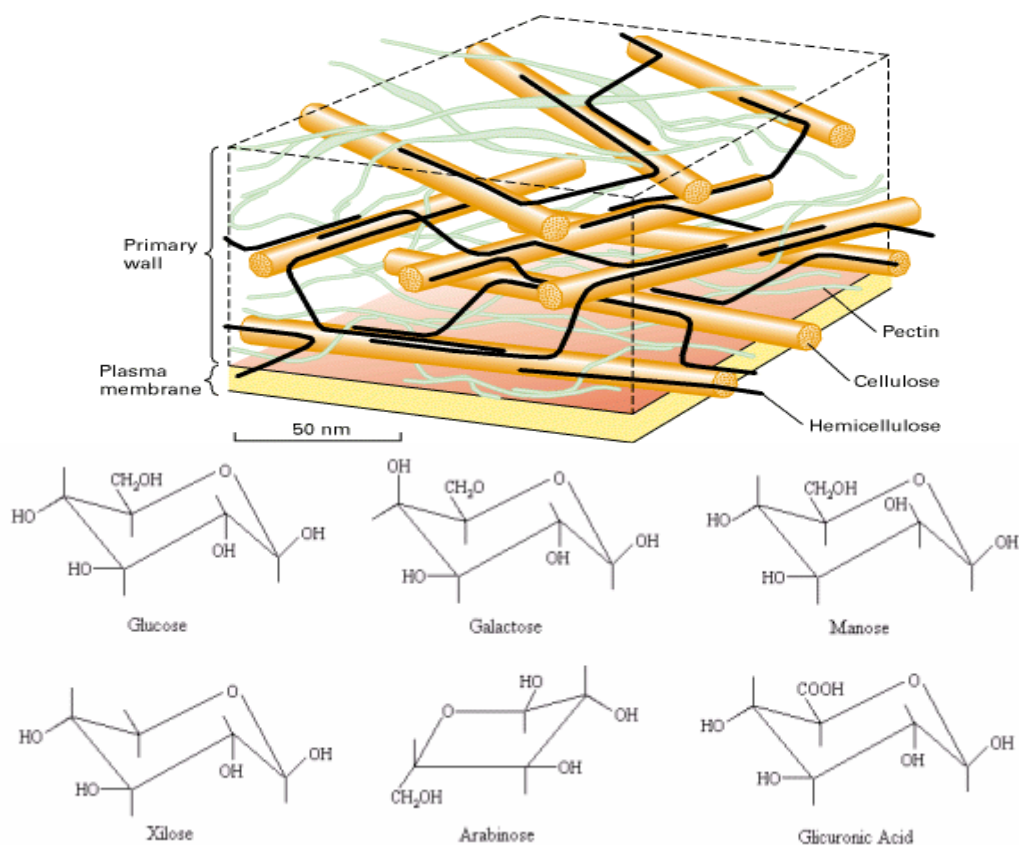
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical Composition of Wood) องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษไม่ว่าจะเป็น ไม้ใบกว้าง ไม้ใบแคบ หรือพวกที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้นประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารแทรก (Extractives) เป็นต้น

2.2.3.1 เซลลูโลส คือ โฮโมโพลิเมอร์ (Homopolymer) ของดี-กลูโคส (D-Glucose) เกาะกันด้วย 1, 4 - Glucosidic Bond มีลักษณะเป็นเส้นตรง (Straighted Chain) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ในระหว่างแฉะมีการยึดเหนี่ยวกันด้วย พันธะไฮโดรเจน (H-bond) ซึ่งมีขนาดประมาณ $35^{\circ}\text{\AA}$ เรียกว่า Elementary Fibril อันเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่ปรากฏเป็นเอกเทศตามธรรมชาติ ดังภาพที่ 2-1 เซลลูโลสมีความเป็นผลึกประมาณมากกว่าร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมี โดยมีสารเคมีที่ละลายเซลลูโลสได้ไม่กี่ชนิด เช่น กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 68 กรดเกลือความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 41 ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2), Quarternary Ammonium Compound และ Complexing Agents บางชนิด เช่น CuO , CuO -Ethylene Diamine- H_2O เป็นต้น



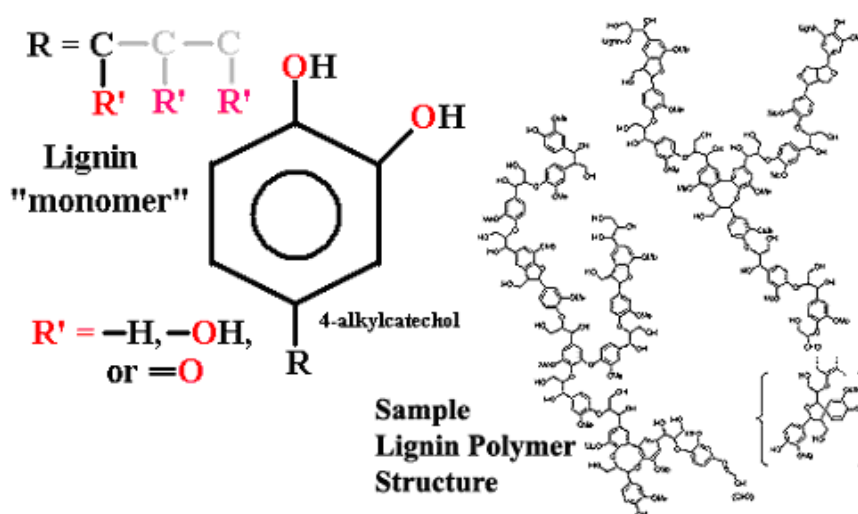
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส [7]

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส คือ เฮเทอโรโพลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส (Glucose) แมนโนส (Manose) ไซโลส (Xylose) และอราบินโนส (Arabinose) เฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อะเซทิล (Acetyl) และยูโรนิก (Uronic) จับอยู่เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้าง เป็นอสังฐานสามารถหุ้มน้ำและพองตัวได้ดี คุณสมบัตินี้เป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการทำกระดาษ เฮมิเซลลูโลสในไม้ใบกว้างจะเป็นพวกไซแลน (Xylan) ไม้ใบแคบส่วนใหญ่เป็นกลูโคแมนแนน (Glucomannans)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส [8,19]

2.2.3.3 ลิกนิน (Lignin) ประกอบด้วย Phenyl Propane Unit เฉลี่ยประมาณ 2,500 หน่วย เป็นอสัณฐาน (Amorphous) จับตัวกันเป็นโครงร่างสามมิติด้วย Ether Bond และ C-C Bond ส่วนใหญ่เป็น Phenyl-O-Aryl Ether Bond พบมากในส่วนที่เรียกว่า Middle Lamella ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมต่อระหว่างเส้นใย เป็นสารซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydropobic) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) อุณหภูมิที่อ่อนตัวประมาณ 120-200 °C ขึ้นอยู่กับความชื้น ดังภาพที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของลิกนิน



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน [9]

2.2.3.4 สารแทรก (Extractives) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ไคลอโรฟอร์ม และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น ทั้งนี้ไม่รวมถึงสารอนินทรีย์ (Inorganic Material) ที่อาจจะละลายปะปนออกมาด้วย สารแทรกที่ได้นี้มักเป็น ชันสนหรือยางไม้

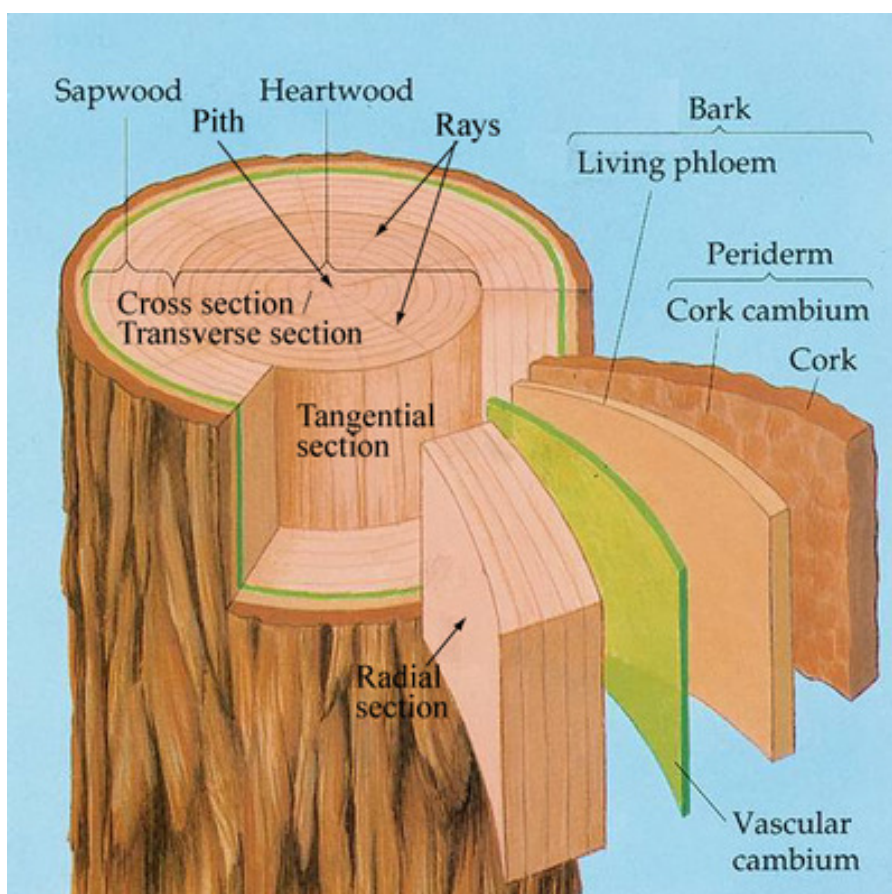
ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ [10]

องค์ประกอบทางเคมี หน่วย : ร้อยละ	ไม้ใบแคบ (Softwood)	ไม้ใบกว้าง (Hardwood)
เซลลูโลส (Cellulose)	~ 45	~ 43
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	15 – 20	15 – 30
ลิกนิน (Lignin)	24 – 32	17 – 25
สารแทรก (Extractives)	~ 3.4	~ 2.0

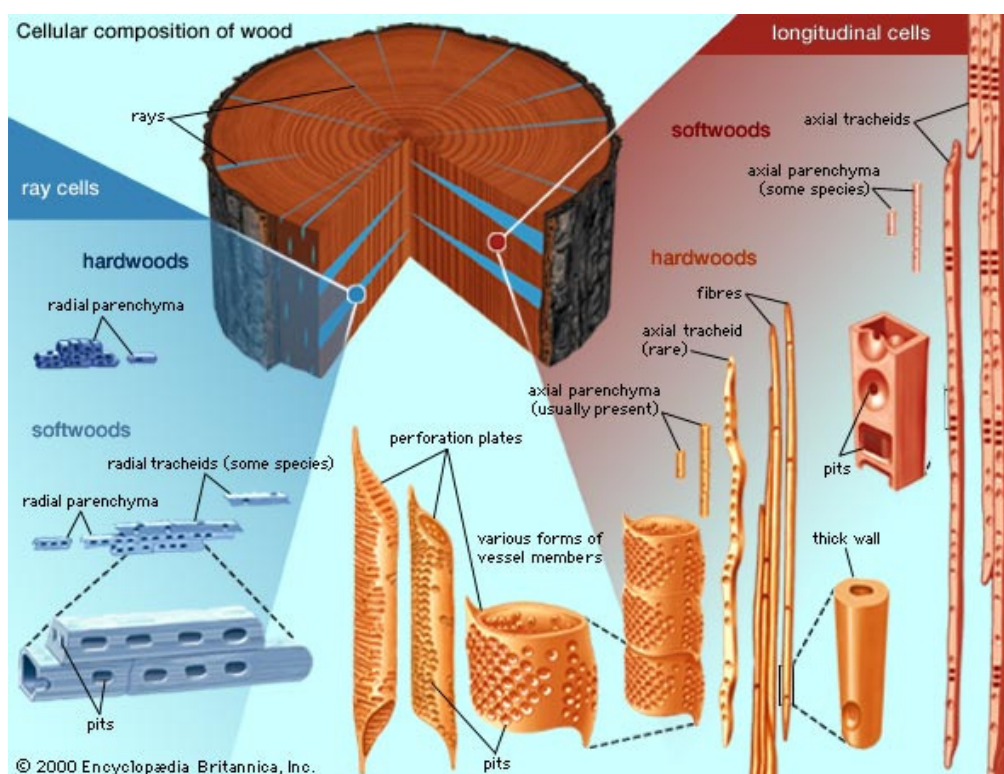
2.2.4 องค์ประกอบของกระดาษในส่วนเส้นใย กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลายๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมเหล่านี้ ได้แก่ เส้นใยสั้น เส้นใยยาว แป้ง ชันสน ดินขาว และ ผงสี เป็นต้น สามารถแยกวัสดุที่ใช้ผสมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous Materials) ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษ และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (Non Fibrous Materials) ซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

2.2.4.1 ส่วนเส้นใย (Fibrous Materials) ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีเส้นใยผสมอยู่ประมาณร้อยละ 70 – 95 ของน้ำหนักกระดาษ โดยปริมาณเส้นใยจะมีน้อยหรือมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต ส่วนเส้นใยหรือที่เรียกทั่วไปว่า เยื่อ (Pulp) ที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยขาวและใยสั้น ดังนั้นในส่วนเส้นใยจึงประกอบด้วยเซลล์พืชชนิดต่างๆ ผสมกันอยู่ เซลล์เหล่านี้ได้แก่ เส้นใย (Fiber) เซลล์สำรองอาหาร (Parenchyma Cell) และเซลล์ลำเลียงน้ำ (Vessel Element) ถ้าเป็นเยื่อที่ได้จากไม้ไม่ขึ้นดิน อาจมีเซลล์ชนิดอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น เซลล์วงแหวน (Ring Thickening) เซลล์ปากใบ (Stomata Cell) และเซลล์ผิวหนังนอก (Epidermis Cell) เป็นต้น

ดังนั้นเพื่อความเข้าใจและรู้จักส่วนเส้นใยได้ดีขึ้น จึงควรรู้จักกายวิภาคของไม้ (Wood Anatomy) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน แสดงในภาพที่ 2-4 และภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-4 องค์ประกอบภายในของเนื้อไม้ [11]



ภาพที่ 2-5 รูปร่างของเซลล์ชนิดต่างๆ ในไม้ใบแคบ และไม้ใบกว้าง [12]

ก) เส้นใย (Fiber or Tracheid) เป็นเซลล์รูปยาวเรียวปิดหัวปิดท้าย มีผนังเซลล์ตรงกลางเป็นช่องว่าง เรียกว่า ลูเมน (Lumen) เส้นใยของไม้แต่ละชนิดจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามความหนาของผนังเซลล์ ความกว้างของลูเมนและลักษณะของรูเปิด (Pit) ถ้าเป็นเส้นใยของไม้ใบแคบจะเรียกว่า Tracheid เส้นใยทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ต้นไม้ เส้นใยส่วนมากจะเรียงตัวตามความยาวในแนวขนานกับลำต้น ซึ่งเส้นใยเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

ข) พarenไคมา เซลล์ (Parenchyma Cell) เป็นเซลล์ปิด มีขนาดเล็กมาก รูปทรงโดยทั่วไปเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำหน้าที่เก็บสำรองอาหาร

ค) เวสเซล อีลิเมนต์ (Vessel Element) เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ รูปร่างคล้ายเส้นใย ที่ปลายเปิดทั้งสองข้าง และมีลักษณะของรูเปิดที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของไม้ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ

2.2.4.2 โครงสร้างของเส้นใย (Fiber Structure) เส้นใยจะมีผนังเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยชั้นของเซลลูโลสไมโครไฟบริล ที่ฝังตัวอยู่ในชั้นอนัสนฐานของเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เส้นใยแต่ละเส้น เมื่อนำมาตัด ตามขวางแล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายสูงๆ พบว่าผนังเส้นใยมิได้เป็นวัสดุเนื้อเดียวสม่ำเสมอโดยตลอด แต่ประกอบขึ้นด้วยผนังย่อยๆ หลายชั้น ซึ่งสามารถ

แยกความแตกต่างได้เป็น 4 ชั้นด้วยกัน คือ ผนังชั้นนอกสุดหรือผนังชั้นแรกของเส้นใย เรียกว่า Primary Wall Layer (P) ผนังชั้นที่ 2 ของเส้นใย เรียกว่า Secondary Wall Layer (S) ในผนังชั้นที่ 2 ของเส้นใยนี้ ประกอบด้วยผนังย่อย 3 ชั้น มีลักษณะแตกต่างกัน โดยมีชื่อเรียกตามลำดับ ดังนี้ Outer Secondary Wall Layer (S_1), Middle Secondary Wall Layer (S_2), Inner Secondary Wall Layer (S_3) หรือเรียกว่า Tertiary Wall ผนังเส้นใยทั้ง 4 มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน ดังนี้

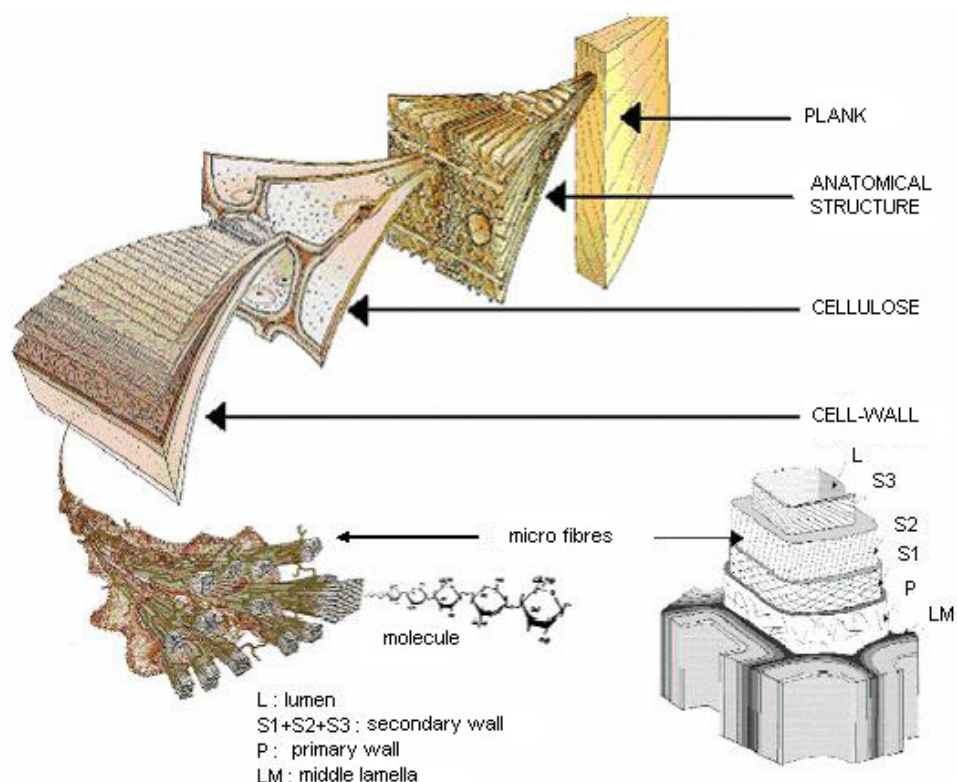
ก) ผนังชั้นนอกสุดของเส้นใย หรือผนังชั้นที่ 1 หรือ เรียกว่า Primary Wall ในชั้นนี้จะมีผนังค่อนข้างบางโดยมีความหนาประมาณ 0.1-0.2 ไมครอนเท่านั้น ประกอบด้วยน้ำ ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 30 ส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเซลลูโลสที่อยู่ในรูปของไมโครไฟบริล เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในชั้นที่ 1 นี้ ไมโครไฟบริลจะมีเพียงชั้นเดียวและสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ มีลักษณะคล้ายร่างแหที่ถักพันกัน สานตัวตลอดแนวกว้างยาวของเส้นใย ผนังชั้นนอกของเส้นใยแต่ละเส้นจะยึดเชื่อมติดกันด้วยชั้นบางๆ ซึ่งเรียกว่า Middle Lamella

ข) ผนังชั้นที่ 2 หรือเรียกว่า Secondary Wall ผนังชั้นที่ 2 ของเส้นใยนี้จะอยู่ถัดเข้ามาจากผนังชั้นที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เช่นเดียวกับชั้นที่ 1 ไมโครไฟบริลจะซ้อนกันอยู่หลายชั้น ในขณะที่ชั้นที่ 1 มีไมโครไฟบริลในชั้นที่ 2 จะมีชั้นย่อย 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะมีการจัดตัวซ้อนกันอย่างแน่นหนาของไมโครไฟบริลและไมโครไฟบริลจะมีทิศทางการเรียงตัวทั้งในแนวขวางและขนานกับแกนเส้นใย ซึ่งแต่ละชั้นย่อยจะมีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. ชั้น S_1 Outer Secondary Wall ในชั้น S_1 นี้ค่อนข้างบาง มีความหนาใกล้เคียงกับชั้นที่ 1 โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ชั้นของแผ่นบางๆ ซ้อนกันอยู่ประมาณ 4-6 แผ่นไมโครไฟบริลของชั้นนอกสุดจะมีการเรียงตัวแบบบันไดเวียน (Spiral) โดยทำมุมประมาณ 60° กับแนวแกนยาวของเส้นใย

2. ชั้น S_2 Middle Secondary Wall ในชั้น S_2 นี้จะอยู่ถัดจากชั้นของ S_1 เข้าไปข้างในชั้นนี้จะประกอบไปด้วยชั้นของแผ่นบางๆ ซ้อนกันประมาณ 150 แผ่น ซึ่งเป็นชั้นที่หนาที่สุด ไมโครไฟบริลในชั้นนี้จะเรียงตัวกันแบบบันไดเวียนหรือก้นหอย (Helix) มีความชันมากกว่า ชั้น S_1 โดยทำมุมประมาณ $10-20^\circ$ กับแกนยาวของเส้นใย ชั้นนี้จะหนาประมาณ 10-30 ไมครอน

3. ชั้น S_3 Inner Secondary Wall หรือ Tertiary wall ชั้น S_3 นี้จะอยู่ถัดจากชั้น S_2 เข้าไปข้างในประกอบไปด้วยชั้นของแผ่นบางๆ ซ้อนกันประมาณ 12 แผ่น ไมโครไฟบริลของชั้นนอกจะเรียงตัวในทิศทางขนานกับไมโครไฟบริล S_2 แต่ชั้นในสุดของ 4 แผ่นสุดท้าย ไมโครไฟบริลจะเรียงตัวขวางกับแกนยาวของเส้นใย ในไม้บางชนิดตรงส่วนที่ติดกับลูเมน (Lumen) จะมีลักษณะคล้ายปุ่มเกิดขึ้นเรียกว่า Warty Layer ดังภาพที่ 2-5 จะเห็นได้ว่าชั้น S_2 มีปริมาณมากที่สุดและมีเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด ผนังชั้นนี้จึงเป็นส่วนสำคัญมากสำหรับคุณลักษณะในการทำกระดาษของเส้นใย



ภาพที่ 2-6 แสดงโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย [13]

2.3 กระบวนการผลิตเยื่อ [12]

ปัจจุบันมีกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษอยู่หลายวิธี บางกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษด้วยไม้ ใบแคบดีกว่าไม้ใบกว้าง บางกระบวนการให้ผลผลิตของผลิตภัณฑ์สูงแต่คุณภาพกระดาษต่ำ หรือ บางกระบวนการให้ผลผลิตของผลิตภัณฑ์ต่ำ แต่ให้กระดาษที่มีคุณภาพสูง เป็นต้น การจะเลือกใช้ กระบวนการใดต้องคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ ในที่นี้จะพิจารณาการผลิตเยื่อแบบเคมี ซึ่งปัญหา ที่สำคัญในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษคือ ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ

2.3.1 กระบวนการคราฟท์ (Kraft or Sulfate Process) [13]

กระบวนการคราฟท์หรือซัลเฟตเป็นกระบวนการทำเยื่อกระดาษที่นิยมใช้กันมาก สารเคมีที่ใช้ เป็นสารละลายต่าง กระบวนการนี้พัฒนามาจากกระบวนการโซดา ซึ่งจะใช้สารละลายที่เป็นด่างแก่ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต กระบวนการนี้ใช้ได้กับไม้ใบกว้างที่มีเส้นใยสั้น แต่ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการโซดาจะต่ำ สำหรับกระบวนการคราฟท์ สารเคมีที่ใช้เดิมลงไป ใน สารละลายต้มเยื่อ คือ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ในกระบวนการผลิต จะใช้สารละลายของ โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2S) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ซึ่งเตรียม จากซัลเฟต และจากสารละลายที่ใช้ต้มเยื่อ (Cooking Liquor) กระบวนการคราฟท์ สามารถนำมาใช้

กับไม้ได้ทุกชนิด โดยส่วนมากใช้กับไม้สน เส้นใยที่ได้จะมีความแข็งแรง และที่สำคัญ คือ สารเคมีที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก แต่กลิ่นของสารเคมีที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการต้มเยื่อ ยังเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้ยาก ในส่วนของหม้อต้มเยื่อมี 2 ลักษณะ คือเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Digester) และแม้ว่าจะมีการคิดค้นหม้อต้มเยื่อแบบไม่ต่อเนื่องขนาดใหญ่ และควบคุมการผลิตได้ดี แต่หม้อต้มเยื่อที่ใช้เป็นแบบต่อเนื่องก็ยังเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบปริมาณวัตถุดิบที่เท่ากันหม้อแบบต่อเนื่องจะให้ผลผลิตมากกว่า ควบคุมมลพิษได้ง่ายกว่า และขนาดเล็กกว่า ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต้มเยื่อ (Cooking Process) คือ ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส และการละลาย (Solubilization) ของลิกนินออกมาทำให้เซลลูโลสแยกออกมา น้ำมันสนที่อยู่ในเนื้อไม้ ก็จะถูกระเหยออกไปและได้สับซูโรเดียมของกรดของยางสน (Rosin Acid) ในกระบวนการไฮโดรไลซิส จะแยกเมอแคปเทน (Mercapton, R-SH) และสารอินทรีย์ซัลไฟด์ (Organic Sulfides) ออกมาเป็นอิสระซึ่งพวกนี้จะมีกลิ่นเหม็น

2.3.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ ไม้จะถูกลอกเปลือกออกและนำมาตัดให้ได้ขนาดความยาวที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะตัดเป็นชิ้นๆ ด้วยจานหมุนขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยใบมีดที่หนัก 4 อันหรือมากกว่า ให้มีขนาดตามต้องการ จากนั้นผ่านเข้าเครื่องร่อนแบบหมุน หรือแบบสั่นเพื่อแยกไม้ที่มีขนาดใหญ่ ไม้ขนาดที่ต้องการ และแยกขี้เลื่อยออก ขึ้นไม้ที่มีขนาดโตเกินไป เศษไม้ และขี้เลื่อยจะถูกส่งเข้าเครื่องใหม่ เพื่อลดขนาด ของมันให้มีขนาดที่เหมาะสมอีกครั้ง

2.3.1.2 การต้มเยื่อ

ก) ขึ้นไม้ขนาดที่เหมาะสม จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง ซึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ความดัน 100 กิโลปาสกาล เพื่อระเหยน้ำมันสนและก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกไป จากนั้นทำให้ความดันเพิ่มเป็น 900 กิโลปาสกาล ที่อุณหภูมิที่ปรับไว้เหมาะสมแล้ว เพื่อให้ขึ้นไม้ทำปฏิกริยากับสารเคมีในสารละลายที่ใช้ต้มเยื่อ (Cooking Liquor) ทำการต้มประมาณหนึ่งชั่วโมงครึ่ง ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

ข) ในการหยุดปฏิกริยาการต้มเยื่อทำได้โดยผ่านสารเคมีที่เป็น Cooking Liquor ที่เย็นเข้าไปอย่างรวดเร็ว โดยให้มีทิศทางการไหลสวนทางกับตอนแรก ซึ่งเป็นการล้างสารเคมีในไม้ ออก แล้วยังลดความดันลงอีกด้วย

ค) ไม้ที่ได้จะมีของเหลวออกมาด้วย เรียกว่า Brown Stock

2.3.1.3 การล้าง ทำโดยแยกเยื่อออกจากของเหลว ล้างด้วยน้ำ แล้วนำไปผ่านเครื่องร่อนเพื่อแยกเศษไม้ สิ่งเจือปน ขยะอื่นๆ ออก ส่งต่อไปยังเครื่องทำให้ขึ้น และเครื่องกรอง

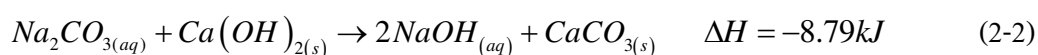
2.3.1.4 การฟอกสี เยื่อกระดาษที่ได้จากการทำให้ขึ้น (Thickened) นำมาฟอกสีเพื่อกำจัดสีแทนนินในไม้ เยื่อที่ได้จะมีสีขาวหรือสีอ่อน สารที่ใช้ในการฟอกสีที่เป็นตัวรีดิวซ์ ได้แก่ โซเดียมไดไทโอเนต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ หรือไบซัลไฟต์ (Bisulfite) ส่วนสารที่เป็น

ตัวออกซิไดซ์ ได้แก่ โอโซน (O_3), Na_2O_2 , H_2O_2 , ClO_2 และ คลอรีน หลังจากฟอกสี เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการจะถูกล้างด้วยน้ำอีกครั้ง เก็บเป็นแผ่นเยื่อ ทำให้แห้ง มัดเก็บ และขนส่ง ซึ่งเยื่อกระดาษของขั้นตอนนี้อาจนำไปใช้ทำกระดาษได้เลย เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการทำเยื่อกระดาษแบบกราฟท์นั้น มีเส้นใยยาวที่สุด นอกจากนี้ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในกระบวนการก็ไม่รุนแรงเหมือนปฏิกิริยาเคมีในการทำเยื่อกระดาษอื่นๆ กระดาษที่ได้มีความแข็งแรง เดิมกระดาษที่ได้จากกระบวนการกราฟท์เป็นกระดาษสีทึบ นิยมนำไปใช้ห่อของทำถุง ใส่ของ ทำกระดาษแข็ง ต่อมาเมื่อมีการพัฒนากระบวนการฟอกสีใหม่ให้ดีขึ้น ทำให้ได้กระดาษที่สว่าง และมีสีขาวขึ้น

2.3.1.5 การนำสารละลายสีดำกลับมาใช้ใหม่ แยกสารละลายสีดำ (Black Liquor) จากเยื่อกระดาษในเครื่องล้างเยื่อ หรือเครื่องกระจายเยื่อ ประมาณร้อยละ 95-98 ของสารที่แยกได้ ประกอบด้วยสารเคมีที่ใส่เข้าไปในหม้อต้มเยื่อ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ของซัลเฟอร์รวมอยู่ในรูปของ โซเดียมซัลไฟด์ และมีของแข็งประมาณ ร้อยละ 20 ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต เกลือซิลิกา ปูนขาว เหล็กออกไซด์ อะลูมินา และโปแตส ผลผลิตพลอยได้จากของเหลวสีดำ คือ Tall Oil มีลักษณะสีดำ หนืด เหนียว ประกอบด้วยเรซิน และกรดไขมัน ทำการแยกออกมาด้วยการเซนตริฟิวส์ หรือใช้วิธี Flotation การทำสารละลายสีดำให้เข้มข้นขึ้น ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งร้อยละ 35 โดยใช้เครื่องระเหยแบบหลายขั้นตอน จากนั้นฉีดสารละลายที่ได้เข้าไปในเตาเผาเกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลไฟด์ตามสมการ

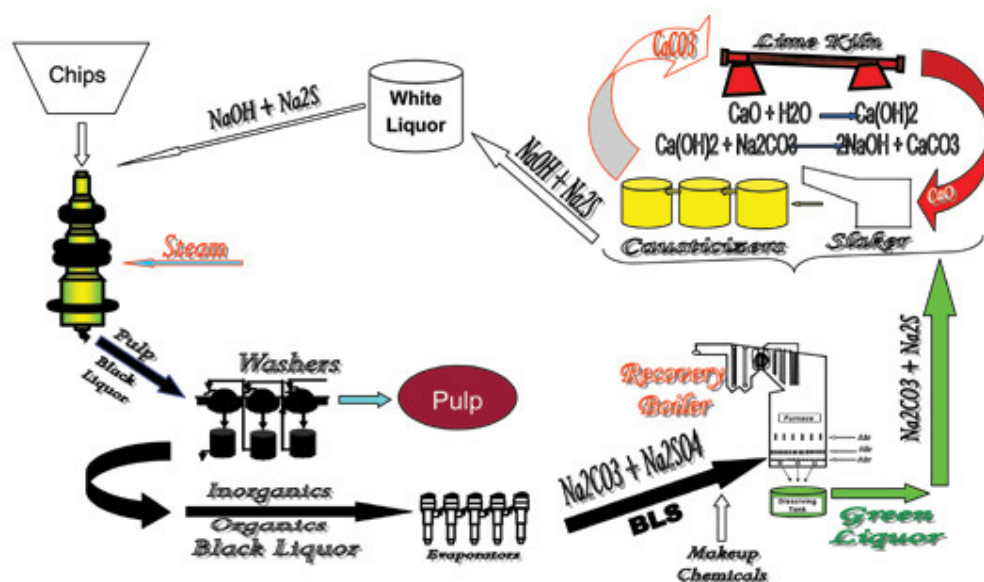


ในเตาเผาสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนจากไม้จะถูกทำให้สลายตัวไป ส่วนสารอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น Na_2CO_3 และ Na_2S ปนอยู่ด้วย จะถูกเผาจนละลายเกิดไอน้ำ และเกลือที่หลอมเหลว (Molten Salt หรือ Smelt) ปฏิกิริยาของเกลือที่หลอมเหลว ถ้ามีน้ำผสมอยู่เล็กน้อย อาจทำให้เกิดการระเบิดได้ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไพโรลิซิส (Hydropyrolysis) ของของแข็งที่แห้งในสารละลายสีดำจะทำให้ได้ก๊าซเผาไหม้ และถ้าใช้เครื่องปฏิกรณ์เผาไหม้เป็นแบบฟลูอิดไคซ์ของเหลวร้อยละ 35 ของสารละลาย จะออกมาในรูปของเม็ดสารเคมีแทนที่จะหลอมเหลว สารเคมีที่หลอมเหลวนำไปละลายในสารละลายเจือจางที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อทำให้ได้ สารละลายเป็นของเหลวสีเขียว (Green Liquor) สารเจือปนที่ไม่ละลายจะถูกขับออก จากนั้นเติมปูนขาว ($Ca(OH)_2$) ลงไปเพื่อให้เกิดเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ดังปฏิกิริยา



ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมีตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น ปล่อยให้ตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต ตกตะกอนแยกในถังตะกอน จากนั้นกรองแยกตะกอนออกมาได้แคลเซียมคาร์บอเนตในรูปโคลน แล้วนำไปเผาในเตาเผาได้แคลเซียมออกไซด์นำกลับไปใช้ในกระบวนการได้อีก ส่วนสารละลายสีสีขาวที่กรองแยกออกมาได้ เรียกว่า ของเหลวสีขาว (White Liquor) ประกอบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์ กับส่วนน้อยของพวกโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต โซเดียมซัลไฟด์ และไทโอซัลเฟตนำกลับไปใช้ในการต้มเยื่ออีก

หม้อต้มเยื่อ (Digester) จะปล่อยก๊าซออกมาประกอบด้วยน้ำมันสน 11-42 ลิตรต่อเยื่อกระดาษ 1 เมตริกตัน บางครั้งในการทำให้บริสุทธิ์ จะให้ Sulfate Turpentine ออกมา



ภาพที่ 2-7 แสดงกระบวนการผลิตเยื่อกราฟท์และกระดาษในปัจจุบัน [16]

2.3.2 กระบวนการโซดา [17]

2.3.2.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบโซดา มีลักษณะคล้ายกับกระบวนการกราฟท์หรือซัลเฟต ยกเว้นสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมคาร์บอเนต ($\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{CO}_3$) ($\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{CO}_3$) และสารเคมีปรุงแต่งเป็นโซเดียมคาร์บอเนตแทนที่จะเป็นโซเดียมซัลเฟต ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ แบบโซดานิยมใช้กับวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้น (Non-Wood)

2.3.2.2 กระบวนการโซดา-แอนทราควิโนน [18] กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบโซดามีลักษณะคล้ายกับกระบวนการกราฟท์หรือซัลเฟต ยกเว้นสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และมีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารละลายที่ใช้ ซึ่งก็คือ

สารแอนทราควิโนน ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วจะทำให้ได้สัดส่วนของกลุ่มฟีนอลที่สูง เนื่องจากสารนี้จะไปทำลายในส่วนของพันธะระหว่างลิกนินกับคาร์โบไฮเดรต ทำให้การสลายลิกนินง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ลิกนินเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารเคมีที่เข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น จึงช่วยให้คุณสมบัติของเยื่อที่ดีขึ้น เมื่อลิกนินลดลง

2.3.3 กระบวนการซัลไฟต์ [19]

เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการซัลไฟต์มีปริมาณน้อย แต่คุณภาพสูง ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการนี้คือ จะเกิดน้ำที่เป็นมลพิษ ต้นไม้ที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ ต้นสน และต้น Hemlock ส่วนต้น Balsam ใช้ในปริมาณปานกลาง สำหรับขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษของกระบวนการซัลไฟต์แบ่งได้ดังนี้

2.3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ ลอกเปลือกไม้เพื่อทำความสะอาด ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปเก็บไว้ก่อนจะใส่ลงในหม้อต้มเยื่อ ในส่วนของขั้นตอนการต้มเยื่อ กระบวนการย่อยเซลลูโลสโดยใช้ซัลไฟต์ใช้พลังงานสูงมาก และยังไม่เป็นที่เข้าใจเท่าที่ควร อีกทั้งกระบวนการย่อยไม้ใช้สารละลายที่มีแคลเซียมไบซัลไฟต์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์จำนวนมาก

2.3.3.2 ปฏิกิริยาของกระบวนการซัลไฟต์ที่เกิดขึ้นมี 2 ปฏิกิริยา คือ

ก) ปฏิกิริยาซัลไฟเนชัน และการละลายลิกนินด้วยไบซัลไฟต์

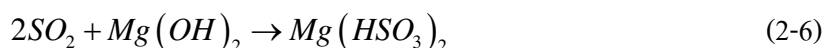
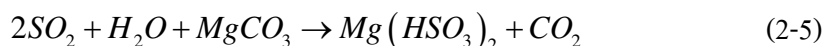
ข) ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ทำให้เกิดการแยกตัวออกของสารประกอบเชิงซ้อน เซลลูโลส-ลิกนิน ส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นสารประกอบอย่างง่าย และส่วนประกอบที่ไม่เกี่ยวข้องหรือไม่ต้องการจากไม้ก็จะถูกไฮโดรไลซ์ออกมาด้วย และเนื่องจากของเสียที่ได้จากกระบวนการจะรวมอยู่ในน้ำ สารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้น้ำเสีย จึงนำสารเหล่านี้กลับมาใช้ในกระบวนการอีกครั้ง เช่น แมกนีเซียมออกไซด์นำมาใช้แทนหินปูน โซเดียมและแอมโมเนียแทนแคลเซียม เพราะของเสียที่อยู่ในรูปของเหลวจากกระบวนการแคลเซียมซัลไฟต์ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากแคลเซียมซัลไฟต์ไม่ย่อยสลายไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่แมกนีเซียมสามารถย่อยได้ และเกิดแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แล้วหายไป ในปัจจุบันได้มีการใช้กระบวนการใหม่ๆ ที่ยอมรับได้บนพื้นฐานของแมกนีเซียมซัลไฟต์ โดยใช้สารประกอบแคลเซียม ซึ่งจะให้ความเข้มข้นมากกว่า และสามารถรวมตัวกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีกว่า ไม่มีอันตรายจากปฏิกิริยาดกตะกอนและสามารถแยกตัวได้อย่างรวดเร็ว และการละลายของส่วนประกอบที่ไม่ใช่ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส

ปฏิกิริยาในการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อของกระบวนการซัลไฟต์มีดังนี้คือ





หรือ



หรือ



2.3.3.3 การผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธี Neutral Sulfite Semi-Chemical หรือ NSSC วิธีการนี้จะใช้สารเคมีน้อยกว่ากระบวนการอื่นๆ เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการนี้สูงถึงร้อยละ 65-80 ส่วนใหญ่นำไปใช้ทำกระดาษอัดและกระดาษย่น หม้อต้มเยื่อที่ใช้มีทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง สารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อเป็นสารที่ค่อนข้างอ่อนคือ สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ใช้ในการทำลายสารยึดเกาะระหว่างเยื่อที่แข็งแรงน้อย แล้วทำให้เป็นบับเฟอร์ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จากนั้นแยกเยื่อกระดาษด้วยวิธีเชิงกลโดยให้อุณหภูมิในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ได้เยื่อกระดาษที่อ่อนนุ่มเพียงพอที่สามารถทำให้บริสุทธิ์ขึ้น

2.3.3.4 การผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการเชิงกล (Mechanical) และเชิงกลรวมกับความร้อน (Thermomechanical) กระบวนการนี้ไม่ใช้สารเคมี ไม้ที่ใช้เป็นจำพวกสนอ่อน เช่น Spruce และ Balsam ทำการกระเทาะเปลือกไม้ด้วยวิธีการวางไม้ให้ด้านกรามของก้อนหิน ทำให้ใยกระดาษถูกฉีกออกแต่ไม่แตกเสียหาย แล้วเติมน้ำลงไปเพื่อลดความร้อนจากการเสียดทาน และเพื่อให้ใยกระดาษหลุดออกไป ส่วนที่ยังหยาบจะถูกแยกออกไปเพื่อส่งไปแปรรูปใหม่เพื่อให้มีขนาดตามต้องการ จากนั้นผ่านเข้าเครื่องร่อนแยกส่วนที่ละเอียดก็นำไปตกตะกอนในถังเกรอะได้ เยื่อกระดาษที่ทำจากวิธีเชิงกล น้ำที่ล้นออกมาจากถังเกรอะจะประกอบด้วยเส้นใยเค็มร้อยละ 15-20 นำกลับไปวนซ้ำในเครื่องฉีกเส้นใยอีกครั้ง แล้วนำไปเก็บใน Stock Sewer ในกระบวนการการเติมน้ำสะอาดลงไปในระบบเพื่อช่วยลดอุณหภูมิ น้ำที่เติมลงไปนี้จะถูกแยกออกหลังจากแยกเส้นใยออกไป ส่วนที่เหลือจะเป็นของเสีย การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น ระหว่างปฏิกิริยาไฮดรอลิกของเซลลูโลสมีเพียงเล็กน้อยโดยทำปฏิกิริยากับน้ำอุ่นที่เติมลงไปดังตารางที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตกระดาษทั้ง 3 กระบวนการ

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบกระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ 3 แบบ [14]

ชนิดของ กระบวนการ	กระบวนการคราฟท์หรือซัลเฟต (ค้าง)	กระบวนการซัลไฟด์ (กรด)	กระบวนการ NSSC
วัตถุดิบในการ ผลิตเซลลูโลส	ใช้ได้ทั้งไม้ใบแคบ และ ไม้ใบ กว้าง	ไม้ใบแคบจะได้สีที่ดี และได้ สารประกอบฟีนอลิกออกมา	ส่วนมากใช้ไม้ใบกว้าง ถ้าเป็น ไม้ใบแคบจะได้เศษไม้ขนาดเล็ก
กระบวนการ หลักใน หม้อต้มเยื่อ	เกิดไฮโดรลิซิสของลิกนิน เป็น กรด และแอลกอฮอล์ และมีเมอร์ แคปแทนเกิดขึ้น	$RH = CH + Ca(H_2SO_4) \rightarrow (RCHR-SO_2)_4C$	เกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของ ลิกนิน และไฮโดรลิซิสของเฮมิ เซลลูโลส ทำให้เกิดอะซิเตท และฟอร์เมต
ส่วนประกอบ ของ cooking liquor	NaOH ร้อยละ 12.5, NaOH, Na ₂ S ตัวเกิด ปฏิกิริยา คือ NaOH และ Na ₂ S ส่วน Na ₂ CO ₃ ไม่เกิด	SO ₂ ร้อยละ 4.5 รวมกับ H ₂ SO ₄ ร้อยละ 2.5 รวมกับ Ca และ Mg(HSO ₃) ₂ ถ้าต้ม เยื่อ 1 ตัน ใช้ 175-222 kg ของ SO ₂ , 56- 68 kg ของ MgO ใช้ Mg(OH) ₂ , NH ₄ OH เร่งการละลายลิกนิน	Na ₂ เป็นบัฟเฟอร์ของ Na ₂ CO ₃ ไบคาร์บอเนต Kraft Green liquor ความเข้มข้นของ Na ₂ S 90-100 g/l Cooking liquor จะ ให้เส้นใยที่ไม่สมบูรณ์ แต่การ ปฏิบัติทางกลทำได้
สภาวะของ หม้อต้ม	เวลา 2-5 ชม. อุณหภูมิ 170- 176°C ความดัน 660-925 กิโล ปาสกาล	เวลา 6-12 ชม. อุณหภูมิ 125-160°C หรือสูงกว่าความดัน 620-755 กิโล ปาสกาล	
สารเคมีที่ได้ กลับคืนมา	กระบวนการทั้งหมดจะได้ สารเคมีกลับคืนมาโดยความร้อน จะทำให้ตกกระทบบกลับมาผ่าน สารประกอบอินทรีย์ที่ถูกเผา และ ละลายในของ เหลวจากไม้ สารเคมีที่หายไปจากระบบจะ เติมด้วย Salt Oake (Na ₂ SO ₄)	ได้ก๊าซ SO ₂ และของเหลวแมกนีเซียม กลับคืนมา และนำกลับไปใช้หลังจาก การย่อยและการล้างเยื่อกระดาษ	ให้ผลผลิตสูงถึงร้อยละ 65-85 เยื่อกระดาษหายไปร้อยละ 35- 15 ของไม้ที่ใช้ ได้สารเคมี กลับคืนมาแบบวิธีพิเศษ และ สารเคมียังคงใช้ต่อไปได้
วัสดุที่ใช้สร้าง อุปกรณ์	หม้อต้มเยื่อ ท่อป้อน และถังทำ ด้วยเหล็กอ่อนหรือบางทีอาจทำ ด้วยสแตนเลส	ของเหลวเป็นกรด ใช้หม้อต้มที่บุด้วย Acid-Proof Brick แล้วปิดให้แน่นด้วย นิกเกิล, โครม, ตะกั่ว หรือบรอนซ์	มีปัญหาการเกิดสนิมในหม้อ ต้มเยื่อ และอุปกรณ์ที่ใช้หม้อ ใช้สแตนเลส ป้องกันได้
สมบัติของเยื่อ กระดาษ	สีน้ำตาล ฟอกยาก เส้นใยแข็ง มี ความต้านทานต่อการฟอกเชิงกล	สีขาวาง่ายต่อการฟอกเส้นใยอ่อน กว่าเส้นใยจากกระบวนการคราฟท์	เหนียว มีความมันวาว เส้นใย แข็งแรง
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากกระดาษ	ทำถุงกระดาษ กระดาษเหนียว และ Paperboard ใช้ทำกล่อง กระดาษในการบรรจุขวดนม และทำบอร์ดที่เป็นลอน	มีสีขาว ใช้ทำกระดาษเขียน กระดาษ ทิชชู	ถ้ายังไม่ฟอกใช้ทำ Corrugating board กระดาษหนังสือพิมพ์ บอร์ดชนิดพิเศษ ถ้าฟอกแล้วทำ กระดาษเขียนและกระดาษ โรเนียว ทิชชู

2.4 คุณสมบัติของกระดาษ [20]

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมีได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากัน
ตลอดทั้งแผ่น ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสาร

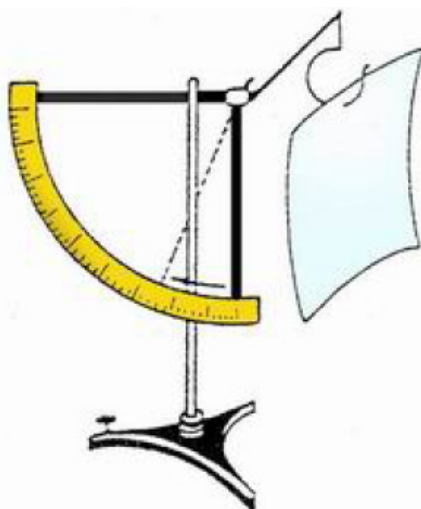
เดิมแต่งอุดช่องระหว่างเส้นใยลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ จึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวแนวขนาน เครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย

2.4.1 สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural Properties)

2.4.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight หรือ Grammage) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิ และความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษโดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นกรัมต่อตารางเมตร ตามระบบสากลทั่วไปแต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือปอนด์ต่อ 3000 ตารางฟุต ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษนอกจากใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายกระดาษแล้ว ยังสามารถเปรียบเทียบสมบัติอื่นๆ ของกระดาษได้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษประเภทเดียวกันที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยสภาวะต่างๆ เหมือนกัน กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมากกว่าจะมีความแข็งแรง ความหนา และความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่ำกว่า

2.4.1.2 ความหนา (Caliper) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (Inches) หรือมิล (Mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในอุตสาหกรรมกระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและน้ำหนักมาตรฐานได้เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent Density) ซึ่งจะเป็นการเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาไม่เท่ากันสามารถหาได้ดังนี้

น้ำหนักกระดาษ	49	กรัมต่อตารางเมตร
ความหนา	0.085	มิลลิเมตร
ความหนาแน่นเสมือน	$49 / (8.5 \times 10^{-5})$	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
หรือ	576470.58	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

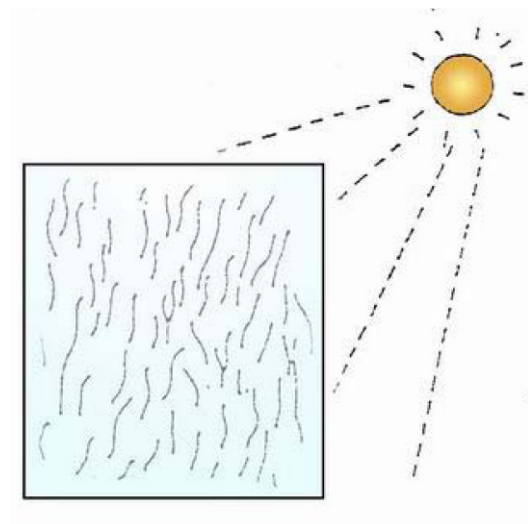


ภาพที่ 2-8 เครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนัมาตรฐาน [20]

หน่วยของความหนาแน่นเสมือนที่นิยมใช้ในระบบ SI กำหนดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นความหนาแน่นเสมือนที่ได้ของกระดาศชนิดนี้จะเป็น 576 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นกระดาศที่มีน้ำหนักเท่ากัน แต่มีความหนาของกระดาศต่างกัน กระดาศที่มีความหนามากจะให้ค่าความหนาแน่นเสมือนน้อย ความหนาของกระดาศมีความสำคัญเพราะเครื่องพิมพ์ในแต่ละระบบการพิมพ์หรือเครื่องพิมพ์ในระบบการพิมพ์ หรือเครื่องพิมพ์ในระบบการพิมพ์เดียวกันแต่ผลิตจากผู้ผลิตต่างรายกันไม่สามารถพิมพ์ได้ในทุกความหนา การพิมพ์กระดาศที่มีความหนาต่างกันต้องมีการปรับตั้งส่วนต่างๆ ของเครื่องพิมพ์แตกต่างกัน เพื่อให้สภาพการเดินกระดาศคล่องบนเครื่องพิมพ์มีมากที่สุด

2.4.1.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาศ (Formation) หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวข้องประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกัน ในแต่ละบริเวณของกระดาศ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาศพิมพ์ เมื่อนำกระดาศเนื้อไม่สม่ำเสมอ (Wild Formation) ไปพิมพ์ จะได้กระดาศพิมพ์ที่มีคุณภาพไม่ดี ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อกระดาศเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาศ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่างๆ ที่นำมาผสมกัน มีความแตกต่างกันในขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสงและองค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสมและการเดินแผ่น ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการกระจายตัว และจับตัวของสารผสมเหล่านี้ทั้งสิ้น การตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาศสามารถทำได้โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่างถ้ากระดาศมีความสม่ำเสมอ (Poor Formation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาศไม่สม่ำเสมอ ปรากฏภาพเป็นดวงๆ เป็นทางๆ หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ ความสม่ำเสมอของกระดาศมีผลต่อสมบัติของกระดาศ ปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดที่กำหนดเป็นมาตรฐานการพิมพ์

ความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของเส้นใยในกระดาษให้ดีขึ้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เยื่อใยสั้นมาผสมทำเป็นกระดาษในปริมาณมากขึ้น เพิ่มปริมาณการบดเยื่อให้มากขึ้น ลดความเร็วของสายพานตะแกรงแยกน้ำ เป็นต้น

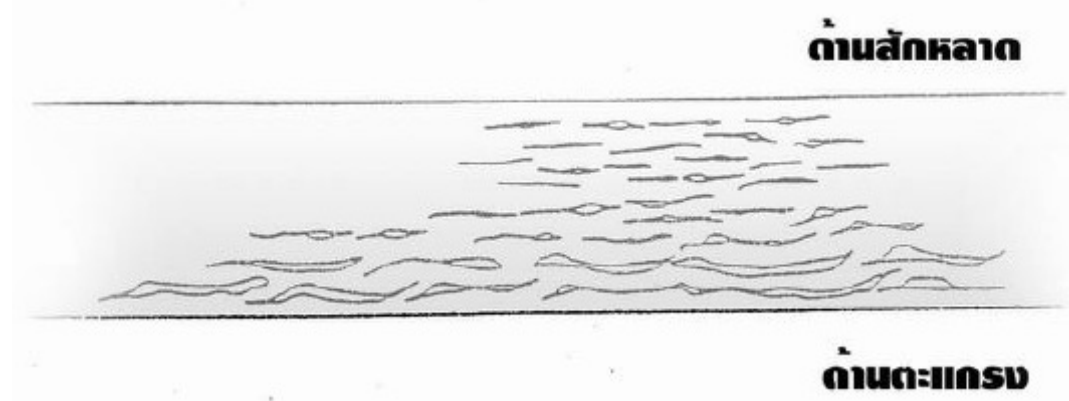


ภาพที่ 2-9 วิธีตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation) [20]

2.4.1.4 ทิศทางของเส้นใย (Directionality) หมายถึง แนวหรือทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ โดยถ้าพิจารณาจากการเกิดเป็นแผ่นกระดาษของน้ำเยื่อบนกระดาษจะพบว่าเส้นใยเซลลูโลสส่วนมากมีการเรียงตัวไปในทิศทางการไหล และการเคลื่อนที่ของตะแกรงบนเครื่องผลิตกระดาษ ดังนั้นแนวการเรียงตัวของเส้นใยหรือแนวเส้นใยของกระดาษจึงอยู่ใน “แนวนานเครื่อง” (Machine Direction, MD) หรือแนวเกรน (Grain Direction) มากกว่า ส่วนแนวของกระดาษที่ตั้งฉากกับแนวนานเครื่องเรียกว่า “แนวขวางเครื่อง” (Cross Direction, CD) หรือแนวขวางเกรน (Cross-Grain Direction) เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยในกระดาษทั้งสองแนวมีความแตกต่างกัน ทำให้สมบัติทางเชิงกลของกระดาษทั้งสองแนวแตกต่างกัน (Paper Anisotropy) การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษ มีความสำคัญมากในขั้นตอนการนำกระดาษไปแปรรูป ยกตัวอย่างเช่น การหักพับ เชาะร่อง สามารถทำได้ง่ายในแนวนานเครื่อง และค่าความทรงรูปในแนวนานเครื่องที่สูงกว่า มีประโยชน์ในการออกแบบแฟ้ม หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ในแนวการตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษอาจทำได้โดยวิธีง่ายๆ ดังนี้

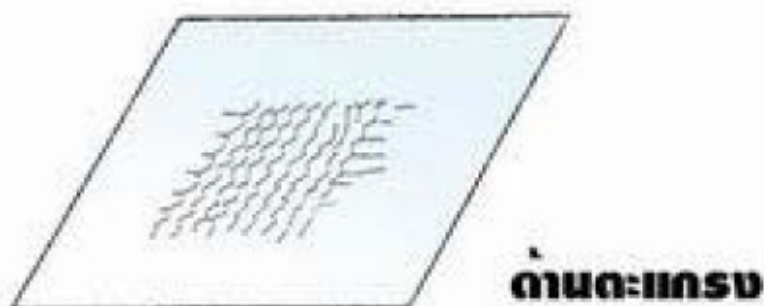
ก) ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-Sideness) คือ ด้านตะแกรง (Wire Side, WS) เป็นด้านบนเวลาทำกระดาษ ที่จริงแล้วควรเรียกว่าด้านบน (Top Side) และ ด้านสักหลาด (Felt Side, FS) ในส่วนตะแกรงลาดเดินแผ่นจะมีการสั่นสะเทือนของเครื่องเพื่อไม่ให้

เส้นใยจับกลุ่มกันและในส่วนตะแกรงลาดดินแผ่นนี้ น้ำเยื่อจะเริ่มก่อตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรองและมีการแยกน้ำออก โดยใช้เครื่องดูดเยื่อละเอียด หรือสารเติมแต่งต่างๆ ให้หลุด



ภาพที่ 2-10 ความแตกต่างของผิวกระดาษทั้ง 2 ด้าน ในด้านการจัดเรียงตัวของเส้นใย [20]

ไปพร้อมน้ำ เมื่อมองในทิศทางของ Z (Z-Direction) หรือภาคตัดขวางของกระดาษทั้งแผ่น จะเห็นว่าผิวกระดาษทั้งสองด้านมีองค์ประกอบต่างๆ แตกต่างกัน คือ ด้านบนหรือด้านสั๊กหลอด จะมีส่วนของเยื่อละเอียด (Fine) และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยอยู่มากในขณะที่ด้านล่างหรือด้านตะแกรง จะมีส่วนที่เป็นเส้นใย และมีการจัดเรียงตัวตามแนวเกรนของเครื่องมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากด้านตะแกรงนั้น ส่วนของเยื่อละเอียดและอนุภาคของสารเติมแต่งๆ สามารถลอดผ่านตะแกรงไปได้ ผิวกระดาษด้านตะแกรงจะหยาบกว่าด้านสั๊กหลอด ความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้านจะมีผลต่อความเรียบ การดูดซึมน้ำและน้ำมัน โดยเฉพาะในด้านการพิมพ์ ความแตกต่างของผิวกระดาษไม่ควรแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการผลิตกระดาษปัจจุบันจะพยายามปรับความแตกต่างของผิวกระดาษโดยมีการผลิตตะแกรงที่มีความเรียบสูงขึ้น วิธีตรวจสอบผิวกระดาษว่าด้านไหนเป็นด้านตะแกรงหรือด้านสั๊กหลอดสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้



ภาพที่ 2-11 รอยตะแกรงของผิวกระดาษ [20]

1. การสังเกตว่าด้านไหนที่แสดงรอยตะแกรงจะเป็นด้านตะแกรง (WS)
2. การตรวจสอบโดยการนิกษาคที่มุม และสังเกตรอยนิกษาค โดยคว่ำกระดาษให้ด้านหนึ่งขนานกับพื้นแล้วนิกที่มุม ถ้านัยนิกบริเวณมุมเป็นแนวกว้างของการลอกออกของเส้นใยมาก แสดงว่าเป็นด้านตะแกรง เพื่อให้แน่ใจลองพลิกกระดาษในด้านตรงข้าม แล้วนิกที่มุมเทียบรอนิกที่ได้

ข) การตรวจสอบการโค้งงอ (Curl Test) ตัดกระดาษเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 ตารางนิ้ว แล้วใช้น้ำทาเพียงด้านเดียว กระดาษจะงอตามแนวขวางเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2-12



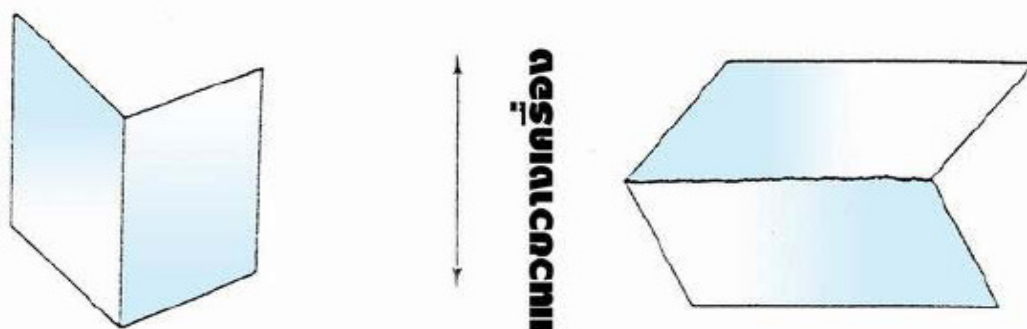
ภาพที่ 2-12 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการโค้งงอของกระดาษ [20]

ค) การตรวจสอบโดยการนิกกระดาษ ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องจะนิกได้ง่ายกว่า และแนวตรงกว่าการนิกในแนวขวางเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2-13



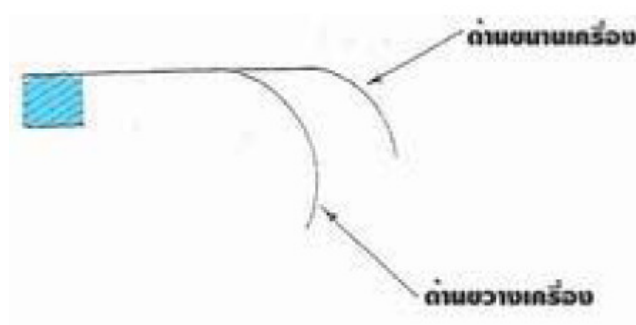
ภาพที่ 2-13 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการนิกกระดาษ [20]

ง) การตรวจสอบโดยการพับกระดาษ ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องรอยพับจะเรียบกว่าแนวขวางเครื่อง สำหรับแนวขวางเครื่องนั้นเมื่อพับแล้วจะเป็นรอยแตกหักและไม่เรียบ ถ้าเป็นกระดาษแข็งสามารถสังเกตเห็นรอยแตกได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการพับกระดาษ [20]

จ) การตรวจสอบโดยการดูความทรงรูป โดยการตัดกระดาษให้มีความกว้างและความยาวเท่ากันปล่อยให้กระดาษโค้งงอ โดยน้ำหนักตัวเองหรือแรงจากภายนอกเท่ากันมากระทำ พบว่าถ้าเป็นแนวขวางเครื่องจะโค้งงอได้มากกว่าแนวนานเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 การตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูความทรงรูป [20]

2.4.1.5 ค่าดัชนีการยอมให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ (Freeness Index) หมายถึงความสามารถของเยื่อกระดาษในการยอมให้น้ำไหลผ่าน ซึ่งสิ่งนี้เป็นตัวบอกลถึงความสัมพัทธ์ของพื้นผิวและการพองตัวของเส้นใย ถ้ามีการพองตัวของเส้นใยมาก พื้นผิวมีการขยายตัวติดกันมากขึ้น อาจทำให้เยื่ออุ้มน้ำได้ดี นอกจากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ผลการทดลองจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแต่ละการทดลอง ได้แก่ การเตรียมความเข้มข้นของน้ำสต็อก อุณหภูมิ คุณภาพน้ำ ชนิดของเยื่อที่ใช้ และความยาวของเส้นใย เส้นใยที่ยาว เช่นเส้นใยที่ได้จากกระบวนการทางเคมีของไม้เนื้ออ่อน จะมีความหลากหลายของดัชนีการยอมให้น้ำไหลผ่านของเยื่อที่ได้น้อยกว่าไม้เนื้อแข็ง ผลการทดลองจะอยู่ที่ประมาณ 300-500 มิลลิลิตร กระบวนการนี้ถูกออกแบบอย่างง่ายเพื่อให้เหมาะกับการทดสอบปริมาณเยื่อ และขนาดของชิ้นไม้ในโรงงานซึ่งรวมถึงการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอัตรา

การระบายน้ำของเยื่อซึ่งบางทีอาจเป็นเพราะความเข้มข้นที่หลากหลาย จึงทำให้ดัชนีการยอมให้น้ำไหลผ่านของเยื่อไม่เป็นไปตามกฎ โดยปกติเกิดที่ค่าต่ำกว่า 100 มิลลิลิตร ค่าดัชนีการยอมให้น้ำไหลผ่านของเยื่อไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับค่าการระบายน้ำของวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นเยื่อ

2.4.1.6 ปริมาณเยื่อกระดาษทั้งหมด (Total yields = Screen yields + Reject yields) หมายถึง ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ พันธะเคมีของลิกนินจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยวิธีการและ/หรือสารเคมีที่ใช้ เยื่อกระดาษที่ได้จะมีสีค่อนข้างน้ำตาลเนื่องจากมีปริมาณลิกนินบางส่วนผสมอยู่ในเยื่อ ปริมาณเยื่อที่ได้ทั้งหมด จะประกอบด้วยเยื่อที่สามารถผ่านการคัดขนาดและเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาดใช้มาตรฐานของ TAPPI 275 sp-98 โดยที่เครื่องคัดขนาดใช้เหล็กกล้าที่ไม่ขึ้นสนิม

2.4.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษ (Mechanical Properties) [20]

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งหมายถึง การที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่กระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่กระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งวัดได้จากสมบัติเชิงกล ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษด้วย

2.4.2.1 ความต้านต่อแรงดึงขาด (Tensile Strength) คือความต้านแรงดึงขาดที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว (Tensile Stress) ความต้านแรงดึงขาดของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดาษในระบบการพิมพ์ป้อนม้วนมากกว่ากระดาษในระบบแบบป้อนแผ่น เนื่องจากการพิมพ์ในระบบป้อนม้วนกระดาษต้องได้รับแรงดึงตลอดเวลา หากกระดาษที่ใช้มีความต้านแรงดึงขาดน้อย อาจทำให้เกิดการขาดของกระดาษในระหว่างการพิมพ์ได้ นอกจากนี้กระดาษที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ก็จำเป็นต้องมีความต้านแรงดึงขาดด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปอาจมีแรงดึงกระทำต่อกระดาษไม่มากนักน้อย กระดาษในแนวยาวเครื่องมีความต้านแรงดึงขาดมากกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อความต้านแรงดึงขาดของกระดาษ ได้แก่ ชนิดของเยื่อ ปริมาณการบดเยื่อ ปริมาณการครีดย่น น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ปริมาณของตัวเติม และปริมาณความชื้นในกระดาษ กระดาษที่ทำจากเยื่อใยยาวและผ่านการบดเยื่อมากกว่ามีความต้านแรงดึงของกระดาษมากกว่าที่ทำจากเยื่อที่มีเส้นใยสั้นกว่า และผ่านการบดเยื่อน้อยกว่า เพราะเยื่อใยยาวและการบดเยื่อมากทำให้เส้นใยในเซลล์ลูโลสเกิดพันธะเคมีต่อกันได้มากขึ้น จึงมีความต้านแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น การครีดย่นน้ำก็มีส่วนทำให้ความต้านแรงขาดต่อแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ด้วยเหตุผลเดียวกับการใช้เยื่อใยยาวและการเพิ่มปริมาณการบดเยื่อ โดยทั่วไปกระดาษมีความต้านแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักมาตรฐานที่เพิ่มขึ้นด้วย ความต้านแรงดึงขาดของกระดาษมีน้อยลง

เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเติมให้กระดาศและปริมาณความชื้นในกระดาศมีมาก เพราะตัวเติมที่เติมเข้าไปมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะเคมีระหว่างกันได้น้อยลง ส่วนน้ำทำให้พันธะเคมีระหว่างเส้นใยมีความแข็งแรงน้อยลง ทั้งสองปัจจัยจึงมีผลทำให้ความต้านแรงดึงขาดของกระดาศมีน้อยลง

2.4.2.2 ความต้านแรงดันทะลุขาด (Bursting Strength) หมายถึงความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของกระดาศในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดาศจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเมตร (Kg/m^2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) ความต้านแรงดันทะลุขาดนี้ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความต้านแรงดึงขาดในแนวนานเครื่อง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของแรงที่กระทำต่อขึ้นทดสอบ อธิบายได้ว่า จากการที่พื้นที่ทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลม ในการทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบทำงานแผ่นไดอะแฟรมจะถูกดันให้โป่งขึ้นจนทำให้กระดาศแตกทะลุ ก่อนที่กระดาศจะแตกออก กระดาศจะเกิดการยืดตัวออกไปในทุกทิศทุกทางแต่เนื่องจากกระดาศมีความยืดในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน ดังนั้นความสามารถในการรับแรงที่กระทำจึงไม่เท่ากันทุกทิศทาง แนวรอยแตกของขึ้นทดสอบที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตั้งฉากกับแนวนานเครื่องของกระดาศ เพราะกระดาศมีการยืดตัวในแนวที่ต่ำกว่าแนววงเครื่อง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถบอกได้ว่า แนวรอยแตกเป็นแนวเดียวกันกับแนวนานเครื่องของกระดาศ ความต้านแรงดันทะลุขาดของกระดาศที่ผลิตจากเยื่อใยยาว มีมากกว่ากระดาศที่ผลิตจากเยื่อใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อและการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงผิว ทำให้กระดาศมีความต้านแรงดันทะลุขาดของกระดาศเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงผิวทำให้ความต้านแรงดันทะลุขาดของกระดาศลดลง ความต้านแรงดันทะลุขาดเป็นความแข็งแรงของกระดาศที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน โดยเฉพาะสิ่งนำไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ

2.4.2.3 ความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาศที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ขึ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม (gram) กระดาศที่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาดได้แก่ กระดาศทำถุง กระดาศพิมพ์และเขียน หลักการในการตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาดทำได้โดยใส่ขึ้นทดสอบที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ในระหว่างปากจับบนแท่นเครื่องและบนลูกตุ้มเคลื่อนที่ ใช้ใบมีดตัดขึ้นทดสอบเป็นการฉีกนำยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ ขึ้นทดสอบจะฉีกขาด ความต้านแรงฉีกขาดนี้ขึ้นกับความยาวของเส้นใยเซลลูโลสเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อก็มีผลทำให้ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาศเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามหากบดเยื่อมากเกินไปจนทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงมาก ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาศก็จะลดน้อยลง แม้ว่าเส้นใยเซลลูโลสจะเกิดพันธะกันไว้ ทั้งนี้กระดาศในแนวนานเครื่องมีความต้านแรงฉีกขาดน้อยกว่ากระดาศในแนววงเครื่อง

2.4.2.4 ความทรงรูป (Stiffness) หมายถึง ความต้านทานของกระดาษต่อการโค้งที่เกิดจากน้ำหนักของตัวกระดาษเอง หรือแรงอื่นที่กระทำต่อกระดาษนั้น ความทรงรูปของกระดาษมีความสำคัญต่อการป้อนและรับกระดาษบนเครื่องพิมพ์ โดยปกติในการป้อนกระดาษเข้าพิมพ์มักป้อนกระดาษในแนวนานเครื่อง โดยให้มีทิศทางเดียวกับทิศทางการเดินแผ่นของเครื่องพิมพ์ เนื่องจากกระดาษในแนวนานเครื่องมีความทรงรูปมากกว่า ทำให้สภาพการเดินกระดาษคล่องดีกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง การเพิ่มความแข็งตัวของกระดาษทำได้โดยเพิ่มปริมาณการบดเยื่อ แต่การบดเยื่อมากเกินไปมีผลทำให้ความแข็งตัวของกระดาษลดลงเนื่องจากทำให้เส้นใยมีความยาวน้อยลง ความทรงรูปของกระดาษลดลงตามปริมาณของตัวเติมที่เติมให้กระดาษ ปริมาณความชื้นในกระดาษ และปริมาณการรีดกระดาษที่เพิ่มขึ้น

2.4.2.5 ความต้านการพับขาด (Folding Endurance) หมายถึงการพับไปพับมา (Double Folds) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็น จำนวนครั้ง หรือ $\log 10$ ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความต้านการพับขาดจะเป็นการวัดที่รวมความต้านแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษ และความต้านทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ หลักการในการตรวจสอบความทนต่อการพับขาดทำโดยยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบด้วยแรงคงที่ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกจับด้วยปากจับแล้วพับไปมาด้วยความเร็วคงที่ และองศาตามมาตรฐานกำหนดจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

2.4.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical Properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมา โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์อย่างเดียวได้แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกตและสมองตัดสินใจรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสงหรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

2.4.3.1 ความขาวสว่าง (Brightness) หมายถึงค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินในช่วงคลื่น 457 นาโนเมตรเท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่าง เพื่อต้องการดูผลของการฟอกเยื่อเป็นสำคัญ เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อนเนื่องจากเนิ่นจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำแต่เมื่อขจัดคลินินหรือเปลี่ยนโครงสร้างแล้ว เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินสูงขึ้น

2.4.3.2 ความทึบแสง (Opacity) เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพหรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏ จนเกิดปัญหาในการอ่านและความชัดเจนของสิ่งที่พิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวในช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษพื้นดำสนิทแผ่นเดียวที่รองอยู่ด้านหลังกับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุ ความทึบแสงและความสว่างขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการดูดซับแสง กระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากจะมีปัญหาด้านความทึบแสงที่น้อยลง การใช้ตัวเติมเพิ่มการกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษ จะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

2.4.3.3 ความมันวาว (Gloss) เป็นสมบัติของกระดาษเคลือบผิว และความจำเป็นต่อการใช้งานมากกว่า กระดาษอาร์ตด้าน (Matt Art) ซึ่งมีความมันวาวต่ำก็สามารถให้ผลงานพิมพ์คุณภาพสูงได้โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ นิยมให้เชิงมุม 75 องศากับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (Specular) ดังกล่าวมีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไป (Diffuse) ผิวกระดาษจะดูมันวาวมาก เช่น กระดาษชุบไข (Waxed Paper) จึงอาจใช้มุมในการวัด เช่น 20 องศา ความมันวาวของกระดาษกับความเรียบของผิวกระดาษ มิได้มีความสัมพันธ์กันเสมอไป

2.4.3.4 ความขาว (Whiteness) เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง คนจะรู้สึกว่กระดาษหรือวัสดุใดมีสีขาวกว่าอีกสิ่งหนึ่ง ถ้ากระดาษนั้นสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นออกมาสม่ำเสมอ การย้อม (Tinting) กระดาษขาวด้วยสีม่วงหรือสีน้ำเงินให้ดูขาวขึ้นก็เพราะแสงสีเหลืองและแสงสีแดงถูกดูดซับไว้มากขึ้น จึงถูกสะท้อนออกมาน้อยลง หากวัดค่าความขาวสว่าง จะพบว่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสีที่ใส่ลงไปในการกระดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงินจะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่น การใช้สารฟอกขาวในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Fuad และคณะ [1] ศึกษาหาแหล่งของเส้นใยต่างๆ เช่น เส้นใยของพืชล้มลุก ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษและยังมีการศึกษาด้านทุนในการผลิตเยื่อเหล่านี้ ผลการศึกษาพบว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้เช่นเดียวกับเยื่อกระดาษจากไม้ยืนต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทย มีการปลูกปาล์มน้ำมันกันอย่างแพร่หลาย และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศเหล่านี้ แต่เนื่องจากการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อที่จะนำน้ำมันที่ได้มาใช้ประโยชน์เท่านั้น จึงทำให้มีส่วนที่เหลือใช้จากสวนปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นทุกวันในปริมาณมาก ก่อให้เกิดปัญหากับทางสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมาก จากการติดตาม

รายงานจากประเทศมาเลเซียเพียงประเทศเดียว ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2.57 ล้านเฮกเตอร์ ภายใน 1 ปีสามารถผลิตขยะจากส่วนต่างๆของต้นปาล์ม คิดเป็นจำนวนปาล์มน้ำมันที่ตากจนแห้งแล้ว ประมาณ 20,336 กิโลกรัม ต่อ เฮกเตอร์ หรือประมาณ 52.3 ล้านตัน ในปี 1996 และในปี 2000 ปริมาณการปลูกปาล์มน้ำมันก็เพิ่มขึ้นเป็น 3.151 ล้านเฮกเตอร์ ซึ่งมีขยะจากส่วนต่างๆของต้นปาล์ม คิดเป็นจำนวนปาล์มน้ำมันที่ตากจนแห้งแล้ว ประมาณ 56.9 ล้านตัน แต่สิ่งที่น่าสนใจก็คือ เมื่อนำขยะเหล่านี้ 75% โดยประมาณ มาทำการทดลองผลิตเป็นเชื้อที่สามารถนำมาใช้ได้ จะได้ผลผลิตถึง 45% หรือประมาณ 14.8 ล้านตัน

2.5.2 Law และ Wan Roali [21] ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ และสมบัติของเส้นใยกระดาษที่ได้จากส่วนต่างๆของต้นปาล์ม เช่น ลำต้น ทางใบ ทะลาย พบว่าทางใบจะให้เส้นใยที่ยาวที่สุด ความยาวเฉลี่ยประมาณ 1.59 มิลลิเมตร ซึ่งยาวกว่าเส้นใยของพืชยืนต้นที่ยาวที่สุดด้วย เนื่องด้วยประสิทธิภาพของทางใบของปาล์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะการทนต่อการยืดหยุ่น และการฉีกขาดได้ดีของเส้นใยนี้ ทำให้เกิดการค้นคว้าถึงลักษณะของเส้นใยจากทางใบของต้นปาล์ม โดยออกแบบการทดลองแบบเซ็นเซอร์คอมพิวเตอร์ (CCD) เพื่อทดสอบผลกระทบที่มีต่อสมบัติของเส้นใย โดยใช้การผลิตเยื่อแบบโซดา พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ประกอบด้วย ลิกนิน 14.81% โอลิโกเซลลูโลส 86.53% แอลฟาเซลลูโลส 62.34% สารแทรก 1.8% โดยใช้ทะลาย และทางใบที่ตัดแล้วมีความยาวประมาณ 1.59 มิลลิเมตร ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่าง 160-180 °C ความเข้มข้นของแอคทีฟอัลคาไลด์ 20-30% เวลาในการทำปฏิกิริยา 1-2 ชั่วโมง พบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ดี คือเวลาในช่วงสั้นๆ ประมาณ 60 นาที อุณหภูมิ 160-180 °C และปริมาณความเข้มข้นของแอคทีฟอัลคาไลด์ 20-30% จะสามารถจัดลิกนินออกได้ดี และถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา

2.5.3 P.Khrstova และคณะ [22] ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยของยูคาลิปตัส โดยใช้กระบวนการผลิตเยื่อ 4 กระบวนการ ทั้งที่มีการเติมและไม่เติมสารช่วยทำปฏิกิริยา แล้วนำการทดลองครั้งที่ได้คุณสมบัติที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการมาอภิปราย โดยแต่ละกระบวนการที่นำมาอภิปราย มีสถานะที่ต่างกัน ดังนี้ คราฟท์(Kraft) ใช้ 17.1% Na_2O เป็นแอคทีฟอัลคาไลด์ และอัตราส่วนของ $\text{Na}_2\text{SO}_3 : \text{NaOH}$ 40 : 60 อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 165 นาที ผลปรากฏว่าเยื่อที่ได้มีปริมาณ 47.0% เป็นเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด 46.9% และเป็นเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 0.1% ค่าดัชนีความขาวสว่าง 22.3% ค่าแคลปานัมเบอร์ 20.9 ค่าดัชนีการที่เยื่อยอมให้น้ำไหลผ่าน 15.5 ml,CSF ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด 33.0 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อ 1.9 mN.m²/g ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด 1.4 kPa.m²/g คราฟท์- แอนทราควิโนน (Kraft-AQ) ใช้ 17.1% Na_2O เป็นแอคทีฟอัลคาไลด์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 165 นาที ต่างจากคราฟท์ตรงที่เพิ่มสารแอนทราควิโนน 0.1% ผลปรากฏว่าเยื่อที่ได้

มีปริมาณ 47.0% เป็นเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด 47.9% และเป็นเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 0.0% ค่าดัชนีความขาวสว่าง 21.9% ค่าแคลปานัมเบอร์ 19.3 ค่าดัชนีการที่เยื่อยอมให้น้ำไหลผ่าน 16 ml,CSF ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด 36.8 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อ 2.8 mN.m²/g ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด 1.5 kPa.m²/g จะเห็นได้ว่ากระบวนการกราฟที่นี้มีสถานะที่เท่ากันทั้งหมด ต่างกันตรงที่เติมสารแอนทราควิโนนเข้าไป แต่คุณสมบัติของเยื่อที่นำมาทำกระดาษดีขึ้น กระบวนการโซดา-แอนทราควิโนน (Soda-AQ) ใช้ 17.1% Na₂O เป็นแอคทีฟอัลคาไลด์ และสารแอนทราควิโนน 0.1% อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 165 นาที ผลปรากฏว่าเยื่อที่ได้มีปริมาณ 47.7% เป็นเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด 47.6% และเป็นเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 0.1% ค่าดัชนีความขาวสว่าง 22.3% ค่าแคลปานัมเบอร์ 22.0 ค่าดัชนีการที่เยื่อยอมให้น้ำไหลผ่าน 17.0 ml,CSF ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด 34.1 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อ 2.9 mN.m²/g ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด 1.3 kPa.m²/g อัลคาไลน์-ซัลไฟท์-แอนทราควิโนน(ASA) ใช้ 18.6% Na₂O เป็นแอคทีฟอัลคาไลด์ และสารแอนทราควิโนน 0.1% อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 165 นาที ผลปรากฏว่าเยื่อที่ได้มีปริมาณ 49.3% เป็นเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด 47.8% และเป็นเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 1.5% ค่าดัชนีความขาวสว่าง 26.3% ค่าแคลปานัมเบอร์ 19.6 ค่าดัชนีการที่เยื่อยอมให้น้ำไหลผ่าน 16.5 ml,CSF ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด 36.2 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อ 3.0 mN.m²/g ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด 1.4 kPa.m²/g และอัลคาไลน์ซัลไฟท์-แอนทราควิโนน-เมทานอล (ASAM) ใช้ 18.6% Na₂O เป็นแอคทีฟอัลคาไลด์ และสารแอนทราควิโนน 0.1% อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 165 นาที ผลปรากฏว่าเยื่อที่ได้มีปริมาณ 49.2% เป็นเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด 47.9% และเป็นเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 1.3% ค่าดัชนีความขาวสว่าง 38.6% ค่าแคลปานัมเบอร์ 16.8 ค่าดัชนีการที่เยื่อยอมให้น้ำไหลผ่าน 15.5 ml,CSF ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด 41.4 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อ 3.1 mN.m²/g ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด 1.6 kPa.m²/g จากผลการทดลองจะเห็นว่ากระบวนการที่เติมแอนทราควิ-โนนจะให้ผลการทดลองที่ค่อนข้างดี เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกราฟที่ไม่ได้เติมแอนท-ราควิโนน การกำจัดลิกนินและปริมาณเยื่อที่ได้ก็มากขึ้น กระบวนการ ASA ได้ผลการทดลองค่อนข้างจะดี กระบวนการ ASAM ได้เยื่อมาก ความขาวสว่างก็ดี แต่ค่าแคลปาต่ำ แต่เยื่อที่ได้เหล่านี้เมื่อนำมาฟอกแล้ว สามารถนำมาทำเป็นกระดาษพิมพ์เขียนได้

2.5.4 James S. Han[23] ศึกษาสถานะที่ต่ำที่สุดที่จะสามารถผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือก ถั่ว และส่วนที่เหลือทั้งหมดของลำต้นของปอ ด้วยกระบวนการผลิตเยื่อของโซดา-แอนท-ราควิโนน โดยเวลาในการผลิตเยื่อกระดาษอยู่ในช่วง 90-120 นาที อุณหภูมิอยู่ในช่วง 150-160°C อัตราส่วนระหว่างปอแห้งต่อสารละลายที่ใช้เป็น 6 : 1 พบว่า ปริมาณแอคทีฟอัลคาไลด์ที่ต่ำที่สุดที่สามารถ

ผลิตเชื้อจากเปลือกปอได้ คือ 12% จากแกนและส่วนอื่นที่เหลือ คือ 15% โดย ใช้เวลาในการต้มเชื้อ 120 นาที และ 90 นาทีตามลำดับ ใช้ปริมาณ 0.15% แอนทราควิโนน อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากเปลือกจะได้ปริมาณเชื้อเท่ากับ 63.9% ค่าแคลปานัมเบอร์เท่ากับ 16 จากแกนจะได้ปริมาณเชื้อเท่ากับ 48.8% ค่าแคลปานัมเบอร์เท่ากับ 32 และ จาก ส่วนอื่นๆ ที่เหลือจะได้ปริมาณเชื้อเท่ากับ 50.2% ค่าแคลปานัมเบอร์เท่ากับ 26 แต่หากใช้ปริมาณแอคติฟัลคาไลด์ที่ต่ำกว่านี้จะทำให้ปอไม่แตกออกเป็นเชื้อ ถึงแม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิ และ เวลาในการต้มเชื้อก็ตาม

2.5.5 P. H'ng [24] ศึกษาโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์-แอนทราควิโนน (KOH – AQ) ในการผลิตเชื้อกระดาษ พบว่า ได้ปริมาณเชื้อกระดาษ 44% ค่าแคลปานัมเบอร์ต่ำ ความสามารถในการตี และความขาวของเชื้อกระดาษดีกว่าเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการผลิตเชื้อกระดาษโดยใช้วิธีโซดาแอนทราควิโนน คุณสมบัติต่างๆ ในด้านของความแข็งแรงคงทนอยู่ในระดับที่สูงกว่า วิธีการผลิตเชื้อกระดาษโดยวิธีกราฟท์ของไม้ยืนต้น และมีความเหมาะสมในการผลิตกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์ และเขียน นอกจากนี้โพแทสเซียมยังสามารถนำกลับมาใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีในกระบวนการต้มเยื่อ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ต้มเยื่อ คือ ถังความดันสเตนเลส เกรด 304 ขนาด 40 ลิตร พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์นี้ปรับปรุงให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สูงขึ้นถึง 170 องศาเซลเซียส และทนความดันสูงสุดได้ถึง 10 บาร์ ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้พลังงาน และน้ำมันเป็นตัวให้ความร้อน

3.1.2 ปีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร

3.1.3 ตะแกรง สำหรับล้างและกรองเยื่อ

3.1.4 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถังพลาสติก ประแจ ถังมือยางทนเบส ตู้เย็นสำหรับเก็บเยื่อ

3.1.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.6 สารแอนทราควิโนน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง

3.1.7 อุปกรณ์ทดสอบเยื่อกระดาษเป็นไปตามมาตรฐาน Texhcnical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันพันธุ์ Elais Guineensis จากสวนอำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตัดทางใบปาล์มน้ำมันขณะการเก็บเกี่ยวผลปาล์มน้ำมัน หรือตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมันประจำปี ทำความสะอาดทางใบปาล์มน้ำมันด้วยน้ำ แล้วลอกเปลือกทางใบออก หลังจากนั้นตัดทางใบปาล์มเป็นชิ้นขนาดความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้มีความชื้น ประมาณ 77.49%



ภาพที่ 3-1 หม้อต้มเยื่อพร้อมชุดควบคุม

3.3 วิธีการต้มเยื่อ

3.3.1 นำทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และ หาความชื้นของทางใบปาล์มที่เตรียมได้ เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำหนักรวตฤดบแหง ให้ได้ปริมาณรวตฤดบแหง 250 กรัม ดังตารางที่ 3-1

3.3.2 กำหนดเงื่อนไขของการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Design Expert

3.3.3 เตรียมแอนทราควิโนนร้อยละ 0.1 ต่อน้ำหนักรวตฤดบแหง ผสมเข้าด้วยกันกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ (ร้อยละ 35-45 ของน้ำหนักรวตฤดบแหง) ปริมาตร 3.5 ลิตร เพื่อให้ได้อัตราส่วนสารละลายต่อรวตฤดบแหงเท่ากับ 14 : 1 โดยปริมาณน้ำจะคิดรวมกับปริมาณความชื้นในทางใบปาล์มน้ำมันแหงด้วย โดยแสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก

3.3.4 หลังจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แอนทราควิโนนร้อยละ 0.1 ที่เตรียมไว้ผสมจนเข้ากันได้ดี นำสารละลายที่ได้นี้ไปผสมเข้ากับทางใบปาล์มน้ำมันแหง (กรณีที่ใช้จริงในการทดลองนี้ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสด เนื่องจากไม่สามารถรอตากจนแหงได้ เพราะทางใบปาล์มน้ำมันที่ปอกเปลือกออกแล้วสามารถเกิดเชื้อราได้ง่ายมาก) แห้งทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นใส่ในหม้อต้มเยื่อ (คิดเป็นอัตราส่วนของสารละลายต่อทางใบปาล์มน้ำมันแหงเท่ากับ 14 ต่อ 1)

3.3.5 ปิดฝาหม้อต้มให้แน่น ปิดวาล์ว ตรวจสอบปริมาณน้ำมันรอบนอกในหม้อต้มโดยให้สูงเกินกว่าระดับของ Heater

3.3.6 เปิดเครื่องให้ความร้อน กำหนดอุณหภูมิสูงสุดในการต้มเยื่อตามการทดลองที่ตั้งไว้ (150 ถึง 165 องศาเซลเซียส) ดังสภาวะการทดลองตารางที่ 3-2

3.3.7 จับเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่องจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นจับเวลาต่ออีกตามเวลาที่ใช้ต้มในสภาวะต่างๆ ที่อุณหภูมิที่กำหนด (ความดันในหม้อต้มจะเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในหม้อต้มเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 150-165 องศาเซลเซียส ความดันในหม้อต้มเยื่อจะอยู่ที่ประมาณ 6-9 บาร์)

3.3.8 ปิดเครื่องให้ความร้อน

3.3.9 ต่อท่อกับวาล์วด้านบนให้ปลายท่อผ่านลงในน้ำ เพื่อดักแก๊สที่เป็นเบสจากภายในหม้อต้ม จากนั้นค่อยๆ เปิดวาล์ว ให้ความดันภายในหม้อต้มลดลงจนเหลือ 1 บาร์

3.3.10 เปิดฝามือ ปล่อน้ำเบสภายในหม้อทิ้ง นำเยื่อในตระแกรงไปล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่เหลือปริมาณเบสในเยื่อ (โดยบีบน้ำจากเยื่อให้สัมผัสกับกระดาษลิตมัส สังเกตสีจะเปลี่ยนเป็นกลาง โดยเทียบจากข้างกล่องกระดาษลิตมัส)

3.3.11 เก็บเชื้อในลักษณะเชื้อเปียกในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3-1 รายการและวิธีการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน

รายการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1. การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (Alcohol-Benzene Solubility)	TAPPI-T204 cm-97
2. การละลายน้ำร้อน (Hot Water Solubility)	TAPPI-T207 om-93
3. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 (1% NaOH Solubility)	TAPPI-T212 om-98
4. ปริมาณขี้เถ้า (Ash)	TAPPI-T211 om-93
5. ปริมาณลิกนิน (Lignin)	TAPPI-T222 om-98
6. ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)	Acid Chlorite Method of Browning
7. ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (Alpha-Cellulose)	TAPPI-T203 om-93
8. ปริมาณเบต้าเซลลูโลส (Beta-Cellulose)	TAPPI-T203 om-93
9. ปริมาณแกมมาเซลลูโลส (Gamma-Cellulose)	TAPPI-T203 om-93
10. ปริมาณเพนโตแซน (Pentosan)	TAPPI-T222 om-84

ตารางที่ 3-2 แสดงสภาวะที่ใช้ในการต้มเชื้อทางใบปาล์ม

สภาวะ	ปริมาณเชื้อแห้ง (กรัมแห้ง)	ความเข้มข้น เบส (ร้อยละ ต่อน้ำหนัก วัตถุดิบแห้ง)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่ใช้ (AQ) (ร้อยละ ต่อน้ำหนัก วัตถุดิบแห้ง)	อัตราส่วน ของ สารละลาย ต่อวัตถุดิบ แห้ง	เวลาที่ใช้ใน การต้มเชื้อที่ อุณหภูมิ สูงสุด (นาท)
1	250	35	150	0.1	14 : 1	120
2	250	35	165	0.1	14 : 1	120
3	250	45	150	0.1	14 : 1	120
4	250	45	165	0.1	14 : 1	120
5	250	40	155	0.1	14 : 1	120
6	250	40	155	0.1	14 : 1	120
7	250	40	155	0.1	14 : 1	120

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

สภาวะ	ปริมาณเยื่อแห้ง (กรัมแห้ง)	ความเข้มข้น เบส (ร้อยละ ต่อน้ำหนัก วัตถุดิบแห้ง)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่ใช้ (AQ) (ร้อยละ ต่อน้ำหนัก วัตถุดิบแห้ง)	อัตราส่วน ของ สารละลาย ต่อวัตถุดิบ แห้ง	เวลาที่ใช้ใน การต้มเยื่อที่ อุณหภูมิ สูงสุด (นาที)
8	250	40	155	0.1	14 : 1	120
9	250	40	155	0.1	14 : 1	120
10	250	40	147	0.1	14 : 1	120
11	250	40	168	0.1	14 : 1	120
12	250	33	155	0.1	14 : 1	120
13	250	47	155	0.1	14 : 1	120

3.4 การทดสอบเยื่อ

3.4.1 เยื่อที่ผ่านกระบวนการต้มแล้วนำไปคัดแยกเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI T 275-sp98 (Screening of Pulp (Somerville-Type Equipment))

3.4.2 เยื่อที่ผ่านการคัดแยกเยื่อแล้วนำไปทดสอบหาปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ โดยหาจากค่าแคลปา ตามมาตรฐาน TAPPI T 236 cm-85

3.4.3 นำเยื่อที่เหลือไปขึ้นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 220 sp-96 (Physical Testing of Pulp Handsheets) และ TAPPI 205 sp-95 (Forming Handsheets for Physical Tests of Pulp) เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกล ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แสดงมาตรฐานต่างๆ ที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเยื่อ

รายการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1. Screen Yield	TAPPI T 275 sp-98
2. Kappa Number	TAPPI T 236 cm-85
3. Freeness	TAPPI T 227 om-94
4. Basis Weight	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. Brightness	TAPPI T 452 om-98
6. Bursting Index	TAPPI T 403 om-97
7. Tearing Index	TAPPI T 414 om-98
8. Tensile Index	TAPPI T 494 om-96
9. Thickness	TAPPI T 411 om-97
10. Moisture Content	TAPPI T 258 om-06

3.5 วิธีทำการทดสอบเยื่อ

3.5.1 ปริมาณเยื่อที่ผ่านการคัดขนาดตามมาตรฐาน (Screen yield) TAPPI T 275 sq-98

3.5.1.1 คำจำกัดความ

ปริมาณเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด คือ ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่สามารถผ่านโลหะแผ่นบาง 6 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นมีรูกว้างขนาด 0.15 มิลลิเมตร อยู่ทั่วทั้งแผ่น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

3.5.1.2 อุปกรณ์

ก) เครื่องตีกระจายเยื่อ

ข) ถังใส่เยื่อที่กระจายตัวแล้ว

ค) เครื่องคัดขนาดของเยื่อ ประกอบด้วย

1. ถังใส่เยื่อที่ผ่านการคัดขนาด

2. แผ่นโลหะบาง ซึ่งมีรูให้เยื่อผ่านได้ขนาด 0.15 มิลลิเมตร 6 แผ่น

3. สายยาง น้ำไหลเข้า-ออก

4. ท่อติดกับกรวยสำหรับปล่อยน้ำและเยื่อที่ผ่านการคัดขนาดออก

ง) ถังใส่เยื่อที่ผ่านการคัดขนาด และ ถังเก็บเยื่อที่ซังน้ำหนักแล้ว

จ) บีกเกอร์ มีฝาปิด จดน้ำหนักของบีกเกอร์เปล่าข้างขวดเรียบร้อย สำหรับใส่เยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด

ฉ) โถดูดความชื้น (Desiccater)

3.5.1.3 วิธีการทดลอง

ก) นำเยื่อที่ได้ทั้งหมดหลังจากการต้ม เทใส่เครื่องตีกระจายเยื่อ เติมน้ำให้ถึงขีดที่กำหนดไว้ในเครื่อง ปิดฝาเครื่องให้สนิท เปิดเครื่องให้ทำงานประมาณ 5 นาที แล้วปิดเครื่อง เปิดก๊อกเอาน้ำและเยื่อใส่ถัง ถังเยื่อที่ติดอยู่ที่เครื่องด้วยน้ำเปล่า

ข) เปิดเครื่องคัดขนาด (ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนคัดขนาดมีตัวดูดน้ำและเยื่อเพื่อช่วยให้น้ำและเยื่อไหลลงได้ดี และส่วนที่รองรับน้ำและเยื่อ ส่วนนี้จะมีการหมุนเพื่อให้น้ำและเยื่อแยกออกจากกัน

ค) นำเยื่อในถัง ค่อยๆ เทลงไปที่เครื่องคัดขนาด จนกว่าจะหมดถัง ถังถังด้วยน้ำเปล่า อย่าให้มีเยื่อเหลือติดอยู่ตามขอบถัง

ง) รอจนกว่าน้ำและเยื่อด้านบนแผ่นโลหะเหลืออยู่น้อยมาก แล้วจึงเปิดน้ำเปล่าล้างให้เยื่อบางส่วนบนแผ่นโลหะที่ยังติดอยู่ผ่านช่องคัดขนาดลงไป จนกว่าจะเหลือแต่เยื่อที่ไม่สามารถผ่านไปได้

จ) ปิดเครื่องดูดน้ำ และเก็บเยื่อที่ไม่สามารถผ่านการคัดขนาดใส่บีกเกอร์

ฉ) นำไปอบที่ 105°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น ต่ออีก 1 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึก ทำซ้ำ ข้อนี้ จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่หรือใกล้เคียงกัน

ช) ปลอ่ยให้เครื่องหมุนเยื่อ ที่ผ่านการคัดขนาดหมุนไปจนกว่าเยื่อที่ได้จะแห้ง แล้วนำเยื่อที่ติดอยู่ที่ถุงใส่เยื่อที่ผ่านการคัดขนาดออก (โดยส่วนมากจะติดกันเป็นแผ่นยาวและหนา) ลิกเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถุงเก็บเยื่อ นำไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึก

3.5.2 การหาค่าความชื้น (Moisture Content) ตามมาตรฐาน TAPPI T 258 om-06

3.5.2.1 คำจำกัดความ

ปริมาณความชื้น หรือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเยื่อกระดาษที่เตรียมได้ หรือแผ่นกระดาษ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6-7

3.5.2.2 อุปกรณ์

ก) กระจกนาฬิกา

ข) ตู้อบกระดาษ

ค) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

ง) โถดูดความชื้น

จ) เครื่องวัดปริมาณความชื้นแบบอัตโนมัติ (Moisture Analyzer)

3.5.2.3 วิธีการทดลอง ทำได้ 2 วิธี คือ แบบ Manual และ แบบ Automatic

ก) Manual

1. ชั่งกระจกนาฬิกา และจดน้ำหนักที่แน่นอน 4 ตำแหน่ง
2. นำเยื่อที่ผ่านการคัดขนาดแล้วใส่ในกระจกนาฬิกา แล้วจดน้ำหนักที่แน่นอน (ควรทำ 3 ครั้ง ต่อ 1 การทดลอง)
3. นำไปอบไว้ที่ 110°C ทิ้งไว้ 1 คืน
4. จากนั้นนำกระจกนาฬิกาใส่เยื่อที่อบไว้ไปใส่โถดูดความชื้น รอจนเย็นประมาณ 2 ชั่วโมง นำออกมาชั่ง จดน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบต่อประมาณ 3 ชั่วโมง
5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 3.6.2.3.4 จนกว่าจะได้น้ำหนักที่เท่า หรือใกล้เคียงกัน
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของเยื่อแห้งที่ได้ (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข)

ข) Automatic โดยใช้เครื่องวัดปริมาณความชื้นแบบอัตโนมัติ (Moisture Analyzer)

1. กด Tare เพื่อให้เครื่องชั่งเป็น 0 กรัม และถาดรองเลื่อนออกมาโดยอัตโนมัติ
2. นำเยื่อที่ลิกเป็นแผ่นเล็ก (หลังจากขั้นตอนการคัดแยกเยื่อ) ใส่ในถาดชั่งประมาณ 2-3 กรัม กดปุ่มเพื่อให้ถาดชั่งเลื่อนปิด
3. กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง

4. รอประมาณ 40 นาที หรือจนกว่าค่าที่พิมพ์ออกมาจากเครื่องจะคงที่ แล้วจึงกดปุ่ม End เครื่องจะพิมพ์ ค่าความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักเยื่อที่เหลืออกมาให้

3.5.3 ค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ (Freeness index) ตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94

3.5.3.1 คำจำกัดความ

ค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ คือ อัตราความเร็วของน้ำที่สามารถไหลผ่านเยื่อ ค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อเป็นการบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของเยื่อในน้ำเพื่อที่จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ความยืดหยุ่น อีกทั้งยังช่วยเสริมให้พันธะของเส้นใยแข็งแรงขึ้น เมื่อแห้ง ค่าอัตราการอุ้มน้ำของเยื่อนี้ รายงานผลเป็น ml,CSF และองศา SR

3.5.3.2 อุปกรณ์

- ก) เครื่องกระจายเยื่อ (Disintegrater)
- ข) ถังใส่น้ำเยื่อ หรือเรียกว่า “น้ำ Stock”
- ค) ถังใส่น้ำเย็น
- ง) กระจกตวง ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- จ) เทอร์โมมิเตอร์
- ฉ) กระจกตักน้ำ
- ช) นาฬิกาจับเวลา
- ซ) กระจกกรองเบอร์ 4 (อบประมาณ 1 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น)
- ฌ) ปีมสำหรับดูดน้ำ
- ญ) Buchner Funnel
- ฎ) Filter Flask
- ฏ) สายยาง

3.5.3.3 วิธีการทดลอง

ก) ชั่งเยื่อที่ได้ 30 กรัม (แห้ง) ใส่ลงในเครื่องปั่นกระจายเยื่อ เติมน้ำกลั่น 2 ลิตร (จะได้น้ำสต็อก 1.5% โดยปริมาตร) ปิดฝาให้สนิท เปิดเครื่องทิ้งไว้ ระหว่างรอเตรียมถังใส่น้ำแข็งผสมกับน้ำไว้ (เพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำสต็อก ให้ได้ 20 °C) เมื่อครบ 2000 รอบ ปิดเครื่อง

ข) เตรียมอุปกรณ์สำหรับวัดค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ ขัดตะแกรงในกระบอกสำหรับใส่น้ำสต็อกให้สะอาด ทำการ Calibration โดยใช้น้ำเปล่า 1 ลิตร ใส่ในกระบอกวัดค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ ปิดฝาด้านบน และด้านล่างให้แน่น

ค) นำกระบอกตวง 2 อัน อันหนึ่งรองไว้ทางที่น้ำจะไหลผ่านเยื่อลงมาอย่างรวดเร็ว (ทำให้น้ำส่วนนี้ ไหลเข้าไปทางท่อสำหรับวัดค่า) อีกอันรองไว้ที่น้ำที่ไม่ใช่ (ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เมื่อน้ำไหลผ่านได้ไม่เร็วเท่าที่ควร จึงทำให้น้ำไม่ไหลลงไปที่ท่อสำหรับวัดค่า)

ง) เมื่อเตรียมอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว เตรียมจับเวลา โดยจับเวลา ตั้งแต่เปิดฝาล้างให้น้ำไหลผ่านเยื่อที่จะติดอยู่บนตะแกรง หยุดเวลาเมื่อน้ำที่ไหลออกจากท่อสำหรับวัดค่าหยุดนำน้ำส่วนที่ใช้ได้มาวัดค่า (ถ้าได้ประมาณ 880-890 มิลลิลิตร ถือว่าใช้ได้ ทำการทดลองกับน้ำสต็อกได้เลย)

จ) นำน้ำสต็อกที่ได้ ใส่ถึง วัดอุณหภูมิ ปรับปริมาตรให้เป็น 0.3% (ต้องเติมน้ำอีก 10 ลิตร) โดยระหว่างเติมต้องปรับอุณหภูมิให้ได้ 20°C

ฉ) ทำซ้ำตั้งแต่ ข้อ 3.6.3.3.2 – ข้อ 3.6.3.3.4 โดยเปลี่ยนน้ำเปล่าสำหรับทำการ Calibrate เป็นน้ำสต็อก 1 ลิตร (ก่อนใส่ในกระบอกต้องคนให้เยื่อและน้ำกระจายตัวเยื่อต้องไม่นอนอยู่กันถึง ตรวจใส่ในกระบอกที่ใช้วัดค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ) วัดปริมาตรของน้ำที่ไหลลงมาทางท่อสำหรับวัดค่า จดบันทึก

ช) เทน้ำในกระบอกดวงกลับลงไปที่กระบอกวัดค่าการอุ้มน้ำ (เพื่อให้เยื่อที่ติดอยู่ไหลออกได้) เปิดปั๊ม แล้วเทน้ำในกระบอกวัดค่าการอุ้มน้ำใส่ Bucher Funnel ที่มีกระดวยกรองรองไว้เรียบร้อยแล้ว

ซ) นำกระดวยกรองที่มีเยื่อติดอยู่ไปอบที่ 105°C ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้น

ฌ) นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จดบันทึก และคำนวณค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข)

3.5.4 การขึ้นรูปกระดวย

3.5.4.1 อุปกรณ์

- ก) เครื่องกระจายเยื่อความชื้นสูง (Hydra Pulper)
- ข) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance)
- ค) เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน (Standard Handsheet Forming Machine)
- ง) ชุดเครื่องมืออัดแผ่นทดสอบมาตรฐาน ประกอบด้วย
 1. ท่อทรงกระบอกสูง
 2. ตะแกรงตาถี่
 3. ท่อส่งน้ำเข้า
 4. ท่อสูญญากาศสำหรับถายน้ำออก
 5. ตะแกรงมีใบพัดสำหรับคนให้เยื่อกระจาย
 6. ท่อนอลูมิเนียมหนัก 10 กิโลกรัมสำหรับรีดน้ำ

จ) ชุดอุปกรณ์สำหรับขึ้นแผ่นกระดวยให้ตั้ง

1. แม่พิมพ์ (แผ่นอลูมิเนียมบาง มีพื้นที่ 200 cm^2)

2. กระดาษแผ่นหนา

3. พลาสติกทรงกลมสำหรับลือคแม่พิมพ์

ฉ) เครื่องอัดแผ่นทดสอบมาตรฐาน

ซ) อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ กระบอกตวง พัดลม กล้องใส่อุปกรณ์จึงกระดาษ
แท่งเหล็ก

3.5.4.2 วิธีการทดลอง

ก) นำน้ำสต็อกที่เหลือจากการทดลอง หาค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อกระดาษ
มาปรับปริมาตรให้เป็น 0.15% ของเยื่อทั้งหมดที่เหลือ

ข) นำน้ำสต็อกใหม่นี้ใส่ลงในเครื่องกระจายเยื่อความชื้นสูง เปิดเครื่อง
ให้ใบพัดทำงาน เยื่อจะกระจายตัวสม่ำเสมอ เปิดก๊อกกรองน้ำสต็อกด้วยกระบอกตวง

ค) ปิดท่อทรงกระบอกสูงให้ลงล็อก ปิดทางน้ำออก นำน้ำสต็อกที่ตวงไว้
เทใส่ในท่อนั้น เปิดให้น้ำเข้าไปในท่อทรงกระบอก จนถึงขีดที่กำหนด ปิดทางน้ำเข้า แล้วคนด้วย
ตะแกรงมีใบพัดให้เยื่อกระจายตัวได้อย่างเต็มที่อีกที

ง) เปิดทางน้ำออก รอจนน้ำไหลลงหมด แล้วจึงเปิดท่อทรงกระบอกออก
ตรวจสอบดูว่า เยื่อกระจายอย่างสม่ำเสมอหรือไม่ ถ้ามีเก็บเยื่อนั้นวางตรงกลางของตะแกรงแล้ว
ทำตามข้อ 3.5.4.2.3 อีกครั้ง (แต่ไม่ต้องเทน้ำสต็อกเพิ่มเข้าไป เพียงแต่เติมน้ำเท่านั้น)

จ) ถ้าเยื่อกระจายตัวสม่ำเสมอดีแล้ว นำกระดาษแผ่นหนา 1 แผ่น วางทับ
เยื่อบนตะแกรง แล้วนำแม่พิมพ์ วางทับอีกที

ฉ) นำท่อนสำหรับรีดน้ำ กดทับลงบนแม่พิมพ์ ออกแรงกดคลึงไปมา
ประมาณ 5-10 รอบ แล้วนำแม่พิมพ์ออก ดึงกระดาษแผ่นหนา พร้อมกับ ลอกกระดาษที่รีดน้ำแล้ว
ออกมาพร้อมกัน

ซ) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ ข) – ฉ) จนกว่าน้ำสต็อกจะหมด กระดาษหนา กับ
กระดาษที่ได้ นำมาวางเรียงกันไว้โดยใช้แม่พิมพ์วางทับไว้ที่กระดาษที่ได้ และใช้กระดาษหนาคั้น
แต่ละแผ่นอีกที

ซ) นำไปวางที่เครื่องอัดแผ่นทดสอบมาตรฐานแล้วหมุนปิดให้สนิท (โดยแรง
ที่กดจะมีมิเตอร์บอก ควรจะได้ประมาณ 3.5-4.0)

ณ) ตั้งเวลาในการอัดครั้งที่ 1 300 องศาเซลเซียส 5 นาที แล้วนำออกมาเอา
กระดาษแผ่นหนาที่กั้นไว้ ออก ให้เหลือกระดาษแผ่นหนา และแม่พิมพ์ตัวอย่างละอัน นำเข้าไปอัด
อีกทีที่ 120 องศาเซลเซียส 3 นาที แล้วจึงนำออกมาจากเครื่องอัด

ญ) นำกระดาษแผ่นหนาออก แล้วนำแม่พิมพ์ที่มีกระดาษติดอยู่ วางลงบนพลาสติกทรงกลมสำหรับลือกแม่พิมพ์ เมื่อซ้อนกันจนหมดแล้วจึงนำไปวางเป่าพัดลมจนกระดาษแห้ง (วางแห้งเหล็กทับบนชั้นสุดท้ายของแม่พิมพ์ เพื่อกันไม่ให้ชั้นแม่พิมพ์ล้น)

ฎ) เมื่อกระดาษที่ได้แห้งดีแล้ว (สังเกตได้จาก การลอกกระดาษออกจากแผ่นแม่พิมพ์แล้วกระดาษไม่ติด ถ้ายังมีเส้นใยติดอยู่บนแผ่นแม่พิมพ์เล็กน้อย แสดงว่ากระดาษยังไม่แห้งดี ต้องตากพัดลมต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมง) ลอกออกจากแม่พิมพ์ แล้วเก็บตัวอย่างที่ได้นี้ไว้ทดสอบต่อไป

3.5.5 การหาค่าแคลปาตามมาตรฐาน TAPPI T 236 cm-85

3.5.5.1 คำจำกัดความ

ค่าแคลปา คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ไปต่อเยื่อ 1 กรัม (คิดจากน้ำหนักแห้ง) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

3.5.5.2 อุปกรณ์

ก) เครื่องกวน ทำจากวัสดุที่ไม่เกิดการกัดกร่อน เช่น แก้ว หรือ วัสดุที่ไม่เกิดการกัดกร่อนชนิดอื่นๆ (ในการทดลองใช้เครื่องกวนแบบ Magnetic Stirrer)

ข) เครื่องปั่นเยื่อชนิดความเร็วรอบสูง เพื่อปั่นแยกเยื่อออกเป็นชิ้นเล็ก

ค) บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ใช้ใส่ตัวอย่างขณะทำปฏิกิริยา

ง) ปิเปตขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน

จ) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร ความละเอียด 0.1 มิลลิลิตร

ฉ) อุปกรณ์อื่นๆ : Buchner Funnel และกระดาษกรอง นาฬิกาจับเวลา กระบอกตวงขนาด 10,50,100 มิลลิลิตร และบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร

3.5.5.3 สารเคมี

ก) สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น $0.1000 \pm 0.0005 \text{ N}$

ข) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ความเข้มข้น $0.2 \pm 0.0005 \text{ N}$

ค) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ความเข้มข้น 0.1 N

ง) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 4.0 N

จ) น้ำแข็ง ความเข้มข้น 0.2 %

3.5.5.4 วิธีการทดลอง

ก) ชั่งน้ำหนักเยื่อตัวอย่าง ขณะชั่งต้องรองจนกว่าน้ำหนักเยื่อบนเครื่องชั่งจะคงที่ใช้เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ข) การชั่งน้ำหนักจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.001 กรัม สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปทดลองและนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อ

ค) ปั่นแยกเชื้อตัวอย่างในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร เทน้ำกลั่นลงไป 250 มิลลิลิตร ปั่นให้เชื้อแยกออกจากกัน ไม่จับเป็นก้อน เทน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร เพื่อชะล้างเชื้อที่ติดค้างอยู่ในเครื่องปั่นแยกและบริเวณผนังของบีกเกอร์ให้ลงไปอยู่ในบีกเกอร์ทั้งหมด

ง) นำบีกเกอร์วางบนเครื่องกวน (Magnetic Stirrer) กวนอย่างต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบไม่สูงมากนัก ให้เกิดลักษณะ Vortex เล็กน้อย

จ) ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 50 ± 0.1 มิลลิลิตร และ เทสสารละลายกรดซัลฟุริก 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นเทลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตรที่บรรจุเชื้อตัวอย่างอยู่และจับเวลาทันที เทน้ำกลั่นที่เหลืออีก 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่ติดค้างอยู่ให้หมดคั่งนั้นในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จะมีปริมาตรสารละลายทั้งหมดจำนวน 500 มิลลิลิตร ปฏิบัติกำหนดดำเนินไปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ฉ) เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 10 นาที เติมน้ำกลั่นโปแตสเซียมไอโอไดด์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา

ช) จากนั้นไตเตรททันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อเข้าใกล้จุดยุติ (สารละลายมีสีเหลืองอ่อน) จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ (น้ำแป้ง) เล็กน้อยจะได้สารละลายสีน้ำเงินไตเตรทต่อจนกระทั่งได้สีน้ำเงินอ่อนๆ เกือบจางหายไป

ซ) หาค่า Blank โดยใช้วิธีการดังกล่าวมาแต่ไม่ต้องเติมเชื้อลงไป

3.6.6 การคำนวณค่าแคปปา

คำนวณค่าแคปปา (K) ตามสมการ

$$\text{Kappa Number (K)} = (p \times f) / w$$

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

K = ค่าแคปปา

p = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ 0.1N สารละลายเปอร์แมงกาเนตที่ใช้โดยตัวอย่างที่ทดสอบ

w = จำนวนกรัมของเชื้อแห้งในตัวอย่าง

f = แฟกเตอร์สำหรับการปรับค่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้เปอร์แมงกาเนต แสดงในตารางที่ 3-4

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 4-1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันพันธุ์ *Elaeis Guineensis*

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ (ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง)
1. การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (Alcohol – Benzene Solubility)	10.9
2. การละลายในน้ำร้อน (Hot Water Solubility)	26.1
3. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของเยื่อแห้ง (1% NaOH Solubility /dry Weight Fiber)	50.1
4. ปริมาณขี้เถ้า (Ash)	6.2
5. ปริมาณลิกนิน (Lignin)	9.3
6. ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holo cellulose)	64.3
7. ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (Alpha-Cellulose)	39.8
8. ปริมาณเบต้าเซลลูโลส (Beta-Cellulose)	13.0
9. ปริมาณแกมมาเซลลูโลส (Gamma-Cellulose)	11.5
10. ปริมาณเพนโตแซน (Pentosan)	19.7

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์ม โดยการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน TAPPI พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ มีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 64.3 ซึ่งแบ่งเป็นปริมาณแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 39.8 ปริมาณเบต้าเซลลูโลสร้อยละ 13.0 ปริมาณแกรมนาเซลลูโลสร้อยละ 11.5 และปริมาณเพนโตแซนร้อยละ 19.7 เป็นการบ่งบอกว่าในทางใบปาล์มที่นำมาทดลองนี้ มีเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถนำไปใช้ทำเป็นเยื่อกระดาษอยู่ในปริมาณมากพอสมควร เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษต่อไป ในขณะที่ปริมาณลิกนินที่มีอยู่ มีปริมาณไม่มากนัก คือร้อยละ 9.3 นอกจากนั้นองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่มีผลต่อการผลิตเยื่อ ได้แก่ การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (Alcohol-Benzene Solubility) คิดเป็นร้อยละ 10.9 การละลายในน้ำร้อน (Hot Water Solubility) คิดเป็นร้อยละ 26.1 การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 (1% NaOH Solubility) คิดเป็นร้อยละ 50.1 จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อ นอกจากนี้ปริมาณขี้เถ้า (Ash) คิดเป็นร้อยละ 6.2 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับวัตถุดิบอื่นๆ เช่น Bagasse ร้อยละ 2-5 Bamboo ร้อยละ 1.7-4.8 [27] เป็นต้น ดังนั้นถ้าพิจารณากระบวนการที่จะใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ วิธีการกราฟที่อาจไม่เหมาะสมเท่าใดนัก เพราะทางใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณขี้เถ้าค่อนข้างสูง สารเคมีที่เหลือจากกระบวนการต้มเยื่อ (Black Liquor) จะไม่สามารถผ่านกระบวนการการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีสารจำพวกซิลิกาที่มีอยู่ในวัตถุดิบประเภทที่ไม่ใช่ไม้ (Non - Wood) อยู่มาก ซึ่งจะไปรบกวนกระบวนการดังกล่าว ส่วนกระบวนการซัลไฟต์ ซึ่งใช้กรดเป็นสารเคมีในกระบวนการต้มเยื่อก็ก็นิยมเท่าไรนักในปัจจุบัน ดังนั้นกระบวนการต้มเยื่อที่เหมาะสมสำหรับทางใบปาล์มน้ำมัน คือ กระบวนการโซดา ซึ่งเป็นที่นิยมในกระบวนการต้มเยื่อสำหรับวัตถุดิบจำพวกไม่ใช่ไม้ (Non - Wood)

4.2 คุณสมบัติต่างๆ ของเยื่อหลังผ่านกระบวนการต้มเยื่อ

4.2.1 ผลการต้มเยื่อที่สภาวะต่างๆ และการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Design-Expert

ตารางที่ 4-2 แสดงการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Design-Expert โดยโปรแกรมจะคำนวณผลการวิเคราะห์อัตโนมัติ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพื้นผิวโดยมีจำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ออกแบบโดยเทคนิค Central Composite Design มีกลุ่มการทดลอง 9 กลุ่ม และให้แสดงแบบจำลองเป็นสมการแบบ Quadratic ซึ่งจากตาราง มี 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของเบส (Alkaline Charge, AC) และอุณหภูมิ (Temperature) มีหน่วยเป็นร้อยละ (Percent) และองศาเซลเซียส (Degree Celsius) ตามลำดับ ประเภทข้อมูลเป็นตัวเลขทั้ง 2 ตัวแปร ช่วงปริมาณเบส (Alkaline Charge, AC) ระหว่าง 35-45% และอุณหภูมิระหว่าง 150-165°C หลังทำการทดลอง

นำผลที่ได้มาเขียนกราฟและสมการเพื่อใช้ทำนายผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงกลของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันโดยโปรแกรม DESIGN-EXPERT เช่นกัน จะได้สมการ ดังนี้

$$\text{Total yield} = 35.82 + 4.30T + 1.56AC + 1.04T*AC + 1.90T^2 + 0.59AC^2 \quad (4-1)$$

$$\text{Screen yield} = 35.57 + 4.47T + 2.10AC + 0.83T*AC + 2.03T^2 + 0.084AC^2 \quad (4-2)$$

$$\text{Reject yield} = 0.25 - 0.17T - 0.53AC + 0.20T*AC - 0.1T^2 + 0.50AC^2 \quad (4-3)$$

$$\text{Kappa No} = 44.90 - 11.80T - 8.19AC + 2.89T*AC - 7.93T^2 + 3.10AC^2 \quad (4-4)$$

$$\text{Freeness index} = 624.56 - 42.78T + 1.14AC + 17.79T*AC + 1.11T^2 + 6.84AC^2 \quad (4-5)$$

$$\text{Brightness index} = 23.36 + 2.02T + 0.89AC + 0.33T*AC + 1.28T^2 + 0.30AC^2 \quad (4-6)$$

$$\text{Tensile index} = 296.54 + 27.37T + 5.05AC - 4.36T*AC - 4.85T^2 - 19.36AC^2 \quad (4-7)$$

$$\text{Burst index} = 1.85 + 0.026T + 0.03AC - 0.059T*AC - 0.075T^2 - 0.066AC^2 \quad (4-8)$$

$$\text{Tear index} = 10.84 + 0.53T + 0.39AC + 0.38T*AC + 0.035T^2 - 0.044AC^2 \quad (4-9)$$

หมายเหตุ : สมการนี้จะมีค่าเหมาะสมในการนำไปใช้ได้ในช่วงของการทดลองที่ความเข้มข้นของเบส (Alkaline Charge, AC) อยู่ระหว่าง 35-45% และอุณหภูมิ อยู่ระหว่าง 150-165°C ระยะเวลาในการต้มเยื่อ 2 ชั่วโมง

T = Temperature (อุณหภูมิสูงสุดในการต้มเยื่อ) องศาเซลเซียส

AC = Sodium Hydroxide Concentration (ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์) ร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง

รูปแบบสมการจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมี และเชิงกลของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ คิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนักวัตถุดิบแห้งและอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 2 ชั่วโมง จากตารางที่ 4-3 ซึ่งได้จากโปรแกรม Design-Expert สมการ

โดยทั่วไปควรมีค่า R-Square ประมาณ 0.75-1.00 ยิ่งค่าที่ได้มาก ข้อมูลจากการทดลองกับแบบจำลองทางสถิติก็就会有ความสัมพันธ์กันสูง หรือ ข้อมูลจากการทดลองกับแบบจำลองทางสถิติที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก และถ้าเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างความเข้มของเบสและอุณหภูมิสามารถพิจารณาได้จาก Prob>F ถ้ามีค่ามากกว่า 0.0500 แสดงว่าตัวแปรนี้ไม่มีความสำคัญต่อสมบัติของเยื่อที่ได้ และหากพิจารณาที่ T และ AC หากว่าค่าทั้งสองนี้มีค่า Prob>F น้อยกว่า 0.0500 แสดงว่าตัวแปรนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเยื่อที่ได้ และกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง แต่เมื่อดูจากกราฟ 3 มิติ จะเห็นว่าถ้าค่า Prob>F ของ T มากกว่า จะทำให้คุณสมบัติที่ได้มีค่าความชันทางด้าน T มากกว่าทางด้าน AC หากพิจารณาที่ T^2 และ AC^2 หากว่าค่าทั้งสองนี้มีค่า Prob>F น้อยกว่า 0.0500 แสดงว่าตัวแปรนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเยื่อที่ได้ และกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟพาราโบลา คือจะได้คุณสมบัติของเยื่อมีค่าสูงที่สุดอยู่เพียงค่าหนึ่งที่อุณหภูมิ และ/หรือ ความเข้มข้นของเบสค่าหนึ่งเท่านั้น หากพิจารณาที่ $T*AC$ ค่านี้มีค่า Prob>F น้อยกว่า 0.0500 แสดงว่าตัวแปรนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเยื่อที่ได้ และกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ค่าดัชนีต่างๆ ของคุณสมบัติของเยื่อแปรผันตามอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเบสในอัตราส่วน 1:1

ตารางที่ 4-2 ค่าของตัวแปรที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม Design-Expert และผลการทดสอบสมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการต้มเยื่อด้วยวิธี โซดา-แอนทราควิโนน

No.	Factors of Pulping				Responses									
	Coded		Values		Reject yield (%)	Screen yield (%)	Total yield (%)	Kappa No.	Freeness index (ml,CSF)	ISO Brightness (%)	Tensile index (kN.m/kg)	Burst index (kPa.m ² /g)	Tear index (mN.m ² /g)	
	NaOH	T	NaOH (%)	T (°C)										
1	-1	-1	35	150	0.72	32.99	33.71	58.7	682.27	22.02	246.15	1.54	10.65	
2	-1	1	35	165	0.28	38.58	38.86	28.3	556.66	25.70	296.34	1.69	10.39	
3	1	-1	45	150	0.24	36.30	36.54	42.6	651.52	23.04	236.27	1.77	10.5	
4	1	1	45	165	0.12	44.83	44.95	20.7	595.80	28.08	283.37	1.66	11.85	
5	0	0	40	155	0.19	35.33	35.52	46.9	623.85	22.30	308.80	1.82	10.91	
6	0	0	40	155	0.16	34.18	34.33	46.4	648.35	22.98	270.64	1.85	10.93	
7	0	0	40	155	0.32	34.62	34.94	48.8	613.85	23.16	306.38	1.87	10.48	
8	0	0	40	155	0.44	34.23	34.67	49.6	649.35	22.58	292.45	1.82	10.76	
9	0	0	40	155	0.40	33.13	33.53	48.3	660.35	23.17	256.75	1.83	10.25	
10	0	-1.41	40	147	0.48	31.63	32.11	45.7	691.12	23.45	248.73	1.67	9.78	
11	0	1.41	40	168	0.05	46.68	46.73	17.2	583.18	28.83	337.95	1.82	12.01	
12	-1.41	0	33	155	2.96	31.83	34.80	72.7	671.67	22.50	230.79	1.70	10.11	
13	1.41	0	47	155	0.20	36.14	36.34	40.5	655.45	24.83	279.68	1.79	11.02	

4.2.2 ปริมาณเชื้อทั้งหมดที่ได้หลังจากการคัม (Total Yield)

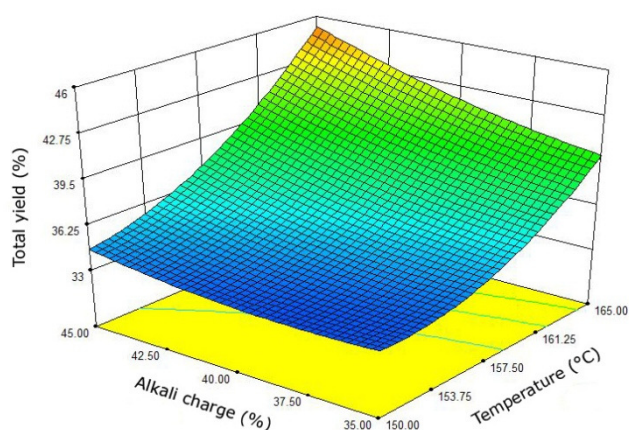
คือน้ำหนักของเชื้อทั้งหมดก่อนที่จะนำมาผ่านการคัดขนาด จากตารางที่ 4-2 ปริมาณเชื้อทั้งหมดที่ได้หลังจากการคัม ประมาณร้อยละ 32.11-46.73 จากนั้นนำเชื้อเหล่านี้ไปผ่านเครื่องคัดขนาด เชื้อที่สามารถผ่านการคัดขนาด (Screen Yield) และเชื้อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (Reject Yield) มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 31.63-46.68 และช่วงร้อยละ 0.05-2.96 ตามลำดับ จากตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาสถานะที่อุณหภูมิคงที่ แต่ความเข้มข้นของเบสสูงขึ้นจะเห็นว่า ปริมาณเชื้อทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสถานะที่ความเข้มข้นของเบสคงที่ และอุณหภูมิสูงขึ้น โดยพิจารณาจากความชันของรูปที่ 4-1 จะเห็นว่าความชันของทางด้านอุณหภูมิมากกว่า และในภาพที่ 4-2 (ก) ปริมาณเชื้อทั้งหมด จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการคัมเชื้อ ด้วยวิธีโซดาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Design-Expert

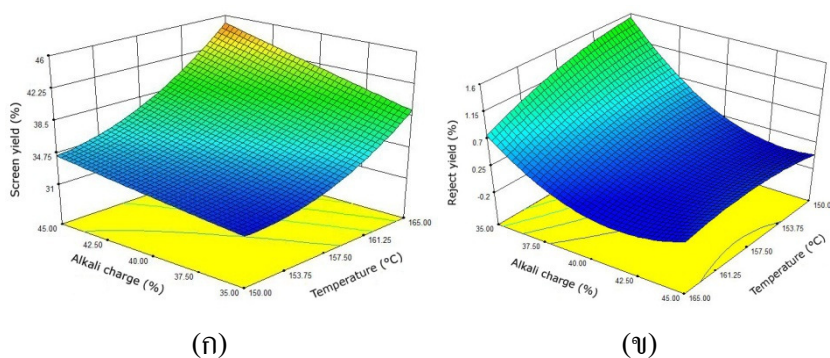
Factors	Total yield	Screen yield	Reject yield	Kappa no.		Freeness index	Tear index	Tensile index	Burst index	ISO
	(%)	(%)	(%)			(ml,CSF)	(mN.m ² /g)	(kN.m/kg)	(kPa.m ² /g)	Brightness
	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F	CE Prob>F
Intercept	35.8	35.6	0.3	44.9	624.6	10.8	296.5	1.9	23.4	
T	4.30 <0.0001	4.47 <0.0001	-0.17 0.3805	-11.80 <0.0001	-42.78 0.0004	0.53 0.0042	27.37 0.0105	0.03 0.2591	2.02 <0.0001	
AC	1.56 0.0152	2.10 0.0029	-0.53 0.0254	-8.19 0.0009	1.14 0.8742	0.39 0.0209	5.05 0.5544	0.03 0.2094	0.89 0.0006	
T*AC	1.04 0.1576	0.83 0.2268	0.20 0.4448	2.89 0.1884	17.79 0.0978	0.38 0.0658	-4.36 0.7012	-0.06 0.0881	0.33 0.1488	
T ²	1.90 0.0116	2.03 0.0069	-0.13 0.5655	-7.93 0.0023	1.11 0.8928	0.03 0.8255	-4.85 0.6194	-0.08 0.0209	1.28 0.0001	
AC ²	0.59 0.2916	0.08 0.8693	0.50 0.0393	3.10 0.0863	6.84 0.3806	-0.04 0.7587	-19.36 0.0582	-0.07 0.0250	0.30 0.1000	
Prob>F	0.0003	0.0001	0.0578	0.0001	0.0056	0.0184	0.0675	0.0370	<0.0001	
R-squared	0.94508	0.9553	0.7269	0.9561	0.8672	0.8096	0.7128	0.7632	0.9796	

โดยจากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่า ค่า Prob>F ของ T และ AC ที่ได้จะต่ำกว่า 0.0500 แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองตัวมีผลต่อปริมาณเชื้อที่ได้ เมื่อพิจารณาจาก T*AC จะเห็นว่าตัวแปรทั้ง 2 ตัวนี้ไม่ได้แปรผันตามอัตราส่วน 1:1 ที่ค่า T² ทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะค่อนข้างจะเป็นกราฟพาราโบลา และเมื่อเปรียบเทียบค่า Prob>F ของตัวแปรทั้งสอง อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณเชื้อที่ได้มากกว่าความเข้มข้นของเบส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความดันภายในเครื่องคัมเชื้อสูงตามความดันนี้ได้ทำลายโครงสร้างของไม้ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นสูงรวมกับสารที่ช่วยให้การทำงานของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อคุณสมบัติของเยื่อมากขึ้น จึงทำให้ได้เชื้อที่สามารถผ่านการคัดขนาดมีจำนวนสูง ค่า R-Square ของเชื้อที่ได้จากการบวการคัมโดยใช้สารละลายโซดา-แอนทราควิโนน และค่า R-Square จากกระบวนการนี้ของเชื้อที่สามารถ

ผ่านการคัดขนาดได้ คือ 0.94 และ 0.95 ตามลำดับ แสดงว่าสมการที่ 4-1 และ 4-2 สามารถใช้ทำนายปริมาณเยื่อที่กล่าวมาข้างต้น ในช่วงอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด และจากค่า R-Square ของเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด ที่มีค่า 0.72 ทำให้สมการที่ 4-3 ใช้ทำนายผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาดได้ไม่ดีนัก อาจเนื่องจากขั้นตอนการล้างเยื่อมีการคัดเอาเศษไม้บางส่วนออกไปบ้างแล้ว การคำนวณ และสมการที่ได้จากโปรแกรมจึงไม่สามารถทำนายปริมาณของเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาดที่แน่นอนได้



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้หลังจากการต้มกับสภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง



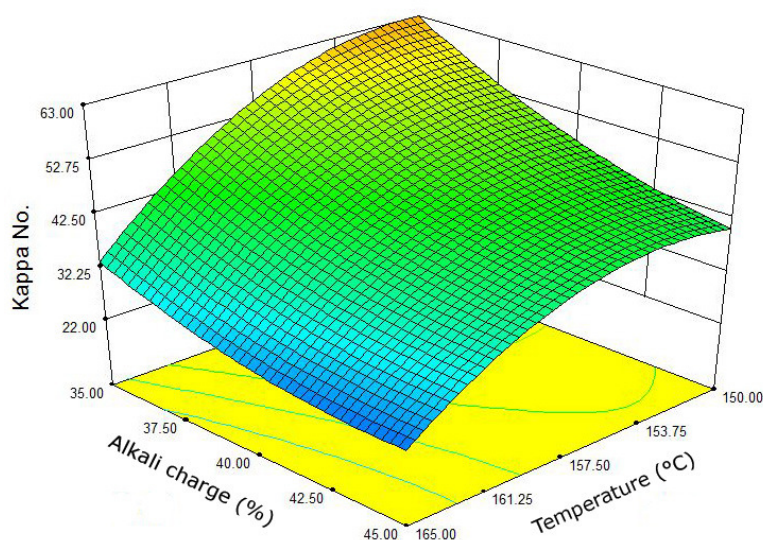
ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเยื่อที่ผ่านการคัดขนาด

(ก) และ เยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด

(ข) กับสภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.3 ค่าแคปปา (Kappa Number)

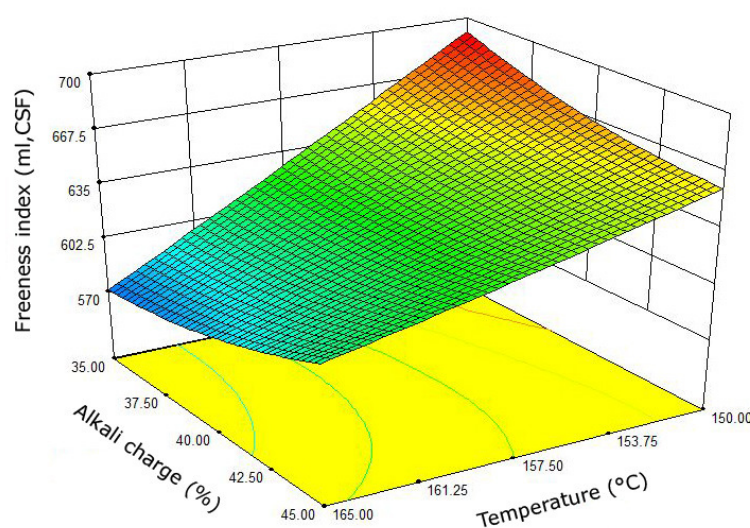
จากตารางที่ 4-2 ปริมาณเยื่อที่นำมาตีเพื่อกระจาย และ นำไปผ่านเครื่องคัดขนาดที่เป็นแผ่นเหล็กบางมีความกว้างของช่องที่ให้เยื่อผ่าน 1.5 มิลลิเมตร มีค่าแคปปาอยู่ในช่วง 17.2-72.7% และจากภาพที่ 4-3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และค่าแคปปา พบว่าเมื่อพิจารณาสถานะที่ อุณหภูมิคงที่ และเพิ่มความเข้มข้นของเบส ค่าแคปปา ลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสถานะที่ความเข้มข้นของเบสคงที่ และเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งค่าแคปปาจะลดลงอย่างมาก โดยพิจารณาจากความชันของภาพที่ 4-3 จะเห็นว่าความชันของทางด้านอุณหภูมิมากกว่า โดยจากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่า ที่ค่า Prob>F ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 0.0003 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองตัว มีผลต่อปริมาณเยื่อที่ได้ และเมื่อเปรียบเทียบตัวแปรทั้งสอง อุณหภูมิจะมีผลต่อค่าแคปปาที่ได้มากกว่าความเข้มข้นของเบส ดังจะเห็นได้จากค่า Prob>F ของอุณหภูมิมิมีค่า <0.0001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Prob>F ของเบสที่มีค่าเท่ากับ 0.0009 เนื่องจากสารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินมากขึ้น และเมื่อใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ความดันในหม้อต้มเยื่อก็เพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้สารเร่งปฏิกิริยา และสารละลายสามารถแพร่กระจายเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากขึ้น และช่วยให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น ค่าแคปปาจึงลดลง และจากค่า R-Square ที่มีค่ามากกว่า 0.95 เป็นตัวบ่งชี้ว่าสมการที่ 4-4 มีความเหมาะสมที่จะใช้ทำนายผลการวิเคราะห์ค่าแคปปาในช่วงการทดลองนี้ได้



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแคปปากับสถานะในการต้มเยื่อต่างๆ
ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.4 ค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ (Freeness Index)

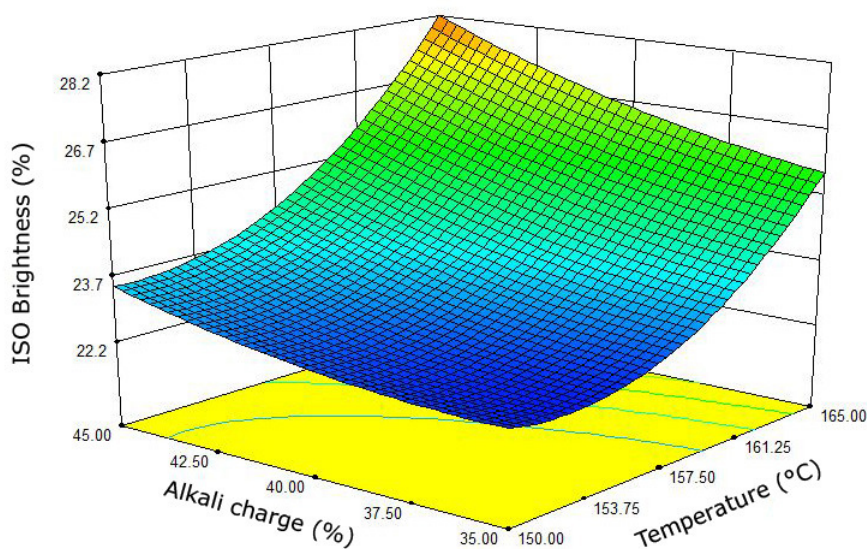
จากตารางที่ 4-2 ปริมาณค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ อยู่ในช่วง 556.66-691.12 ml,CSF จากภาพที่ 4-4 พิจารณาที่อุณหภูมิสูงสุดคือ 165°C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบส จะเห็นว่าค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิต่ำสุด คือที่ 150°C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบสจะเห็นว่าค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของเบสคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อลดลง โดยพิจารณาจากค่าความชันของภาพที่ 4-4 จะเห็นว่าความชันของค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ ทางด้านที่ความเข้มข้นของเบสต่ำที่สุดคือ 35% จะลดลงเร็ว และมากกว่าค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อที่ความเข้มข้นของเบสมากขึ้น ปริมาณที่น้ำสามารถไหลผ่านเยื่อได้ เมื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเบส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการที่น้ำสามารถไหลผ่านเยื่อได้มากกว่า ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะเห็นว่าความชันของทางด้านอุณหภูมิมากกว่า เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าค่า Prob>F ของอุณหภูมิมิค่า 0.0004 ในขณะที่ค่า Prob>F ของความเข้มข้นของเบสมิค่ามากกว่า 0.87 ซึ่งหมายความว่าปริมาณเบสไม่มีความสำคัญต่ออัตราการยอมให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ และค่า R-Square ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.86 ซึ่งมากกว่า 0.75 ดังนั้นสมการที่ 4-5 สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณในช่วงการทดลองนี้ได้ ผลจากการทดลอง เยื่อที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันยอมให้น้ำไหลผ่านของน้ำค่อนข้างสูง แสดงว่าเยื่อที่ได้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มาก เมื่อนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่นทดสอบจึงต้องใช้เวลาระบายนาน ทำให้ในกระบวนการผลิตเยื่อต้องใช้สายการผลิตค่อนข้างยาว



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ กับสถานะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.5 ค่าความขาวสว่างของเยื่อ (Brightness)

จากตารางที่ 4-2 ปริมาณค่าความขาวสว่างของเยื่ออยู่ในช่วง ISO ร้อยละ 22.02-28.83 จากภาพที่ 4-5 พิจารณาที่อุณหภูมิเท่ากัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบส จะเห็นว่าค่าความขาวสว่างของเยื่อ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาที่ความเข้มข้นของเบสเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าค่าความขาวสว่างของเยื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยเมื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเบส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ได้มากกว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะเห็นว่าความชันของทางด้านอุณหภูมิมากกว่า จากตารางที่ 4-3 สามารถยืนยันความถูกต้องของกราฟ โดยจะเห็นได้ว่าค่า Prob>F ของอุณหภูมิมีค่า <0.0001 และความเข้มข้นของเบสมีค่า 0.0006 ซึ่งน้อยกว่า 0.0500 โดยที่ค่า Prob>F ของอุณหภูมิมีน้อยกว่าความเข้มข้นของเบสมาก และค่า R-Square ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.97 ดังนั้นสมการที่ 4-6 สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณในช่วงการทดลองนี้ได้เหมาะสม ผลจากการทดลองพบว่า เยื่อที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีค่าความขาวสว่างมากจะมีสีน้ำตาลซีด ส่วนที่มีค่าความขาวสว่างน้อยจะได้กระดาษที่มีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม เนื่องจากปริมาณลิกนินเป็นตัวทำให้สีของกระดาษเข้ม ดังนั้นเมื่อลิกนินถูกกำจัดไปได้มากจึงทำให้สีของกระดาษที่ได้อ่อนลง

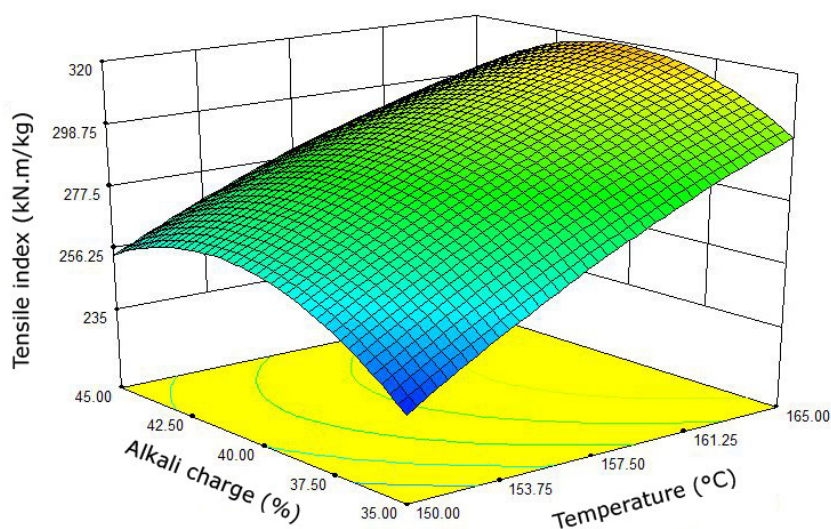


ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขาวสว่างกับสภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.6 สมบัติเชิงกลของเยื่อ (Mechanical Properties)

4.2.6.1 ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Index)

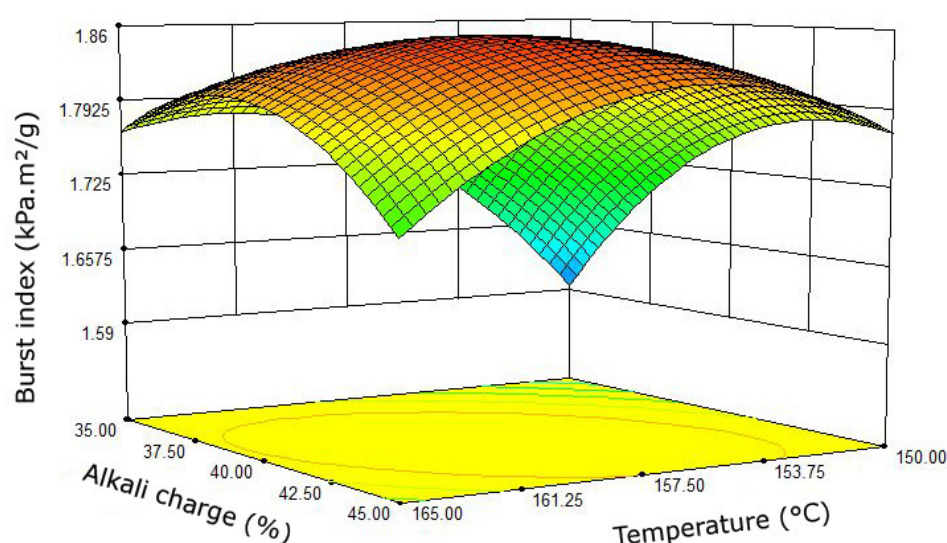
จากตารางที่ 4-2 ปริมาณค่าความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 230.79-337.95 kN.m/kg จากภาพที่ 4-6 พิจารณาที่อุณหภูมิเท่ากัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบส จะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่อ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อถึงความเข้มข้นของเบสถึงจุดหนึ่ง คือ ประมาณ 40% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบสขึ้น ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดกลับลดลง ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นของเบสที่ใช้ไม่ควรเกิน 40% อาจเป็นเพราะว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มากเกินไป ไม่เพียงแต่จะทำลายโครงสร้างของลิกนินเท่านั้น แต่ยังไปทำลายโครงสร้างของ เซลลูโลสด้วย แต่ถ้าพิจารณาที่ความเข้มข้นของเบสเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยเมื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเบส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่อ ที่ได้มากกว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะเห็นว่าความชันของทางด้านอุณหภูมิ มากกว่า จากตารางที่ 4-3 สามารถยืนยันความถูกต้องของกราฟ โดยจะเห็นได้ว่าค่า Prob>F ของ อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 0.0105 ซึ่งน้อยกว่า 0.0500 และความเข้มข้นของเบสมีค่าเท่ากับ 0.5544 ดังนั้น อุณหภูมิจะมีความสำคัญต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่อ ในขณะที่ความเข้มข้นของเบสไม่ได้มีความสำคัญต่อค่าดัชนีนี้ และค่า R-Square ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.71 แต่การที่สมการ จะสามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงนี้ค่า R-Square ที่ได้ควรจะมีความมากกว่า 0.75 ดังนั้นสมการที่ 4-7 อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้



ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดกับสภาวะ ในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.6.2 ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด (Burst Index)

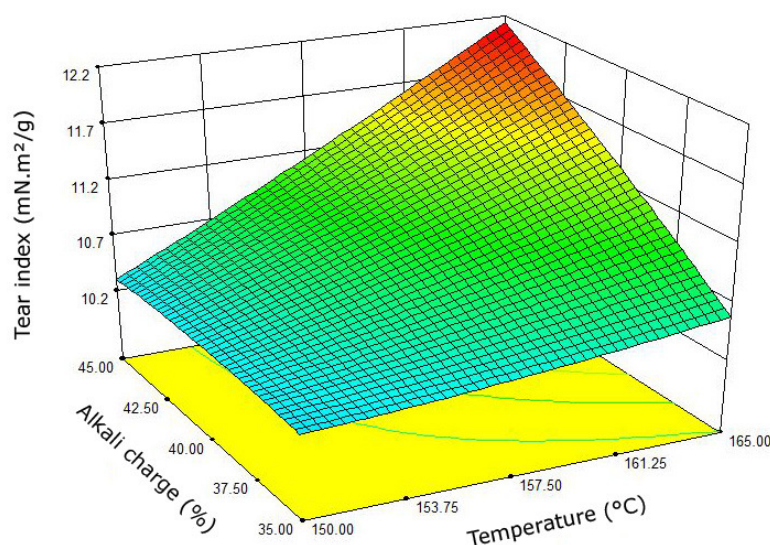
จากตารางที่ 4-2 ปริมาณค่าความต้านทานแรงดันทะลุขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 1.54-1.87 kPa.m²/g จากภาพที่ 4-7 พิจารณาที่อุณหภูมิเท่ากัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบส จะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาดของเยื่อ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อถึงความเข้มข้นของเบสถึงจุดหนึ่งคือ ประมาณ 40% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบสขึ้น ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาดกลับลดลง ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของเบสที่ใช้ไม่ควรเกินร้อยละ 40 อาจเป็นเพราะว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป ไม่เพียงแต่จะทำลายโครงสร้างของลิกนินเท่านั้น แต่ยังไปทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสด้วย แต่ถ้าพิจารณาที่ความเข้มข้นของเบสเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดันของเยื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า และค่าที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเท่ากัน ที่อุณหภูมิในช่วงกลางๆ คือประมาณ 155 องศาเซลเซียส จะได้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาดมากที่สุด จากตารางที่ 4-3 สามารถยืนยันความถูกต้องของกราฟ โดยจะเห็นได้ว่าค่า Prob>F ของอุณหภูมิเท่ากับ 0.2591 และความเข้มข้นของเบสมีค่า 0.2094 ซึ่งมากกว่า 0.0500 แต่เมื่อพิจารณาที่ T² และ AC² ค่า Prob>F ของอุณหภูมิเท่ากับ 0.0209 และความเข้มข้นของเบสมีค่าเท่ากับ 0.0250 ซึ่งน้อยกว่า 0.0500 แสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้ควรจะแสดงรูปภาพเป็นไปตามสมการพาราโบลา โดยที่ความโค้งของรูปกราฟทางด้านของอุณหภูมิมากกว่าทางด้านของความเข้มข้นของเบส และค่า R-Square ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.76 ดังนั้นสมการที่ 4-8 สามารถใช้ในการประมาณค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาดในช่วงอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเบสที่กำหนดในการทดลองนี้ได้



ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุขาด กับสภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

4.2.6.3 ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear Index)

จากตารางที่ 4-2 ปริมาณค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 9.78-12.01 mN.m²/g จากภาพที่ 4-8 พิจารณาที่อุณหภูมิ 150 °C เท่ากัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบส จะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อแทบจะไม่เพิ่มขึ้นเลย แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 165 °C จะเห็นว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของเบสเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณความเข้มข้นของเบส ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน อาจเป็นเพราะว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แปรผันตามอุณหภูมิ หากว่าปริมาณอย่างใดอย่างหนึ่งไม่พอเพียง อาจไม่สามารถละลายโครงสร้างของลิกนินได้ดีเท่าที่ควร จากตารางที่ 4-3 สามารถยืนยันความถูกต้องของกราฟ โดยจะเห็นได้ว่าค่า Prob>F ของอุณหภูมิมีค่า 0.0042 และความเข้มข้นของเบสมีค่า 0.0209 ซึ่งน้อยกว่า 0.0500 และค่า R-Square ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.80 ดังนั้นสมการที่ 4-9 สามารถใช้ในการประมาณผลการทดลองในช่วงนี้ได้



ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีการต้านแรงฉีกขาดกับสภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ที่เวลา 2 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4-6 ถึง 4-8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล กับ สภาวะในการต้มเยื่อต่างๆ จะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าปริมาณของเบส แต่ในขณะที่การเพิ่มปริมาณเบสทำให้เส้นใยของเยื่อที่ได้แตกตัวเป็นเส้นใยอิสระได้มากขึ้น เมื่อนำมาทำกระดาษจึงเกิดพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างกันได้มาก แต่ในขณะที่ปริมาณเบสสูงเกินจุดหนึ่ง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดจะลดลง ส่วนของค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดก็เช่นเดียวกัน ในกรณีของการเพิ่ม

ปริมาณเบส แต่จะต่างกันตรงที่อุณหภูมิเองก็ให้ผลเช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณเบส อาจเป็นเพราะว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป ไม่เพียงแต่จะทำลายโครงสร้างของลิกนินเท่านั้น แต่ยังไปทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสด้วย[21] ในกรณีของดัชนีการต้านแรงฉีกขาด จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเบสและอุณหภูมิที่สัมพันธ์กัน คือ ปริมาณเบส 1 เปอร์เซ็นต์ ต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทิศทางในการฉีกทำให้ ผลที่ได้จากการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี อีกทั้งค่า R-square ของสมบัตินทางเชิงกลกล่าวคือ ค่าดัชนีความต้านแรงดึงขาด มีค่า 0.71 ค่าดัชนีความต้านแรงด้นทะลุขาด มีค่า 0.76 และ ดัชนีการต้านแรงฉีกขาด มีค่า 0.80 ซึ่งถือว่ายังเป็นค่าที่ต่ำมาก ทำให้สามารถใช้สมการที่ 4-7 ถึง 4-9 ในการทำนายผลของสมบัติเหล่านี้ได้ไม่ดีเท่าที่ควร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบจากปาล์มน้ำมัน สรุปได้ว่าองค์ประกอบหลักของทางใบปาล์มน้ำมัน คือ เซลลูโลสและลิกนิน ปริมาณลิกนินมีอยู่เพียงร้อยละ 9.3 ของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับไม้อื่นๆ เช่น *Cynara Cardunculus*. ซึ่งมีลิกนินอยู่ร้อยละ 17.5 ในขณะที่เซลลูโลสมีทั้ง ไฮโดรเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส เบต้าเซลลูโลส และแกรมมาเซลลูโลสร้อยละ 64.3 39.8 13.0 และ 11.5 ของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในปริมาณสูง ทางใบปาล์มน้ำมันจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเถ้าที่มีอยู่ค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 6.2 ของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง เมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ประกอบกับวัตถุดิบชนิดนี้เป็นไม้ไม่ยืนต้น ทำให้พิจารณาที่จะใช้กระบวนการโซดาในการผลิตเยื่อ และจากความยาวของเยื่อที่ได้มีค่าประมาณ 1.59 มิลลิเมตร จึงอาจจะนำไปใช้ผสมกับเยื่อใยสั้นในการใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้

5.2 สภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเยื่อ และสมบัติของเยื่อ

สภาวะที่เป็นตัวแปรในการทดลองนี้คือ อุณหภูมิระหว่าง 150-165°C และปริมาณสารเคมีที่ใช้ อยู่ระหว่างร้อยละ 35-45 พบว่าทั้งสองตัวแปรมีผลต่อการผลิตเยื่อ พิจารณาได้จากค่าแคลปาซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ หลังจากการต้มเยื่อ ค่าแคลปาลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณสารเคมีที่ใช้ และคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ก็เช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้ หลังจากการต้ม มีปริมาณร้อยละ 32.11-46.73 เยื่อที่สามารถผ่านการคัดขนาด (Screen Yield) มีปริมาณร้อยละ 31.63-46.68 และเยื่อที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (Reject Yield) มีปริมาณร้อยละ 0.05-2.96 ปริมาณค่าแคลปาอยู่ในช่วง 17.3-72.7 ค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่ออยู่ในช่วง 556.66-691.12 ml, CSF ความขาวสว่างของเยื่ออยู่ในช่วง ISO ร้อยละ 22.02-28.83 และสมบัติเชิงกลทั้งสามค่าคือ ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 230.79-337.95 kN.m/kg ค่าความต้านทานแรงดันทะลุขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 1.54-1.87 kPa.m²/g และค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่ออยู่ในช่วง 9.78-12.01 mN.m²/g แต่เนื่องจากเส้นใยของเยื่อที่ยาวกว่าเส้นใยของไม้ไม่ยืนต้นชนิดอื่นๆ จึงอาจทำให้ คุณสมบัติเชิงกลของเยื่อที่ได้แตกต่างจากเยื่อชนิดอื่น โดยจะมีค่าที่สูงกว่า เช่น

เส้นใยที่ได้จากเยื่อเยื่อคาลิปตัส [22] และปริมาณสารเคมีที่มากเกินไปก็อาจไปทำลายเส้นใยของเซลลูโลสอีกด้วย จึงควรจำกัดปริมาณสารเคมีไว้ที่ประมาณ 40% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่มีปัญหาต่อสมบัติเหล่านี้ อีกทั้งยังช่วยให้เยื่อมีคุณภาพดีด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากหม้อต้มเยื่อที่ใช้สามารถทำความร้อนได้เพียง 168 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่ต้องการใช้โดยทั่วไปควรจะอยู่ที่ประมาณ 170-180 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงควรปรับปรุงหม้อต้มเยื่อโดยการแก้ไขอุปกรณ์บางส่วนของหม้อ

5.3.1.1 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันที่เดิมใช้ขนาด 10 บาร์ เปลี่ยนเป็น ประมาณ 20 บาร์ เพราะเมื่ออุณหภูมิภายในหม้อต้มเยื่อ ประมาณ 170-180 องศาเซลเซียส ความดันภายในจะอยู่ที่ประมาณ 15-16 บาร์

5.3.1.2 เปลี่ยนชนิดของน้ำมันที่ใช้ให้ความร้อน ให้มีค่าจุดเดือดสูงกว่าเดิมและเพิ่มเติมให้มีตัววัดปริมาณของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการต้มเยื่อที่แน่นอน เพราะจากการทดลองปริมาณน้ำมันมีผลต่อระยะเวลาการให้ความร้อนก่อนที่จะจับเวลาในการต้มเยื่อ โดยดูจากการทดลองซ้ำที่ปริมาณสารเคมี และอุณหภูมิเท่ากัน แต่ระยะเวลาในการรอนจนถึงอุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียสไม่เท่ากัน และในบางการทดลองต่างกันมาก ทำให้ส่งผลถึงคุณสมบัติต่างๆ ด้วยเช่นกัน

5.3.2 วัตถุดิบที่ใช้นำมาจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเก็บใส่ถังมา บางส่วนก็ขึ้นรา เนื่องจากเก็บไว้ในที่อับและความชื้นของทางใบก็มีอยู่เยอะ การใช้ทางใบสดน่าจะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าเนื่องจากโครงสร้างของเซลยังขยายขนาดเต็มที่ ช่วยให้การซึมผ่านของสารเคมีเป็นไปได้ดีขึ้น แต่บางที่เชื้อราที่อยู่ด้านในส่วนที่เรามองไม่เห็นอาจเป็นตัวทำลายสมบัติบางชนิดของเยื่อก็ได้ ถ้ามีแหล่งวัตถุดิบที่ใกล้สถานที่ทดลองน่าจะให้ผลการทดลองที่ดียิ่งกว่า

เอกสารอ้างอิง

1. Fuad M.A., et al. **Socio-economic considerations in the development of jungle to oil palm. Oil Palm and the Environment.** A Malaysian Perspective. Malaysian Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur, 2002 : (1-7).
2. Chan, K.W. **Biomass production in the oil palm industry, Oil Palm and the Environment.** A Malaysian Perspective. Malaysian Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur, 2002 : (41-53).
3. วุฒิ วุฒิธรรมเวช. ประวัติตำราการแพทย์ไทย. [ออนไลน์] 24 กรกฎาคม 2550. [สืบค้นวันที่ 2 สิงหาคม 2550]. จาก <http://www.samunpri.com/modules.php?name=News&file=article&sid=240&mode=thread&order=0&thold=0>
4. สุทัศน์ ยกส้าน. กระดาษกับการอนุรักษ์. [ออนไลน์] 25 กรกฎาคม 2550. [สืบค้นวันที่ 2 สิงหาคม 2550]. จาก <http://www.school.net.th/library/snet6/envi4/recycle/paper1.htm>
5. วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. กระดาษ. [ออนไลน์] 25 กรกฎาคม 2550. [สืบค้นวันที่ 2 สิงหาคม 2550]. จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B8%A9>
6. Chief. **“State of the World's Forests 2007” Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division.** [Online] 2007. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : http://www.panda.org/about_wwf/what_we_do/forests/about_forests/importance/economic_use/timber/index.cfm
7. M. J. Farabee, et al. **“Cell Size and Shape” Cellular Organization.** [Online] 2007. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://www.modares.ac.ir/elearning/Dalimi/Proto/Lectures/week2/week2-gloss.htm>
8. G. R. Martin., et al. **Cell Biol.** [serial online] 3 (1991) : 57. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://tainano.com/chin/Molecular%20Biology%20Glossary.htm>

9. Friedman, et al. "The origin and early evolution of tracheids in vascular plants: Integration of palaeobotanical and neobotanical data." **Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B.** [serial online] 355 (2000) : 857-868. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://www.jstor.org/pss/3066810>
10. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ**. กรุงเทพมหานคร : ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2541.
11. Steven Vogel. "Comparative Biomechanics." **Princeton University Press.** [serial online] 2003. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/wood/printall.php>
12. Britannica Student Encyclopaedia. **Wood: cellular composition of wood.** [online] 2000. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://student.britannica.com/eb/art-55253/Types-of-cells-present-in-hardwoods-and-soft-woods>
13. **Kraft or Sulfate Process.** [online] 2000. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/files/33fc545c-6a37-41c3-9f4d-64c3f1440051/ch02.html>
14. พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล. "เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ." **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 3(5) (2543).
15. SEPA-Report. "Overview of the processes of a kraft pulp mill." **BREF Pulp and Paper.** [serial online] 1997. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : http://aida.ineris.fr/bref/brefpap/bref_pap/english/bref_gb_kraft_processus.htm
16. AQuinde Pulping Consulting Inc. "A Resource in Kraft-AQ Pulping." **Theory & Industrial Applications.** [serial online] 1992. [cited August, 2nd 2007]. Available from : URL : <http://www.quindeconsulting.ca/>
17. Nour-Eddine El Mansouri 1, Joan Salvadó. "Structural Characterization of Technical Lignins for the Production of Adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins." **Industrial Crops and Products.** 24 (2006) : 8-16.
18. บริษัทแอ็ดวานซ์อะโกร จำกัด (มหาชน). **รู้เพื่อเรื่องกระดาษ**. [ออนไลน์] 1997. [สืบค้นวันที่ 2 สิงหาคม 2007]. จาก <http://www.advanceagro.com>

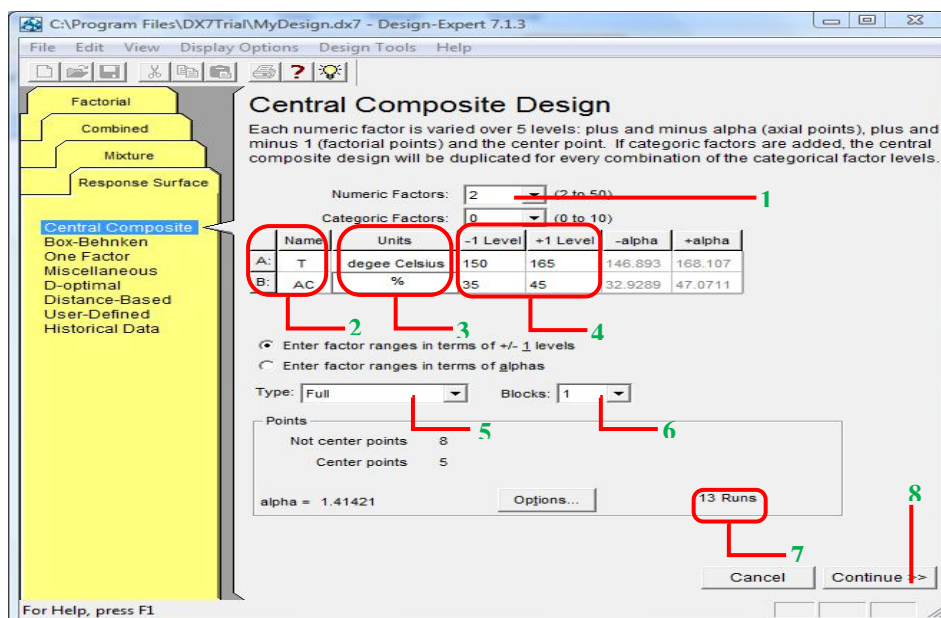
19. Fernando Resende. "Reaction Kinetics of Biomass Gasification in Supercritical Water"
University of Michigan. [serial online] 2007 May. [cited August, 2nd 2007].
Available from : URL :
http://www.engin.umich.edu/dept/che/research/savage/Fernando/Fernando_main.htm
20. F.D.B. Abadio, et al. "Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed." **Journal of Food Engineering**. 64 (2004) : 285-287.
21. Law K.N., et al. **Nonwood materials (with special reference to oil palm fibers) as papermaking materials: potentials and challenges in the new millennium**.
Proceedings of USMJIRCAS Joint International Symposium on Lignocellulosic Materials, Penang, Malaysia, 2002 : (1-13).
22. P. Khristova. "Alkaline pulping of some eucalypts from Sudan." **Bioresource Technology**. 97 (2006) : 535-544.
23. James S. Han. **Determining the Minimum Conditions for Soda-AQ Pulping of Kenaf Bast, Core, and Whole Stalk Fibers**. Second Annual American Kenaf Society Conference, 1999 : (25-26).
24. P. H'ng. **4th National Seminar on Utilisation of Oil Palm Tree-Oil Palm Residues-Progress towards Commercialisation**. Malaysia, 1997 : (34).
25. ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. **ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
26. J. Bassett., et al. **Vogels Textbook Quantitative Inorganic Analysis**. London : Longman Group Limited, 1978.
27. Law, et al. "CMP and CTMP of a fast-growing tropical wood *Acacia mangium*." **Tappi**. 83 (7) : 1-7.

ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Design-Expert

การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม DESIGN-EXPERT

1. เลือกการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design พร้อมทั้งกำหนดข้อมูลต่างๆ และ ตัวแปรที่ต้องการจะศึกษาลงไป



หมายเลข 1 : กำหนดจำนวนตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ 2 ตัวแปร

หมายเลข 2 : ชื่อตัวแปรที่ใช้ A คือ อุณหภูมิ (Temperature) และ B คือ ปริมาณเบส (Alkaline Charge, AC)

หมายเลข 3 : หน่วย B คือ degree Celsius และ AC คือ percent (%)

หมายเลข 4 : ช่วงสภาวะที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 155 – 165 °C และ ปริมาณเบสระหว่าง 35-45 %

หมายเลข 5 : กำหนดเป็นชนิด Full

หมายเลข 6 : คือจำนวนกลุ่มการทดลอง

หมายเลข 7 : โปรแกรมจะออกแบบการทดลองเป็น 13 การทดลองตามข้อกำหนดที่ให้

หมายเลข 8 : ดำเนินการต่อไป

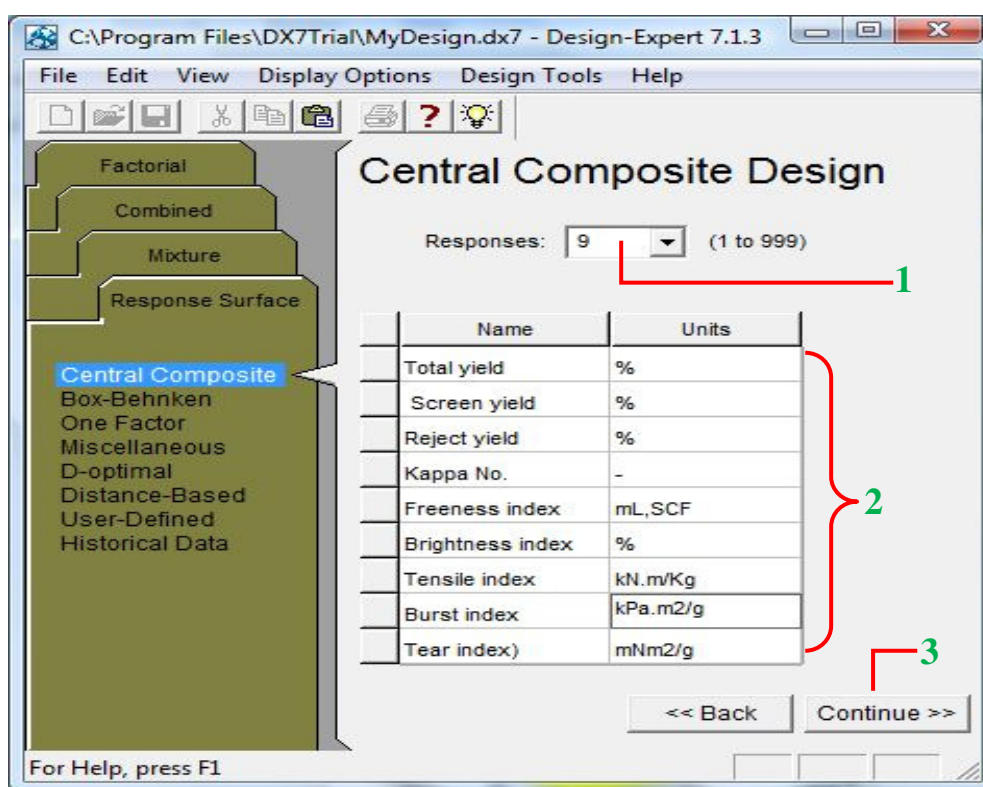
2. กำหนดจำนวนของคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อที่ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัตินั้นๆ ต่อตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

หมายเลข 1 : กำหนดจำนวนของคุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการศึกษาจำนวน 9 ค่า

หมายเลข 2 : ชื่อของจำนวนของคุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการศึกษาได้แก่ ค่าแคปปา (Kappa Number) เป็นคุณสมบัติที่ไม่มีหน่วย ปริมาณเชื้อทั้งหมดที่ได้หลังจากการต้ม

(Total yield = Screen yield + Reject yield) หน่วยเป็น เปอร์เซ็น(%) ปริมาณเชื้อ
ทั้งหมดที่ผ่านการคัดขนาด (Screen yield) หน่วยเป็น percent (%) ปริมาณเชื้อ
ทั้งหมดที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (Reject yield) หน่วยเป็น percent (%) ปริมาณน้ำ
ที่ไหลผ่านเชื้อเทียบกับเวลา (Freeness index) หน่วยเป็น mL,SCF ค่าความขาว
สว่างของเชื้อ (Brightness index) หน่วยเป็น percent (%) ค่าความต้านแรงดึงขาด
(Tensile index) หน่วยเป็น kN.m/Kg ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ (Burst
index) หน่วยเป็น kPa.m²/g ค่าความต้านทานแรงฉีก (Tear index) หน่วยเป็น
mN.m²/g

หมายเลข 3 : ดำเนินการต่อไป



- 3 เมื่อใส่ข้อมูลครบตามที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะออกแบบการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังนี้
- หมายเลข 1 : สภาวะที่ต้องทดลองตามลำดับ
- หมายเลข 2 : ตัวแปรตัวที่ 1 คือ อุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (degree Celsius.)
- หมายเลข 3 : ตัวแปรตัวที่ 2 คือ ปริมาณเบส (Alkaline Charge, AC) หน่วยเป็น percent (%)
- หมายเลข 4 : ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อตัวที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าแคลปปา (Kappa Number)

- หมายเลข 5 : ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อตัวที่ 2 ที่ได้จากการทดลองคือ ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ได้หลังจากการต้ม (Total yield = Screen yield + Reject yield)
- หมายเลข 6 : ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อตัวที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง คือ ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ผ่านการคัดขนาด (Screen yield)
- หมายเลข 7 : ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อตัวที่ 4 ที่ได้จากการทดลอง คือ ปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (Reject yield)
- หมายเลข 8 : ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อตัวที่ 5 ที่ได้จากการทดลอง คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเยื่อเทียบกับเวลา (Freeness index)
- หมายเลข 9 : ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อตัวที่ 6 ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความขาวสว่างของเยื่อ (Brightness index)
- หมายเลข 10 : ข้อมูลคุณสมบัติทางเชิงกลของเยื่อตัวที่ 7 ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความต้านแรงดึงขาด (Tensile index)
- หมายเลข 11 : ข้อมูลคุณสมบัติทางเชิงกลของเยื่อตัวที่ 8 ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ (Burst index)
- หมายเลข 12 : ข้อมูลคุณสมบัติทางเชิงกลของเยื่อตัวที่ 9 ที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความต้านทานแรงฉีก (Tear index)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

G:\where to find data\Reference\For thesis\Design Expert\DX\photo\my dx.dx7 - Design-Expert 7.1.3

File Edit View Display Options Design Tools Help

Design (Actual)

- Summary
- Graph Columns
- Evaluation
- Analysis
 - Kappa No. (Anal)
 - Total yield (Anal)
 - Scend yield (Anal)
 - Reject yield (Anal)
 - Freeness
 - Brightness (Anal)
 - Tensile (Analyze)
 - Burst
 - Tear (Analyzed)
- Optimization
 - Numerical
 - Graphical
 - Point Prediction

Select	Std	Factor 1 A:T degree Celsius	Factor 2 B:AC %	Response 1 Kappa No.	Response 2 Total yield %	Response 3 Sceend yield %	Response 4 Reject yield %	Response 5 Freeness ml,CSF	Response 6 Brightness %	Response 7 Tensile kN.m/kg	Response 8 Burst kPa.m2/g	Response 9 Tear mN.m2/g
1		150.00	35.00	58.71	33.7139	32.9939	0.72	682.27	22.021	246.152	1.54281	10.647
2		165.00	35.00	28.34	38.8576	38.5776	0.28	556.66	25.698	296.341	1.68743	10.3853
3		150.00	45.00	42.58	36.5431	36.3031	0.24	651.52	23.043	236.27	1.76842	10.4991
4		165.00	45.00	20.75	44.9456	44.8256	0.12	595.8	28.076	283.368	1.65503	11.8547
5		146.93	40.00	45.72	32.1074	31.6274	0.48	691.12	23.454	248.728	1.67075	9.7756
6		168.07	40.00	17.25	46.7252	46.6772	0.048	583.18	28.829	337.947	1.82059	12.0086
7		155.00	32.95	72.73	34.7971	31.8331	2.964	671.665	22.502	230.787	1.70419	10.1054
8		155.00	47.05	40.50	36.3351	36.1351	0.2	655.45	24.827	279.679	1.79473	11.0157
9		155.00	40.00	46.91	35.5172	35.3252	0.192	623.85	22.302	308.802	1.81514	10.9072
10		155.00	40.00	46.40	34.3336	34.1776	0.156	648.35	22.975	270.638	1.84834	10.9318
11		155.00	40.00	48.79	34.9404	34.6204	0.32	613.85	23.161	306.377	1.86729	10.4759
12		155.00	40.00	49.56	34.669	34.229	0.44	649.35	22.584	292.455	1.81711	10.7649
13		155.00	40.00	48.35	33.5346	33.1346	0.4	660.35	23.168	256.754	1.82539	10.2456

For Help, press F1

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความชื้นของทางใบปาล์มน้ำมัน

ครั้งที่	น้ำหนัก จาน (g)	น้ำหนักจาน+ทาง ใบปาล์มน้ำมัน(g)		น้ำหนักทางใบ ปาล์มน้ำมัน(g)		เปอร์เซ็นต์ ไม้แห้ง (%)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ		
1	49.44	201.03	84.54	151.59	35.10	23.15	76.85
2	45.79	197.51	81.18	151.72	35.39	23.33	76.67
3	41.94	193.31	77.48	151.37	35.54	23.48	76.52
			เฉลี่ย	151.56	35.34	23.32	76.68

ตารางที่ ก-2 แสดงค่าความชื้นของเยื่อที่ได้ ปริมาณเยื่อที่ผ่านการคัดแยกเยื่อ และปริมาณเยื่อ
ที่ไม่สามารถผ่านการคัดแยกเยื่อ

Batch No.	ปริมาณ NaOH (%)	Temperature (°C)	Moisture (%)	Fibres (%)	Total fibres after screen (g)		Screen Yield (%)	Reject (g)	Reject Yield (%)	Total yield (%)	Fibres for test (g)			
					wet	dry					Use		Remain	
											wet	dry	wet	dry
1	35	150	77.420	22.580	365.30	82.48	32.99	1.80	0.72	33.71	132.86	30.00	232.44	52.48
2	35	165	75.590	24.410	395.10	96.44	38.58	0.70	0.28	38.86	122.90	30.00	272.20	66.44
3	45	150	70.600	29.400	308.70	90.76	36.30	0.60	0.24	36.54	102.04	30.00	206.66	60.76
4	45	165	73.890	26.110	429.20	112.06	44.83	0.30	0.12	44.95	114.90	30.00	314.30	82.06
5	40	155	77.710	22.290	396.20	88.31	35.33	0.48	0.19	35.52	134.59	30.00	261.61	58.31
6	40	155	73.080	26.920	317.40	85.44	34.18	0.39	0.16	34.33	111.44	30.00	205.96	55.44
7	40	155	77.670	22.330	387.60	86.55	34.62	0.80	0.32	34.94	134.35	30.00	253.25	56.55
8	40	155	71.580	28.420	301.10	85.57	34.23	1.10	0.44	34.67	105.56	30.00	195.54	55.57
9	40	155	86.710	13.290	623.30	82.84	33.13	1.00	0.40	33.53	225.73	30.00	397.57	52.84
10	40	147	77.531	22.469	351.90	79.07	31.63	1.20	0.48	32.11	133.52	30.00	218.38	49.07
11	40	168	76.970	23.030	506.70	116.69	46.68	0.12	0.05	46.73	130.26	30.00	376.44	86.69
12	33	155	77.210	22.790	349.20	79.58	31.83	7.41	2.96	34.80	131.64	30.00	217.56	49.58
13	47	155	76.984	23.016	392.50	90.34	36.14	0.50	0.20	36.34	130.34	30.00	262.16	60.34

ตารางที่ ก-3 แสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ

No.	Filter paper (g)		Filter paper + fibres (g)		Fibres (g)		Consistency (%)			Corrections temp to 0.30 %	Temperature (°C)		Corrections temp to 20°C		Drain water (mL)			Freeness Index (mL/CSF)
	Times		Times		Times						Times		Times		Times			Times
	1	2	1	2	1	2	1	2	Avg		1	2	1	2	1	2	Avg	1
1	2.3737	2.3920	5.4620	5.5558	3.0883	3.1638	0.3088	0.3164	0.3126	5.6700	22.0	22.0	6.6	6.6	670.0	670.0	670.0	682.27
2	2.4116	2.3420	5.5340	5.4420	3.1224	3.1000	0.3122	0.3100	0.3111	6.6600	20.0	20.0	0.0	0.0	550.0	550.0	550.0	556.66
3	2.4155	2.3764	4.9388	5.0250	2.5233	2.6486	0.2523	0.2649	0.2586	24.9800	22.0	22.0	6.5	6.5	670.0	670.0	670.0	651.52
4	2.4353	2.4498	5.7550	5.7200	3.3197	3.2702	0.3320	0.3270	0.3295	15.8000	20.0	20.0	0.0	0.0	580.0	580.0	580.0	595.80
5	2.3770	2.3370	5.3850	5.4820	3.0080	3.1450	0.3008	0.3145	0.3077	3.8500	20.0	20.0	0.0	0.0	620.0	620.0	620.0	623.85
6	2.4180	2.3930	5.4364	5.7091	3.0184	3.3161	0.3018	0.3316	0.3167	8.3500	20.0	20.0	0.0	0.0	640.0	640.0	640.0	648.35
7	2.3709	2.3825	5.5400	5.7280	3.1691	3.3455	0.3169	0.3346	0.3257	13.8500	20.0	20.0	0.0	0.0	600.0	600.0	600.0	613.85
8	2.4460	2.3554	5.5582	5.6165	3.1122	3.2611	0.3112	0.3261	0.3187	9.3500	20.0	20.0	0.0	0.0	640.0	640.0	640.0	649.35
9	2.3760	2.4275	5.5500	5.6870	3.1740	3.2595	0.3174	0.3260	0.3217	10.3500	20.0	20.0	0.0	0.0	650.0	650.0	650.0	660.35
10	2.3723	2.3507	5.6387	5.5910	3.2664	3.2403	0.3266	0.3240	0.3253	11.1200	20.0	20.0	0.0	0.0	680.0	680.0	680.0	691.12
11	2.4112	2.3850	5.4191	5.4830	3.0079	3.0980	0.3008	0.3098	0.3053	3.1800	20.0	20.0	0.0	0.0	580.0	580.0	580.0	583.18
12	2.3881	2.3713	5.4467	5.3861	3.0586	3.0148	0.3059	0.3015	0.3037	1.6650	20.0	20.0	0.0	0.0	670.0	670.0	670.0	671.67
13	2.3657	2.3577	5.4771	5.4670	3.1114	3.1093	0.3111	0.3109	0.3110	5.4500	20.0	20.0	0.0	0.0	650.0	650.0	650.0	655.45

ตารางที่ ก-4 แสดงค่าความขาวสว่างของเยื่อ

Batch No.	Handsheet No.										ISO Brightness (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	22.04	22.07	21.89	22.18	22.04	22.11	22.04	21.89	21.98	21.97	22.02
2	25.33	25.92	26.14	25.33	25.42	26.10	26.12	25.74	25.40	25.48	25.70
3	22.97	23.07	23.02	22.99	22.96	23.15	23.15	23.15	22.88	23.09	23.04
4	27.98	28.04	28.22	27.55	28.27	28.07	28.61	28.47	27.75	27.80	28.08
5	22.63	22.47	22.21	22.51	22.30	22.15	22.19	22.08	22.27	22.21	22.30
6	23.13	23.33	23.18	22.94	22.89	22.85	22.75	22.73	23.01	22.94	22.98
7	23.98	23.59	22.51	23.01	23.31	23.71	23.00	23.12	22.87	22.51	23.16
8	21.79	23.41	23.35	23.55	23.49	23.39	21.76	21.73	21.82	21.55	22.58
9	23.04	23.25	23.17	23.14	22.79	23.09	23.13	23.48	23.34	23.25	23.17
10	23.98	23.59	24.51	24.99	22.96	23.15	22.19	23.08	22.27	23.82	23.45
11	29.22	29.55	28.27	29.05	29.10	28.12	28.74	27.98	29.04	29.22	28.83
12	22.21	22.40	21.60	22.15	22.89	22.58	22.97	22.30	23.41	22.51	22.50
13	24.33	24.42	24.33	25.92	25.40	25.48	25.07	24.02	25.15	24.15	24.83

ตารางที่ ก-5 แสดงดัชนีความต้านแรงดึงขาด

Batch No.	Handsheet No.										X	Tensile	Tensile index (kN.m/kg)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	24.66	23.69	27.35	31.01	30.04	23.69	24.42	27.84	26.13	30.28	26.91	654	246.15
2	32.23	37.12	38.34	26.62	21.49	25.64	31.99	31.26	29.79	37.12	31.16	654	296.34
3	22.47	22.22	21.98	21.73	21.98	26.86	23.44	21.73	25.15	21.98	22.95	654	236.27
4	36.63	31.75	28.57	28.08	31.01	36.87	33.94	31.99	30.28	27.84	31.70	654	283.37
5	36.63	31.00	33.46	32.20	35.16	35.40	35.16	35.40	31.75	34.43	34.06	654	308.80
6	26.62	26.42	27.15	28.66	27.10	28.89	26.86	28.64	27.10	26.62	27.41	654	270.64
7	34.43	35.41	31.99	33.94	34.19	36.63	35.41	36.39	32.48	33.94	34.48	654	306.38
8	30.04	31.75	31.99	32.97	31.16	34.12	31.99	30.19	31.99	30.03	31.62	654	292.45
9	27.70	26.62	26.44	25.40	28.42	26.62	27.70	28.90	25.42	28.18	27.14	654	256.75
10	26.66	25.69	27.35	27.01	27.01	24.69	24.42	25.00	26.10	24.07	25.80	654	248.73
11	35.63	35.00	34.46	35.20	36.16	35.40	35.16	35.40	35.75	36.43	35.46	654	337.95
12	22.47	22.22	24.98	23.73	23.98	26.86	23.44	23.73	25.15	25.98	24.25	654	230.79
13	28.63	31.75	28.57	28.08	29.01	26.87	28.94	31.99	29.28	27.84	29.10	654	279.68

ตารางที่ ก-6 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุขาด

Batch No.	Handsheet No.										Burst (kPa)	Burst index (kPa.m ² /g)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	115.0	106.1	104.7	101.0	114.2	104.3	113.2	114.9	115.1	114.6	110.3	1.54
2	105.3	124.5	123.2	111.2	110.2	121.9	122.3	122.5	112.2	107.1	116.0	1.69
3	108.4	101.9	113.7	115.0	112.7	115.9	124.6	124.6	101.5	105.3	112.4	1.77
4	125.1	129.2	111.6	115.4	114.7	115.4	110.9	145.2	121.6	121.6	121.1	1.66
5	146.6	119.5	118.1	129.9	134.4	138.6	131.7	131.0	131.7	127.8	130.9	1.82
6	128.8	117.6	116.0	135.9	117.6	117.1	114.5	119.1	128.9	128.6	122.4	1.85
7	134.4	112.9	130.6	150.3	136.2	148.6	142.1	131.7	134.8	152.8	137.4	1.87
8	131.7	137.9	130.3	130.6	137.2	128.5	126.8	129.9	120.2	111.9	128.5	1.82
9	132.3	131.5	115.0	132.1	124.9	129.2	126.6	120.0	128.4	121.9	126.2	1.83
10	105.3	117.5	123.2	111.2	110.2	121.9	112.3	112.5	112.2	107.1	113.3	1.67
11	126.6	119.5	118.1	129.9	124.4	118.6	121.7	131.0	131.7	127.8	124.9	1.82
12	122.6	119.5	118.1	125.9	114.4	118.6	111.7	111.0	111.7	117.8	117.1	1.70
13	128.8	117.6	116.0	135.9	117.6	117.1	114.5	119.1	125.9	128.6	122.1	1.79

ตารางที่ ก-7 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด

Batch No.	Handsheet No.										Pan / Area (gf)	g.mN	$\bar{X}$	Factor of pendulum (mN)	Tear index (N.m ² /kg)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
1	18.0	18.0	18.0	18.0	20.0	20.0	20.0	20.0	21.0	21.0	4.0	9.81	19.40	761.26	10.65
2	17.0	17.0	17.0	18.0	18.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	4.0	9.81	18.20	714.17	10.39
3	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0	20.0	4.0	9.81	17.00	667.08	10.50
4	20.0	20.0	20.0	20.0	22.0	22.0	22.0	25.0	25.0	25.0	4.0	9.81	22.10	867.20	11.85
5	19.0	19.5	19.5	19.5	20.0	20.0	20.0	20.0	21.5	21.5	4.0	9.81	20.05	786.76	10.91
6	18.0	18.0	18.0	18.0	18.5	18.5	18.5	19.0	19.0	19.0	4.0	9.81	18.45	723.98	10.93
7	18.0	18.0	19.0	19.5	19.5	20.0	20.0	20.5	21.0	21.0	4.0	9.81	19.65	771.07	10.48
8	18.0	18.0	19.0	19.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	4.0	9.81	19.40	761.26	10.76
9	17.0	17.0	17.0	17.5	17.5	18.0	18.5	19.0	19.0	20.0	4.0	9.81	18.05	708.28	10.25
10	16.0	16.0	16.0	16.0	17.0	17.0	17.5	17.5	18.0	18.0	4.0	9.81	16.90	663.16	9.78
11	20.0	20.0	20.0	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	22.0	4.0	9.81	21.00	824.04	12.01
12	16.0	16.0	16.0	18.0	18.0	18.0	18.0	19.0	19.0	19.0	4.0	9.81	17.70	694.55	10.11
13	18.0	18.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	20.0	21.0	4.0	9.81	19.10	749.48	11.02

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีและวิธีคำนวณต่างๆ เกี่ยวกับการขึ้นแผ่นกระดาษ

การเตรียมสาร

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ Kappa Number ตามมาตรฐาน TAPPI USEFUL METHOD 246 สูตรที่ใช้คำนวณน้ำหนักที่ใช้เพื่อให้ได้ค่า ค่านอร์มัลลิตี (N)[25]

$$\text{น้ำหนักของสาร(g)} = \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล}$$

** น้ำหนักสมมูลของสาร คือ มวลโมเลกุลของสารหารด้วยจำนวนครั้งการแตกตัวของอิเล็กตรอน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มัลลิตี (N) ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร KMnO_4 มีมวลโมเลกุล 158.04 มีจำนวน 5 สมมูล สามารถหาน้ำหนักสารที่ต้องใช้เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N คือ

$$\text{จากสูตรน้ำหนักของสาร} = \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล}$$

$$= 0.1 \times 1.0 \times \left(\frac{158.04}{5} \right)$$

$$= 3.16 \text{ g}$$

ฉะนั้นต้องทำการชั่งสาร KMnO_4 จำนวน 3.16 g ลงในขวดวัดปริมาตร 1000 mL ผสมให้เข้ากันแล้วเทใส่ขวดวัดเก็บสารสีชาเนื่องจากสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 จะสลายตัวในแสงอาทิตย์ทำให้ความเข้มข้นผิดพลาดได้

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4.0 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มัลลิตี (N) ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4.0 N ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร H_2SO_4 มีมวลโมเลกุล 98 แตกตัว 2 ครั้ง สามารถหาน้ำหนักสารที่ต้องใช้เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4 N คือ

$$\text{จากสูตรน้ำหนักของสาร} = \text{ค่านอร์มัลลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล}$$

$$= 4 \times 1.0 \times \left(\frac{98}{2} \right)$$

$$= 196 \text{ g}$$

แต่สาร H_2SO_4 เป็นของเหลวจึงต้องหาเป็นปริมาตรสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 97%

$$\text{จาก น้ำ} \quad 100 \text{ g มี} \quad \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 97 \text{ g}$$

$$\text{ถ้าต้องการ H}_2\text{SO}_4 \text{ 196 g} \quad \text{ต้องปิเปตมา} = \frac{196 \times 100}{97}$$

$$= 202.06 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{สาร } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ มีความหนาแน่น } 1.84 \text{ เพราะฉะนั้นจากปริมาตร (V) = } & \frac{\text{น้ำหนัก (g)}}{\text{ความหนาแน่น (D)}} \\ & = \frac{202.06}{1.84} \\ & = 109.82 \text{ mL} \end{aligned}$$

ทำการบีบอัดสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 97% จำนวน 109.82 mL ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 mL ผสมให้เข้ากัน

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน KI ความเข้มข้น 1.0 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มาลิตี (N) ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน KI ความเข้มข้น 1.0 N ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร KI มีมวลโมเลกุล 166 แยกตัว 1 ครั้ง สามารถหาน้ำหนักสารที่ต้องใช้เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐาน KI ความเข้มข้น 1.0 N คือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตรน้ำหนักของสาร} &= \text{ค่านอร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 1 \times 1.0 \times 166 \\ &= 166 \text{ g} \end{aligned}$$

ฉะนั้นต้องทำการชั่งสาร KI จำนวน 166 g ลงในขวดวัดปริมาตร 1000 mL ผสมให้เข้ากัน

4. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N

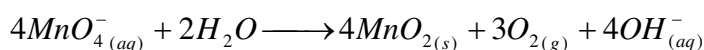
จากสูตรความสัมพันธ์ค่านอร์มาลิตี (N) ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 500 มิลลิลิตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มีมวลโมเลกุล 248.18 แยกตัว 2 ครั้ง สามารถหาน้ำหนักสารที่ต้องใช้เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N คือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตรน้ำหนักของสาร} &= \text{ค่านอร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 0.2 \times 0.5 \times \frac{248.18}{2} \\ &= 12.4 \text{ g} \end{aligned}$$

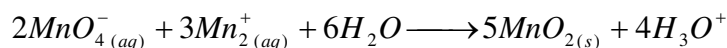
ฉะนั้นต้องทำการชั่งสาร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จำนวน 12.4 g ลงในขวดวัดปริมาตร 500 mL ผสมให้เข้ากัน

การใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารละลายมาตรฐาน [26]

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารที่ใช้เป็นมาตรฐานปฐมภูมิไม่ได้ เนื่องจากไม่สามารถทำให้สารนี้บริสุทธิ์ได้ เพราะจะมี MnO_2 บนอยู่ตลอดเวลา แม้แต่น้ำกลั่นที่ละลายสารนี้ก็มีสารที่เป็นตัวรีดิวซ์ปนอยู่เล็กน้อย เช่น สารประกอบทางอินทรีย์ที่เล็ดลอดออกมาจากกระบวนการไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (ion exchange) ในการทำน้ำกลั่น สารนี้จะทำปฏิกิริยากับ KMnO_4 แล้วทำให้เกิด MnO_2 และนอกจากนี้ถ้าเก็บสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไว้นานๆ จะเกิดการสลายตัวแบบ autodecomposition ขึ้น

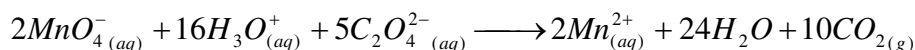


ถ้ามี Mn_2^+ ปนอยู่ในสารละลายเปอร์แมงกาเนตทำให้เปอร์แมงกาเนตไม่อยู่ตัวทำปฏิกิริยาให้ MnO_2



การเปลี่ยนแปลงแบบนี้จะเกิดขึ้นช้าถ้าสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด แต่จะเกิดเร็วขึ้นถ้าสารละลายเป็นกลาง ด้วยเหตุดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เราจึงไม่เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจาก KMnO_4 ที่บริสุทธิ์แบบรีเอเจนต์เกรด แต่เราจะใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีขายอยู่ทั่วไปมาละลายน้ำกลั่นแล้วต้มบน حمامน้ำ (water bath) ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วกรองบนซินเทอร์กลาสเบอร์ 4 หรือกระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 42 ถ้าไม่ต้มสารละลายจะต้องทิ้งสารละลายนั้นไว้ 2-3 วันก่อนการทดลอง สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตควรเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลที่มิดชิดแล้ว ใส่อากาศที่มิดชิดเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาหรือเบสก่อนข้างจะอยู่ตัวน้อยกว่าสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลาง

การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทำได้โดยนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาเลต ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ซึ่งเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ



จากสมการเราสามารถหามวลสารสัมพันธ์ได้ดังนี้

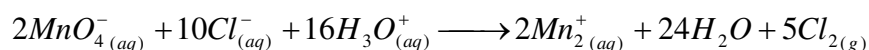
$$\text{จำนวน โมลของ } \text{KMnO}_4 / \text{จำนวน โมลของ } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 2 / 5$$

การหาความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สำหรับการทดลองนั้นจะแทนค่าหาความเข้มข้นได้ดังนี้

$$[\text{ความเข้มข้น } \text{KMnO}_4 \text{ M} \times \text{ปริมาตร } \text{KMnO}_4 \text{ ml (ไทเทรต)}] / [0.05 \text{ M} \times 25 \text{ ml}] = 2 / 5$$

ค่าความเข้มข้นที่ได้เป็นหน่วย โมล/ลิตร เมื่อคูณด้วย 5 (น้ำหนักกรัมสมมูล) จะได้ค่าในหน่วย นอร์มัล (N)

ในการวิเคราะห์แร่เหล็ก แร่เหล็กจะต้องถูกรีดิวส์ให้เป็นไอรอน(II) หหมดโดยสารละลายทิน(II)คลอไรด์ สารละลายที่ได้หลังจากการรีดิวส์จะมีปริมาณของคลอไรด์อยู่มาก ถ้านำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต คลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ MnO_4^- ด้วย



ผลก็คือทำให้เราต้องใช้ปริมาณของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต มากกว่าความเป็นจริง ซิมเมอร์มานน์ (Zimmermann) ได้เสนอข้อแก้ไขอันนี้โดยการเติมแมงกานีส (II) ลงไปในสารละลายแมงกานีส (II) จะไปทำให้รีดักชันโพเทนเชียล (reduction potential) ของปฏิกิริยา MnO_4^- ไปเป็น Mn_2 เปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถที่จะออกซิไดส์คลอไรด์ไอออนให้กลายเป็นก๊าซคลอรีน

ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไอร์ออน (II) จะทำให้เกิดไอร์ออน (III) ขึ้น ซึ่งสารนี้มีสีเหลือง และทำให้การหาจุดยุติลำบากขึ้น เรินฮาร์ดต์ (Reinhardt) เสนอข้อแก้ไขอันนี้โดยการเติมสารละลายกรดฟอสฟอริกลงไปเพื่อทำให้เกิดไอออนเชิงซ้อนของเหล็ก (Iron-phosphate complex ion) ที่ไม่มีสี ดังนั้นสารละลายซึ่งประกอบด้วยแมงกานีส (II) และกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการไทเทรตหาปริมาณของเหล็กจึงถูกเรียกว่า สารละลายป้องกันของซิมเมอร์มานน์-เรินฮาร์ดต์ (Zimmermann-Reinhardt Preventive Solution)

การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

การเตรียม KMnO_4 0.1 N

ชั่ง KMnO_4 ประมาณ 3.2-3.25 g ในบีกเกอร์ 1500 mL

↓
เติมน้ำกลั่น 1000mL

↓
ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกาให้ความร้อนถึงจุดเดือด 15-30 นาที

↓
ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓
กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

↓
เก็บสารละลายในภาชนะที่ทำความสะอาดด้วยกรด Chromic แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกที

↓
เก็บสารละลายในขวดสีชา

การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

มีสารที่เป็นมาตรฐานปฐมภูมิหลายชนิด ที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่นิยมใช้กันมาก คือ โซเดียมออกซาเลต ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) แต่เราไม่นิยมใช้กรดออกซาลิก ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) เนื่องจากสารนี้เป็นผลึกที่มีจำนวนโมเลกุลของน้ำผลึกไม่แน่นอน ในการไทเทรตสารละลาย $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตตามวิธีเดิมนั้น ต้องทำสารละลาย $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ในสารละลายกรดให้มีอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เสียก่อน แล้วจึงเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงไปอย่างช้าๆ (10-15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที) โดยทำให้สารละลายที่ได้มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ต่อมาเฟาเลอร์ (Fowler) และไบรต์ (Bright) ได้แสดงให้เห็นว่าการทดลองแบบเดิมนั้นจะให้ผลสูงกว่าความเป็นจริง 0.10-0.45 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองได้เสนอวิธีการไทเทรตสารละลายโซเดียมออกซาเลตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตใหม่ โดยเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้มีปริมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ใช้ทั้งหมดลงในสารละลายโซเดียมออกซาเลตที่มีอยู่ในกรด 1.0 ฟอร์มัล (F) H_2SO_4 ด้วยอัตราเร็ว 25-30 ลบ.ซม ต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้จนสีชมพูจางหายไป แล้วทำให้สารละลายมีอุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียส นำเอาไปไทเทรตต่อไปกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จนถึงจุดยุติ

แต่ถ้าการไทเทรตแบบเฟาเลอร์และไบรต์ไม่สะดวกแก่การทดลอง เราอาจจะดัดแปลงการไทเทรตแบบเดิมมาใช้ก็ได้ โดยทำให้อุณหภูมิของสารละลาย $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ในกรดมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปไทเทรตอย่างช้าๆ (10-15 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที) จนได้สารละลายที่มีสีชมพูอ่อนที่จุดยุติ

รีเอเจนต์

1. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.02 ฟอร์มัล

ละลาย KMnO_4 นหนัก 1.6 กรัมในน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วต้มบน حمامอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้สารละลายที่ได้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วกรองเอาตะกอนออกด้วยกระดาษวอทแมนเบอร์ 42 หรือซินเตอร์กลาสเบอร์ 4

2. สารละลาย 2.0 ฟอร์มัล H_2SO_4

3. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโซเดียมออกซาเลต

นำ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ชนิดรีเอเจนต์เกรดหรือแอนาลาร์เกรดไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน และใกล้เคียงกับ 0.67 กรัม ละลายโซเดียมออกซาเลตในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาเลต

วิธีทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาเลต 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลาย 2.0 ฟอร์มัล H_2SO_4 ปริมาตร 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน
2. นำสารละลายที่ได้ ไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจากบิวเรตด้วยอัตราเร็ว 25-35 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที พร้อมทั้งเขย่าสารละลายอยู่เสมอ จนสีชมพูอ่อนเกิดขึ้นในสารละลาย และวางทิ้งไว้จนสีชมพูอ่อนเกิดขึ้นในสารละลาย และวางทิ้งไว้จนสีชมพูไม่จางหายไป
3. นำสารละลายที่ได้ไปอุ่นจนมีอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนสีชมพูของสารละลายจางหายไป แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจากบิวเรตต่อทันที จนสารละลายกลายเป็นสีชมพูอ่อนอีกครั้ง และไม่จางหายไปภายในเวลา 30 วินาที
4. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยอาศัยมวลสารสัมพันธ์จากสมการข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว

การ Standardization หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ KMnO_4

อบ Sodium Oxalate ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ที่อุณหภูมิ 105-110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓
ทำให้เย็นโดยนำไปใส่ไว้ใน Desiccator

↓
ชั่ง Sodium Oxalate ที่แห้งประมาณ 0.3 g ในปิเกอร์ 600 mL

↓
เติมน้ำกลั่น 240 mL และ Conc. H_2SO_4 12.5 mL
(หรือ 2 N H_2SO_4 250 mL)

↓
ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 25-30°C กวนเบาๆจน Oxalate ละลายหมด

↓
เติมสารละลาย 0.1 N KMnO_4 90-95% ลงในบิวเรต

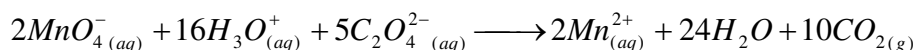
↓
ปล่อยสารละลายประมาณ 25-35 cm^3 / นาที

↓
กวนช้าๆและให้ความร้อนจนถึงประมาณ 55-60°C

↓
ไทเทรต (ขณะร้อน) จนสารละลายเป็นสีชมพูอ่อนนาน 30 วินาที

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยอาศัยมวลสารสัมพันธ์

การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทำได้โดยนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาเลต ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ซึ่งเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ



จากสมการเราสามารถหามวลสารสัมพันธ์ได้ดังนี้

จำนวนโมลของ KMnO_4 / จำนวนโมลของ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 2 / 5$ หรือ

KMnO_4 2 Mole ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 5 Mole

ค่าความเข้มข้นที่ได้เป็นหน่วย โมล/ลิตร เมื่อคูณด้วย 5 (น้ำหนักกรัมสมมูล) จะได้ค่าในหน่วย นอร์มัล (N)

จากสูตร

Mole = $\frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล (กรัม)}}$

;

Mole = $\frac{\text{g}}{\text{MW}}$

จากการทดลองชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มา 0.355 กรัม คิดเป็น

$$\text{Mole} = \frac{0.355 \text{ (กรัม)}}{158 \text{ (กรัม)}} = 2.25 \times 10^{-3}$$

จากการไทเทรต ใช้ปริมาณ KMnO_4 38 ml

ดังนั้น $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 5 Mole ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KMnO_4 2 Mole

ถ้า $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2.25×10^{-3} Mole ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KMnO_4

$$= \frac{2 \times 2.25 \times 10^{-3}}{5} = 8.98 \times 10^{-4} \text{ Mole}$$

หาความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ในหน่วย Mole / L

จาก KMnO_4 38 mL คิดเป็น 8.98×10^{-4} Mole

ถ้า KMnO_4 1000 mL คิดเป็น $\frac{8.98 \times 10^{-4} \times 1000}{38} = 0.02$ Mole / L

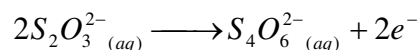
หาความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ในหน่วยนอร์มัล (N)

ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 0.02 Mole / L คิดเป็น $0.02 \times 5 = 0.1$ นอร์มัล (N)

เพราะฉะนั้น สารละลาย KMnO_4 มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N)

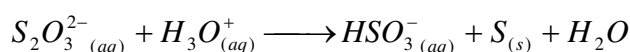
โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulphate $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)กับการเป็นสารละลายมาตรฐาน

สารนี้นิยมเรียกในชื่อว่า ไฮโป (hypo) เป็นสารที่อยู่ตัว แต่เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของน้ำผลึกไม่แน่นอน เราจึงไม่ใช้สารนี้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ ครึ่งปฏิกิริยาของการรีดิวซ์ของสารนี้คือ



การไทเทรตไอโอดีนด้วยสารละลายไทโอซัลเฟต ควรกระทำในสารละลายที่เป็นกลางหรือสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง ปกติประมาณ 2.0 ฟอร์มัล HCl แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดสูงกว่านี้อาจทำให้เกิดการสลายตัวของไทโอซัลเฟตได้

สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เตรียมได้โดยละลายสารนี้ในน้ำกลั่นที่ได้ต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกแล้ว แต่ถ้าในสารละลายมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ จะทำให้เกิดการสลายตัวของไทโอซัลเฟต



นอกจากนี้ การสลายตัวอาจเกิดจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียในสารละลายได้ถ้าตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ เพื่อป้องกันการสลายตัวของไทโอซัลเฟต ควรปฏิบัติดังนี้

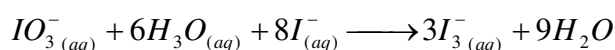
1. ใช้น้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดเตรียมสารละลาย
2. เติม 3 หยดของคลอโรฟอร์ม หรือ 10 มิลลิกรัม ของเมอร์คิวรี (II) ไอโอไดด์ (HgI_2)

ลงในสารละลาย 1 ลิตร

3. อย่าให้สารละลายที่เตรียมถูกแสงสว่างโดยตรง ใช้ขวดที่มีสีบรรจุสารละลาย

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate, KIO_3)

สารที่ใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ สำหรับหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้กันมากได้แก่ โพแทสเซียมไดโครเมตกับโพแทสเซียมไอโอเดต สารทั้งสองนี้มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มากเกินไปในสารละลายที่เป็นกรด ให้ไอโอดีนปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่เป็นมาตรฐานปฐมภูมิที่ใช้ เมื่อนำเอาไอโอดีนที่เกิดขึ้นไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตได้



1. รีเอเจนต์

1.1 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 ฟอร์มัล สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)หนัก 25 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วและทำให้เย็นใหม่ๆ เติมโซเดียมคาร์บอเนตหนัก 0.1 กรัมลงไป แล้วทำให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร ควรเก็บสารละลายนี้ในขวดสีน้ำตาล และสารละลายนี้ควรไทเทรตหาความเข้มข้นก่อนใช้ทุกวัน

1.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 1/60 ฟอร์มัล โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตที่ได้ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน และใกล้เคียงกับ 0.356 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและทำให้สารละลายมีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขวดวัดปริมาตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายนี้

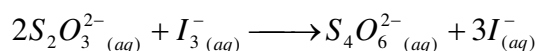
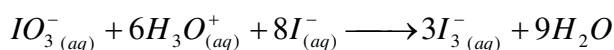
1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 10 กรัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ชนิดรีเอเจนต์เกรด 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.4 น้ำแป้ง น้ำแป้งที่ละลายน้ำได้ (soluble starch) หนัก 1.0 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยคนให้เป็นแป้งเปียกในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทน้ำร้อนที่เดือด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปแล้วคนให้แป้งละลาย ต้มสารละลายที่ได้ 1 นาที แล้วทำสารละลายที่ได้ให้เย็น เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) หนัก 2 กรัม คนสารละลายที่ได้ให้ผสมกันแล้วเก็บไว้ในขวดที่มีจุกอุด (ถ้าต้องการใช้สารละลายนี้เป็นเวลานานหลายเดือนควรเติมเมอร์คิวรี (II) ไอโอไดด์ (HgI_2) หนัก 5 มก. แทน KI) ใช้สารละลายน้ำแป้ง 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตไอโอดีนแต่ละครั้ง และจะต้องไม่ใส่น้ำแป้งก่อนจนกว่าจะเกือบถึงจุดยุติ เพราะจะทำให้การเปลี่ยนแปลงสีเห็นได้ชัด ถ้าเติมน้ำแป้งลงไปในขณะที่ไอโอดีนมีความเข้มข้นสูง ไอโอดีนอาจจะถูกดูดซับบนสารที่มีสี

1.5 สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 1.0 ฟอร์มัล

2. วิธีทดลอง

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ร้อยละ 10 ปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลาย 1.0 ฟอร์มัล H_2SO_4 ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากบิวเรตจนสารละลายที่ได้มีสีชาอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะได้สารละลายสีน้ำเงิน นำไปไทเทรตต่อจนได้สีน้ำเงินอ่อนๆ เกือบจางหายไป ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง ผลที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.1 ลูกบาศก์-เซนติเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากสมการข้างล่าง



จากสมการทั้งสองนี้และอาศัยมวลสารสัมพันธ์ เราจะได้

จำนวนโมลของ I_3^- ต่อ จำนวนโมลของ KIO_3 = 3 ต่อ 1

จำนวนโมลของ I_3^- ต่อ จำนวนโมลของ $Na_2S_2O_3$ = 1 ต่อ 2

ดังนั้นจำนวนโมลของ $Na_2S_2O_3$ ต่อ จำนวนโมลของ KIO_3 = 6 ต่อ 1

การหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต สำหรับการทดลองนั้นจะแทนค่าหาความเข้มข้นได้ดังนี้

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต x ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต(ไทเทรต) / (1 / 60 F x 25 ml) = 6 / 1 ค่าความเข้มข้นที่ได้เป็นหน่วย ฟอर्मัล (F) เมื่อคูณด้วย 1 (น้ำหนักกรัมสมมูล) จะได้ค่าในหน่วยมอร์มัล (N)

หน่วยน้ำหนักกรัมตามสูตร (gram formular weight) แล้วความเข้มข้นของสารละลายที่แสดงเป็นฟอर्मัล (Formality)

1. กรัมตามสูตร (gram formular weight, gfw หรือเขียนอย่างย่อเป็น fw)

สารบางชนิดเราไม่ทราบสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร เช่น โซเดียมคลอไรด์ และเกลือของโลหะส่วนใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยพันธะไอออนิก โครงสร้างของสารเหล่านี้ต่อเนื่องกันจนไม่ทราบว่าโมเลกุลของสารเหล่านี้เริ่มต้นที่ไหนและสิ้นสุดที่ใด เราจึงไม่ทราบสูตรโมเลกุลที่แน่นอนของสารเหล่านี้ ในกรณีแบบนี้มวลตามสูตร (fomula weight) จะถูกนำมาใช้แทนมวลโมเลกุล โดยยึดเอาสูตรอย่างง่าย (empirical formular) มาใช้แทน เมื่อเราแทนค่ามวลอะตอมลงไปในสูตรอย่างง่ายของสาร เราจะได้มวลตามสูตรของสารนั้น จำนวนกรัมตามสูตร (fw) สามารถคำนวณได้ดังนี้

จำนวนกรัมฟอรัลของสาร X = $\frac{\text{น้ำหนักของสาร X เป็นกรัม}}{\text{มวลตามสูตรของสาร X}}$

ตัวอย่างเช่น NaCl มวลตามสูตร = 22.99 + 35.45
= 58.44 กรัม / fw

ดังนั้น 1 fw ของ NaCl จะมีค่า = 58.44 กรัม

NaCl น้ำหนัก 0.123 กรัม = 0.123/58.44
= 2.10×10^{-3}

แต่อย่างไรก็ดี สารที่มีสูตรโมเลกุลที่แน่นอน บางครั้งเรานิยมบอกหน่วยน้ำหนักในรูปของจำนวนกรัมตามสูตรเหมือนกัน เช่น

สาร 1 fw ของ H_2 จะหนัก $1.008 \times 2 = 2.016$ กรัม

ก๊าซไฮโดรเจนหนัก 100 กรัม = $100/2.016 = 49.603$ fw

2. ความเข้มข้นที่แสดงเป็นฟอร์مول (Formality)

หมายถึงความเข้มข้นที่แสดงถึงจำนวนมวลตามสูตรของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร เช่น NaOH หนัก 25 กรัม ละลายในน้ำเป็นสารละลาย 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มข้นของสารละลายหาได้ดังนี้

$$\text{มวลตามสูตรของ NaOH} = 22.99 + 15.999 + 1.008$$

$$= 39.997 \text{ กรัม / fw}$$

$$\text{NaOH หนัก 25 กรัม} = 25 \text{ กรัม} / (39.997 \text{ กรัม / fw})$$

วิธีคำนวณต่างๆ เกี่ยวกับการทำแผ่นกระดาษ

การคำนวณหาความชื้นของทางใบปาล์มน้ำมัน (Moisture Content)

มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของทางใบปาล์มน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันก่อนอบ}}$$

ค่าที่ได้จากการทำการทดลอง

น้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันก่อนอบ	ครั้งที่ 1	=	151.59	กรัม
	ครั้งที่ 2	=	151.72	กรัม
	ครั้งที่ 3	=	151.37	กรัม
	เฉลี่ย	=	151.56	กรัม
น้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันหลังอบ	ครั้งที่ 1	=	35.10	กรัม
	ครั้งที่ 2	=	35.39	กรัม
	ครั้งที่ 3	=	35.54	กรัม
	เฉลี่ย	=	35.34	กรัม

นำค่าที่ได้เหล่านี้ไปแทนค่าลงในสูตรจะได้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของทางใบปาล์มน้ำมัน} &= \left(\frac{35.34}{151.56} \right) \times 100 \\ &= 23.32 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ร้อยละความชื้นของทางใบปาล์มน้ำมัน} = 100 - 23.32 = 76.68$$

การคำนวณปริมาณทางใบปาล์มน้ำมัน ปริมาณสารแอนทราควิโนน และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ 250 กรัมแห้ง แต่เนื่องจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้จริงเป็นทางใบสด จึงต้องมีการคำนวณ ปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันสดที่ต้องชั่งในการทดลองจากทางใบปาล์มน้ำมันสด 100 กรัม มีปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันแห้งอยู่ 23.32 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ต้องเตรียมชั่งทางใบปาล์มน้ำมันสด} &= \left(\frac{250}{23.32} \right) \times 100 \\ &= 1072.04 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ในการทดลองต้องใช้สารแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 0.1 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ มีความเข้มข้นร้อยละ 35 40 และ 45 คือน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง 250 กรัม ถ้าใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35 คือน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง 250 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ต้องเตรียมชั่งสารแอนทราควิโนน} &= \frac{0.1 \times 250}{100} \\ &= 0.25 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{และ ต้องเตรียมชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์} &= \frac{35 \times 250}{100} \\ &= 87.5 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ดังนั้นในการทำงานเดียวกันถ้าต้องการความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 และ 45 คือน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง 250 กรัม ต้องเตรียมชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 100 และ 112.5 กรัม ตามลำดับ

ทดลองนำน้ำเปล่าและทางใบปาล์มน้ำมันสดใส่ลงในหม้อต้มเชื้อแล้ว ปรากฏว่า น้ำจะท่วม (ปริ่มๆ) ทางใบปาล์มน้ำมันสด ต้องใช้ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ : ปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง เท่ากับ 14 กรัม : 1 กรัม เพราะฉะนั้น ถ้าใช้ทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง 250 กรัม ต้องใช้สารละลาย $250 \times 14 = 3500$ กรัมเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 เพราะฉะนั้น ต้องใช้สารละลาย 3500 มิลลิลิตร แต่เนื่องจากใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสด จึงต้องคำนวณปริมาณน้ำที่เติมลงในสารละลาย โดยคิดจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ร้อยละ 76.68 ของน้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมัน

ดังนั้น ทางใบปาล์มน้ำมันทั้งหมด 1072.04 กรัม มีความชื้นอยู่ทั้งหมด

$$\begin{aligned}&= \frac{76.68 \times 1072.04}{100} \\ &= 822.0403 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ต้องเติมน้ำเพิ่มอีก $3500.00 - 822.04 = 2677.96$ มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ในการทดลองนี้ต้องชั่ง ทางใบปาล์มน้ำมันสดทั้งหมด 1072.04 กรัม ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยในแต่ละการทดลองต้องชั่งของแข็งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 87.5, 100 และ 112.5 กรัม ตามการทดลองที่กำหนดไว้ตอนต้น ผสมกับน้ำ 2677.96 มิลลิลิตร และสารแอนทราควิโนน 0.25 กรัม

วิธีคำนวณการขึ้นรูปกระดาษ และค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ

การปรับปริมาตรน้ำสต็อก โดยใช้ปริมาณเยื่อจากการทดลองที่ผ่านการคัดขนาดแล้วตัวอย่างละ 30 กรัมแห้ง และต้องปรับปริมาตรน้ำสต็อกทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 (1.5% โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง 30 กรัม) เพื่อตีให้เยื่อกระจายตัว ครั้งที่ 2 (0.3% โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง 30 กรัม) เพื่อหาค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ ครั้งที่ 3 (0.15% โดยน้ำหนักเยื่อแห้งในปริมาณที่เหลือจากการหาค่าดัชนีการอุ้มน้ำของเยื่อ) เพื่อขึ้นรูปกระดาษ

การปรับปริมาตรครั้งที่ 1 จากน้ำหนักเยื่อแห้ง 1.5 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น เยื่อแห้ง 30 กรัม ต้องเติมน้ำ} &= \frac{30 \times 100}{1.5} \\ &= 2000 \quad \text{มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

การปรับปริมาตรครั้งที่ 2 จากน้ำหนักเยื่อแห้ง 0.3 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น เยื่อแห้ง 30 กรัม ต้องเติมน้ำ} &= \frac{30 \times 100}{0.3} \\ &= 10000 \quad \text{มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

เนื่องจากมีการปรับปริมาตรเบื้องต้น โดยการเติมน้ำ 2000 มิลลิลิตร ดังนั้น ต้องเติมน้ำเพิ่ม $10000 - 2000 = 8000$ มิลลิลิตร ในการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เยื่อ 3 กรัมโดยประมาณ และ น้ำสต็อก 1000 มิลลิลิตร แต่ละตัวอย่างทำ 2 ครั้ง ดังนั้น จึงต้องมีเยื่อเหลืออยู่ $30 - 6 = 24$ กรัม และ น้ำสต็อก 8000 มิลลิลิตร

การปรับปริมาตรครั้งที่ 3 จากเยื่อที่เหลือ 24 กรัม ในน้ำสต็อก 8000 มิลลิลิตร ต้องปรับให้มีปริมาณเยื่อ 0.15 กรัม ในน้ำสต็อก 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น เยื่อ 24 กรัม ต้องเติมน้ำเพิ่ม} &= \left(\frac{24 \times 100}{0.15} \right) - 8000 \\ &= 8000 \quad \text{มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

การขึ้นรูปกระดาษโดยทั่วไปจะใช้ 60 กรัม โดยที่แม่พิมพ์มีพื้นที่ 200 ตารางเซนติเมตร ถ้าคิดจากพื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้เยื่อ 60 กรัม

$$\text{ดังนั้น ถ้าพื้นที่ 200 ตารางเซนติเมตรใช้เยื่อ} = \frac{200 \times 60}{100 \times 100}$$

$$\begin{aligned}
 \text{การตวงน้ำสต็อก} &= 1.2 \quad \text{กรัม} \\
 &= \frac{1.2 \times 100}{0.15} \\
 &= 800 \quad \text{มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

จากความเข้มข้นของน้ำสต็อกร้อยละ 0.15 จึงต้องตวงน้ำสต็อก ครั้งละ 800 มิลลิลิตร แต่เนื่องจากการตวงน้ำสต็อกไม่สามารถตวงให้ได้เชื้อ 1.2 กรัมพอดี จึงต้องนำกระดาศที่ได้จากการตวงครั้งนี้ไปทำให้แห้งแล้วชั่ง ปรากฏว่า กระดาศที่ได้หนัก 1.1416 กรัม

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น จึงต้องตวงน้ำสต็อกที่เหลือ} &= \frac{1.2 \times 800}{1.1416} \\
 &= 840.93 \quad \text{มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{และจะสามารถขึ้นเป็นแผ่นกระดาศได้} &= \frac{16000}{840.93} \\
 &= 19 \quad \text{แผ่น}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก

วัตถุประสงค์ทางใบปลี่ยน้ำมัน



ภาพที่ ค-1 ต้น และทางใบปาล์มน้ำมันตามธรรมชาติ



ภาพที่ ค-2 ลักษณะของทางใบปาล์มน้ำมันที่
ลอกเปลือกออกแล้ว



ภาพที่ ค-3 เครื่องกระจายเชื้อ
(Disintegrater)



ภาพที่ ค-4 เครื่องกระจายเชื้อความดันสูง
(Hydra Pulper)



ภาพที่ ค-5 เครื่องคัดแยกเชื้อแบบ
ตะแกรงรูด (Screener)



ภาพที่ ค-6 เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน
(Standard Handsheet Forming
Machine)



ภาพที่ ค-9 เครื่องชั่ง (Analytical Balance)



ภาพที่ ค-7 เครื่องอัดแผ่นทดสอบมาตรฐาน



ภาพที่ ค-10 เครื่องทดสอบการอุ้มน้ำของเยื่อ
(Freeness Tester)



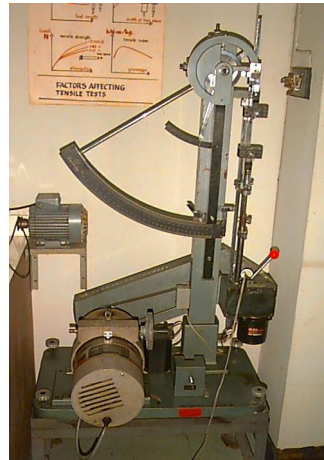
ภาพที่ ค-8 เครื่องวัดปริมาณความชื้นแบบ
อัตโนมัติ (Moisture Analyzer)



ภาพที่ ค-11 ตู้อบกระดาษ



ภาพที่ ค-12 อุปกรณ์ตัดชิ้น



ภาพที่ ค-15 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง
Pendulum



ภาพที่ ค-13 ชุดทดสอบ



ภาพที่ ค-16 เครื่องทดสอบความต้านแรงฉีกขาด



ภาพที่ ค-14 เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ



ภาพที่ ค-17 แสดงส่วนประกอบของหม้อต้ม

หมายเลข 1 : ภายในหม้อ และไบกวน

หมายเลข 6 : วาล์วลดความดันไภายในหม้อต้ม

หมายเลข 2 : วาล์ว และ ท่อปล่อยน้ำมันออก

หมายเลข 7 : ชุดควบคุมหม้อต้ม (Power,

หมายเลข 3 : มอเตอร์ควบคุมไบกวน

Heater, Motor)

หมายเลข 4 : วาล์ว และ ท่อปล่อยสารเคมีเหลือทิ้ง

หมายเลข 8 : Pressure Release Valve

หมายเลข 5 : วาล์วลดความดันของน้ำมันและท่อ

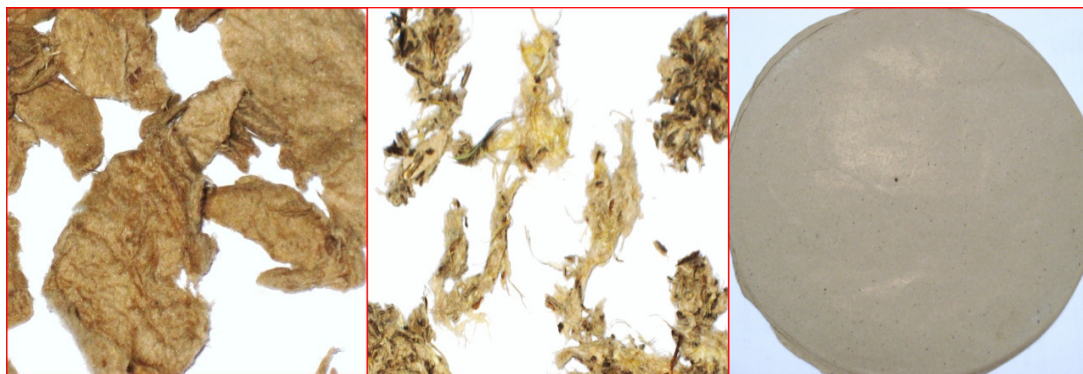
หมายเลข 9 : เกจวัดความดัน



ภาพที่ ค-18 เชื้อที่ผ่านการต้มแล้ว (pH=7)



ภาพที่ ค-19 เชื้อที่ผ่านการต้มและล้าง



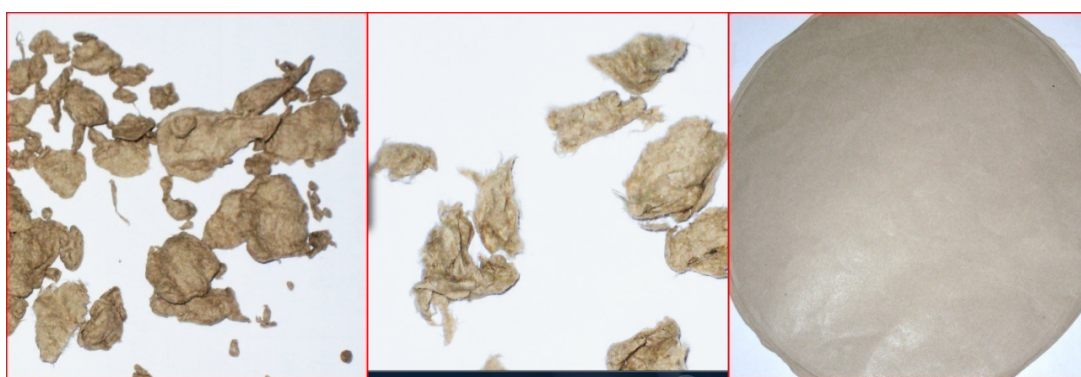
ภาพที่ ค-20 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 150°C , 35% NaOH



ภาพที่ ค-21 เชื้อที่ต้มที่สภาวะ 165°C , 35% NaOH



ภาพที่ ค-22 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 150°C , 45% NaOH



ภาพที่ ค-23 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 165°C , 45% NaOH



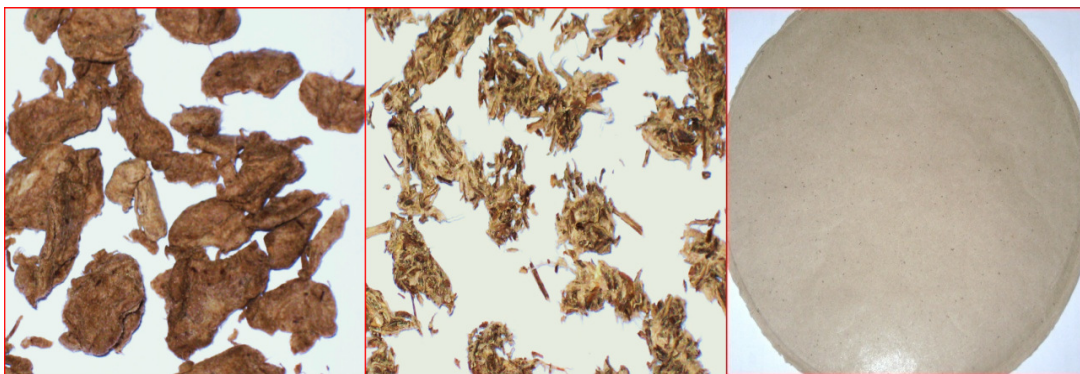
ภาพที่ ค-24 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 155°C , 40% NaOH



ภาพที่ ก-25 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 147°C , 40% NaOH



ภาพที่ ก-26 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 168°C , 40% NaOH



ภาพที่ ก-27 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 155°C , 33% NaOH



ภาพที่ ค-28 เยื่อที่ต้มที่สภาวะ 155°C , 47% NaOH

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวพัชรียา รัชฎา
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเชื้อจากทางใบปาล์มน้ำมัน
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2544
 ประวัติการฝึกงาน เข้ารับการฝึกงานที่ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ปี พ.ศ. 2543
 สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 พระนครเหนือ เลขที่ 1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
 หมายเลขโทรศัพท์ 02-913-2500-24 ต่อ 8230, 8236