

การเตรียมเชื้อจากไบโพลีเมอร์น้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร

นางสาวอาทิตติยา หินวิระ



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF PULP FROM OIL PALM LEAVES AS REINFORCING MATERIALS IN
MODIFIED NATURAL RUBBER

Miss Arthistiyar Hinveera



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเยื่อจากไบโพลัมน์น้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรง
	ในยางธรรมชาติดัดแปร
โดย	นางสาวอาทิตติยา หินวิระ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด)

อาทิตติยา หินวิระ : การเตรียมเยื่อจากใบปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร (PREPARATION OF PULP FROM OIL PALM LEAVES AS REINFORCING MATERIALS IN MODIFIED NATURAL RUBBER) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ, 69 หน้า.

ปัจจุบันเส้นใยธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นตัวเสริมแรงมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูก น้ำหนักเบา อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับวัสดุเชิงประกอบ ใบปาล์มน้ำมันเป็นหนึ่งในผลผลิตพลอยได้ที่ถูกทิ้งให้เน่าเปื่อยระหว่างแถวของต้นปาล์ม เมื่อมีการตัดแต่งปาล์มระหว่างการเก็บเกี่ยวผลสดเพื่อผลิตน้ำมัน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมเส้นใยจากใบปาล์มน้ำมันส่วนก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการผลิตเยื่อแบบเชิงกล (mechanical pulping) และการผลิตเยื่อแบบเคมี (chemical pulping) เพื่อหาวิธีและภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง โดยงานวิจัยนี้เริ่มจากการเตรียมเยื่อแบบเชิงกลโดยการบด และการเตรียมเยื่อแบบเคมีโดยการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งของใบปาล์ม และทำการทดสอบค่าสภาพการระบายน้ำได้ สันฐานวิทยาของเส้นใย องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ปริมาณต่างที่เหลือ รวมถึงสัดส่วนปริมาณเส้นใยที่ได้หลังการคัดขนาดและค่าผลผลิตที่ได้ จากการทดลองพบว่า เยื่อที่ผลิตแบบเชิงกลมีสมบัติต่างจากเยื่อเคมี โดยเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมีมีเส้นใยที่สมบูรณ์กว่า และมีขนาดยาวกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล หลังจากการขึ้นรูปแผ่นวัสดุเชิงประกอบเส้นใยใบปาล์ม น้ำมันและยางธรรมชาติดัดแปร พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่าวัสดุที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มล้วน และการดูดซึมน้ำลดลง เส้นใยกระจายตัวได้ดีและเข้ากันได้ดีกับยางธรรมชาติดัดแปร

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5772218423 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEYWORDS: OIL PALM FIBER / PULP PREPARATION / REINFORCING MATERIALS / SODIUM HYDROXIDE

ARTHISTİYAR HINVEERA: PREPARATION OF PULP FROM OIL PALM LEAVES AS REINFORCING MATERIALS IN MODIFIED NATURAL RUBBER. ADVISOR: PH. DR.KUNTINEE SUVARNAKICH, 69 pp.

Presently natural fiber has increasingly been used as reinforcing materials due to its low cost, light weight, and ability to enhance mechanical properties in composite materials. Oil palm leaves is one of the most abundant by-product of oil palm plantation in Thailand. Oil palm leaves are left rotting between the rows of palm trees when palms are pruned during harvesting of fresh fruit bunches for the production of oil. In this research, natural fiber from sheath base and fronds was prepared by mechanical pulping and chemical pulping in order to achieve a suitable method and optimal condition in preparing natural fiber for used as reinforcing materials. This research started with mechanical pulping by grinding and chemical pulping by cooking the leaves in 20%, 25% and 30% sodium hydroxide (based on oven-dried oil palm leaves weight). Properties of produced oil palm leave fibers such as freeness, fiber morphology, chemical composition of fiber, residual alkali, proportion of screened pulp and pulp yield were measured. It was found that properties of pulp made from mechanical pulping were different from those prepared from chemical pulping. In general, fibers from chemical pulping were longer and more intact than fibers from mechanical pulping. After forming the oil palm leaves and modified natural rubber composite, it was found that the composite of oil palm leave fibers had higher tensile strength, higher tear strength but lower water absorption than the samples made solely with oil palm fibers. Fibers were well dispersed and compatibility of the fiber and modified natural rubber was good.

Department: Imaging and Printing Student's Signature

Technology Advisor's Signature

Field of Study: Pulp and Paper
Technology

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายได้ด้วยดี จากการได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากคณาจารย์และหน่วยงานต่าง ๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ สมพร ชัยอารีย์กิจ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำต่างๆ รวมถึงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์จนสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญุดา เกตุเมฆ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด กรรมการ (ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก) ในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาให้คำแนะนำในการสอบ และตรวจแก้ต้นฉบับให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากโครงการบริหารจัดการงานวิจัยเรื่องปาล์มน้ำมัน ภายใต้งบประมาณการวิจัยแห่งชาติ จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ หน่วยปฏิบัติการวิจัยการใช้ประโยชน์จากชีวมวลพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการอนุเคราะห์ยางธรรมชาติดัดแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณสมาชิก และบุคลากรในหลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดทั้งเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา การสนับสนุนทางด้านการศึกษาและการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 ปาล์มน้ำมัน (oil palm).....	4
2.1.1.1 ลักษณะเด่นของปาล์มน้ำมัน	4
2.1.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน	5
2.1.1.3 การจำแนกชนิดของปาล์มน้ำมัน.....	7
2.1.2 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อ	7
2.1.2.1 เส้นใยที่มาจากเนื้อไม้	7
2.1.2.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากไม้.....	8
2.1.3 โครงสร้างของเส้นใย.....	8

2.1.3.1	ชั้นมิดเดิลลาเมลลา	8
2.1.3.2	ชั้นผนังเซลล์.....	9
2.1.3.3	ลูเมน.....	9
2.1.4	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย.....	10
2.1.4.1	เซลลูโลส	10
2.1.4.2	เฮมิเซลลูโลส	11
2.1.4.3	ลิกนิน.....	12
2.1.4.4	สารแทรก	13
2.1.5	กรรมวิธีการผลิตเยื่อ.....	13
2.1.5.1	กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล.....	14
2.1.5.2	กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี	14
2.1.5.3	กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี.....	16
2.1.6	วัสดุเชิงประกอบ.....	16
2.1.6.1	ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ.....	16
2.1.6.2	เส้นใยเสริมแรง.....	17
2.1.7	ยางธรรมชาติ.....	17
2.1.7.1	สมบัติของยางธรรมชาติ	19
2.1.8	ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์.....	20
2.1.8.1	สมบัติยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์.....	20
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1	วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	24
3.1.1	วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.2.1 การทดลองตอนที่ 1 การจัดหาใบปาล์มน้ำมันและเตรียมชิ้นไม้จากใบปาล์มน้ำมัน	26
3.2.1.1 การเตรียมชิ้นไม้จากใบปาล์มน้ำมัน	27
3.2.1.1.1 การเตรียมชิ้นไม้จากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน	27
3.2.1.1.2 การเตรียมชิ้นไม้จากใบย่อยปาล์มน้ำมัน.....	27
3.2.2 การทดลองตอนที่ 2 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลและวิธีเคมี	27
3.2.2.1 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกล.....	27
3.2.2.1.1 การเตรียมเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน	27
3.2.2.1.2 การเตรียมเยื่อเชิงกลจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน.....	28
3.2.2.2 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบย่อยปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเคมี.....	28
3.2.2.2.1 การเตรียมเยื่อเคมีจากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน	28
3.2.2.2.2 การเตรียมเยื่อเคมีจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน	29
3.2.2.3 การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของเยื่อใบปาล์มน้ำมัน	30
3.2.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของใบปาล์มน้ำมัน.....	31
3.2.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของใบปาล์มน้ำมัน	32
3.2.3 การทดลองตอนที่ 3 การผสมเส้นใยกับยางธรรมชาติดัดแปร	33
3.2.3.1 การผสมเส้นใยกับยางธรรมชาติดัดแปร	33
3.2.3.2 การทดสอบแผ่นวัสดุเชิงประกอบ	34
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
4.1 ผลการทดลองการผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลและวิธีเคมี	35
4.1.1 เส้นใยที่ได้จากจากผลิตเยื่อแบบเชิงกล	35
4.1.1.1 ค่าผลผลิตที่ได้.....	35

4.1.1.2 สัตส่วนเยื่อที่ได้หลังจากการคัดแยกขนาด	35
4.1.1.3 ค่าสภาพการระบายน้ำได้	36
4.1.1.4 สัณฐานวิทยาของเส้นใย	37
4.1.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย	39
4.1.2 เส้นใยที่ได้จากจากผลิตเยื่อแบบเคมี	40
4.1.2.1 ค่าปริมาณต่างที่เหลือ.....	40
4.1.2.2 ค่าผลผลิตที่ได้.....	40
4.1.2.3 สัตส่วนเยื่อที่ได้หลังจากการคัดแยกขนาด	42
4.1.2.4 ค่าสภาพการระบายน้ำได้	43
4.1.2.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใย	46
4.1.2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย	49
4.2 ผลการทดลองการผสมเส้นใยใบปาล์มน้ำมันกับยางธรรมชาติดัดแปร.....	53
4.2.1 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	53
4.2.2 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength).....	54
4.2.3 การดูดซับน้ำ	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
รายการอ้างอิง	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	69

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ค่าผลผลิตที่ได้จากการเตรียมเยื่อเชิงกลจากใบปาล์มน้ำมัน.....	35
ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละของสัดส่วนของเส้นใยของเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบ ย่อยปาล์มน้ำมัน.....	36
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยของเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบ ย่อยปาล์มน้ำมัน.....	39
ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali) จากการผลิตเยื่อแบบเคมี.....	40
ตารางที่ 4.5 ค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield) ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์ม น้ำมันหลังการต้มเยื่อจากการผลิตเยื่อแบบเคมี	41
ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละสัดส่วนของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมี.....	42
ตารางที่ 4.7 สัมฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน	46
ตารางที่ 4.8 สัมฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน	47
ตารางที่ 4.9 สัมฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน.....	48
ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอก ไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน	50
ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอก ไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน	50
ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอก ไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน	51

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใย	9
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส	10
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	11
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน	13
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	18
ภาพที่ 3.1 แผนการทดลอง	26
ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเส้นใย (freeness tester).....	31
ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดสัดส่วนฐานวิทยาของเส้นใย (FQA)	32
ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer).....	32
ภาพที่ 4.1 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อย ปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล.....	37
ภาพที่ 4.2 ผลการกระจายขนาดอนุภาคของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ ผลิตด้วยวิธีเชิงกล.....	38
ภาพที่ 4.3 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน.....	43
ภาพที่ 4.4 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน.....	44
ภาพที่ 4.5 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน.....	44
ภาพที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จาก ก้านใบและแกนกลางใบ.....	53
ภาพที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบ และแกนกลางใบ	54

ภาพที่ 4.8 ค่าการดูดซับน้ำของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 20 นาที และ 40
 นาที..... 56



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการตระหนักและสนใจการนำวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายมาทำเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบเพื่อปรับปรุงสมบัติในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น โดยมีงานวิจัยที่นำเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติมาเป็นเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งมีผลทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น น้ำหนักเบา และสามารถย่อยสลายง่าย

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย หลังจากหีบเอาน้ำมันออกจากผลในส่วนของทะลายปาล์มแล้ว การใช้งานในส่วนของทะลายปาล์ม ใบปาล์มน้ำมัน และต้นของปาล์มน้ำมันยังมีน้อยมาก ทำให้มีปริมาณวัสดุเหลือใช้จากส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมันมาก ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเต็มที่มากนัก มีเพียงบางส่วนที่ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงใช้เพาะเห็ด และทำปุ๋ย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ส่วนดังกล่าวยังมีเส้นใยอยู่ ซึ่งน่าจะนำเส้นใยในส่วนนี้มาใช้วัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทดลองเตรียมเส้นใยจากส่วนต่างๆของใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีต่างๆ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ให้สมบัติของเส้นใยจากใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมในการนำไปเป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร เนื่องจากยางธรรมชาติดัดแปรที่มีสมบัติที่มีความยืดหยุ่นและมีความทรงรูปต่ำ การนำเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงจึงน่าจะสามารถเพิ่มความทรงรูปและความแข็งให้กับยางธรรมชาติดัดแปรได้ ซึ่งที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ได้นำปาล์มน้ำมันไปเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร รวมถึงศึกษาสมบัติของแผ่นวัสดุเชิงประกอบ แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเส้นใยที่เหมาะสมในการนำเส้นใยไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อจากใบปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ส่วนของปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเป็นใบปาล์มน้ำมันสด พันธุ์เทนเนรา (Tenera) จากอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.3.2 การผลิตเยื่อเชิงกล อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 คืน และทำการบดแบบแห้งด้วยเครื่องปั่นและแยกเยื่อแบบแห้งด้วยเครื่องคัดแยกชิ้นไม้ (chip classifier) ด้วยตะแกรง 100 เมช
- 1.3.3 การผลิตเยื่อแบบเคมีใช้กระบวนการโซดาที่เป็นระบบเปิด ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงสำหรับก้านใบและแกนกลางใบ และ 2 ชั่วโมงสำหรับใบย่อยปาล์มน้ำมัน ทำการบดแบบเปียกด้วยเครื่องบดเยื่อ (valley beater) และคัดแยกขนาดแบบเปียกด้วยเครื่องคัดแยกขนาดเส้นใย (fiber Classifier) ด้วยตะแกรง 100 เมช ในเวลา 30 นาที
- 1.3.4 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) สัณฐานวิทยาของเส้นใย (fiber morphology) ขนาดอนุภาคของเส้นใย (particle size analysis) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (chemical composition)
- 1.3.5 นำยางธรรมชาติดัดแปรหรือยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 18.20 จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.3.6 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นวัสดุเชิงประกอบ เช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็งแรงต่อแรงฉีก และการดูดซึมน้ำ เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 1.4.2 ศึกษาขั้นตอนวิธีการทดลอง วางแผนการทดลอง เตรียมการทดลองและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง
- 1.4.3 เตรียมเยื่อจากก้านใบ แขนกลางใบและใบย่อยของปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ทั้งเชิงกลและเคมี
- 1.4.3.1 จัดหาใบปาล์มน้ำมัน จากจังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.4.3.2 เตรียมชิ้นไม้จากส่วนของก้านใบและแขนกลางใบให้ได้ขนาดในช่วง 0.7-1 เซนติเมตร และจากส่วนของใบย่อยให้ได้ขนาด 1 นิ้ว
- 1.4.3.3 นำชิ้นไม้ที่เตรียมได้จากส่วนต่าง ๆ ของใบปาล์มน้ำมันไปเข้าสู่กระบวนการผลิตเยื่อแบบเชิงกล โดยใช้เครื่องบดละเอียด
- 1.4.3.4 นำชิ้นไม้ที่เตรียมได้จากส่วนต่าง ๆ ของใบปาล์มน้ำมันไปเข้าสู่กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในระดับต่าง ๆ กันไม่น้อยกว่า 3 ระดับ หลังจากการต้มคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้และคำนวณปริมาณต่างที่เหลือ
- 1.4.4 ทดสอบสมบัติของเยื่อ ได้แก่ สภาพการระบายน้ำได้ สัมฐานวิทยาของเส้นใย องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย เป็นต้น
- 1.4.5 นำเส้นใยที่เตรียมได้จากวิธีต่าง ๆ ช่างต้น ในปริมาณต่าง ๆ กันอย่างน้อย 2 ระดับ มาผสมกับยางธรรมชาติตัดแปร และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น ความทนต่อแรงดึง และการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น
- 1.4.6 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง เขียนวิทยานิพนธ์ และเผยแพร่งานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลการเตรียมเยื่อจากใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมเพื่อนำเส้นใยไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติตัดแปร

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปาล์มน้ำมัน แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อ โครงสร้างของเส้นใย องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย กรรมวิธีการผลิตเยื่อ วัสดุเชิงประกอบ ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ปาล์มน้ำมัน (oil palm)

ปาล์มน้ำมัน[1] เป็นพืชผสมข้ามใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ปาล์ม (Palmae) เป็นพืชยืนต้น และสามารถให้ผลผลิตทะลายสดได้ทั้งปี เริ่มออกผลผลิตได้เมื่ออายุประมาณ 2 ปีครึ่ง หลังจากปลูก และสามารถเก็บผลผลิตทะลายสดได้มากกว่า 20 ปี ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับมะพร้าว โดยมีต้นกำเนิดมาจากทวีปแอฟริกา สำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้ของประเทศไทยเริ่มประมาณปี พ.ศ. 2511 ในจังหวัดสตูลและจังหวัดกระบี่ หลังจากนั้นการปลูกปาล์มน้ำมันได้มีการกระจายไปยังหลายจังหวัดในภาคใต้ของประเทศไทย ส่งผลให้ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด โดยพื้นที่ที่มีการปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง

2.1.1.1 ลักษณะเด่นของปาล์มน้ำมัน

- ปาล์มน้ำมันปลูกได้เฉพาะพื้นที่ร้อนชื้นเท่านั้น ซึ่งภาคใต้เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด
- ปาล์มน้ำมันสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี
- ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ

- ปาล์มน้ำมันให้ผลพลอยได้จากทุกส่วนของต้นปาล์มที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้
- เป็นพืชยืนต้นที่ให้ผลผลิตทะลายนสดได้ตลอดทั้งปีและติดต่อกันนานมากกว่า 20 ปี
- ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ทนทานต่อการเกิดภัยธรรมชาติสูง เช่น การเกิดไฟไหม้สวน ปาล์มน้ำมันจะสามารถฟื้นสภาพกลับมาเจริญเติบโตได้ และให้ผลผลิตได้ใหม่[2]

2.1.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. อยู่ในวงศ์ปาล์ม (Palmae) อยู่ในพืชตระกูลเดียวกับมะพร้าว ลำต้นของปาล์มน้ำมันมีลักษณะเหมือนกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป คือ มีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะปลายยอด และไม่มีเนื้อเยื่อเจริญทางด้านข้าง ในส่วนของใบหรือทางใบจะประกอบด้วย แกนทางใบ ก้านใบ และใบย่อย ซึ่งเกิดจากการพัฒนาของเนื้อเยื่อที่ปลายยอดของลำต้น จำนวนใบ หรือทางใบของปาล์มน้ำมัน แต่ละปีจะมีอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 ทางใบ และหลังจากนั้นจะลดลงเป็น 20 ถึง 25 ทางใบต่อปี[3]

- ราก : เป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) กระจายอยู่บริเวณผิวดินลึกไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมากที่บริเวณโคน และระยะ 1.5 ถึง 2.0 เมตรจากลำต้น แต่หากบริเวณนั้นมีการถ่ายเทอากาศดี และระดับน้ำใต้ดินไม่สูงอย่างถาวร รากบางส่วนอาจจะลงลึกไปถึง 5 เมตร ทำให้สามารถยึดลำต้นไม่ให้ล้มง่ายได้

- ลำต้น : ในระยะแรกลำต้นจะมีการเจริญเติบโตด้านกว้าง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 ปี จึงมีขนาดเต็มที่ใต้เป็นลำต้นใต้ดิน (bole) หลังจากนั้นเป็นการเจริญเติบโตในด้านความสูงเป็นลำต้นเหนือดิน (trunk) ซึ่งจะมีกาบใบห่อหุ้มอยู่กับลำต้นอย่างน้อย 12 ปี ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่มีเนื้อเยื่อเจริญเติบโตทางด้านข้าง เมื่อมีแผลที่บริเวณลำต้นจะไม่สามารถซ่อมแซมได้ อัตราการยืดตัวของลำต้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ในสภาพการปลูกปกติจะมีความสูงเพิ่มขึ้น 25 ถึง 50 เซนติเมตรต่อปี หากสภาพการปลูกหนาแน่นมากเกินไปจะทำให้ลำต้นเจริญเติบโตเร็วและมีขนาดเล็ก หากปลูกในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยหรือมีการบังแสงมาก ลำต้นและใบจะเจริญเติบโตช้ามาก ต้นปาล์มน้ำมันที่เจริญเต็มที่แล้วจะมีเนื้อเยื่อเจริญเติบโตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ถึง 12 เซนติเมตร ความลึก 2.5 ถึง 4.0 เซนติเมตร และบริเวณส่วนยอด (crown) มีจุดกำเนิดใบ

ใบอ่อนและฐานของใบหุ้มอยู่ ซึ่งการจัดเรียงใบบนลำต้นมีลักษณะเป็นเกลียว แต่ละรอบจะมีใบจำนวน 8 ใบและรอบต่อไปจะมี 13 ใบสลับกัน การเวียนจะมีทั้งเวียนทางด้านซ้ายและขวา

- ใบ : ใบในระยะแรกของต้นกล้า ใบปาล์มน้ำมันจะมีใบที่เรียกว่า Plumular Sheath จำนวน 2 ใบ หลังจากนั้นใบจริงจะเจริญเติบโตออกมา ใบปาล์มน้ำมันประกอบด้วย ก้านใบที่อาจมีความยาวถึง 7.5 เมตร สามารถแบ่งใบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปลายที่เป็นส่วนรองรับใบย่อย และส่วนก้านที่อยู่ติดกับลำต้นเป็นส่วนที่มีหนามแข็ง ในระยะแรกใบจะเจริญเป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ หุ้มตายอด มีจำนวน 45 ถึง 50 ใบ แต่ละใบจะห่อหุ้มตายอดประมาณ 2 ปี ต่อมาจะมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วกลายเป็นใบแหลมเหมือนหอก แต่ใบย่อยจะไม่คลี่ในสภาพแวดล้อมที่แห้ง ดังนั้นในช่วงฤดูแล้งจะพบว่า จะมีจำนวนใบแหลมมากกว่าในฤดูฝน ในสภาพปกติในระยะ 5 ถึง 6 ปี แรกจะมีใบที่ติดกับยอดประมาณ 25 ถึง 35 ใบ และจะลดลงเหลือ 18 ถึง 25 ใบ

- ช่อดอกและดอก : บริเวณมุมใบของต้นที่มีอายุ 2 ปีขึ้นไปจะเป็นจุดกำเนิดช่อดอก ปาล์มน้ำมันเป็นพืชพวก Monoecious Plant คือ มีช่อดอกตัวผู้ (male inflorescences) และช่อดอกตัวเมีย (female inflorescences) อยู่ในต้นเดียวกัน ลักษณะการเกิดช่อดอกจะเป็นเพศใดเพศหนึ่งในระยะเวลา 4 ถึง 5 เดือน จำนวนช่อดอกที่เกิดในแต่ละช่วงจะมีจำนวน 8 ถึง 10 ช่อดอก การเปลี่ยนแปลงของช่อดอกเพศหนึ่งไปเป็นอีกเพศหนึ่งของปาล์มน้ำมันจะเกิดช่อดอกที่มีทั้ง 2 เพศ (hermaphroditic inflorescences) โดยเฉพาะในปาล์มน้ำมันที่อายุน้อย จะมีช่อดอกตัวเมื่อยู่ด้านล่าง และช่อดอกตัวผู้ยู่ด้านบน และมักจะไม่ค่อยพบดอกชนิดสมบูรณ์เพศหรือเป็นช่อดอกแบบ Compound Spike หรือ Spadix แกนกลางจะแบ่งเป็นก้านช่อดอก และส่วนที่มีดอกติดอยู่ (rachis) ดอกจะเป็นชนิดที่ไม่มีก้านดอก ขึ้นเรียงเป็นเกลียว มีส่วนที่ห่อหุ้มช่อดอกเหมือนมะพร้าว เรียกว่า Spathe โดยจะมีจำนวน 2 แผ่น ช่อดอกตัวผู้จะมีช่อดอกย่อยที่มีรูปทรงเป็นช่อยาวทรงกระบอก สีเหลืองยื่นออกมาจาก Rachis จำนวนมาก ลักษณะคล้ายนิ้วมือ และแต่ละดอกจะมีเกสรตัวผู้ปกติและมีเกสรตัวเมียเป็นหมัน ช่อดอกตัวเมียมีลักษณะของดอกอวบหนา

- ผลและเมล็ด : ผลเป็นแบบ Drupe เหมือนกับมะพร้าว ในส่วนของ Pericarp เป็นส่วนเปลือกของผล สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ Exocarp จะอยู่ด้านบนสุด มีผิวมันและแข็ง Mesocarp (pulp) เป็นส่วนที่อยู่ถัดไปที่เป็นเส้นใย มีน้ำมันสูง นำไปสกัดเป็นน้ำมันปาล์ม (palm oil) และ Endocarp (กะลา, shell) จะลักษณะเป็นเปลือกแข็งสีดำ[4]

2.1.1.3 การจำแนกชนิดของปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของพันธุ์เหล่านี้ โดยการพิจารณาความหนาของผลปาล์มน้ำมันเป็นสำคัญ ได้แก่

1. พันธุ์ดูรา (Dura) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาหนาประมาณ 2 ถึง 8 มิลลิเมตร ซึ่งมีชั้นเปลือกนอกที่ให้น้ำมัน (Mesocarp) ประมาณร้อยละ 35 ถึง 60 ของน้ำหนักผลปาล์ม พันธุ์ดูราเป็นพันธุ์ที่มีกะลาหนามาก ๆ เรียกว่า มาโครคาया (Macrocaria) คือ มีกะลาหนาประมาณ 6 ถึง 8 มิลลิเมตร และมักพบมากในแถบตะวันออกกลาง เช่น พันธุ์เดลีดูรา (Deli Dura) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปัจจุบันพันธุ์ดูรามักถูกใช้เป็นตัวแม่สำหรับปรับปรุงพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสมเป็นการค้า

2. พันธุ์พิสิเฟอรา (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางมาก หรือบางครั้งไม่มีกะลา เมล็ดในและผลจะมีขนาดเล็ก ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ผลผลิตแต่ละทะลายต่อต้นมีปริมาณต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะปลูกเพื่อเป็นการค้า และนิยมใช้พันธุ์พิสิเฟอราเป็นต้นพ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

3. พันธุ์เทเนอร์รา (Tenera) จะเป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์แม่ดูรา และพันธุ์พ่อพิสิเฟอรา เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบาง ประมาณ 0.5 ถึง 4 มิลลิเมตร มีปริมาณของ Mesocarp ร้อยละ 60 ถึง 90 ของน้ำหนักผล มีผลผลิตต่อทะลายสูง ในปัจจุบันจึงนิยมปลูกเป็นการค้า

2.1.2 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อ

เส้นใยธรรมชาติจากพืชเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเยื่อ ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในพันธุ์ไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันและลักษณะของเส้นใยแตกต่างกัน โดยพันธุ์ไม้ที่นำมาผลิตเยื่อสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 เส้นใยที่มาจากเนื้อไม้ (wood fiber)

สามารถแบ่งเส้นใยที่ได้มาจากเนื้อไม้ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.2.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (softwood) เป็นไม้ที่โตช้า ขึ้นบริเวณที่สูง และอากาศเย็น ใบมีลักษณะแคบและเรียว เส้นใยหยาบ มีความแข็งแรงมาก ซึ่งเป็นไม้ที่ให้เส้นใยยาว ประมาณ 2 ถึง 4 มิลลิเมตร ความกว้างประมาณ 20 ถึง 40 ไมโครเมตร ได้แก่ จำพวกสน (coniferous species) และสปรูซ (spruce) เป็นต้น

2.1.2.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณเขตร้อน จำพวกไม้ผลัดใบ (deciduous trees) โตเร็ว ใบกว้างและผลัดใบทุกปี เส้นใยมีขนาดเล็กและละเอียด ความแข็งแรงต่ำ เป็นไม้ที่ให้เส้นใยสั้น ความยาวประมาณ 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร กว้าง 10 ถึง 20 ไมโครเมตร ได้แก่ ยูคาลิปตัส (eucalyptus) แอสเพน (aspen) เป็นต้น

2.1.2.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากไม้ (non-wood fiber)

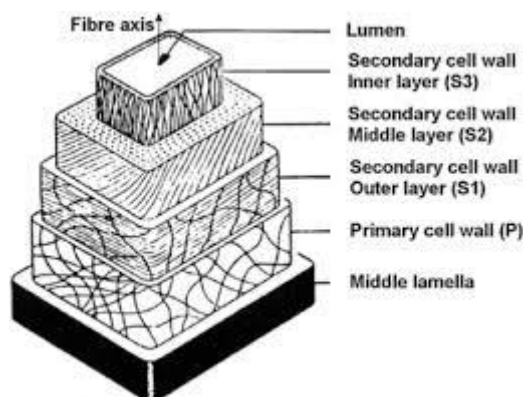
เส้นใยที่ไม่ได้มาจากไม้จะเป็นเส้นใยของไม้ล้มลุก เส้นใยมีลักษณะสั้น ซึ่งเป็นจำพวกพืชสวน เช่น ปอ อ้อย ป่าน ฟางข้าว และข้าวโพด เป็นต้น เส้นใยชนิดนี้จะมีปริมาณของเพนโตซาน (pentosans) มากกว่าร้อยละ 20 โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) มากกว่าร้อยละ 70 และมีลิกนิน (lignin) ประมาณร้อยละ 15

2.1.3 โครงสร้างของเส้นใย

เส้นใยของพืชจะมีลักษณะเรียวและเล็ก มีลิกนินเป็นตัวยึดเส้นใยเข้าด้วยกัน ซึ่งโครงสร้างของเส้นใยแบ่งเป็น 3 ชั้น ดังนี้

2.1.3.1 ชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella, ML)

อยู่ระหว่างผนังเซลล์ชั้นแรกของเซลล์ ระหว่างเส้นใยหรือเยื่อชั้นระหว่างเซลล์ ซึ่งจะมีลิกนินทำหน้าที่เหมือนกาวยึดเส้นใยไว้ด้วยกัน โดยเกิดในระยะสุดท้ายของการแบ่งเซลล์หรือระยะเทโลเฟส (telophase) บริเวณกึ่งกลางของเซลล์จะมีแผ่นบาง ๆ กั้นระหว่างเซลล์ เรียกว่า cell plate ซึ่งจะเจริญเป็นมิดเดิลลาเมลลา ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใย

ที่มา : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/24/12/125401>

2.1.3.2 ชั้นผนังเซลล์ (cell wall)

ผนังเซลล์อยู่ด้านนอกสุดของเซลล์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มเซลล์ คำจูนให้ ความแข็งแรงปกป้องส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์ ทำให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ ผนังเซลล์มักแข็งแรงและ ค่อนข้างคงรูป (semi-rigid) ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน จึงทำให้ผนังเซลล์ ยืดหยุ่นและแข็งแรง ชั้นผนังเซลล์มี 2 ชั้น คือ

2.1.3.2.1 ชั้นปฐมภูมิ (primary cell wall, P) เกิดขึ้นในระยะที่ เซลล์กำลังเจริญเติบโต มีลักษณะบาง การเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (random) ยืดหยุ่นได้ดี ประกอบด้วย เซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่

2.1.3.2.2 ชั้นทุติยภูมิ (secondary cell wall, S) เป็นผนังเซลล์ที่ สร้างขึ้นมาหลังจากเซลล์เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จึงมีความหนามากที่สุด และยังประกอบด้วยชั้นย่อย ๆ อีก 3 ชั้น คือ S_1 , S_2 และ S_3 โดยชั้น S_2 เป็นชั้นที่หนาที่สุดและมีการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อย ในแนวเดียว ส่วน S_1 และ S_3 เป็นชั้นที่บางและมีการเรียงตัวของเส้นใยย่อยในรูป S หรือ Z ชั้นนี้จะ ประกอบด้วย เซลลูโลส และลิกนิน โดยลิกนินช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์ ทำให้เซลล์ยืดหยุ่นได้ น้อย

2.1.3.3 ลูเมน (lumen)

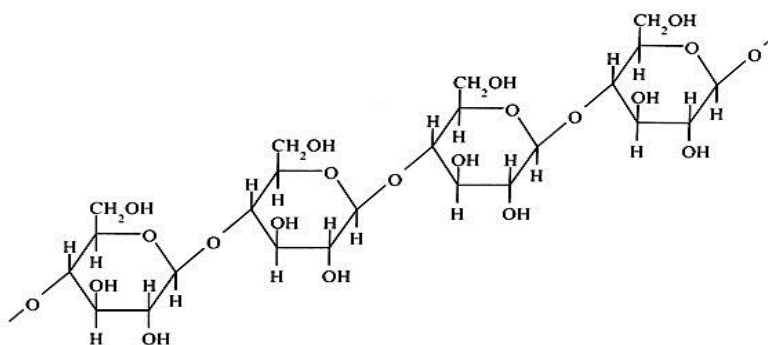
มีลักษณะเป็นท่อยู่บริเวณตรงกลางของเส้นใย โดยอยู่ที่ตำแหน่ง ถัดจากผนังเซลล์ชั้น S_3 เข้าไป ลูเมนมีความสำคัญในการทำให้สารเคมีในกระบวนการต้มเยื่อแทรก เข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

เส้นใยจะประกอบด้วยสารต่างๆ สามารถแบ่งได้ ดังนี้

2.1.4.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุดในเส้นใย ซึ่งเป็นสารจำพวก พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสหลาย ๆ โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นเซลลูโลส 1 โมเลกุล ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงและความเหนียวของเส้นใย เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง (linear chain) แต่ละโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสจะยึดเกาะกันด้วยพันธะ β -1,4 glycosidic linkage ซึ่งจะเชื่อมต่อกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 (C1) และคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 (C4) ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เส้นใยของเนื้อไม้ส่วนใหญ่มีความยาวของสายกลูโคสหรือจำนวน glucose units (degree of polymerization, DP) ประมาณ 10,000 หน่วย เซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่มีความสามารถในการดูดน้ำ ละลายได้ดีในกรดเกลือและ กรดกำมะถันเข้มข้น



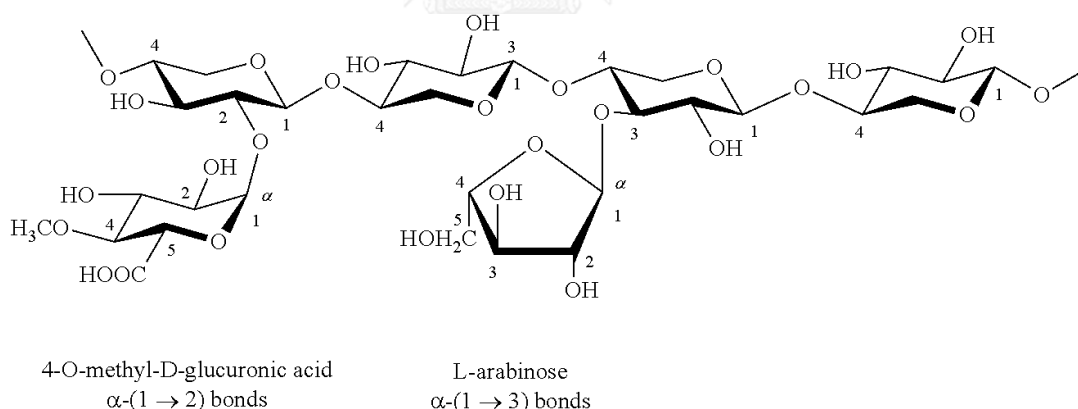
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/1468>

เซลลูโลสประกอบด้วย ส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และ ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) ซึ่งส่วนโครงสร้างที่เป็นผลึกจะมีการเรียงตัวของกลูโคส ด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้มีความแข็งแรงและต้านทานต่อสารเคมีหรือตัวทำละลาย ส่วนโครงสร้างที่เป็นอสัณฐานโมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ทำให้แข็งแรงน้อยกว่า ส่งผลให้ สารเคมีหรือตัวทำละลายเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า

2.1.4.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นกิ่ง จับกันหลวม ๆ เฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลน้ำตาลเกาะกันเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่เฮมิเซลลูโลสเกิดจากการเกาะกลุ่มกันด้วยน้ำตาล 5 ชนิด ได้แก่ ไซโลส (xylose) อะราบินอส (arabinose) แมนโนส (mannose) กาแลคโตส (galactose) และกลูโคส (glucose) โดยไซโลส และอะราบินอสเป็นน้ำตาล ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และน้ำตาลอีก 3 ชนิดเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงดัง ภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : <https://www.google.com/patents/US20120192860>

เฮมิเซลลูโลสไม่มีส่วนที่เป็นผลึก ทำให้มีค่า DP ต่ำอยู่ในช่วง 50 ถึง 300 หน่วย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน ที่รวมตัวเกาะกันแบบหลวม ๆ ทำให้เมื่อนำเส้นใยไปตีกระจายเยื่อจะทำให้หน้าเข้าไปได้ง่าย ทำให้เส้นใยเกิดการฟองตัว อุ่นน้ำได้ดี และ

ผิวของเส้นใยเกิดการแตกแขนงออก ทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้เยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้น

โดยทั่วไปส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย จะเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เรียกรวมนกันว่า โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

- แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่แท้จริง ไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้องได้ ซึ่งการผลิตเยื่อไม่สามารถแยกแอลฟาเซลลูโลสออกมาได้อย่างสมบูรณ์ มักจะมีน้ำตาลแมนแนน (mannan) และกลูโคแมนแนน (glucomanan) ปนอยู่ เนื่องจากน้ำตาลทั้ง 2 ตัวนี้ไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 เช่นกัน แอลฟาเซลลูโลสมีโมเลกุลกลูโคสหรือ DP ตั้งแต่ 200 หน่วยขึ้นไป

- เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้องได้ และตกตะกอนในสารละลายที่เป็นกรด เบต้าเซลลูโลสจึงแยกได้จากการตกตะกอนในต่าง ค่า DP จะอยู่ระหว่าง 100-200 หน่วย

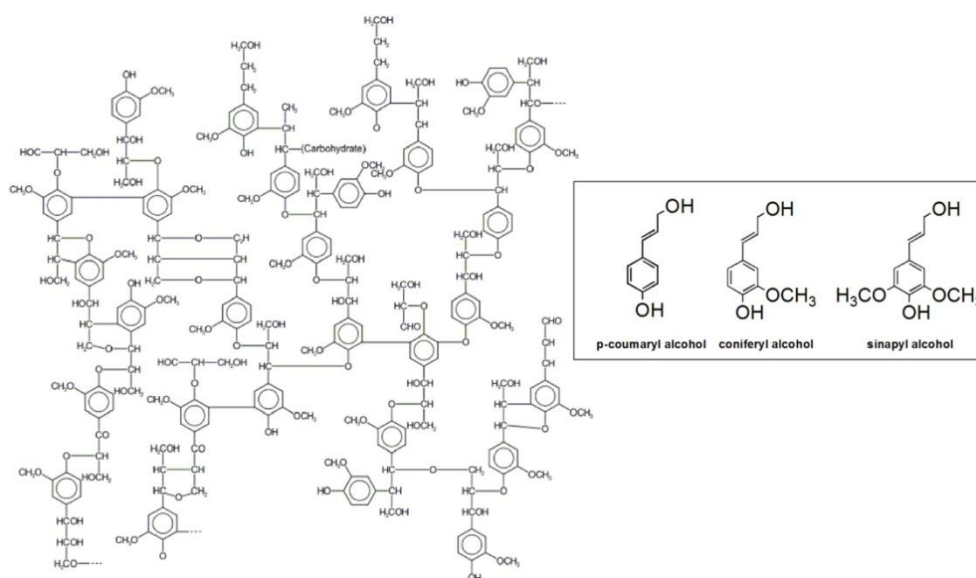
- แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และสารละลายที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนเมื่อใช้แอลกอฮอล์ ทำให้แกมมาเซลลูโลสสามารถแยกได้โดยให้สารละลายกรด ค่า DP จะต่ำกว่า 10 หน่วย

2.1.4.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แต่ลิกนินจะมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อนมากกว่า ซึ่งเป็นโครงสร้างของสารประกอบอะโรมาติกของเฟนิลโพรเพน (phenylpropane) ที่มีมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ พาราควัวมาริลแอลกอฮอล์ (*p*-Coumaryl alcohol), คอนนิเฟอร์ลแอลกอฮอล์ (coniferly alcohol), ซินนาพิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol)

ลิกนินเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ไม่มีส่วนที่เป็นผลึก ทำให้มีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ลิกนินเป็นสารที่สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส กลายเป็นสารประกอบลิกนินคาร์โบไฮเดรต (lignin-

carbohydrate complex) เนื่องจากลิกนินทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมระหว่างเส้นใย ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการกำจัดลิกนินออกหรือทำให้ลิกนินอ่อนตัว เพื่อแยกเส้นใยออกเป็นเส้น ๆ นอกจากนี้ เนื่องจากลิกนินมีองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่า โครมอฟอร์ (chromophore) สามารถทำปฏิกิริยากับแสงและความชื้น มีผลต่อความเหลืองของเยื่อและกระดาษ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการฟอกเยื่อ เพื่อเพิ่มความขาวสว่าง (brightness) และกำจัดลิกนินที่เหลือออก



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenrg.2014.00012/full>

2.1.4.4 สารแทรก (extractives)

สารแทรกเป็นสารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ ส่วนมากสามารถละลายได้ในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกลาง หรือเรียกอีกชื่อว่า สารสกัด เช่น กรดไขมัน (fatty acid) แอลกอฮอล์ (alcohol) และยาง (gum) เป็นต้น

2.1.5 กรรมวิธีการผลิตเยื่อ (pulping process)

การผลิตเยื่อ[5]เป็นการแยกเส้นใยออกเป็นเดี่ยว ๆ โดยการเอาลิกนินออกหรือไม่เอาลิกนินออก สามารถแบ่งได้ 3 กระบวนการใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1.5.1 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping)

การผลิตเยื่อเชิงกลเป็นกระบวนการที่มักใช้กับไม้เนื้ออ่อน โดยใช้พลังงานทางกลในการแยกเส้นใยออกจากชิ้นไม้ (wood chip) อาจใช้ความร้อนเข้าร่วมเพื่อแยกเส้นใยในเนื้อไม้ออกเป็นเส้นใยเดี่ยว ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นไม้แท้อยู่มาก ลิกนินถูกกำจัดออกน้อยมากและปริมาณสารแทรกปนอยู่มาก ผลผลิตที่ได้จากการผลิตเยื่อเชิงกลมีปริมาณสูงประมาณร้อยละ 85 ขึ้นไป เส้นใยที่ได้จากการผลิตมีขนาดสั้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่ำ คุณภาพของเส้นใยต่ำ การผลิตเยื่อเชิงกลเป็นการผลิตเยื่อที่ใช้พลังงานมากที่สุด

ปัจจุบันมีการนำทั้งความร้อนและสารเคมีมาช่วยในกระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล เช่น กระบวนการผลิตเยื่อแบบเชิงกลผสมเคมี (chemi-mechanical pulping, CMP) กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลที่ใช้ความร้อน (thermo-mechanical pulping, TMP) หรือทั้งสองกระบวนการร่วมกัน เรียกว่า chemi-thermo mechanical pulping (CTMP)

2.1.5.2 กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี (chemical pulping)

การผลิตเยื่อแบบเคมี[6] เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเพื่อสกัดลิกนินออกและยังเป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสอีกด้วย ส่งผลให้เส้นใยแตกตัวง่ายขึ้น กระบวนการเริ่มจากการนำชิ้นไม้และสารเคมีใส่ในหม้อต้มเยื่อ (digester) ที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ผลผลิตที่ได้จะมีความแข็งแรงสูงแต่ได้ปริมาณเยื่อน้อย ประมาณร้อยละ 40-60 เนื่องจากลิกนินจำนวนมากรวมถึงเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกกำจัดออกไป กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของสารเคมี ดังนี้

2.1.5.2.1 กระบวนการโซดา (soda process) เป็นกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) เป็นสารเคมีสำหรับผลิตเยื่อเพียงอย่างเดียว โดยทำการเติมสารเคมีที่ใช้สำหรับการต้มเยื่อลงในหม้อต้มเยื่อ และทำการปรับอุณหภูมิของหม้อต้มให้เพิ่มขึ้น สารเคมีจะแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อไม้ (impregnation stage) และกลไกการกำจัดลิกนิน (delignification) ภายในเนื้อไม้จะเริ่มต้นขึ้น กลไกการกำจัดลิกนินจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อสถานะในการต้มชิ้นไม้มีอุณหภูมิสูงกว่า 140 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการผลิตเยื่อด้วย ความเข้มข้นของสารละลายต่าง (active alkali) และอัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่อชิ้นไม้สับ

(liquor to wood ratio) เมื่อการต้มขึ้นไม้ครบตามระยะเวลาที่กำหนดจะทำการลดอุณหภูมิลงก่อนทำการเอาชิ้นไม้ออกจากหม้อ ชิ้นไม้ที่ได้หลังจากการต้มจะมีลักษณะนิ่มสามารถนำมาแยกเป็นเส้นใยได้ เยื่อหรือเส้นใยที่ผลิตได้จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดความเป็นด่าง สำหรับสารละลายสีดำ (black liquor) ที่เหลือจากการผลิตเยื่อจะถูกนำไปผ่านกระบวนการ เพื่อนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ (chemical recovery process)

2.1.5.2.2 กระบวนการซัลเฟต (sulfate process) หรือเรียกอีกชื่อว่า กระบวนการคราฟท์ (kraft process) เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีที่เป็นด่างทำปฏิกิริยากับลิกนิน โดยเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากกระบวนการโซดา ซึ่งสารเคมีที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide, Na_2S) เป็นกระบวนการที่สามารถใช้ได้กับไม้ทุกชนิด

2.1.5.2.3 กระบวนการซัลไฟต์ (sulfite process) ใช้สารเคมีที่เป็นกรดไปทำปฏิกิริยากับลิกนิน ซึ่งสารเคมีที่ใช้ คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2) กระบวนการซัลไฟต์มี 2 ประเภท คือ

- กระบวนการซัลไฟต์แบบกรด (acid sulfite pulping) ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผลิตจากกรดซัลฟิวรัส (sulfurous acid, H_2SO_3) และไบซัลไฟต์ไอออน (bisulfite ion, HSO_3^-) ใช้เวลาต้มเยื่อ 4 ถึง 20 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิ 120 ถึง 135 องศาเซลเซียส

- กระบวนการผลิตเยื่อไบซัลไฟต์ (bisulfite pulping) ซัลไฟต์ที่ใช้ผลิตมาจากไบซัลไฟต์ไอออนเพียงอย่างเดียว ใช้เวลาในการต้มเยื่อ 2 ถึง 4 ชั่วโมง ใช้ อุณหภูมิ 140 ถึง 160 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดลิกนินในกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีเคมี จะแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่ง กระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีเคมีออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

- กระบวนการที่เป็นกรด (acidic process) เป็นการนำสารเคมีที่มีสถานะเป็นกรดมาใช้ในการผลิตเยื่อ เช่น กระบวนการซัลไฟต์ (sulfite process)

- กระบวนการที่เป็นด่าง (alkali process) เป็นการนำสารเคมีที่มีสถานะเป็นด่างมาใช้ในการผลิตเยื่อ เช่น กระบวนการโซดา (soda process) และกระบวนการคราฟท์ (kraft process)

2.1.5.3 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี (chemi-mechanical pulping)

การผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมีเป็นกระบวนการที่ผสมระหว่างการใช้สารเคมีและแรงกล เพื่อให้เส้นใยแตกออกเป็นเส้นใยเดี่ยว ๆ ง่ายขึ้น เยื่อที่ได้จะมีลิกนินอยู่แต่มีปริมาณน้อยกว่าการผลิตเยื่อแบบเชิงกล ซึ่งการต้มเยื่อด้วยวิธีนี้จะทำให้ลิกนินอ่อนตัวลง จากนั้นนำเยื่อที่ได้ผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่องบด (refiner) เพื่อแยกชิ้นไม้เป็นเส้นใย เยื่อที่ได้มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อที่ได้จากวิธีการผลิตเยื่อแบบเชิงกล แต่แข็งแรงน้อยกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยกระบวนการทางเคมี ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้จะต่ำกว่าการผลิตเยื่อแบบเชิงกล ซึ่งเกิดจากลิกนินบางส่วนถูกกำจัดออกไป คุณภาพเส้นใยที่ได้จะต่ำกว่าวิธีการผลิตเยื่อแบบเคมี แต่สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า

2.1.6 วัสดุเชิงประกอบ (composite material)

วัสดุเชิงประกอบ[7] หรือเรียกอีกอย่างว่า วัสดุผสม คือ การรวมกันของวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไป ที่มีสมบัติแตกต่างกัน แต่ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นวัสดุที่มีหลายเฟส ซึ่งแต่ละเฟสจะแสดงสมบัติเด่นของตัวเอง เพื่อทำให้เกิดสมบัติที่ดีขึ้นจากเดิม วัสดุเชิงประกอบจึงเป็นการรวมสมบัติต่าง ๆ ที่ดีเข้าไว้ด้วยกัน

วัสดุเชิงประกอบจะประกอบด้วยเฟส 2 เฟส คือ เฟสแรกเรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) เฟสที่สอง เรียกว่า เฟสกระจาย (dispersed phase) หรือตัวเสริมแรง (reinforcement) ดังนั้นสมบัติที่ได้ของวัสดุเชิงประกอบจะขึ้นกับสมบัติและปริมาณของสารตั้งต้น รวมถึงรูปทรงทางเรขาคณิตของเฟสกระจายหรือตัวเสริมแรง

2.1.6.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบแบ่งได้ 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (particle-reinforced) เป็นเฟสกระจายตัวที่มีรูปร่าง มิติของอนุภาคเท่ากันทุกด้าน
2. วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced) เฟสกระจายตัวหรือเฟสเสริมแรงมีรูปทรงของเส้นใย เส้นใยจะมีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าน

ศูนย์กลางสูง ซึ่งหากอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 จะเรียกเฟสกระจายนั้นเป็นเส้นใย

3. วัสดุเชิงประกอบที่เป็นโครงสร้าง (structural-reinforced) เป็นการรวมกันของวัสดุเชิงประกอบกันเอง และวัสดุเนื้อเดียวเข้าด้วยกัน

นอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบยังแบ่งได้ตามลักษณะของตัวเสริมแรงได้แก่

- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous composites)
 - เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (random/short fiber)
 - เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (continuous/long fiber)
- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (particulate composites)
- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ (flake composites)
- ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (filled composites)
- ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชั้นหรือชนิดซ้อนแผ่น (laminar or layered composites)

2.1.6.2 เส้นใยเสริมแรง (reinforcing fiber)

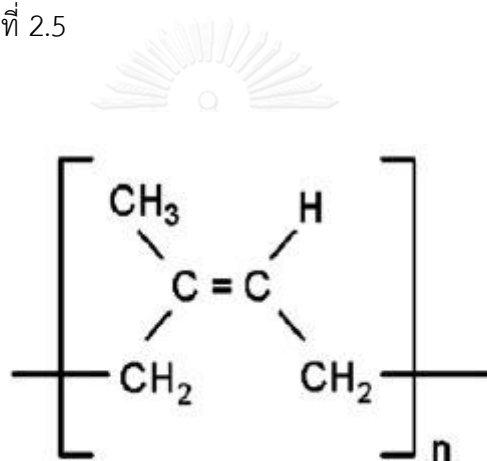
เส้นใยเสริมแรงเป็นสารที่เติมเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยรวมของเมทริกซ์ให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความแข็งแรง (strength) และความแข็งตึง (stiffness) เป็นต้น ซึ่งสมบัติและโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบขึ้นกับ

- แรงยึดระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยเสริมแรง
- สมบัติของเส้นใยเสริมแรง
- ขนาดและรูปร่างของเส้นใยเสริมแรง
- ปริมาณเส้นใยในเมทริกซ์
- การจัดเรียงตัวหรือกระจายตัวของเส้นใยเสริมแรงในเมทริกซ์
- ผลของปริมาณและทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง

ต่อความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบ

2.1.7 ยางธรรมชาติ (natural rubber)

ยางธรรมชาติ[8] เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากต้นยาง เรียกว่า พอลิไอโซพรีน (polyisoprene) ที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่ชื่อว่า ไอโซพรีน (isoprene) ยางธรรมชาติเป็นยางที่ได้จากต้นยางพารา ซึ่งมีสมบัติต้านทานต่อแรงดึงได้สูง ทนการขีดถู ยืดหยุ่นดีและไม่ละลายน้ำ แต่มีข้อเสียคือ ยางธรรมชาติมีความแข็งและเปราะ ไม่ทนตัวละลายอินทรีย์ และน้ำมันเบนซิน ดังนั้นหากต้องการนำยางธรรมชาติไปใช้ต้องนำไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพยางให้ดีขึ้น โดยการนำยางธรรมชาติไปตัดแปรรูป เพื่อให้ยางเสถียรต่อแสงและแข็งแรงขึ้น รวมถึงการนำยางธรรมชาติไปผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันให้มีขี้ผึ้งมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ยางธรรมชาติ มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความคงตัวสูง ไม่ละลายในตัวละลายอินทรีย์ โดยกระบวนการวัลคาไนเซชัน ทำได้โดยการนำกำมะถันมาเผากับยาง ทำให้ยางมีความคงทนมากขึ้น เรียกว่าที่ผ่านกระบวนการนี้ว่า ยางวัลคาไนซ์ โดยโครงสร้างของยางธรรมชาติแสดงดัง ภาพที่ 2.5



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ที่มา : <http://www.electron.rmutphysics.com/science->

[news.../index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0](http://www.electron.rmutphysics.com/science-news.../index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0)

2.1.7.1 สมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีสมบัติความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) ความยืดหยุ่น (elasticity) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง และยางธรรมชาติยังมีสมบัติที่ดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน และลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียรขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก คือ ยางจะอ่อนเอี่ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่ออุณหภูมิสูง แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ทำให้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน และสารตัวเร่งต่าง ๆ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมักถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือ ยาง ถุงยางอนามัย และยางรัดของ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะในการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงจำเป็นต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็ยังมีข้อเสีย คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้พบว่ายางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายที่ไม่มีขี้ขี้ น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารดังกล่าวมาได้[9]

2.1.8 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber, ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เป็นยางที่ได้จากการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของยางที่บริเวณพันธะคู่ ทำให้เกิดวงแหวนอีพอกไซด์ โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) ซึ่งมีระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 50 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้จึงมีความเป็นขั้วสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป ส่งผลทำให้ทนต่อความร้อนและน้ำมันได้ดีขึ้น โดยยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกรดที่มีระดับอีพอกซิเดชันสูงถึงร้อยละ 50 จะมีความเป็นขั้วสูงเทียบเท่ากับยาง NBR ที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์ปานกลาง (ยาง NBR เป็นโคพอลิเมอร์ของอะคริโลไนไตรล์ และบิวตาไดอีน ยางชนิดนี้มีความเป็นขั้วสูง จึงมีคุณสมบัติเด่นคือ ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่าง ๆ ได้) นอกจากนี้ยังพบว่า ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีการเสริมแรงด้วยซิลิกาจะมีสมบัติคล้ายกับยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำอีกด้วย การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถเตรียมได้ทั้งในรูปของน้ำยางและแบบยางแห้ง

2.1.8.1 สมบัติยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) เป็นยางที่นำยางธรรมชาติมาปรับโครงสร้างโดยใช้สารเคมีจำพวกกรดเปอร์ออกซี (peroxy acid) ซึ่งยางจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มกว่ายางธรรมชาติปกติ ซึ่งสามารถเตรียมได้ทั้งชนิดน้ำยางและยางแห้ง โดยมีการผลิตขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ยางมีความเป็นขั้วมากขึ้น สามารถทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีขึ้น สามารถทนต่อโอโซน และมีการซึมผ่านของอากาศได้ดี เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง อย่างไรก็ตามก็จะมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติ เช่น มีความยืดหยุ่นต่ำลง และหากนำไปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจะไม่ทนต่อความร้อน ยางธรรมชาติอีพอกไซด์มักใช้ในอุตสาหกรรมกาว หรือสารยึดติด รองเท้า สี และยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะมีสภาพความเป็นขั้วเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างโมเลกุล ความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดอีพอกซิเดชัน และชนิดตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อมีการบดขยี้ก่อนตัวทำละลายที่เหมาะสม การเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 เปอร์เซ็นต์โมลบนโมเลกุลของยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) เพิ่มขึ้น 0.93 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่เกิดการเปิดวงแหวนอี

พอกไซด์จะมีช่วงของการทรานซิสชันที่กว้าง การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์



2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุนทีนี้ และคณะ[10] ศึกษาการผลิตเยื่อและกระดาษจากส่วนต่าง ๆ ของใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ก้านใบ แขนกกลางใบ และใบย่อยด้วยการต้มเยื่อแบบโซดา โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 และ 15 ของน้ำหนักแห้งสำหรับใบย่อย และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้งสำหรับก้านใบ และแขนกกลางใบ จากผลการทดลองพบว่า เยื่อที่ผลิตจาก แขนกกลางใบให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษสูงสุด รองลงมา คือ เยื่อจากก้านใบ และเยื่อจากใบย่อย ให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษต่ำสุด และเมื่อให้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น พบว่าก้านใบ และแขนกกลางใบให้ค่าความขาวสว่างสูง แต่ใบย่อยให้ค่าความขาวสว่างต่ำลง เนื่องจากในสภาวะที่เป็นต่างนั้น ส่งผลให้กลุ่มโครโมฟอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทำให้สีคล้ำลง (alkaline darkening) ในขณะที่เดียวกันการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษลดลง เนื่องจากส่วนหัวและส่วนปลายของโมเลกุลเซลลูโลสถูกตัดในสภาวะที่เป็นต่าง (peeling reaction)

รัตนา และคณะ[11] ศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบของยางธรรมชาติที่ใช้เส้นใยกาบมะพร้าวและปาล์มน้ำมันเป็นสารเสริมแรงโดยการเตรียมวัสดุเชิงประกอบกับยางธรรมชาติ ด้วยกระบวนการผสม ในสภาวะต่างกับสารเคมีวัลคาไนซ์ต่าง ๆ โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณเส้นใย (0, 10, 20, 30, 40 ส่วนในยางร้อยละ) ต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงฉีก ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงให้เห็นว่า การผสมเส้นใยทั้งสองชนิดกับยางธรรมชาตินั้น ส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด และความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลง โดยพบว่าการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันส่งผลให้ค่ามอดูลัสและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าเส้นใยกาบมะพร้าว

Hunsa-Udom และคณะ[12] ศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเยื่อปาล์มน้ำมันเพื่อบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยใช้กระบวนการกราฟท์ในการผลิตเยื่อ เต็มแบ่งประจุบวก (cationic starch) และ สารกันซึม (sizing agents) การผลิตเยื่อใช้เวลาในการต้มเยื่อ 180 นาที อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณต่างร้อยละ 15, 16 และ 17 ของน้ำหนักแห้งเยื่อ ตามลำดับ ขึ้นแผ่น 60 แกรม ก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า ค่าผลผลิตที่ได้ (yield) ขึ้นกับปริมาณต่างที่ใช้ โดยเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยปริมาณต่างร้อยละ 16 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจะให้ค่าผลผลิตที่ได้และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เช่น ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index) ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst

index) และความต้านทานน้ำ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแป้งประจุบวกมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เยื่อที่ผลิตจากปาล์มน้ำมันสามารถนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปได้

Wanrosli และคณะ[13] ศึกษาเยื่อจากใบปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเคมี โดยใช้กระบวนการซัลไฟต์ ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์ม สภาวะต่างที่ใช้ต่ำ (pH 9.3) พบว่าผลผลิตที่ได้ต่ำ ไม่สามารถยอมรับได้ในกระบวนการผลิตกระดาษ จึงใช้กระบวนการโซดาในการผลิตเยื่อ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแห้งปกติ ซึ่งให้ค่า Kappa number และผลผลิตที่ได้ต่ำ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตถูกทำลายในกระบวนการต่าง ส่งผลให้ค่าผลผลิตที่ได้ต่ำลง แต่ค่าความแข็งแรงสูงกว่าเมื่อเทียบกับเยื่อใยชนิดอื่น ๆ และองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพบไฮโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสสูง (ร้อยละ 82.2 และ 47.6 ตามลำดับ) มีปริมาณลิกนินต่ำ หลังจากวัดสัญญาณวิทยาของเส้นใยด้วยเครื่อง FQA พบว่า ใบปาล์มน้ำมันมีความยาวเฉลี่ย 1.13 มิลลิเมตร ความกว้าง 19.6 ไมโครเมตร และผนังหนา 3.97 ไมโครเมตร ซึ่งจากผลการทดสอบทำให้สามารถนำเยื่อชนิดนี้ไปผลิตเป็นเส้นใยเสริมแรงให้กับเยื่อที่ต้องการสมบัติเชิงกลสูง เช่น เยื่อเชิงกลในการผลิตหนังสือพิมพ์

Ismail และคณะ[14] ศึกษาสมบัติการคงรูปของยางและสมบัติเชิงกลของใบปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber, ENR) ใช้ใบปาล์มน้ำมันที่บดให้ได้ขนาดตามต้องการ 3 ขนาด ได้แก่ 270 ถึง 500 ไมโครเมตร, 180 ถึง 270 ไมโครเมตร และ 75 ถึง 180 ไมโครเมตร และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 (ENR 50) โดยผสมด้วยเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ผลการศึกษาพบว่า ความคงรูปและ Scorch time (ระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือบวมถึงระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ ในขณะที่ผลิตก่อนเกิดการคงรูป) ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบปาล์มน้ำมัน การเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันจะลดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at Break) แต่ค่าโมดูลัสยัง ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (tear strength) และความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น วัสดุเชิงประกอบที่เติมเยื่อใบปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเล็กจะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าโมดูลัสยังและค่าความแข็งแรงต่อการฉีกสูงกว่า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ใบปาล์มน้ำมัน จากจังหวัดนครศรีธรรมราช

3.1.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH): Assay 98-100% (Pellets), บริษัท Loba chemis Pvt. Ltd

3.1.1.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl): 0.9994 M

3.1.1.4 แบเรียมคลอไรด์ (BaCl₂): Assay 99.0% min, ACS จาก Ajax Finechem Pty.Ltd

3.1.1.5 กระดาษกรองเบอร์ 4: ยี่ห้อ Whatman บริษัท Whatman International จำกัด ประเทศอังกฤษ

3.1.1.6 น้ำกลั่น

3.1.1.7 น้ำยารูทรมชาติดีดแปรหรือยารูทรมชาติอ็อกซีไดซ์ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 18.20 จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 เครื่องสับชิ้นไม้ (wood chipper)

3.1.2.2 เครื่องบดละเอียด (grinder)

3.1.2.3 เครื่องคัดแยกขนาดชิ้นไม้ (wood chip classifier)

3.1.2.4 เครื่องคัดแยกขนาดเส้นใย (fiber classifier); รุ่น Bauer McNett บริษัท Universal Engineering Corporation ประเทศอินเดีย

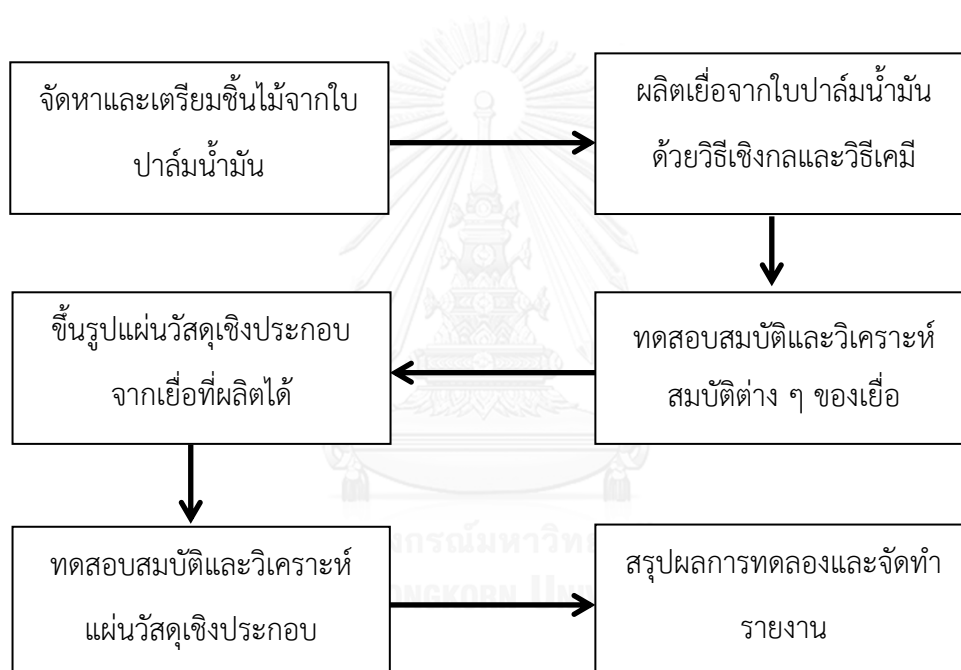
3.1.2.5 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (balance); รุ่น GX- 20K ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2.6 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (balance) ; รุ่น TB-4002 บริษัท Denver Instrument ประเทศเยอรมนี

- 3.1.2.7 ตู้อบ (hot air oven); ยี่ห้อ MMM รุ่น Venticell บริษัท MMM
Medcenter Einrichtungen GmbH ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.8 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator) ; ยี่ห้อ Formax บริษัท Adirondack
Machine Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.9 เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (fiber quality analyzer : FQA) ; ยี่ห้อ Optest
บริษัท Optest Equipment ประเทศแคนาดา
- 3.1.2.10 เครื่องบดเยื่อ (valley beater); รุ่น UEC-2018A บริษัท Universal
Engineering Corporation ประเทศอินเดีย
- 3.1.2.11 เครื่องวัดค่าสภาพระบายน้ำได้ (freeness tester); รุ่น LTDA บริษัท
Regmed Industria Technica de Frecisao ประเทศบราซิล
- 3.1.2.12 กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 25, 100 และ 1000 มิลลิลิตร
- 3.1.2.13 ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 25, 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.1.2.14 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer)
- 3.1.2.15 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3.1.2.16 เครื่องปั่น (Moulinex)
- 3.1.2.17 เครื่องวัดแรงดึงในแนวตั้ง (tensile tester vertical); บริษัท Toyo Seiki
Seisaku-cho, ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.2.18 เครื่องวัดแรงฉีกขาดของกระดาษ (elmendorf tearing tester); บริษัท
Thwing-Albert instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.19 เครื่องตัดกระดาษแบบกดทับ (สำหรับวัดการต้านแรงฉีก) (tearing
sample cutter); บริษัท Universal Engineering Corporation, ประเทศอินเดีย

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ การทดลองตอนที่ 1 เป็นการจัดหาใบปาล์ม น้ำมันและเตรียมชิ้นไม้จากใบปาล์มน้ำมัน โดยแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ใบย่อยปาล์มน้ำมัน และส่วน ของก้านใบและแกนกลางใบ การทดลองตอนที่ 2 เป็นการผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีแบบ เชิงกลและวิธีทางเคมี เพื่อนำเส้นใยที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ และเพื่อนำไปผสมกับยางธรรมชาติ ดัดแปรผลิตเป็นแผ่นวัสดุเชิงประกอบ การทดลองตอนที่ 3 เป็นการผสมเส้นใยกับน้ำยางธรรมชาติดัด แปรหรือยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 18.20 และนำไปทดลองสมบัติแผ่น วัสดุเชิงประกอบ แสดงแผนภาพการทดลองดังนี้ (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 แผนการทดลอง

3.2.1 การทดลองตอนที่ 1 การจัดหาใบปาล์ม น้ำมันและเตรียมชิ้นไม้จากใบปาล์ม น้ำมัน

จัดหาใบปาล์ม น้ำมันจาก จังหวัดนครศรีธรรมราช และนำใบปาล์ม น้ำมันที่ได้มา เตรียมชิ้นไม้โดยเตรียมชิ้นไม้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนใบย่อยปาล์ม น้ำมัน และส่วนก้านใบและแกนกลาง ใบปาล์ม น้ำมัน เพื่อนำไปผลิตเยื่อด้วยวิธีเชิงกลและวิธีเคมีต่อไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1.1 การเตรียมชิ้นไม้จากใบปาล์มน้ำมัน

3.2.1.1.1 การเตรียมชิ้นไม้จากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน

1. นำก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันมาผ่าครึ่งให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นนำมาสับเป็นชิ้นด้วยเครื่องสับชิ้นไม้ให้ได้ขนาดประมาณ 1 นิ้ว
2. นำชิ้นก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันบดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบไม่ใส่ตะแกรงบด
3. นำชิ้นก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดแล้วไปทำการร่อนด้วยเครื่องร่อนแยกขนาดเส้นใย เพื่อคัดแยกให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน คือ ระหว่าง 0.2 ถึง 10 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นใยที่ได้จะถูกนำไปผลิตเยื่อเคมี และคัดแยกขนาดที่ใหญ่เกินไป (มากกว่า 1 เซนติเมตร) และเล็กเกินไป (เล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร) ออก เพื่อนำไปผลิตเยื่อเชิงกลต่อไป

3.2.1.1.2 การเตรียมชิ้นไม้จากใบย่อยปาล์มน้ำมัน

นำใบย่อยปาล์มน้ำมันมาตัดให้ได้ความยาวประมาณ 1 นิ้ว เพื่อนำไปผลิตเยื่อเชิงกล และเยื่อเคมีต่อไป

3.2.2 การทดลองตอนที่ 2 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลและวิธีเคมี

3.2.2.1 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกล

3.2.2.1.1 การเตรียมเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน

1. นำชิ้นก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการคัดแยกจากการผลิตเยื่อเคมีที่มีขนาดที่ใหญ่เกินไป (มากกว่า 1 เซนติเมตร) และเล็กเกินไป (เล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร) มาผลิตเป็นเยื่อเชิงกล โดยบดด้วยเครื่องบดละเอียดอีกครั้งหนึ่ง
2. นำเยื่อเข้าเตาอบเพื่ออบให้แห้ง เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น (Moulinex)

3. นำเยื่อที่ผ่านการปั่นไปร่อนแบบแห้งด้วยเครื่องคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้ตะแกรง 149 ไมครอนและ 74 ไมครอน เพื่อแยกขนาดเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3.2.2.1.2 การเตรียมเยื่อเชิงกลจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน

1. นำชิ้นใบย่อยปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้ มาบดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบไม่ใส่ตะแกรงบด
2. นำเยื่อที่ได้ไปเข้าเตาอบ เพื่ออบให้แห้งเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น (moulinex)
3. นำเยื่อที่ผ่านการปั่นไปร่อนแบบแห้งด้วยเครื่องคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้ตะแกรง 149 ไมครอน เพื่อแยกขนาดเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3.2.2.2 การผลิตเยื่อจากชิ้นใบย่อยปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเคมี

3.2.2.2.1 การเตรียมเยื่อเคมีจากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน

1. นำก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการร่อนแบบแห้ง (ขนาด 0.2 ถึง 10 มิลลิเมตร) ไปผลิตเยื่อเคมีโดยทำการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้หม้อต้มขนาด 35 ลิตร ตั้งบนเตาไฟฟ้า ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (liquor to wood ratio) เท่ากับ 10:1
2. หลังจากต้มเยื่อครบตามเวลาแล้ว ทำการล้างเยื่อก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันให้สะอาด นำเยื่อที่ได้ไปหาค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield) ทำการเก็บน้ำดำที่ได้จากการต้มเยื่อ (black liquor) เพื่อนำไปหาปริมาณด่างที่เหลือ (residual alkali)
3. นำเยื่อก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้มาทำการบดด้วยเครื่องบดเยื่อเป็นเวลา 10 นาที นำเยื่อที่ผ่านการบดไปหาค่าสภาพการระบายน้ำได้ตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94

4. นำเยื่อที่ผ่านการบดแล้วมาทำการตีกระจายด้วยเครื่องตีกระจายเยื่อที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 0.5 จำนวน 3,000 รอบ จากนั้นนำเยื่อไปเข้าเครื่องคัดแยกขนาดเส้นใย (Bauer Mcnett) โดยใช้ตะแกรงขนาด 149 ไมครอนและ 74 ไมครอน เป็นเวลา 30 นาที เพื่อแยกเยื่อก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใหญ่กว่า 149 ไมครอน และส่วนที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3.2.2.2.2 การเตรียมเยื่อเคมีจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน

1. นำชิ้นใบย่อยปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้มาผลิตเยื่อเคมี โดยต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งใบย่อยปาล์มน้ำมัน โดยใช้หม้อต้มขนาด 35 ลิตรตั้งบนเตาไฟฟ้า ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากใบย่อยปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็กและบางกว่าก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน จึงทำการลดเวลาการต้มลงได้ โดยใช้อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (liquor to wood ratio) เท่ากับ 10:1

2. หลังจากต้มเยื่อครบตามเวลาแล้ว ทำการล้างเยื่อใบย่อยปาล์มน้ำมันให้สะอาด จากนั้นหาค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield) รวมถึงทำการเก็บน้ำดำที่ได้จากการต้มเยื่อ (black liquor) เพื่อหาปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali) ต่อไป

3. นำเยื่อใบย่อยปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้มาทำการบดด้วยเครื่องบดเยื่อเป็นเวลา 10 นาที และนำเยื่อที่ผ่านการบดไปหาค่าสภาพการระบายน้ำได้

4. นำเยื่อที่ผ่านการบดแล้วมาทำการตีกระจายด้วยเครื่องตีกระจายเยื่อ ที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 0.5 จำนวน 3,000 รอบ จากนั้นนำเยื่อไปเข้าเครื่องคัดแยกขนาดเส้นใย (Bauer Mcnett) โดยใช้ตะแกรงขนาด 149 ไมครอนและ 74 ไมครอน เป็นเวลา 30 นาที เพื่อแยกเยื่อใบย่อยปาล์มน้ำมันออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใหญ่กว่า 149 ไมครอน และส่วนที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นจะได้เส้นใยจากใบปาล์มน้ำมัน 4 กลุ่ม ดังนี้

1. เส้นใยที่ได้จากจากผลิตเยื่อแบบเชิงกล

1.1 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาดใหญ่กว่า 149

ไมครอน

1.2 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

1.3 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

1.4 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

2. เส้นใยที่ได้จากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

2.1 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

2.2 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

2.3 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

2.4 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3. เส้นใยที่ได้จากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

3.1 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

3.2 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3.3 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

3.4 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

4. เส้นใยที่ได้จากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

4.1 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

4.2 เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

4.3 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน

4.4 เส้นใยใบย่อยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน

3.2.2.3 การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของเยื่อใบปาล์มน้ำมัน

3.2.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของใบปาล์มน้ำมัน

นำตัวอย่างเยื่อที่เตรียมได้จากกระบวนการผลิตแบบเชิงกลและเคมีมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ โดยศึกษา ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใย (fiber morphology) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (fiber quality analyzer-FQA) สำหรับเยื่อเคมี และวิเคราะห์ขนาดเส้นใยด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer) สำหรับเยื่อเชิงกล รายละเอียดดังนี้

1. ค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเยื่อ คือ ความสามารถในการกักเก็บหรืออุ้มน้ำได้ของเยื่อ ซึ่งสามารถวัดได้โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-09 มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร ซึ่งเมื่อค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเยื่อมีค่ามาก แสดงว่าเยื่อที่ทำการทดสอบมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำจึงระบายน้ำออกมามาก



ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเส้นใย (freeness tester)

ที่มา : <http://www.tendringpacific.com/instrument/freeness-testers>

2. สัณฐานวิทยาของเส้นใย[15] (fiber morphology) สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (fiber quality analyzer-FQA) ตามมาตรฐาน ISO 16065-1:2001 เช่น ความโค้งงอ ความยาว ความกว้าง และการหักงอของเส้นใย เป็นต้น ซึ่งทำการวัดเส้นใย 5,000 เส้นต่อครั้ง



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดสัดส่วนวิทยาของเส้นใย (FQA)

ที่มา : http://ttcinc.ca/about_us.html

3. การวัดขนาดเส้นใยด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคเส้นใย (particle size analyzer)[16] เป็นการวัดขนาดอนุภาคโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง (laser diffraction) ซึ่งความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคแต่ละขนาด แต่มุมของการเลี้ยวเบนเป็นส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ตั้งแต่ 0.02 ถึง 2,000 ไมโครเมตร



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer)

ที่มา : http://icimb.pl/centrala_en/

3.2.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไบโपाल์มน้ำมัน

นำตัวอย่างเยื่อที่เตรียมได้จากกระบวนการผลิตแบบเชิงกลและเคมีมาตรวจสอบลักษณะทางเคมีของใบปาล์มน้ำมันโดยศึกษา ปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali) และองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (chemical composition) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปริมาณต่างที่เหลือ[17] เป็นการหาปริมาณต่างที่เหลือ หลังจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และเส้นใยในกระบวนการต้มเยื่อ โดยสามารถหาได้จากการไทเทรตน้ำดำ (black liquor) กับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.9994 โมลาร์
2. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย เป็นการหาปริมาณเถ้า (ash content) ปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (ตั้งภาคผนวก ก)

3.2.3 การทดลองตอนที่ 3 การผสมเส้นใยกับยางธรรมชาติตัดแปร

3.2.3.1 การผสมเส้นใยกับยางธรรมชาติตัดแปร

เป็นการนำเยื่อที่วิเคราะห์สมบัติที่ดีที่สุด 6 ชนิด จาก 16 ชนิด คือ ก้านใบและแกนกลางใบที่ผลิตด้วยวิธีเคมีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้ง ก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน ทั้งเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน มาทำการขึ้นแผ่นผสมกับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 18.20 เพื่อทำการทดสอบชิ้นงานเปรียบเทียบกับแผ่นชิ้นงานที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ รายละเอียดดังนี้

- การขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบเส้นใยก้านใบและแกนกลางใบผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 18.20 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ 2 กรัมแห้งต่อ 1 แผ่นวัสดุเชิงประกอบ โดยขึ้นแผ่นตามมาตรฐาน TAPPI T 205 sp-02

3.2.3.2 การทดสอบแผ่นวัสดุเชิงประกอบ

การทดสอบแผ่นวัสดุเชิงประกอบจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นวัสดุเชิงประกอบ 2 ชนิด คือ ชิ้นงานที่ไม่ผสมยางธรรมชาติฟ็อกซีไคซ์ และชิ้นงานที่มีการผสมเยื่อถ่านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันกับยางธรรมชาติฟ็อกซีไคซ์ โดยทำการทดสอบดังนี้

1. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)[18] เป็นการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นชิ้นงาน ทดสอบโดยการตัดแผ่นวัสดุเชิงประกอบให้มีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และความยาวไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร นำไปทดสอบด้วยเครื่อง tensile testing machine ตามมาตรฐาน TAPPI T 494 om-01

2. ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tearing strength)[19] เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำที่ทำให้ฉีกขาดหนึ่งชั้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดเป็น มิลลินิวตัน (mN) โดยในการทดลองนี้จะทดสอบด้วยเครื่อง Elmendorf tearing tester ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98

3. การดูดซับน้ำ ทดสอบด้วยการตัดแผ่นวัสดุเชิงประกอบให้ได้ขนาด 7 x 6.3 เซนติเมตร นำแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ตัดไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนไป โดยแช่แผ่นวัสดุเชิงประกอบ 20 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักออกแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และนำแผ่นวัสดุเชิงประกอบไปแช่อีก 20 นาที ชั่งน้ำหนักออกแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดลองการผลิตเยื่อจากชิ้นใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลและวิธีเคมี

4.1.1 เส้นใยที่ได้จากจากผลิตเยื่อแบบเชิงกล

4.1.1.1 ค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield)

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลผลิตที่ได้ของเยื่อแบบเชิงกลหลังการเตรียมเยื่อ โดยการบดเยื่อและทำการร่อนให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ พบว่าเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบ ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่าเยื่อเชิงกลจากใบย่อยของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน หลังจากทำการบดมีเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่า 74 ไมครอนหลุดรอดออกจากตะแกรงมากกว่า ส่งผลให้ค่าผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำกว่าเส้นใยที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 4.1 ค่าผลผลิตที่ได้จากการเตรียมเยื่อเชิงกลจากใบปาล์มน้ำมัน

ก้านใบและแกนกลางใบ (% yield)	ใบย่อยปาล์มน้ำมัน (% yield)
97.4	93.3

4.1.1.2 สัดส่วนเยื่อที่ได้หลังจากการคัดแยกขนาด

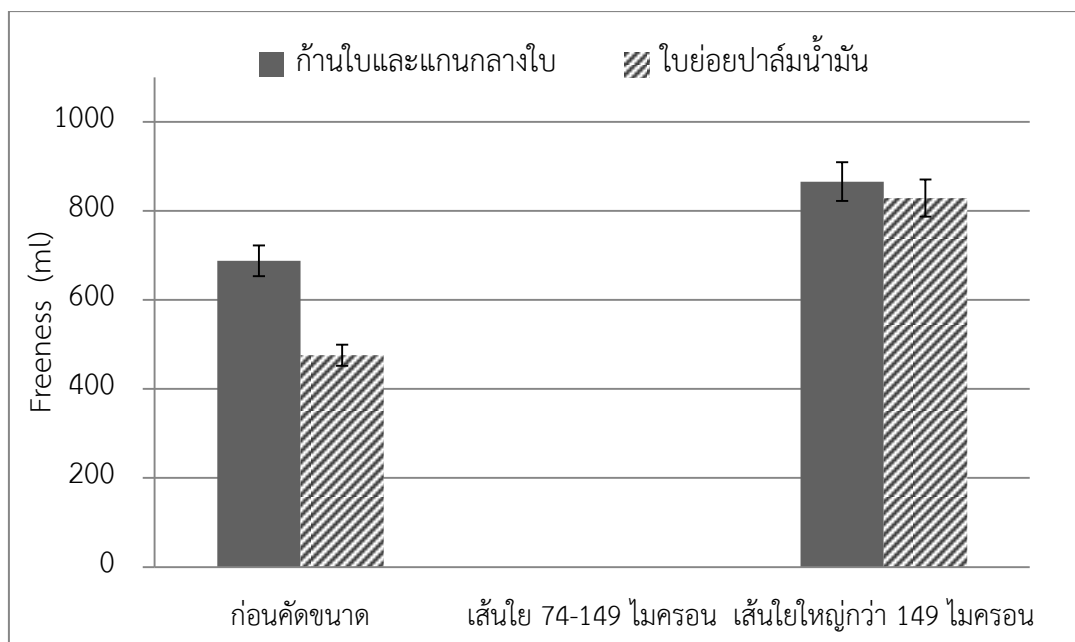
หลังจากการคัดขนาดเส้นใยเยื่อเชิงกลออกเป็นสองส่วน คือ เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน พบว่า เส้นใยที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบมีสัดส่วนของเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนมากกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน เนื่องจากส่วนที่เป็นใบย่อยปาล์มน้ำมันมีปริมาณเส้นใยที่สั้นกว่า ส่งผลให้ได้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละของสัดส่วนของเส้นใยของเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน

	เส้นใยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	เส้นใยขนาด 74-149 ไมครอน
ก้านใบและแกนกลางใบ (%)	55.3	44.7
ใบย่อยปาล์มน้ำมัน (%)	53.2	46.7

4.1.1.3 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness)

จากภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบเปรียบเทียบกับใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกลทั้งก่อนและหลังการคัดแยกขนาดแสดงให้เห็นว่า ก่อนคัดขนาดค่าสภาพการระบายน้ำได้ของก้านใบและแกนกลางใบมีค่ามากกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเยื่อเชิงกลที่เตรียมจากใบย่อยปาล์มน้ำมันมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมากกว่าเยื่อเชิงกลที่เตรียมจากก้านใบและแกนกลางใบ ตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมากกว่าก้านใบและแกนกลางใบ จึงมีพื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำมากกว่า ส่งผลให้มีค่าสภาพการระบายน้ำได้ที่ต่ำกว่า



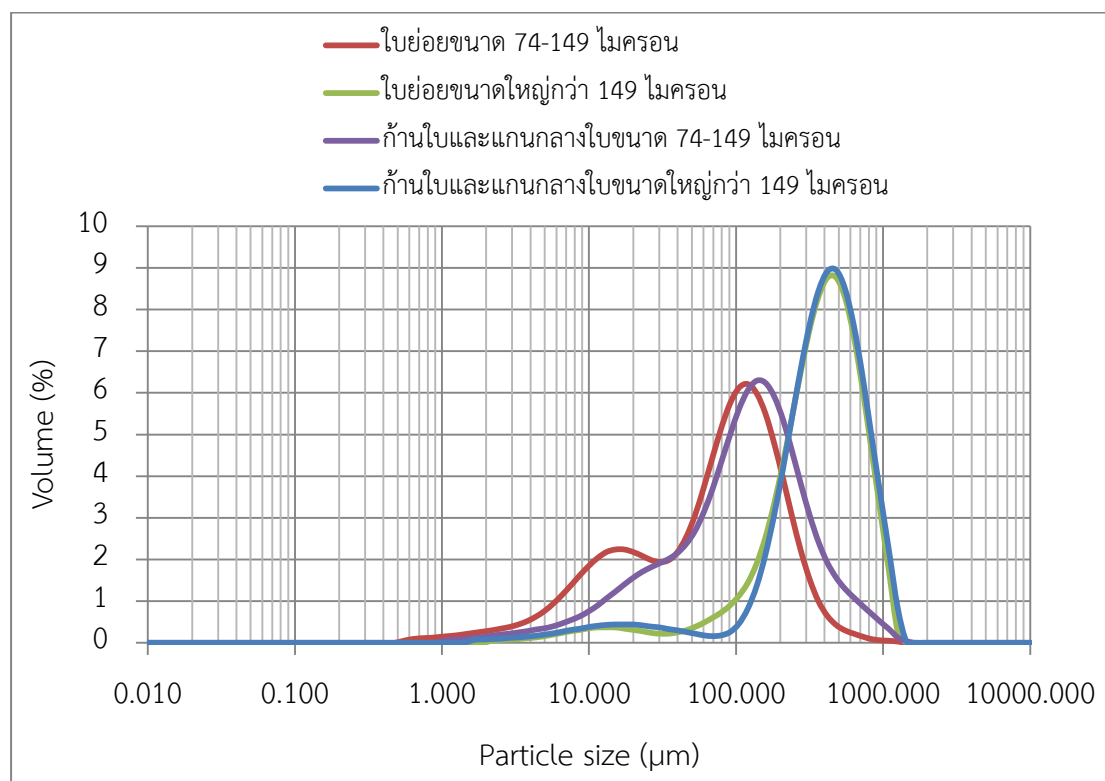
ภาพที่ 4.1 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์ม น้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล

สำหรับเส้นใยที่ผ่านการร่อนคัดขนาดที่มีขนาดเส้นใยใหญ่กว่า 149 ไมครอนทั้งจากส่วนของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน จะให้ค่าสภาพการระบายน้ำได้มากกว่าเส้นใยก่อนการแยกขนาด เนื่องจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่า 149 ไมครอนถูกคัดออก จึงส่งผลให้พื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำโดยรวมลดลง ค่าสภาพการระบายน้ำได้จึงเพิ่มขึ้นและไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างเยื่อจากก้านใบและแกนกลางใบ กับเยื่อจากใบย่อยปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเยื่อทั้งสองส่วนผ่านการคัดขนาดแล้ว ความยาวเส้นใยจึงไม่แตกต่างกันนัก ส่งผลให้มีความสามารถในการระบายน้ำใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามในส่วนของเส้นใยที่ได้จากเยื่อเชิงกลทั้งของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่มีขนาด 74-149 ไมครอนนั้น ไม่สามารถหาค่าสภาพการระบายน้ำได้ เนื่องจากขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงของเครื่องวัดค่าสภาพการระบายน้ำได้ จึงทำให้อนุภาคของเส้นใยหลุดรอดออกไปกับน้ำเป็นส่วนใหญ่

4.1.1.4 สัณฐานวิทยาของเส้นใย

เนื่องจากเยื่อที่เตรียมได้จากวิธีเชิงกลทั้งจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันนั้นมีขนาดเล็กมากเกินกว่าที่เครื่องวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยจะวัดได้ จึงไม่

สามารถรายงานผลในส่วนของความยาว ความกว้าง ความโค้ง และความห้กของเส้นใยได้ จึงได้นำเชื้อส่วนนี้ไปวัดได้เพียงขนาดอนุภาคเื่อด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคแทน ดังแสดงผลใน ภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ผลการกระจายขนาดอนุภาคของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล

จากภาพที่ 4.2 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเส้นใยที่วัดขนาดด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer) พบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนของทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคที่มีขนาด 74-149 ไมครอนของทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันมีขนาดใกล้เคียงกัน ในขณะที่อนุภาคขนาด 74-149 ไมครอนนั้น ส่วนก้านใบและแกนกลางใบมีขนาดใหญ่กว่าส่วนใบย่อยเล็กน้อย

4.1.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก้านใบและแกนกลางใบ กับใบย่อยปาล์มน้ำมันนั้นจะเห็นได้ว่า ก้านใบและแกนกลางใบมีปริมาณทั้งเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) สูงกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน แต่มีปริมาณลิกนิน (lignin) และเถ้า (Ash) ต่ำกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันเล็กน้อย ส่วนปริมาณสารอื่นๆ เช่น สารแทรกในเนื้อไม้ และส่วนที่สูญเสียไป (others) นั้นพบว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันมีมากกว่าก้านใบและแกนกลางใบ ในส่วนของอิทธิพลของขนาดของอนุภาคนั้นพบว่า การคัดแยกขนาดของเส้นใยออกเป็นสองส่วนทั้งในกรณีของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันนั้น ส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาด 74-149 ไมครอน) จะมีส่วนปริมาณสารอื่นๆ เช่น สารแทรกในเนื้อไม้ และส่วนที่สูญเสียไป (others) ค่อนข้างสูงมาก จึงอาจส่งผลให้ค่าองค์ประกอบทางเคมีในส่วนอื่นๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินมีค่าลดลง เนื่องจากค่าที่รายงานนั้นเป็นค่าสัดส่วนจากจำนวนเต็ม 100% ทั้งนี้สำหรับส่วนที่สูญเสียไป เกิดจากขั้นตอนการทดลองที่ไม่สามารถนำเส้นใยขนาดเล็ก (ขนาด 74-149 ไมครอน) ออกจากครุชีบีลได้หมด

ตารางที่ 4. 3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยของเยื่อเชิงกลจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน

	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Loss (%)
ก้านใบและแกนกลางใบหลังบด	19.55	44.75	12.85	3.15	19.70
ก้านใบและแกนกลางใบใหญ่กว่า 149 ไมครอน	20.70	42	15.90	1.30	20.10
ก้านใบและแกนกลางใบขนาด 74-149 ไมครอน	17.25	28.50	9.80	5.35	39.10
ใบย่อยหลังบด	13.65	32.50	16.45	5.50	31.90
ใบย่อยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	16.70	39.50	19.45	2.85	21.5
ใบย่อยขนาด 74-149 ไมครอน	13.95	15.40	15.65	4.70	50.30

4.1.2 เส้นใยที่ได้จากจากผลิตเยื่อแบบเคมี

4.1.2.1 ค่าปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali)

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali) จากการผลิตเยื่อแบบเคมี

สภาวะ	ปริมาณต่างที่เหลือ (g/L)		
	20% NaOH	25% NaOH	30% NaOH
1. ต้มก้านใบและแกนกลางใบ	16.43	35.75	39.20
2. ต้มใบย่อยปาล์มน้ำมัน	19.21	37.10	42.42

จากตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งพบว่าหลังการต้มใบย่อยปาล์มน้ำมันมีปริมาณต่างที่เหลือมากกว่าปริมาณต่างที่เหลือหลังการต้มก้านใบและแกนกลางใบ เนื่องจากใบย่อยปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็กและบางกว่าก้านใบและแกนกลางใบ จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้ดีกว่า ส่งผลให้มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มมากกว่า รวมถึงเวลาที่ใช้ในการต้มใบย่อยปาล์มน้ำมันน้อยกว่าก้านใบและแกนกลางใบ ทำให้ปริมาณการใช้ต่างในการต้มใบย่อยปาล์มน้ำมันลดลง ทั้งนี้การลดเวลาต้มใบย่อยปาล์มน้ำมันเป็นผลมาจากการต้มใบย่อยปาล์มน้ำมันที่เวลา 4 ชั่วโมงให้ค่าผลผลิตที่ได้ต่ำมาก จึงทำการลดเวลาในการต้มเหลือ 2 ชั่วโมง ในการต้มเยื่อด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน แสดงให้เห็นว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันมีปริมาณต่างที่เหลือมากกว่าก้านใบและโคนกาบใบเหมือนกับการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 และ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งจากการทดลองพบว่ายังใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มมากขึ้น จะยิ่งทำให้มีปริมาณต่างที่เหลือมากขึ้น เนื่องจากต่างมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การทำปฏิกิริยากับซันไม้จึงง่ายขึ้น ส่งผลให้การเอาลิกนินออกดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการหาค่าประกอบทางเคมีของเส้นใย ดังตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณต่างที่เหลือยังเป็นตัวบ่งบอกถึงการใช้ปริมาณต่างที่เหลือเพื่อต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างการต้ม เพราะหากปริมาณต่างที่เหลือไม่เพียงพออาจจะส่งผลทำให้ลิกนินกลับมาติดเส้นใยได้อีก (lignin condensation) โดยปกติควรให้มีปริมาณต่างที่เหลือในระบบร้อยละ 2 ถึง 3 เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและลดต้นทุนในการผลิต

4.1.2.2 ค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield)

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลผลิตที่ได้ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน หลังจากทำการล้างเยื่อโดยใช้ตะแกรงขนาด 74 ไมครอน พบว่าเยื่อก้านใบและแกนกลางใบที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในทุกระดับความเข้มข้นมีปริมาณค่าผลผลิตที่ได้มากกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการล้างเยื่อใบย่อยปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 74 ไมครอน ได้หลุดรอดไปกับน้ำมากกว่าเยื่อที่ผลิตจากก้านใบและแกนกลางใบ อย่างไรก็ตาม ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันนั้นอยู่ในช่วงเดียวกับผลผลิตที่ได้จากการผลิตเยื่อเคมีจากไม้ทั่วไปอยู่แล้ว และจะเห็นได้ว่าเยื่อที่ผลิตได้ด้วยวิธีทางเคมีจะมีปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อ จะทำให้ผลผลิตลดลงตามลำดับ เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้การผลิตเยื่อมีความเข้มข้นของต่างมากขึ้น ลิกนินและสารแทรกถูกกำจัดออกมากขึ้น และเส้นใยจะถูกทำลายมากขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา peeling reaction ส่งผลให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสลดลง จึงเป็นผลที่ทำให้ค่าผลผลิตที่ได้ต่ำลง

ตารางที่ 4.5 ค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield) ของเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน หลังการต้มเยื่อจากการผลิตเยื่อแบบเคมี

สภาวะ	ค่าผลผลิตที่ได้ (pulp yield, %)		
	20% NaOH	25% NaOH	30% NaOH
1. ก้านใบและแกนกลางใบ	64.30	55.89	50.88
2. ใบย่อยปาล์มน้ำมัน	58.66	41.93	35.76

4.1.2.3 สัดส่วนเยื่อที่ได้หลังจากการคัดแยกขนาด

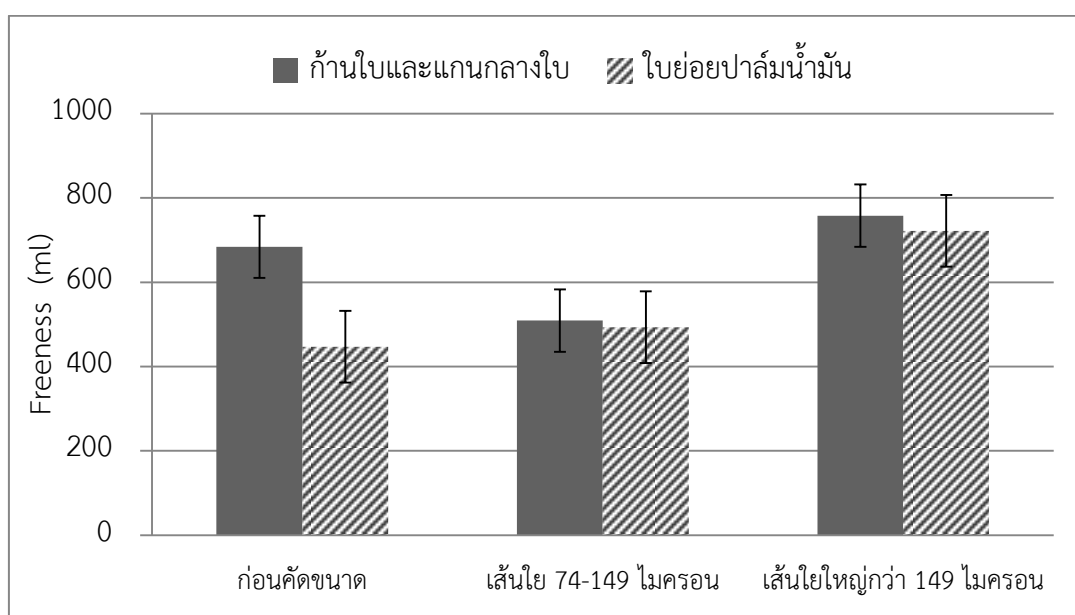
จากตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วนเยื่อที่ได้หลังจากการคัดแยกขนาดของเยื่อที่ผลิตแบบเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน พบว่าก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเส้นใยหลังจากการคัดแยกขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนมีปริมาณสัดส่วนเยื่อที่สูงมากกว่าเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน ทั้งนี้เพราะว่าเส้นใยของใบปาล์มน้ำมันมีความแข็งและเหนียวสูง ทำให้สัดส่วนของเส้นใยทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเส้นใย 74-149 ไมครอนมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเมื่อเทียบระหว่างเส้นใยจากก้านใบและแกนกลางใบกับเส้นใยใบย่อยปาล์มน้ำมัน พบว่าเส้นใยก้านใบและแกนกลางใบมีความยาวและหยาบกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน ทำให้เมื่อคัดขนาดแล้วจะมีสัดส่วนเส้นใยขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนอยู่มากกว่า การใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าร้อยละสัดส่วนของเส้นใยแตกต่างกัน โดยพบว่ายิ่งใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น จะทำให้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนยิ่งลดลง แต่เส้นใยขนาด 74-149 ไมครอนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับซินไม้ ทำให้ลิกนินอ่อนตัวลง เส้นใยแยกตัวจากกันได้มากขึ้น ทำให้ได้เส้นใยที่มีเล็ก (ขนาด 74-149 ไมครอน) เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละสัดส่วนของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมี

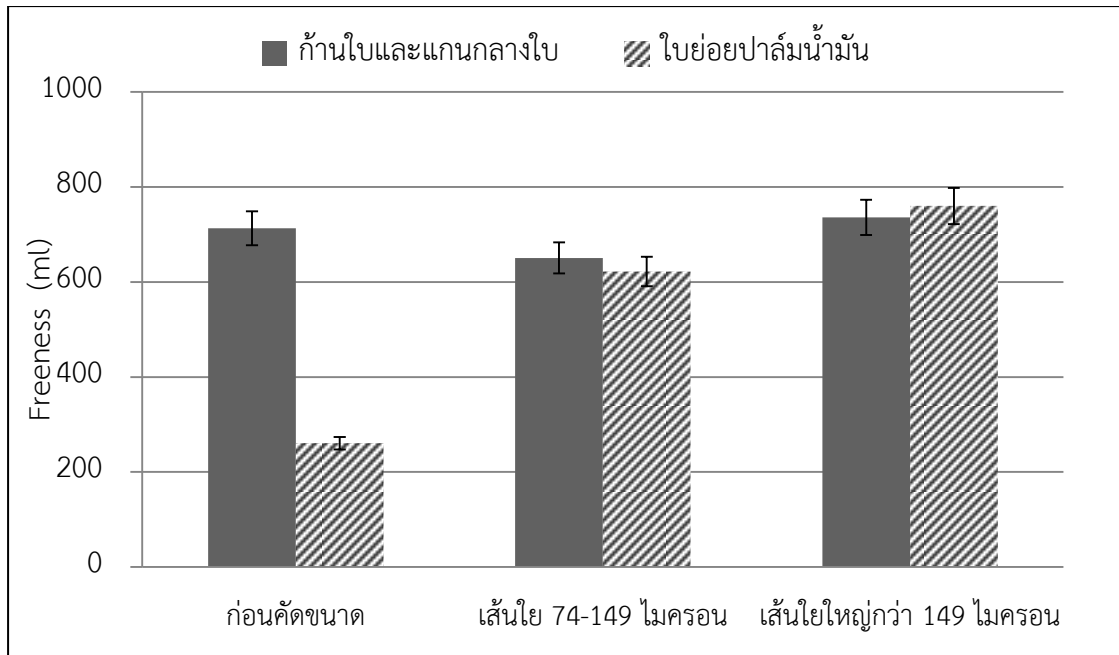
	20% NaOH		25% NaOH		30% NaOH	
	ใหญ่กว่า 149 ไมครอน	74-149 ไมครอน	ใหญ่กว่า 149 ไมครอน	74-149 ไมครอน	ใหญ่กว่า 149 ไมครอน	74-149 ไมครอน
ก้านใบและ แกนกลางใบ (%)	82.38	17.62	82.69	17.31	81.98	18.02
ใบย่อยปาล์ม น้ำมัน (%)	65.74	34.26	63.40	36.60	60.03	39.97

4.1.2.4 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness)

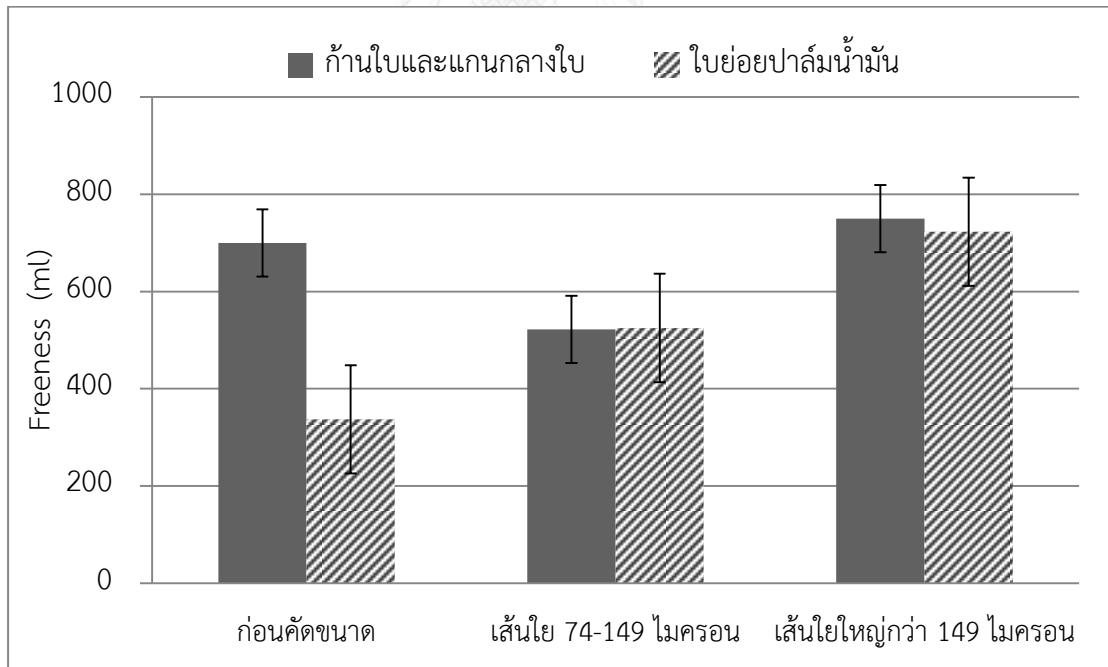
กระบวนการผลิตเยื่อเคมีส่งผลทำให้เยื่อที่ได้มีค่าสภาพการระบายน้ำได้ต่ำกว่าการผลิตเยื่อแบบเชิงกล (แสดงในภาพที่ 4.1) เนื่องจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารในการต้มเยื่อจะมีผลทำให้ลิกนินถูกกำจัดออกมากกว่าการผลิตเยื่อแบบเชิงกล ส่งผลให้เส้นใยมีความชอบน้ำมากขึ้น และอุ้มน้ำได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.3 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 4.4 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 4.5 ค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

ผลของค่าสภาพการระบายน้ำได้ (freeness) ของเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน แสดงผลใน ภาพที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ เมื่อนำเยื่อทั้งจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันไปผ่าน เครื่องแยกขนาดเส้นใย (Bauer McNett) โดยใช้ตะแกรงแยกเส้นใยขนาด 149 ไมครอน และ 74 ไมครอน พบว่าเยื่อก้านใบและแกนกลางใบก่อนคัดขนาดมีค่าสภาพการระบายน้ำได้สูงกว่าใบย่อย ปาล์มน้ำมัน แต่เมื่อผ่านการคัดขนาดแล้ว ค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเยื่อแต่ละส่วนไม่ค่อยแตกต่างกันนัก เนื่องจากมีความยาวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น เยื่อที่ผ่านการคัดขนาดเส้นใยที่มีขนาด ใหญ่กว่า 149 ไมครอน จะมีค่าสภาพการระบายน้ำได้ที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กถูกคัด ออก พื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำจึงลดลง ส่งผลให้การดูดซับน้ำหรือการอุ้มน้ำลดลง ส่วนเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอนทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันมีค่าสภาพการระบายน้ำได้ต่ำ ที่สุด เนื่องจากมีเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากและมีพื้นที่ผิวในการกักเก็บน้ำเยื่อะ ดังแสดงในภาพที่ 4.3, 4.4 และภาพที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของวิธีการผลิต พบว่า เยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล (แสดงในภาพที่ 4.1) ส่งผลให้ค่าสภาพการระบายน้ำได้สูงกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมี (แสดงในภาพที่ 4.3, 4.4 และ 4.5) โดยอิทธิพลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดในส่วนของใบย่อยปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้เป็นเพราะ การผลิตเยื่อด้วยวิธีเชิงกลไม่ได้มีการกำจัดลิกนินที่ไม่ชอบน้ำออก และในส่วนของใบปาล์มน้ำมันนั้นยังมีอิทธิพลของสารเคลือบผิวใบ (wax) ที่มีความไม่ชอบน้ำเช่นกันร่วมอยู่ด้วย จึงส่งผลให้เยื่อระบายน้ำ ได้มากขึ้น ค่าสภาพการระบายน้ำได้จึงมีค่าสูง ในส่วนอิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ใน การต้มเยื่อ พบว่ายิ่งใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสภาพการระบายน้ำได้ของ เยื่อต่ำลง เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากจะช่วยกำจัดลิกนินที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำออก ได้มากกว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่ำ นอกจากนี้การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพิ่มขึ้นยังช่วยให้เส้นใยเกิดการแตกแขนงได้มากขึ้น ทำให้เส้นใยมีพื้นที่ผิวในการรับน้ำสูง ค่าสภาพ การระบายน้ำได้จะมีค่าน้อยลง

4.1.2.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใย

ตารางที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

สัณฐานวิทยาของเส้นใย	ก้านใบและแกนกลางใบ		ใบย่อยปาล์มน้ำมัน	
	เส้นใยใหญ่ กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน	เส้นใยใหญ่ กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน
ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความยาวเส้นใย, Numerical average fiber length (mm)	1.683	0.603	1.609	0.691
จำนวนกระจุกเส้นใย, Shives count	191.10	57.00	233	13.00
เส้นใยขนาดเล็ก, Fines (%)	1.393	9.140	1.954	7.303
ดัชนีความโค้งงอ, Curl index	0.096	0.097	0.092	0.072
ดัชนีความหักงอ, Kink index (mm ⁻¹)	1.413	1.213	1.358	1.205
ความกว้างของเส้นใย, Fiber width (um)	27.90	26.40	27.30	21.20

ตารางที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

สัณฐานวิทยาของเส้นใย	ก้านใบและแกนกลางใบ		ใบย่อยปาล์มน้ำมัน	
	เส้นใยใหญ่ กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน	เส้นใยใหญ่ กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน
ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความยาวเส้นใย, Numerical average fiber length (mm)	1.517	0.620	1.555	0.637
จำนวนกระจุกเส้นใย, Shives count	103.00	30.00	71.00	5.00
เส้นใยขนาดเล็ก, Fines (%)	1.845	27.746	3.642	31.61
ดัชนีความโค้งงอ, Curl index	0.084	0.074	0.096	0.084
ดัชนีความหักงอ, Kink index (mm^{-1})	1.321	1.179	1.343	1.197
ความกว้างของเส้นใย, Fiber width (μm)	27.70	25.40	27.30	22.60

ตารางที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

สัณฐานวิทยาของเส้นใย	ก้านใบและแกนกลางใบ		ใบย่อยปาล์มน้ำมัน	
	เส้นใยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน	เส้นใยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	เส้นใย 74-149 ไมครอน
ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความยาวเส้นใย, Numerical average fiber length (mm)	1.109	0.430	0.924	0.405
จำนวนกระจุกเส้นใย, Shives count	72.00	21.00	53.00	3.00
เส้นใยขนาดเล็ก, Fines (%)	2.191	23.606	4.653	29.844
ดัชนีความโค้งงอ, Curl index	0.084	0.086	0.092	0.077
ดัชนีความหักงอ, Kink index (mm^{-1})	1.223	1.139	1.322	1.132
ความกว้างของเส้นใย, Fiber width (um)	26.60	25.50	25.30	22.30

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความยาวของเส้นใย (fiber length) จำนวนกระจุกของเส้นใย (shives count) เส้นใยขนาดเล็ก (fines) ดัชนีความโค้งงอ (curl index) ดัชนีความหักงอ (kink index) และความกว้างของเส้นใย (fiber width) พบว่า เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน มีความยาวและความกว้างมากกว่าเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอนทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน รวมถึงจำนวนกระจุกของเส้นใย ดัชนีความโค้งงอ และดัชนีความหักงอของเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน จะมีค่ามากกว่าเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน ของทั้งก้านใบและแกนกลางใบ ในส่วนของเส้นใยขนาดเล็ก พบว่า เส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน มีจำนวนเส้นใยขนาดเล็กมากกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน ทั้งส่วนก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยใบปาล์มน้ำมันของเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า

ความยาวและความกว้างของเส้นใยลดลงทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน เมื่อเทียบกับสัณฐานวิทยาของเส้นใยใบปาล์มน้ำมันของเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 และ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8) เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากขึ้นจะส่งผลต่อเส้นใย ซึ่งเส้นใยจะถูกโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำลายระหว่างการต้มเยื่อ ดัชนีความโค้งงอและดัชนีความหักงอของเส้นใยทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันลดลง เนื่องจากการต้มเยื่อที่ปริมาณต่างสูงเส้นใยสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า จึงส่งผลทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและยุบตัวดีกว่าหลังจากต้มเยื่อ เนื่องจากมีการกำจัดลิกนินส่วนใหญ่ออกจากเส้นใยแล้ว

อย่างไรก็ตาม เยื่อเคมีดังกล่าวมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะวัดขนาดอนุภาค ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคได้ (ซึ่งแตกต่างจากในกรณีของเยื่อเชิงกล) ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคเยื่อเชิงกลและเยื่อเคมีของเยื่อจากก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันได้

4.1.2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Loss (%)
ก้านใบและแกนกลางใบหลังบด	11.20	66.95	11.55	2.75	7.55
ก้านใบและแกนกลางใบขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน	10.65	63.40	12.90	1.30	11.75
ก้านใบและแกนกลางใบขนาด 74-149 ไมครอน	10.80	71.05	11.80	3.45	2.90
ใบย่อยหลังบด	10.50	51.70	11.50	6.30	20
ใบย่อยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	9.95	60.40	14.95	3.70	11
ใบย่อยขนาด 74-149 ไมครอน	9.35	59.90	11.60	4.65	14.50

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Loss (%)
ก้านใบและแกนกลางใบหลังบด	15.29	66.86	12.09	0.88	4.88
ก้านใบและแกนกลางใบใหญ่กว่า 149 ไมครอน	13.05	68.68	12.37	1.26	4.64
ก้านใบและแกนกลางใบขนาด 74-149 ไมครอน	15.64	66.01	11.44	1.35	5.56
ใบย่อยหลังบด	16.95	46.79	10.04	1.65	24.57
ใบย่อยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	19.48	61.66	14.10	0.53	4.23
ใบย่อยขนาด 74-149 ไมครอน	20.54	52.74	8.71	0.93	17.08

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Loss (%)
ก้านใบและแกนกลางใบหลังบด	12	60.45	10.9	1.75	14.9
ก้านใบและแกนกลางใบใหญ่กว่า 149 ไมครอน	8.5	42.1	9.2	0.85	39.35
ก้านใบและแกนกลางใบขนาด 74-149 ไมครอน	5.8	31.15	6.6	0.95	55.5
ใบย่อยหลังบด	12.25	57.2	9.85	4.75	15.95
ใบย่อยใหญ่กว่า 149 ไมครอน	7.5	45.3	9.55	1.8	35.85
ใบย่อยขนาด 74-149 ไมครอน	5.25	38.7	7.85	2.45	45.75

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน เถ้า และส่วนที่สูญเสีย จากการเปรียบเทียบก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อย ปาล์มน้ำมันก่อนคัดขนาดและหลังคัดขนาด พบว่า การผลิตเยื่อแบบเคมีที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสหลังการคัดแยกขนาดลดลงทั้งก้าน ใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสกับ เส้นใยที่ได้จากการผลิตเยื่อที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งใบ ปาล์มน้ำมัน พบว่าเยื่อที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณเฮ มิเซลลูโลสและเซลลูโลสมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ เนื่องจากการ ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากจะส่งผลให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสลดลง ซึ่งเกิดจากการ ตัดปลายของโซโมเลกุล หรือเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า peeling reaction ในส่วนปริมาณลิกนินพบว่า เส้นใยหลังบดและเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน มีปริมาณลิกนินไม่แตกต่างกันมากทั้งก้านใบและ แกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน แต่เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่มี ขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน มีปริมาณลิกนินสูงกว่า เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่ำ อาจทำให้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาได้ไม่ดี จึงส่งผลให้มีลิกนินเหลือในเส้นใยปริมาณสูงกว่า

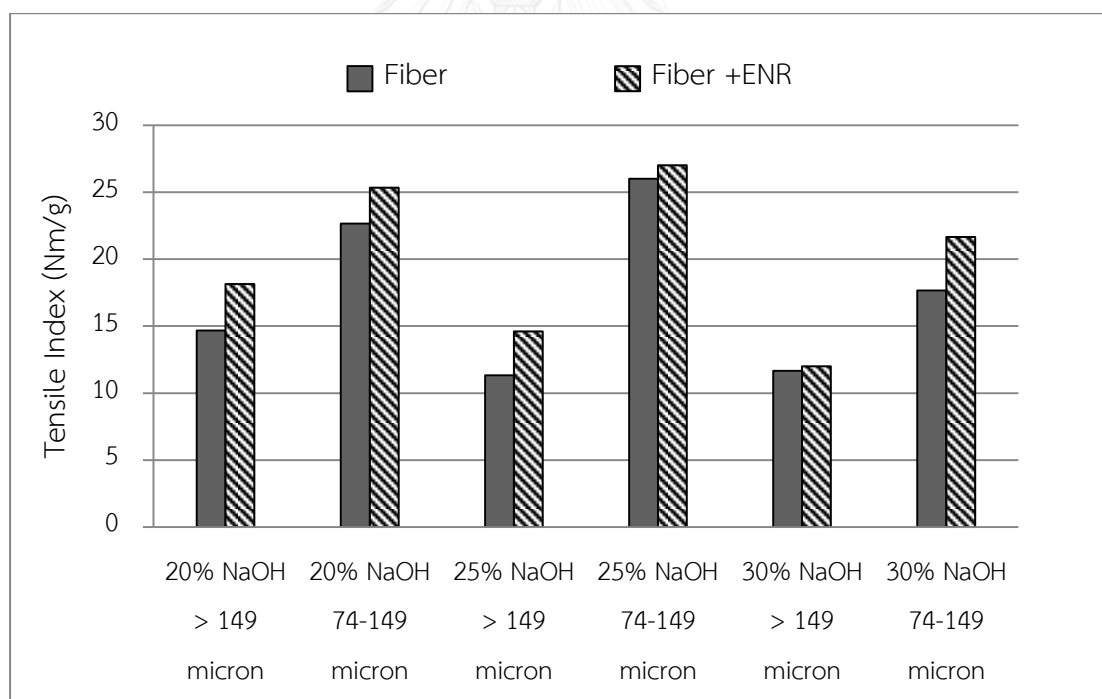
ในส่วนของคุณสมบัติของลิกนิน (lignin) และเถ้า (ash) นั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณสารอื่นๆ เช่น สารแทรกในเนื้อไม้ และส่วนที่สูญเสียไป (others) นั้นพบว่าไบย้อยปาล์มน้ำมันมีมากกว่าก้านใบและแกนกลางใบ ในส่วนของอิทธิพลของขนาดของอนุภาคนั้นพบว่า การคัดแยกขนาดของเส้นใยออกเป็นสองส่วนทั้งในกรณีของก้านใบและแกนกลางใบ และไบย้อยปาล์มน้ำมันนั้น ส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาด 74-149 ไมครอน) จะมีปริมาณสารอื่นๆ เช่น สารแทรกในเนื้อไม้ และส่วนที่สูญเสียไป (others) ค่อนข้างสูงมาก (โดยจะเห็นได้ชัดในกรณีของไบย้อยปาล์มน้ำมัน) จึงอาจส่งผลให้ค่าองค์ประกอบเคมีในส่วนอื่นๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีค่าลดลง เนื่องจากค่าที่รายงานนั้นเป็นค่าสัดส่วนจากจำนวนเต็ม 100% นอกจากนี้ยังพบว่า ยิ่งใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูง (ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งไบปาล์มน้ำมัน) จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง ขนาดของเส้นใยที่เล็กลงจะส่งผลให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสยิ่งต่ำ เนื่องจากสารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับเฮมิเซลลูโลสได้ง่ายจึงเกิดการทำลายเฮมิเซลลูโลส ปริมาณลิกนินที่เหลือในเส้นใยมีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้จากวิธีเชิงกล และเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 และ 25 ของน้ำหนักแห้งไบปาล์มน้ำมัน เนื่องจากสารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า การต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ปริมาณเถ้าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเยื่อเชิงกล (ตารางที่ 4.3) และเยื่อเคมีจากทั้งส่วนของก้านใบและแกนกลางใบ และไบย้อยปาล์มน้ำมันนั้น พบว่า เยื่อเคมีนั้นมีปริมาณเถ้าและปริมาณสารอื่นๆ และส่วนที่สูญเสียไปต่ำกว่าเยื่อเชิงกล ทั้งนี้เป็นเพราะการผลิตด้วยวิธีเคมีนั้นมีส่วนของสารเคมีไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ทำให้ปริมาณเถ้าและสารแทรกลดลง จึงส่งผลให้สัดส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการทดลองการผสมเส้นใยใบปาล์มน้ำมันกับยางธรรมชาติดัดแปร

เส้นใยที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล ไม่สามารถขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบได้ เนื่องจากเส้นใยไม่สร้างพันธะระหว่างเส้นใยและไม่รวมตัวเกาะกันเป็นแผ่น ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณสารเคลือบผิว (wax) ที่มากกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมี ทำให้ไม่มีผลการทดลองในส่วนของ การขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบจากเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกลผสมกับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ นอกจากนี้ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า เส้นใยใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเคมี ไม่สามารถขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบได้เช่นกัน เนื่องจากมีเส้นใยหลุดรอดจากตะแกรงขึ้นแผ่น และหลังจากขึ้นแผ่นและตากแห้ง เมื่อนำแผ่นวัสดุเชิงประกอบออกจากแผ่นเหล็กวงกลม (dry plate) ได้ เนื่องจากแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นแผ่นโดยการยใช้เส้นใยใบย่อยปาล์มน้ำมันเกิดการฉีกขาด ทำให้ไม่สามารถรายงานผลในส่วนของใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเคมีได้

4.2.1 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

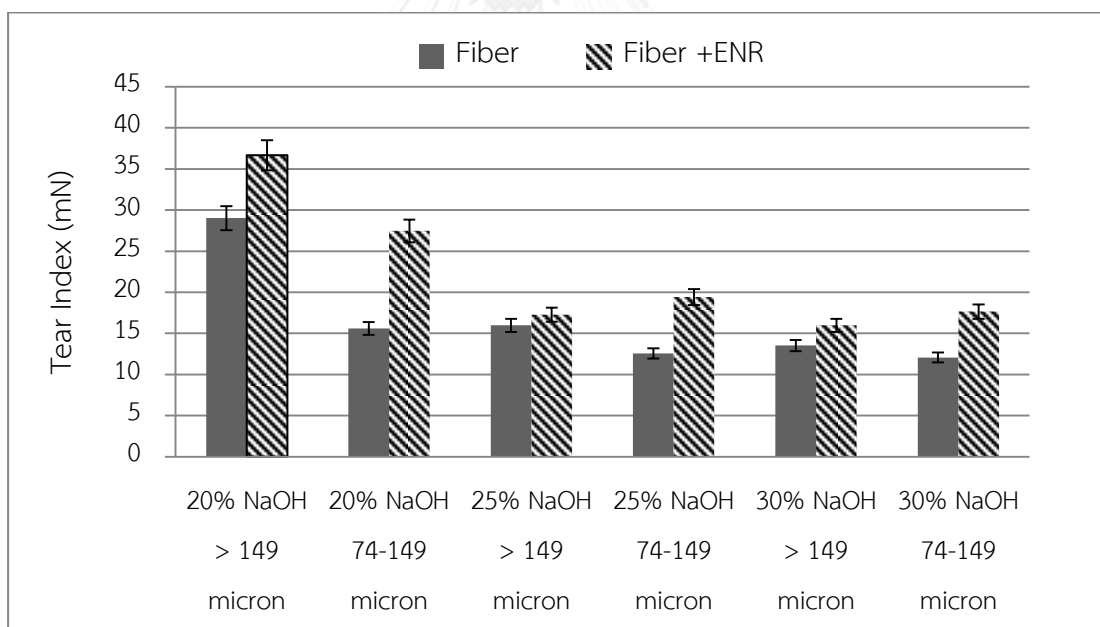


ภาพที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบ

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์และไม่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ ซึ่งผล

การทดลองพบว่า หลังการเติมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์แผ่นวัสดุเชิงประกอบให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้นทุกสภาวะ เนื่องจากยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์เข้าไปช่วยในการสร้างพันธะ และความเหนียวของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ยังช่วยในการยึดติดระหว่างเส้นใย ทั้งยังช่วยสร้างความยืดหยุ่นให้กับแผ่นวัสดุเชิงประกอบและยังพบอีกว่าเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอนของทุกสภาวะให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงที่สูงกว่าแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่เส้นใยขนาด 74-149 ไมครอนมีปริมาณลิกนินที่น้อยกว่า ทำให้สามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีกว่า และยังอาจเกิดจากสัณฐานวิทยาของเส้นใย ที่เมื่อผ่านการกรดรีดน้ำในช่วงขึ้นแผ่นกระดาษ ทำให้กระดาษมีความแน่นมากขึ้น สามารถสร้างพันธะได้แข็งแรงขึ้น รวมถึงเส้นใยเล็กๆ สามารถเข้าไปแทรกตามช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้ได้แผ่นวัสดุเชิงประกอบมีความเรียบ และยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ เข้าไปช่วยเสริมให้พันธะแข็งแรงและแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้แผ่นวัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยขนาด 74-149 ไมครอน มีความแข็งแรงมากกว่า

4.2.2 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

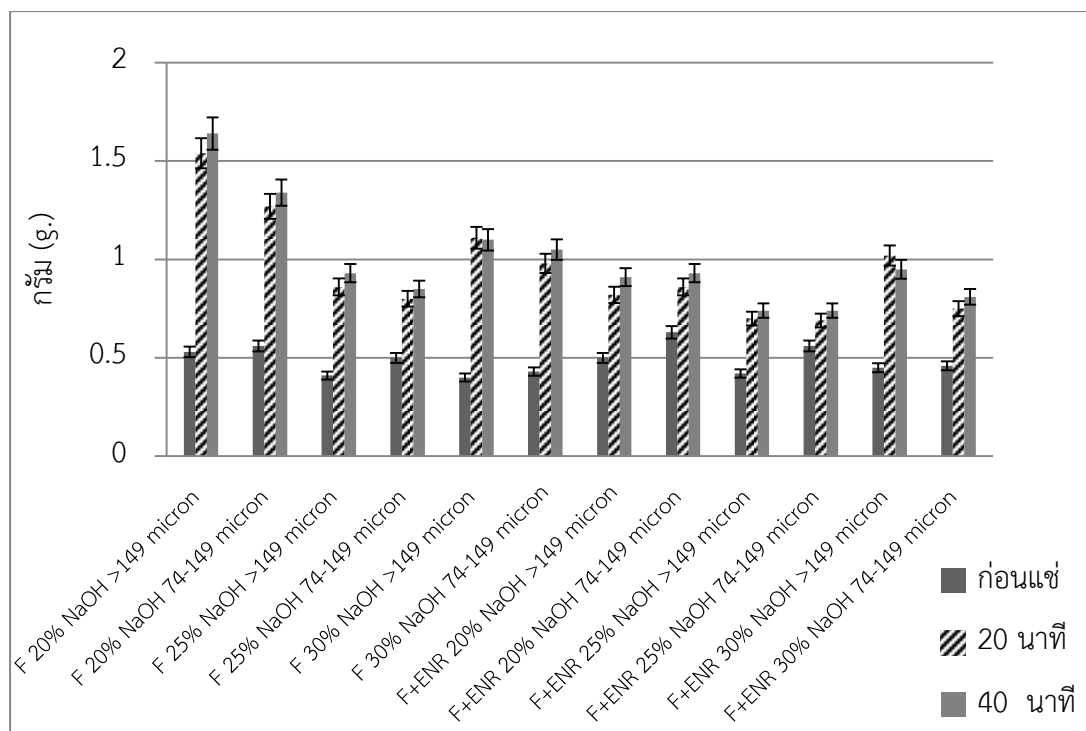


ภาพที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบ

จากภาพที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ และไม่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ พบว่าแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกมากกว่าแผ่นวัสดุ

เชิงประกอบที่ไม่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ทั้งก้านใบและแกนกลางใบที่มีเส้นใยขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน เนื่องจากค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกเป็นค่าที่ใช้วัดความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยว ๆ ดังนั้นเมื่อผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์กับเส้นใยก้านใบและแกนกลางใบ เส้นใยก้านใบและแกนกลางใบจะเกาะกับยางธรรมชาติดัดแปรที่มีสมบัติเหนียวและยืดหยุ่น ช่วยให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ระดับต่าง ๆ กัน พบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมันให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงที่สุด และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมันจะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกต่ำที่สุดทั้งเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน เนื่องจากเส้นใยที่มีการใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงจะเป็นการทำลายเอมิเซลลูโลส และเซลลูโลสของเส้นใยให้สั้นลงจากปฏิกิริยาการตัดปลายโมเลกุล (peeling reaction) ส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยว ๆ ลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ในส่วนของการเปรียบเทียบขนาดของเส้นใย พบว่า ในกรณีของเยื่อที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 นั้น เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนจะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่สูงกว่าเส้นใยขนาด 74-149 ไมครอน ซึ่งเป็นผลจากความยาวของเส้นใยที่สูงกว่า จึงสามารถรับแรงฉีกได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเยื่อที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 และ 30 กลับให้ผลตรงข้าม คือ เส้นใยขนาด 74-149 ไมครอนให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่สูงกว่าเส้นใยที่ขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอนเล็กน้อย ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากความเข้ากันได้และความสามารถในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ที่ดีกว่า

4.2.3 การดูดซับน้ำ



ภาพที่ 4.8 ค่าการดูดซับน้ำของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 20 นาที และ 40 นาที

จากภาพที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซับน้ำก่อนและหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 20 นาที และ 40 นาที โดยกำหนดให้ F คือ ชั้นงานที่ไม่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ และ F+ENR คือ ชั้นงานที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ พบว่า เมื่อแช่น้ำผ่านไป 20 นาที แผ่นก้านใบและแกนกลางใบที่ไม่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำดีกว่าแผ่นก้านใบและแกนกลางใบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ และเริ่มฉีกขาดระหว่างการนำมาชั่งน้ำหนัก แต่แผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์จะดูดซับน้ำได้ต่ำกว่า และไม่มีการฉีกขาดระหว่างการชั่งน้ำหนัก เมื่อนำแผ่นวัสดุเชิงประกอบแช่น้ำต่ออีก 20 นาที พบว่า แผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เริ่มมีเส้นใยหลุดออกมาภายในภาชนะที่แช่แผ่นวัสดุเชิงประกอบและมีการฉีกขาดมากขึ้น ส่วนแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผสมยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ไม่มีการฉีกขาดระหว่างการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การผสมเส้นใยก้านใบและแกนกลางใบกับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์จะเพิ่มสมบัติการต้านทานการดูดซับน้ำและทนต่อการฉีกขาดขณะเปียกมากขึ้น ทำให้แผ่นวัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงสูงขึ้น เป็นผลมาจากยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์มีสมบัติในการต้านทานการฉีกขาด ทั้งยังช่วยให้การยึดติดของเส้นใยดีขึ้นอีกด้วย

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าการขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ผสมยางธรรมชาติดัดแปรปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้แผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียวติด และการแห้งตัวของแผ่นวัสดุเชิงประกอบจะไม่แห้ง เนื่องจากยางธรรมชาติดัดแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ได้เติมสารตัวเติมในยาง (filler for rubber) เช่น เขม่าดำ (carbon black) ซิลิกา (silica) เป็นต้น ซึ่งสารตัวเติมในยางมีสมบัติช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางให้ดีขึ้น โดยเฉพาะค่าความแข็ง (hardness) โมดูลัส (modulus) ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อแรงฉีก (tear strength) และความต้านทานการขีดถู (abrasion resistance) เป็นต้น ดังนั้นการขึ้นรูปแผ่นวัสดุเชิงประกอบในงานวิจัยนี้จึงเป็นการใช้ยางธรรมชาติดัดแปรเสริมแรงให้กับเส้นใยจากก้านใบและแกนกลางใบมากกว่า รวมถึงยางธรรมชาติดัดแปรที่ผสมในการขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบมีการหลุดรอดไปกับน้ำระหว่างการขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบ



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมเส้นใยใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางธรรมชาติดัดแปรโดยการผลิตเส้นใยก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันโดยวิธีเคมีและวิธีเชิงกล โดยผ่านการคัดขนาดออกเป็น 2 ขนาด คือ เส้นใยขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน และเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เยื่อที่ผลิตโดยวิธีเชิงกลจะให้ค่าผลผลิตที่ได้สูง (pulp yield) คือประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ซึ่งสัดส่วนหลังการคัดขนาดเส้นใย พบว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน มีปริมาณมากกว่าเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน ทั้งส่วนของก้านใบและแกนกลางใบ ค่าสภาพการระบายน้ำได้ของเยื่อเชิงกลมีแนวโน้มเดียวกับเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมี จะพบว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 149 ไมครอน มีค่าสภาพการระบายน้ำได้สูงขึ้นทั้งก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน ส่วนเส้นใยที่มีขนาด 74-149 ไมครอน จะมีค่าสภาพการระบายน้ำได้ต่ำลง ทั้งในส่วนของก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของเส้นใย เส้นใยจากเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกลมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถหาค่าลักษณะฐานวิทยาของเส้นใยได้ องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยของเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล พบว่ามีปริมาณลิกนินมากกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมี เนื่องจากไม่มีการกำจัดลิกนินออก ส่วนของก้านใบและแกนกลางใบมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน

2. เยื่อที่ผลิตด้วยวิธีเคมีโดยใช้ระดับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน คือ ร้อยละ 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักแห้งเยื่อใบปาล์มน้ำมัน พบว่าปริมาณต่างที่เหลือหลังการต้มเยื่อใบย่อยปาล์มน้ำมันจะเหลือมากกว่าก้านใบและแกนกลางใบ ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมันจะเหลือต่างปริมาณมากที่สุด และร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมันเหลือปริมาณต่างน้อยที่สุด ซึ่งการต้มเยื่อควรมีปริมาณต่างที่เหลือในระบบ เพื่อเป็นการป้องกันลิกนินกลับมารวมตัวกับเส้นใย และเป็นการบ่งบอกถึงการใช้ปริมาณสารเคมีที่เพียงพอในการทำปฏิกิริยากับซินเนม การใช้ปริมาณต่างเข้มข้นมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าผลผลิตที่ได้ต่ำลง ก้านใบและแกนกลางใบจะให้ค่าผลผลิตที่ได้สูงกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน เนื่องจากก้านใบและแกนกลางใบมีขนาดใหญ่กว่า

3. ลักษณะสัมพันธภาพของเส้นใยที่ผลิตด้วยวิธีเคมี จะมีความยาวและความกว้างของเส้นใยลดลงเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น โดยก้านใบและแกนกลางใบจะมีความยาวและความกว้างของเส้นใยมากกว่าใบย่อยปาล์มน้ำมัน จำนวนกระดูกของเส้นใยและดัชนีความหักงอจะลดลงเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีความอ่อนตัวและนิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าลิกนินที่ลดลงเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสจะลดลงด้วยเช่นกัน ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ต่างมากขึ้นโดยจะเห็นได้ชัดในใบย่อยปาล์มน้ำมัน

4. จากการทดสอบแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมัน พบว่าหลังจากการผสมยางธรรมชาติตัดแปรจะทำให้แผ่นก้านใบและแกนกลางใบมีความแข็งแรงต่อแรงดึงและค่าความแข็งแรงต่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นทุกสภาวะ และค่าการซึมผ่านของน้ำมีค่าต่ำลง แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติตัดแปรสามารถช่วยลดการซึมของน้ำสู่เส้นใยที่มีสมบัติความชอบน้ำได้ และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากก้านใบและแกนกลางใบ

5. จากผลการทดลองพบว่า เส้นใยจากเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเคมีจะมีสภาพที่สมบูรณ์กว่า ความยาวของเส้นใยสูงกว่าเยื่อก้านใบและแกนกลางใบ และใบย่อยปาล์มน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล และส่วนของก้านใบและแกนกลางใบปาล์มน้ำมันจากวิธีการผลิตเคมีจะลักษณะเส้นใยที่สมบูรณ์ที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการเตรียมเส้นใยเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในงานวิจัยนี้อาจยังไม่ดีที่สุด ซึ่งอาจมีการใช้วิธีอื่น ๆ ช่วยเพิ่มสมบัติหรือปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น เช่น การใช้สารเคมีเฉพาะ เพื่อลดปริมาณเถ้า โดยไม่ไปทำลายส่วนของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส

2. การผลิตเยื่อแบบวิธีเชิงกลยังไม่ดี เนื่องจากเส้นใยไม่สามารถสร้างพันธะได้ ควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ในการทำให้เส้นใยไม่เกิดการเกาะตัว เช่น อุณหภูมิในการอบ ระยะเวลาในการอบ และระยะเวลาในการบด เป็นต้น

3. การผสมเส้นใยกับยางธรรมชาติตัดแปร อาจจะมีการเติมสารเพิ่มสมบัติให้วัสดุเชิงประกอบ เช่น การเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ สารลดความเหนียวให้กับยางธรรมชาติตัดแปร

4. จากงานวิจัยพบว่า วิธีในการขึ้นแผ่นวัสดุเชิงประกอบสามารถทำได้หลายวิธี ดังนั้นจึงอาจสามารถทดลองการขึ้นแผ่นแบบอื่นๆ เช่น การขึ้นแผ่นโดยใช้มาตรฐาน ISO เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.),. 10 ธันวาคม 2558;
Available from:
http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=20&content_folder_id=231
2. ปาล์มน้ำมัน,. 12 ธันวาคม 2558]; คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้);
Available from: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/01-03.php>.
3. Basiron, Y., Palm oil production through sustainable plantations. European Journal of Lipid Science and Technology, 2007. 109(4): p. 289-295.
4. Sreekala, M., M. Kumaran, and S. Thomas, Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties. Journal of Applied Polymer Science, 1997. 66(5): p. 821-835.
5. กระบวนการผลิตกระดาษ,. 24 มีนาคม 2559; Available from:
<http://www.paperlandonline.com/knowledge.php?ID=7>.
6. Smook, G.A. and M.J. Kocurek, Handbook for pulp & paper technologists. 1982: TAPPI; Canadian Pulp and Paper Association.
7. กิรติเสวี, ท. ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ,. 30 มกราคม 2559; Available from:
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:H01no_iHvV8J:www.eng.ku.ac.th/ejournal_th/download.php%3Fname%3DzoXKryVMon21201.pdf%26file_basename%3D1832%2520%25E0%25B8%25AB%25E0%25B8%25A4%25E0%25B8%2597%25E0%25B8%25A0%25E0%25B8%25B1%25E0%25B8%2584.pdf+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th.
8. ยางธรรมชาติ,. 30 มกราคม 2559; Available from:
<http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/6163/9/Chapter2.pdf>
9. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย,. 30 มกราคม 2559; Available from:
<http://thaiGLOSSARY.org/node/38970>.
10. กุณทีนี สุวรรณกิจ, และคณะ., บรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน. 2551, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กทม.

11. รัตนา ตันทเทอดธรรม, วุฒินันท์ คงทัต, และ กล้าณรงค์ ศรีรอด, การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตของยางธรรมชาติกับเส้นใยกาบมะพร้าวและปาล์มน้ำมัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, 2553: p. 523-529.
12. Hunsu-Udom, et al., Mechanical Properties of Oil Palm Pulp Sheets for Pulp-Molded Packaging: A Preliminary Study. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2008. 18(2): p. 229-232.
13. Wanrosli, W., et al., Pulp from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial crops and products*, 2007. 25(1): p. 89-94.
14. Ismail, H., et al., Oil palm wood flour reinforced epoxidized natural rubber composites: The effect of filler content and size. *European Polymer Journal*, 1997. 33(10): p. 1627-1632.
15. Li, B., et al., Fiber quality analysis: OpTest fiber quality analyzer versus L&W fiber tester. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011. 50(22): p. 12572-12578.
16. Day, P.R., Particle fractionation and particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, 1965(methodsofsoilana): p. 545-567.
17. Milanova, E. and G. Dorris, Effects of residual alkali content on the viscosity of kraft black liquors. *Journal of pulp and paper science*, 1990. 16(3): p. J94-J101.
18. Rozman, H., et al., Tensile properties of oil palm empty fruit bunch-polyurethane composites. *European polymer journal*, 2001. 37(9): p. 1759-1765.
19. Ismail, H. and R. Jaffri, Physico-mechanical properties of oil palm wood flour filled natural rubber composites. *Polymer testing*, 1999. 18(5): p. 381-388.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

1. sodium lauryl sulfate (APS)
2. disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) (APS)
3. sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (APS)
4. disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) (Merck)
5. ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether) (Merck)
6. sodium sulfite (NaSO_3) (Scharlau)
7. decahydronaphthalene (Fluka)
8. acetone (Merck)
9. sulfuric acid (Merck)
10. cetyl trimethylammonium bromide (CTAB) (SERVA)
11. potassium permanganate (KMnO_4) (Ajax)
12. silver sulfate (Ag_2SO_4) (Carlo Erba)
13. ferric nitrate nanohydrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] (APS)
14. silver nitrate (AgNO_3) (Merck)
15. potassium acetate (Scharlau)
16. acetic acid ,glacial (Merck)
17. tertiary butyl alcohol (Butanol)
18. oxalic acid dehydrate (Ajax)
19. 95% ethanol
20. hydrochloric acid (HCl) (Merck)

2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

2.1 การเตรียมสารละลาย neutral detergent

2.1.1 ชั่ง disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) 16.18 กรัม และ sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 6.81 กรัม เติมน้ำกลั่นพอประมาณและนำไปต้มจนละลายหมด

2.1.2 ละลาย sodium lauryl sulfate 30 กรัม ในน้ำแล้วเติม 2-ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether) 10 มิลลิลิตร

2.1.3 นำสารละลายในข้อ 1.1 และ 1.2 มาผสมกัน

2.1.4 ชั่ง disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ใส่ปีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นพอประมาณจากนั้นนำไปต้มจนละลายหมด นำไปผสมกับสารละลายผสมในข้อ 2.1.3 จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.9-7.1

2.2 การเตรียมสารละลาย acid detergent

ละลาย cetyl trimethylammonium bromide (CTAB) 20 กรัม ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 N แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดนี้ให้ได้ 1 ลิตร

2.3 การเตรียมสารละลาย saturated potassium permanganate

ละลาย potassium permanganate (KMnO_4) 50 กรัม และ silver sulfate (Ag_2SO_4) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาไม่ได้โดนแสงแดด

2.4 การเตรียม lignin buffer

ละลาย ferric nitrate nanohydrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] 6 กรัม และ silver nitrate (AgNO_3) 0.15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติม acetic acid 500 มิลลิลิตร เติม potassium acetate 5 กรัม และเติม tertiary butyl alcohol 400 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.5 การเตรียมสารละลาย combined permanganate

ผสมสารละลาย saturated potassium permanganate กับ lignin buffer ในอัตราส่วน 2:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เก็บสารละลายผสมในขวดสีชา แช่ตู้เย็น และเก็บให้พ้นแสงแดด เพื่อป้องกันสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีแดง หากสารละลายเปลี่ยนสีจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.6 การเตรียมสารละลาย demineralizing

ละลาย oxalic acid dehydrate 50 กรัม ในปริมาตร 700 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร และ hydrochloric acid (HCl) 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.7 การเตรียมสารละลาย 80% ethanol

ผสม ethanol ร้อยละ 95 ปริมาตร 843 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 157 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. การหาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืชแต่ละชนิด ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนิน ตามวิธีของ Goering และ Van Soest (1970)

3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

3.1.1 การสกัดด้วยสารละลาย neutral detergent

- นำครุชีเบลเบอร์ 1 ขนาด 50 มิลลิลิตร ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ใน desiccator ทิ้งให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

- ชั่งตัวอย่างที่แห้งและบดละเอียดขนาด 20-30 เมชหรือ 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร

- เติมสารละลาย neutral detergent 100 มิลลิลิตร เติม sodium sulfite 0.5 กรัม และ decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไปรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด

- ถ่ายส่วนผสมที่รีฟลักซ์เสร็จแล้วลงในครุชีเบลที่วางอยู่บนชุดกรอง ล้างตัวอย่างในครุชีเบลด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง ตูดสารละลายออกด้วยเครื่อง vacuum pump จนแห้ง จากนั้นนำครุชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

- นำครุชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณ neutral detergent fiber (NDF)

วิธีคำนวณ

$$\%NDF = [(น้ำหนักครุชีเบล + น้ำหนัก NDF) - น้ำหนักครุชีเบล] / น้ำหนักตัวอย่างพืช \times 100$$

3.1.2 การสกัดด้วยสารละลาย acid detergent

- นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดด้วย neutral detergent มาถ่ายใส่ปิกเกอร์ เพื่อทำการรีฟลักซ์ด้วย acid detergent โดยเติม acid detergent 10 มิลลิตร และ decahydronaphthalene 2 มิลลิตร นำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด
- กรองตัวอย่างพืชในครุชชีเบลใบเดิม เพื่อลดการสูญเสียตัวอย่างให้น้อยที่สุด แล้วล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 80 จำนวน 2 ครั้ง
- นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำครุชชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ น้ำหนักของ acid detergent fiber (ADF) น้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF และ ADF คือ น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส

วิธีคำนวณ

$$\%ADF = [(\text{น้ำหนักครุชชีเบล} + \text{น้ำหนัก ADF} - \text{น้ำหนักครุชชีเบล}) / \text{น้ำหนักตัวอย่างพืช}] \times 100$$

$$\% \text{ Hemicellulose} = \%NDF - \%ADF$$

3.1.3 การวิเคราะห์หา permanganate lignin (PML)

- เติมสารละลาย combined permanganate 25 มิลลิตร ลงในตัวอย่าง ที่ผ่านการสกัดด้วย acid detergent แล้วแช่ครุชชีเบลลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นสูงประมาณ 2 เซนติเมตร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างเพื่อป้องกันตัวอย่างจับกันเป็นก้อน ทิ้งไว้ประมาณ 45 นาที โดยคนเป็นระยะ จากนั้นดูดสารละลายออกโดย vacuum pump
- เติมสารละลาย combined permanganate 25 มิลลิตร ลงในครุชชีเบล อีกครั้ง ทิ้งไว้ 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกด้วย vacuum pump
- เติมสารละลาย demineralizing ลงในครุชชีเบลแต่ละถ้วย แช่ไว้ 5 นาที แล้วดูดสารละลายออกให้หมดด้วย vacuum pump ทำซ้ำจนตัวอย่างพืชเป็นสีขาวภายใน 20 นาที จากนั้นล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 80 และอะซิโตน ดูดให้แห้งด้วย vacuum pump
- นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำครุชชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง acid detergent fiber (ADF) และน้ำหนักพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก คือ น้ำหนักของลิกนิน

วิธีคำนวณ

$$\% \text{lignin} = [(A-B)/C] \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนักครุชิวีล + น้ำหนัก ADF

B = น้ำหนักครุชิวีล + น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

C = น้ำหนักตัวอย่างพืช

3.1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสด้วยการเผาเถ้า

นำครุชิวีลที่มีตัวอย่างพืชที่สกัดลิกนินออกแล้วในข้อ 3.1.3 ไปเผาในเครื่องเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง น้ำหนักตัวอย่างพืชหลังการสกัดลิกนินออก และน้ำหนักหลังการเผาเถ้า คือน้ำหนักเซลลูโลส ส่วนน้ำหนักเถ้า คือ ผลต่างระหว่างน้ำหนักหลังการเผาเถ้าและน้ำหนักครุชิวีล

วิธีคำนวณ

$$\% \text{cellulose} = [(B - D)/C] \times 100$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณสารเคมีในการผลิตเยื่อและในการต้มเยื่อ

1. วิธีการคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ

ยกตัวอย่างการต้มเยื่อที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้งใบปาล์มน้ำมัน กำหนดให้น้ำหนักใบปาล์มน้ำมันมีน้ำหนัก 200 กรัม มีความชื้นร้อยละ 10

- น้ำหนักใบปาล์มน้ำมันแห้ง จากความชื้น 10

น้ำหนักใบปาล์มน้ำมัน 100 กรัม มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $100 - 10 = 90$ กรัม

น้ำหนักใบปาล์มน้ำมันแห้ง 130 กรัม มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $(200 \times 90)/100 = 180$

กรัม

- หาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องเติม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งใบปาล์มน้ำมัน

น้ำหนักใบปาล์มน้ำมันแห้ง 100 กรัม ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม

น้ำหนักใบปาล์มน้ำมันแห้ง 180 กรัม ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(180 \times 20)/100 =$

36 กรัม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

นางสาวอาทิตย์ติยา หินวีระ เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2533 ที่
จังหวัดนครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

- ปี พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีวรนาถ
บางเขน

- ปี พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวัสดุศาสตร์
(อัญมณีและเครื่องประดับ) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร
วิโรฒ (ประสานมิตร)

ผลงานวิชาการ

- Hinveera, A., Suvarnakich, K., Chaiarekij, S. (2016).
Preparation of pulp from oil palm leaves for using as reinforcing materials. The 4th
National and International Conference 2016 (CASNIC 2016). 7 Oct 2016. Khon
Kaen, Thailand. Pp.1075-1084.