วว.

โครงการวิจัยที่ ภ. 50-07 / ย. 9 / รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นสบู่ดำ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ. 50-07
การวิจัยและพัฒนาสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอย่างครบวงจร

โครงการย่อยที่ 9
การศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นสบู่ดำ

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)
การศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นสบู่ดำ

โดย
รมณีย์ หวังดีธรรม
กิตติภณ เจริญพรพิทักษ์
ไพศักดิ์ อนันต์นุกูล
ยุทธนันท์ สิงห์คำมา

บรรณาธิการ
ลิขิต หาญจางสิทธิ์
บุญเรียม น้อยชุมแพ
พิสุทธิ์ พลับสวาท

วว., กรุงเทพฯ 2554

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

(นางเกษมศรี หอมชื่น)
ผู้ว่าการ

DKM 54/32 (95 หน้า กุ้งพิมพ์)

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง จังหวัดนครราชสีมา, ที่ให้การสนับสนุนไม้สบู่ดำเพื่อใช้เป็นตัวอย่างวัตถุดิบในการศึกษากรรมวิธีผลิตเยื่อ และขอบคุณศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี บริษัทเยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย ในครั้งนี้.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ฉ
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	13
3. การวิจารณ์ผลการทดลอง	62
4. สรุปผลการทดลอง	82
5. ข้อเสนอแนะ	83
6. เอกสารอ้างอิง	84

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก	15
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี	15
ตารางที่ 2.3	องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี	16
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัส	16
ตารางที่ 2.5	ผลสรุปสภาวะเบื้องต้นของการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก	24
ตารางที่ 2.6	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก	25
ตารางที่ 2.7	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 ปี	26
ตารางที่ 2.8	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นอายุ 1 ปี	27
ตารางที่ 2.9	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 1 ปี	28
ตารางที่ 2.10	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 2 ปี	27
ตารางที่ 2.11	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นอายุ 2 ปี	29
ตารางที่ 2.12	สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 2 ปี	30
ตารางที่ 2.13	สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อเฉลี่ยของไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง ต้น และกิ่งผสมต้น ที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี	31

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 2.14	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นคละอายุ	39
ตารางที่ 2.15	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นคละอายุ	40
ตารางที่ 2.16	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนกิ่งอายุ 1 ปี	40
ตารางที่ 2.17	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นอายุ 1 ปี	41
ตารางที่ 2.18	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 1 ปี	41
ตารางที่ 2.19	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนกิ่งอายุ 1 ปี	41
ตารางที่ 2.20	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นอายุ 1 ปี	42
ตารางที่ 2.21	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 1 ปี	42
ตารางที่ 2.22	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนกิ่งอายุ 2 ปี	43
ตารางที่ 2.23	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นอายุ 2 ปี	43
ตารางที่ 2.24	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 2 ปี	43
ตารางที่ 2.25	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนกิ่งอายุ 2 ปี	44
ตารางที่ 2.26	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นอายุ 2 ปี	44
ตารางที่ 2.27	สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 2 ปี	44
ตารางที่ 2.28	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี	45
ตารางที่ 2.29	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี	47
ตารางที่ 2.30	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี	49
ตารางที่ 2.31	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี	51
ตารางที่ 2.32	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 2.33	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสี ระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี	55
ตารางที่ 2.34	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	57
ตารางที่ 2.35	เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	60

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	โครงสร้างเส้นใย	6
รูปที่ 1.2	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	8
รูปที่ 1.3	โครงสร้างเซลลูโลส	8
รูปที่ 1.4	สายโมเลกุลเซลลูโลส	9
รูปที่ 1.5	โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	9
รูปที่ 1.6	โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	10
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้	17
รูปที่ 2.2	ท่อนไม้สบู่ดำที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ	18
รูปที่ 2.3	สับท่อนไม้สบู่ดำด้วยเครื่องสับชิ้น	18
รูปที่ 2.4	ชิ้นไม้สบู่ดำที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับชิ้น	18
รูปที่ 2.5	อบหรือผึ่งชิ้นไม้ให้แห้ง	18
รูปที่ 2.6	ล้างไม้สบู่ดำด้วยน้ำเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน	20
รูปที่ 2.7	แช่น้ำข้ามคืน	20
รูปที่ 2.8	เทชิ้นไม้ใส่ Rotary autoclave	20
รูปที่ 2.9	ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ	21
รูปที่ 2.10	เทสารละลายใส่ใน autoclave	21
รูปที่ 2.11	ปิดฝา autoclave ให้แน่น	21
รูปที่ 2.12	ล้างเยื่อหลังต้มด้วยน้ำสะอาดจนหมดด่าง	21
รูปที่ 2.13	ล้างเยื่อหลังกระจายเยื่อด้วยน้ำสะอาด	22
รูปที่ 2.14	เยื่อที่เป็นผลผลิตจากไม้สบู่ดำ	22
รูปที่ 2.15	หาค่าความชื้น และผลผลิตเยื่อเป็นร้อยละของเยื่อที่ผลิต	22
รูปที่ 2.16	วิเคราะห์หาค่าแคปปานัมเบอร์	23
รูปที่ 2.17	ขั้นตอนการผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอก และฟอกจางสีจากไม้สบู่ดำ	32
รูปที่ 2.18	การเปรียบเทียบเยื่อก่อนและหลังการฟอกจางสี	33
รูปที่ 2.19	ขั้นตอนการทำแผ่นทดสอบเยื่อ	36
รูปที่ 2.20	เยื่อไม่ฟอกก่อนบด	37

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.21	เยื่อไม่ฟอกหลังบด	37
รูปที่ 2.22	เยื่อฟอกก่อนบด	37
รูปที่ 2.23	เยื่อฟอกหลังบด	37
รูปที่ 2.24	ผสมน้ำเยื่อในเครื่องผสม (Mixer)	37
รูปที่ 2.25	แผ่นเยื่อบนตะแกรงเครื่องทำแผ่น	37
รูปที่ 2.26	เรียงแผ่นเยื่อบนเครื่อง Press เพื่อรีดน้ำออก	38
รูปที่ 2.27	ตากแผ่นเยื่อบนเครื่องตากเยื่อ	38
รูปที่ 2.28	แขวนแผ่นเยื่อในห้องควบคุมสภาวะที่ 27$\pm$ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65$\pm$2%	38
รูปที่ 2.29	แผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสี และชนิดไม่ฟอก	38
รูปที่ 2.30	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	45
รูปที่ 2.31	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	46
รูปที่ 2.32	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	46
รูปที่ 2.33	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	47
รูปที่ 2.34	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	48
รูปที่ 2.35	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	48
รูปที่ 2.36	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	49
รูปที่ 2.37	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	50

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.38	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี	50
รูปที่ 2.39	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสี อายุ 1 และ 2 ปี	51
รูปที่ 2.40	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสี อายุ 1 และ 2 ปี	52
รูปที่ 2.41	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสี อายุ 1 และ 2 ปี	52
รูปที่ 2.42	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นฟอกจางสี ที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	53
รูปที่ 2.43	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นฟอกจางสี ที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	54
รูปที่ 2.44	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นฟอกจางสี ที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี	54
รูปที่ 2.45	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี	55
รูปที่ 2.46	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี	56
รูปที่ 2.47	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี	56
รูปที่ 2.48	เปรียบเทียบค่าTear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูกอายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	58
รูปที่ 2.49	เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	58
รูปที่ 2.50	เปรียบเทียบค่าTensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	59

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.51	เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	61
รูปที่ 2.52	เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส	61

STUDY ON *Jatropha curcas* Linn. PULPING

**Romani Wangdeethum, Kittiphon Charoenpondpithak,
Phaisak Anannukul and Yutanan Singkumma**

ABSTRACT

Pulping of branch, stalk, and mixture of branch and stalk of *Jatropha curcas* Linn. of 1 and 2 years was investigated. The results of the chemical compositions indicated that the average contents of ash, lignin and pentosan in *Jatropha curcas* Linn. were 9.4, 16.7 and 17.1%, respectively. The high solubility in hot water (14.2-23.9%), alcohol-benzene (3.8-4.5%) and 1% sodium hydroxide solution (34.6-45.5%) suggested the presence of high contents of inorganic compounds and also indicated easy access and degradation of cell wall. For pulp-making, Jatropha raw materials were digested with soda-anthraquinone pulping process with various alkali charges and then, CEPEP bleached. Then, the physical properties of both unbleached and bleached Jatropha pulp were evaluated for brightness, opacity, tensile index, burst index and tear index. The results showed that the optimal soda-anthraquinone pulping conditions were 24% NaOH and 0.1% anthraquinone on raw material dry weight, cooking liquor to solid ratio of 8 : 1 and 3 hours of cooking time at 170° C. The targeted Kappa numbers of pulp were 25-30 which resulted in low pulp yields. It could be concluded that both unbleached and bleached pulp from the stalk of *Jatropha curcas* Linn. of over 2 years provided the most acceptable physical properties comparable to those of eucalyptus pulp at the same level of freeness. Regarding the environmental aspect, this agricultural waste could be used as an alternative raw material for pulp and paper industry in the future.

การศึกษากระบวนการผลิตเยื่อจากต้นสบู่ดำ

รมณีย์ หวังดีธรรม[1], กิตติภณ เจริญพรพิทักษ์[1],
ไพศักดิ์ อนันต์นุกูล[2] และยุทธนันท์ สิงห์คำมา[1]

บทคัดย่อ

ได้ศึกษากรรมวิธีผลิตเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี, โดยทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของไม้และทดสอบสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้ตามมาตรฐาน TAPPI เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำไม้สบู่ดำมาใช้ผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณขี้เถ้า, ลิกนิน และเพนโตซานในไม้สบู่ดำอยู่ที่ร้อยละ 9.4, 16.7 และ 17.1, ตามลำดับ. ความสามารถในการละลายในน้ำร้อน, ในสารละลายแอลกอฮอล์, เบนซิน และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1, มีค่าการละลายที่ปริมาณร้อยละ 14.2 - 23.9, 3.8 - 4.5 และ 34.6 - 45.5, ตามลำดับ. สำหรับการทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำด้วยกรรมวิธีโซดาร่วมกับสารแอนทราควิโนน, ได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการต้มเยื่อ และฟอกจางสีเยื่อที่ผลิตได้ด้วยขั้นตอนการฟอกแบบ CEPEP. จากนั้น จึงทำการทดสอบสมบัติแผ่นเยื่อ ได้แก่ ค่าความขาวสว่าง, ความทึบแสง, ความต้านทานแรงดึง, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงฉีกขาด. ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการที่จะนำส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่มีอายุตั้งแต่ 2 ปีขึ้นไปมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกและชนิดฟอกจางสี ด้วยสมบัติของเยื่อที่ทัดเทียมกับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ค่าการอุ้มน้ำระดับเดียวกัน. ผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำที่ให้ค่าแคปปานัมเบอร์ตามเป้าหมายที่กำหนดในช่วงระหว่าง 25-30, คือ การต้มเยื่อในสารละลายที่ค่าความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนร้อยละ 24 และ 0.1ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, ตามลำดับ, อัตราส่วนระหว่างน้ำกับไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 ต่อ 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิคงที่ที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง. แม้จะได้ผลผลิตเยื่อที่ค่อนข้างต่ำ, แต่หากได้คำนึงถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับสภาพแวดล้อมแล้ว, เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรดังกล่าว อาจได้รับการพิจารณาให้นำมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษในอนาคตข้างหน้าได้.

---

[1] ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[2] ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย, (วว.)

1. บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาที่จัดอยู่ในระดับต้นๆ, ความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างหลักเลี่ยงไม่ได้, โดยเฉพาะการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในด้านเกษตรกรรม, อุตสาหกรรม และการขนส่ง. พลังงานจำนวนมากที่ถูกใช้ส่วนใหญ่ เป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล, ซึ่งปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงฟอสซิลนับวันจะลดน้อยลงไปเรื่อยๆ. ดังนั้น ประชากรทั่วโลก รวมถึงประชาชนชาวไทย จึงได้ตระหนักถึงการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานทดแทนในภาวะขาดแคลนน้ำมัน และราคาน้ำมันที่พุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง.

ยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของกระทรวงพลังงานของไทย ได้กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนสูงถึงร้อยละ 8 ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2554. ไบโอดีเซลนับเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ถูกกำหนดเป้าหมายการผลิตและทดแทน 8.5 ล้านลิตรต่อวันในปี พ.ศ. 2555. นั่นหมายถึง ปริมาณพืชน้ำมันที่ต้องมีเพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งนอกจากจะใช้น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันถั่ว, น้ำมันปาล์ม หรือพืชน้ำมันที่ใช้เพื่อการบริโภคแล้ว, น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำที่ได้จากพืชน้ำมันที่ไม่ใช้เพื่อการบริโภค เป็นวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความสนใจให้มีการศึกษาวิจัย เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน สำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้.

กระแสการใช้สบู่ดำเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ประกอบกับความสามารถในการนำส่วนต่างๆ ของต้นสบู่ดำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย, สร้างแรงจูงใจให้เกิดการตื่นตัวต่อการปลูกสบู่ดำอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ, เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่ปลูกขึ้นง่าย, ทนความแห้งแล้งได้ดี. อย่างไรก็ตาม แม้ในอดีตจะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสบู่ดำในด้านต่างๆ แต่การศึกษาวิจัยแบบครบวงจร, การเก็บ หรือบันทึกข้อมูลยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม เช่น การปลูก, การบำรุงรักษา, การให้ปุ๋ย, การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์, การตัดแต่งกิ่ง, การเก็บเกี่ยวผลแก่เพื่อนำไปบีบน้ำมัน, ผลผลิตต่อไร่, รวมถึงการใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าส่วนเหลือทิ้งของต้นสบู่ดำ, เป็นต้น.

การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ก่อนการปลูก, การบำรุงรักษา, การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต, การให้ปุ๋ย และการตัดแต่งกิ่ง, ล้วนมีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มพูนผลผลิตต่อไร่ทั้งสิ้น. แต่การเพิ่มผลผลิตย่อมเป็นที่มาของการเพิ่มปริมาณของเหลือทิ้ง เช่น ส่วนของใบ, เปลือกของผล และเมล็ด, โดยเฉพาะส่วนของกิ่งและลำต้นที่ถูกตัดออกเพื่อการแตกกิ่งให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น (การเพิ่มกิ่งเป็นการเพิ่มช่อดอกและช่อผล). ดังนั้น เพื่อให้การศึกษาวิจัยดำเนินไปอย่างต่อเนื่องแบบครบวงจรและมีข้อมูลการศึกษาที่ครบถ้วนสมบูรณ์ ไว้เป็นคำตอบประกอบการตัดสินใจแก่เกษตรกรผู้ที่คิดจะปลูกหรือขยายการปลูกสบู่ดำทั้งรายใหญ่และรายย่อย, รวมถึงผู้ประกอบการเอกชนที่มีแนวคิดจะทำธุรกิจสบู่ดำแบบครบวงจรให้ได้ผลตอบแทนเชิงพาณิชย์อย่างคุ้มค่า, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน (ฝทพ.) ซึ่งมีประสบการณ์ด้านการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใย, จึงได้เห็นความจำเป็นในการนำส่วนเหลือทิ้งที่มีอยู่จำนวนมากจากการตัดแต่งกิ่งและลำต้นมาทำการศึกษาวิจัย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษที่มีคุณภาพ, อันเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้ง ควบคู่ไปกับการสร้างรายได้เสริมให้เกษตรกรผู้ทำการปลูกและผู้ประกอบธุรกิจสบู่ดำได้อีกทางหนึ่ง.

1.2 ทฤษฎี

วัสดุจำพวกไม้ (Wood) หรือไม่ใช่ไม้ (Non-wood) เกิดจากการเรียงตัวของเส้นใย ซึ่งเชื่อมประสานด้วยสารลิกนินและสารอื่นๆ เช่น เพกทิน, เรซิน, แทนนิน และสารสกัดอื่นๆ. การผลิตเยื่อจากวัสดุธรรมชาติเป็นการทำให้เส้นใยที่เชื่อมต่อกันเหล่านี้แยกตัวออกจากกัน โดยการกำจัดสารลิกนินและสารอื่นๆ ในวัสดุออกให้มากที่สุด, คงเหลือแต่เซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยที่นำไปผสมกับสารเคมีชนิดต่างๆ แล้วขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษตามวัตถุประสงค์การใช้งาน.

กระดาษ หมายถึง วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น, มีความหนาสม่ำเสมอ, มีความเหนียว, หน้าเรียบ และมีสีที่เหมาะสม. กระดาษโดยทั่วไป ผลิตจากพืชเส้นใยที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะต่อวัตถุประสงค์การใช้งานจนเป็นเยื่อกระดาษ. เมื่อนำเยื่อชนิดไม่ฟอกหรือฟอกขาวแล้วไปผสมกับสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง, ปรับผิวกระดาษให้เรียบ, เพิ่มความขาวสดใส (กรณีกระดาษขาว), เติมแต่งสี (กรณีกระดาษสี), แล้วนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป, รีดน้ำ และอบแห้ง, จะได้ผลิตภัณฑ์กระดาษ เช่น กระดาษใช้สำหรับงานพิมพ์เขียน, กระดาษบรรจุภัณฑ์, กระดาษชนิดพิเศษประเภทต่างๆ โดยมีเส้นใยเป็นส่วนประกอบหลัก.

เส้นใย หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว. เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืชจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก, หากแยกประเภทเส้นใยตามแหล่งกำเนิด จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์.

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) แบ่งย่อยเป็นเส้นใยที่มาจากพืช เช่น ฝ้าย, ลินิน, ปอ, รามี, ป่าน, นุ่น. เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (wool), ไหม (silk), ผม (hair). จากแร่ เช่น แร่ใยหิน (asbestos) เป็นต้น.

เส้นใยประดิษฐ์ (Man–made fiber) แบ่งแยกเป็นเส้นใยที่ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน, แอซีเทต, ไตรแอซีเทต. เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอเลฟิน, พอลิเอสเทอร์, พอลิอะรามิด, ไนลอน และเส้นใยที่ประดิษฐ์จากวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ, แก้ว, เซรามิก, กราไฟต์, เป็นต้น.

เนื่องจากรายงานฉบับนี้ เป็นเรื่องเกี่ยวกับการศึกษากระบวนการผลิตเยื่อจากต้นสบู่ดำ ซึ่งจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มาจากพืช, ดังนั้น เนื้อหาที่จะกล่าวในที่นี้ จึงเป็นการกล่าวเฉพาะเส้นใยธรรมชาติที่มาจากพืชแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น.

1.2.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

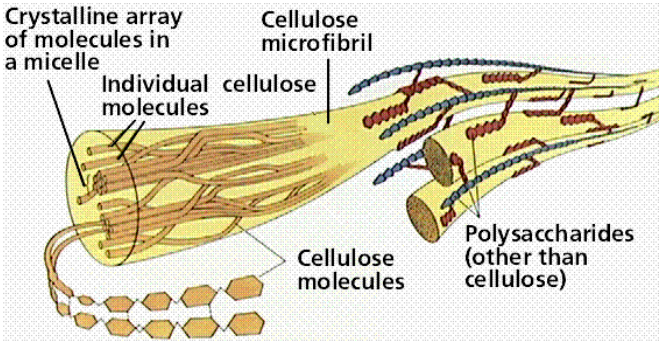
วัสดุชีวมวลประเภทเส้นใย เป็นอินทรีย์วัสดุที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันมาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น ใช้ทำเครื่องนุ่งห่ม, ยารักษาโรค, อาหาร, วัสดุก่อสร้าง, เครื่องมือเครื่องใช้, ตลอดจนผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ. วัสดุชีวมวลเหล่านี้ มีเส้นใยเป็นส่วนประกอบหลัก, จึงสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติโดยไม่ก่อปัญหาให้กับสภาพแวดล้อม. วัสดุชีวมวลประเภทเส้นใย ได้แก่ เส้นใยจากพืชและเส้นใยขนสัตว์. การใช้ประโยชน์เส้นใยโดยส่วนใหญ่มักได้จากพืช ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากและหาได้ง่าย. การที่จะใช้เส้นใยจากพืชประเภทใดนั้น จะขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก. ทั้งนี้ เนื่องจากพืชต่างชนิด, ต่างอายุ, ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน, มีองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติที่ต่างกัน. โดยทั่วไปแล้วพืชเส้นใยมักประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 45–50, ลิกนินร้อยละ 16–33, เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15–30, สารอินทรีย์อื่นๆ ร้อยละ 3–5 และแร่ธาตุอีกประมาณร้อยละ 0.5–3 โดยน้ำหนัก. นอกจากนี้ พืชเส้นใยอีกหลายชนิด ยังให้สารสกัดที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น กรดแทนนิก (Tannic acid) ใช้ในการฟอกหนัง, สารพอลิฟีนอลิก (Polyphenolic) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติก, ขี้ผึ้งเรซิน, กัม, แป้ง และน้ำมัน, เป็นต้น.

สมบัติของเส้นใย

ความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับสมบัติของเส้นใย ซึ่งมีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์. สมบัติของเส้นใยขึ้นกับโครงสร้างทางกายภาพ, องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของโมเลกุล. ปัจจัยทั้งสามนี้ ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกันไป ดังนี้ :

โครงสร้างทางกายภาพ

โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางสัณฐาน (morphology) ของเส้นใยสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ (microscope) ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า. โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึงความยาว, ขนาด, หรือเส้นผ่าศูนย์กลาง, รูปร่างภาคตัดขวาง (cross-sectional shape), รูปร่างของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใย, ดังแสดงในรูปที่ 1.1.



รูปที่ 1.1 โครงสร้างเส้นใย.

ที่มา : Purves *et al*. (1994)

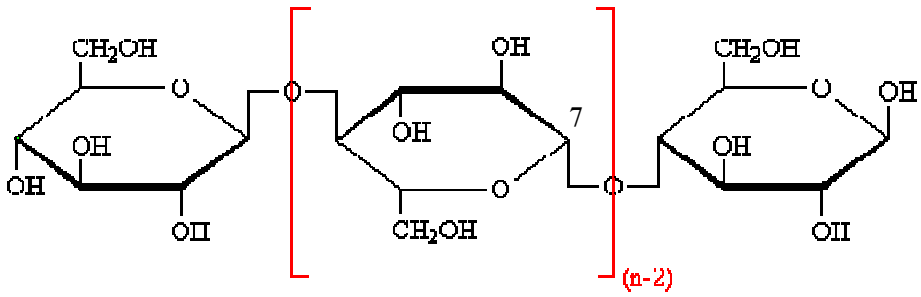
องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล

เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาว เรียกว่าพอลิเมอร์, เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆ คือ มอนอเมอร์ (monomer) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี, ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (polymerization). ขนาดของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนมอนอเมอร์ที่เกิดการเชื่อมต่ออยู่ภายในพอลิเมอร์นั้น (degree of polymerization). พอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นเส้นโมเลกุลยาว จะมีน้ำหนักโมเลกุลและมีความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้น. นอกจากนั้น การเรียงตัวที่แตกต่างกันของโมเลกุลหรือพอลิเมอร์ในเส้นใย จะมีผลต่อสมบัติของเส้นใยด้วย. โดยที่โมเลกุลที่มีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (random) จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (amorphous). ส่วนใน

บริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนขนานอย่างเป็นระเบียบ จะมีความเป็นผลึก (crystalline) เกิดขึ้น. เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมาก จะมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย. อย่างไรก็ตาม การเรียงตัวเป็นผลึกเพียงอย่างเดียวไม่ได้เป็นปัจจัยที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใย, แต่รวมถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านั้นด้วย. ถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกน ตามความยาวของเส้นใยจะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย (ตามความยาว), ทำให้มีความสามารถในการรับแรงได้เต็มที่, เรียกว่า เส้นใยนั้นมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ดี (oriented fiber). ในทางตรงกันข้าม แม้เส้นใยจะมีบริเวณที่เป็นผลึกมาก, แต่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลจะไม่สามารถรับแรงในทิศทางการดึงเส้นใยได้เต็มที่, ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยน้อยกว่าในกรณีแรก. ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ จึงต้องมีการดึงยืดเส้นใยที่ออกมาจากหัวฉีด เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกโดยการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ และทำการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านั้น, ให้อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนตามยาวของเส้นใย กระบวนการนี้เรียกว่าการดึงยืด (stretching หรือ drawing).

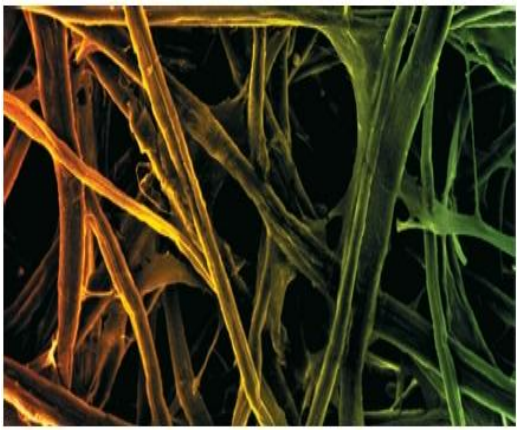
1.2.2 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารประกอบพอลิเมอร์จำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccaride) เชิงเส้นตรง ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของน้ำตาลกลูโคส เรียงตัวกันเป็นระเบียบอยู่จำนวนมาก. ดังแสดงในรูปที่ 1.2, 1.3. มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ $C_6H_{12}O_6$ เป็นส่วนประกอบหลักของท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ในเนื้อเยื่อของพืชเส้นใย, พบรวมกับเฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, เพนโตแซน, กัม (Gum), แทนนิน, ไขมัน, สารที่ทำให้เกิดสี, เป็นต้น. เซลลูโลสเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายต่ำ ไม่ละลายน้ำ, แต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟิวริก และเกิดการบวมตัวในสารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์หรือเกิดการละลายได้ในเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ. โดยธรรมชาติ เซลลูโลสจะมีการดูดซับ, คายความชื้นหรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวจนถึงจุดสมดุล หรือสามารถแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ. ปริมาณความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพบางประการของเซลลูโลส เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้นค่าความต้านทานแรงดึง (tensile strength) จะสูงขึ้นตามไปด้วย. ในโมเลกุลของเซลลูโลส มีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ ซึ่งสามารถทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง. (รูปที่ 1.4). นอกจากนี้โครงสร้างที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง เป็นผลให้อุณหภูมิการหลอมตัวสูงตามไปด้วย. ดังนั้น โมเลกุลของเซลลูโลสจึงเกิดการสลายตัว ก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว.



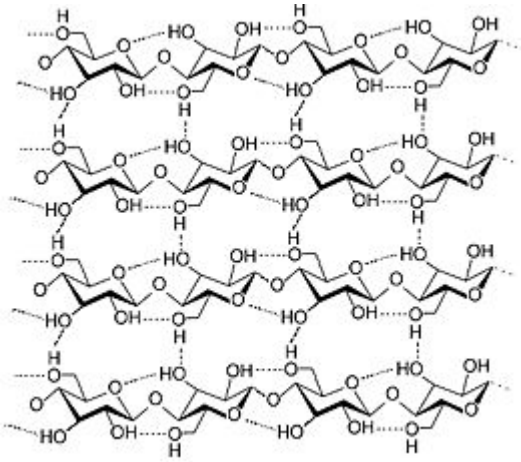
รูปที่ 1.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.

ที่มา : Colebrook (2010)



รูปที่ 1.3 โครงสร้างเซลลูโลส.

ที่มา : Purves *et al*. (1994)

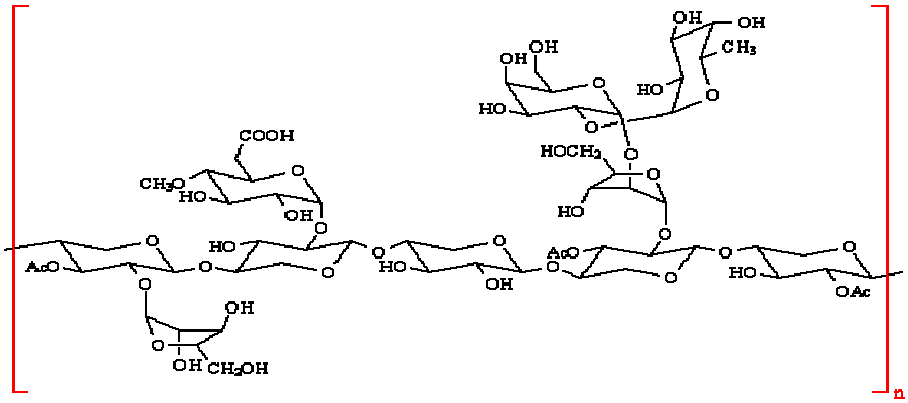


รูปที่ 1.4 สายโมเลกุลเซลลูโลส (conformation I_α), เส้นประแสดง พันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุล.

ที่มา : คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาล (2552)

1.2.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นสารพอลิเมอร์จำพวกพอลิแซ็กคาไรด์อีกชนิดหนึ่ง ที่คล้ายกับเซลลูโลส, แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส, กาแลกโทส, แมนโนส, ไซโลส, อะราบิโนส, รวมถึง กรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก. เฮมิเซลลูโลส พบในเนื้อเยื่อของพืชเส้นใย โดยอยู่รวมกับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน, เซลลูโลส, เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ, ซังข้าวโพด, เฮกโซแซน, มีสูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$, โครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 1.5.

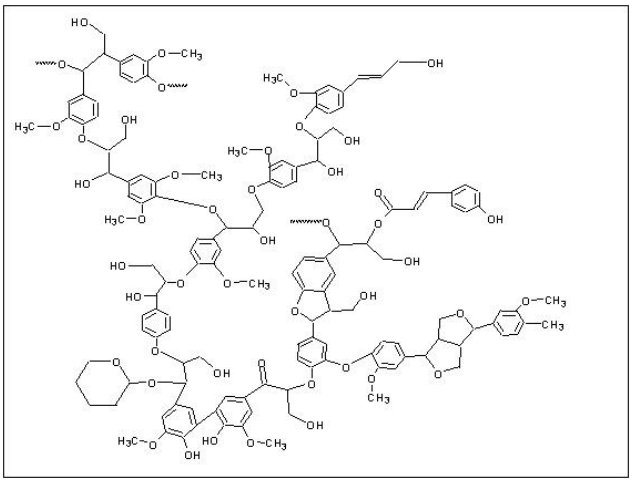


รูปที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส.

ที่มา : Xylanases (2010)

1.2.4 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง, พบอยู่รวมกับเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส. ลิกนิน จัดเป็นสารพอลิเมอร์อสัณฐานประเภทอะโรมาติกที่ประกอบด้วยคาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน, รวมกันเป็นหน่วยย่อยๆ หลายชนิด. มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายกรดหรือด่าง, ไม่มีความยืดหยุ่น, ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์เชื่อมต่อเส้นใยเซลลูโลสให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น. ดังนั้น พืชเส้นใยที่มีสารลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงทนทานสูง. เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา. พืชเส้นใยแต่ละชนิด มีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน, ขึ้นกับชนิดและอายุ. โดยพืชเส้นใยชนิดเดียวกัน พืชที่มีอายุมากกว่าจะมีปริมาณลิกนินที่สูงกว่า. โครงสร้างทางเคมีของลิกนินแสดงในรูปที่ 1.6.



รูปที่ 1.6 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.

ที่มา : WIKIMEDIA COMMONS (2010).

การใช้ประโยชน์จากเส้นใยพืช จำเป็นต้องศึกษาสมบัติของเส้นใยในพืชชนิดนั้นว่า มีสมบัติเพียงพอต่อการนำมาใช้งานตามวัตถุประสงค์หรือไม่, เช่น นำมาผลิตเยื่อเพื่อการผลิตกระดาษชนิดต่างๆ ใช้ในงานวัสดุก่อสร้าง เพื่อการเสริมแรงเมทริกซ์, เป็นฉนวนกันความร้อน กันเสียง, หรือผลิตวัสดุน้ำหนักเบา. อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากพืชเส้นใย ใช่ว่าจะนำพืชชนิดนั้นมาใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ. โดยทั่วไป สิ่งที่เราใช้ประโยชน์จากพืช คือ เส้นใย, ซึ่งหมายถึงส่วนที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว ที่มีองค์ประกอบทางเคมีคือ เซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่, มีการ

จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยต่อเชื่อมหรือประสานเข้ากันอย่างเหนียวแน่นด้วยสารลิกนินและสารสกัดอื่นๆ. ดังนั้น ก่อนการใช้งาน จำเป็นต้องทำการแยกสารลิกนินและสารสกัดที่ไม่ต้องการออกให้มากที่สุด และให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสน้อยที่สุด. ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลผลิตเยื่อหรือเส้นใยที่ดี มีคุณภาพ, ซึ่งกระบวนการแยกสารลิกนินและสารสกัดออกจากพืชเส้นใยนั้นมีหลายกรรมวิธี ได้แก่ กระบวนการทางเคมี, กระบวนการทางกล และกระบวนการกึ่งเคมีกึ่งกล, เป็นต้น.

1.2.5 กระบวนการผลิตเยื่อ

กระบวนการผลิตเยื่อแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ๆ ได้แก่ :

1.2.5.1 กระบวนการทางกล (Mechanical pulping) เป็นการแยกหรือกระจายเส้นใยในเนื้อไม้ออกจากกันด้วยเครื่องบด (Grinder) หรือเครื่องแยกเส้นใย (Defibrator), บางครั้งอาจใช้ความร้อนเข้าร่วมด้วย, เพื่อให้สารลิกนินที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยอ่อนตัวลง, ทำให้ง่ายต่อการบด, ซึ่งมีผลต่อการลดพลังงานและไฟฟ้าในการบด. เยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีนี้ มีสมบัติกระด้าง, ไม่แข็งแรงทนทาน, เนื่องจากยังมีสารลิกนินและสารสกัดเหลืออยู่จำนวนมาก. อีกทั้งการบดหรือแยกเส้นใยทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักเสียหาย.

1.2.5.2 กระบวนการกึ่งเคมี (Semi-chemical pulping) เป็นการแยกหรือกระจายเส้นใยในเนื้อไม้ด้วยสารเคมีร่วมกับการบด. เยื่อที่ได้จากกรรมวิธีนี้ ใช้พลังงานในการบดน้อยกว่าวิธีทางกล. การใช้สารเคมีร่วมกับการบดสามารถกำจัดสารลิกนินได้มากกว่าวิธีทางกล, จึงได้เยื่อที่มีความแข็งแรง, เหนียว, ทนทานต่อแรงดึง และต้านทานแรงดันทะลุดีกว่า.

1.2.5.3 กระบวนการทางเคมี (Chemical pulping) ใช้สารเคมีในการสกัดสารลิกนิน ซึ่งทำหน้าที่เคลือบและยึดเส้นใยกับเส้นใยเข้าด้วยกัน. เยื่อจากกรรมวิธีนี้ มีสารลิกนินเหลืออยู่ปริมาณน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น, ทำให้เยื่อที่ได้มีความเหนียว, ทนทานกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีทางกลและกึ่งเคมี.

1.2.6 การฟอกจางสีเยื่อ

สารลิกนินส่วนที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังกระบวนการต้ม ทำให้เกิดสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มในเยื่อ. การทำให้สีเยื่อจางลงหรือขาวขึ้นเพื่อให้ได้ค่าความขาวสว่างต่างระดับกันขึ้นอยู่กับขั้นตอนและวิธีการฟอก เช่น CEHD, OCE_oH, CEDED, CEPEP, E_oCED, CEPEP, เป็นต้น. ดังนั้นการที่จะฟอกด้วยกรรมวิธีหรือขั้นตอนใด จึงขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก.

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษคือ เซลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากพืชต่างๆ ได้แก่ สน, ยูคาลิปตัส, ไม้ไผ่, ชานอ้อย, ฟางข้าว, เป็นต้น. พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้, แต่การใช้พืชเส้นใยจำนวนมากในระดับอุตสาหกรรม ควรคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน, รวมถึงผลกระทบที่มีต่อการขาดแคลนวัตถุดิบ. การลดปัญหาดังกล่าวอาจกระทำได้โดยนำเศษวัสดุเหลือทิ้งด้านอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรม นำกระดาษที่ใช้แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า.

งานวิจัยในโครงการนี้นับเป็นโครงการย่อยชุดที่ 10 ของชุดโครงการการวิจัยและพัฒนาสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอย่างครบวงจร, ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไม้สบู่ดำส่วนเหลือทิ้งจากการตัดและแต่งกิ่งเพื่อการเพิ่มช่อดอกและผล มาทดลองผลิตเยื่อกระดาษ. โดยคัดแยกชิ้นไม้ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี, มาทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อเคมีชนิดไม่ฟอก ด้วยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีหลัก, แล้วนำเยื่อที่ผ่านการหาสภาวะดังกล่าว มาฟอกจางสีด้วยขั้นตอน CEPEP. จากนั้น จึงทำการทดสอบสมบัติของเยื่อทั้ง 2 ชนิด เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไม้สบู่ดำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับการผลิตเยื่อเพื่อผลิตกระดาษที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต.

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

วัสดุ

1. กิ่ง และต้นของไม้สบู่ดำส่วนเหลือทิ้งที่คละอายุการปลูก, อายุ 1 และ 2 ปี.
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดรีเอเจนต์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.
3. แอนทราควิโนน เกรดรีเอเจนต์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 97.
4. น้ำคลอรีน ความเข้มข้นร้อยละ 6.
5. โซเดียมคลอไรต์ เกรดรีเอเจนต์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 80.
6. โซเดียมไบซัลไฟต์ เกรดรีเอเจนต์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 66.7.
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เกรดรีเอเจนต์ ความเข้มข้นร้อยละ 37.
8. สารละลายกรดซัลฟิวริก เกรดรีเอเจนต์ ความเข้มข้นร้อยละ 96.
9. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50.
10. สารละลายโซเดียมซิลิเกต.
11. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.1 N.
12. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 N.
13. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 1.0 N.
14. น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 0.5.

อุปกรณ์

1. Rotary autoclave.
2. Refiner.
3. Magnetic sterer.
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก.
5. เตาอบไฟฟ้า.
6. กระบอกตวงขนาด 100, 500 และ 1000 มิลลิลิตร.
7. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร.
8. ถาดอะลูมิเนียม.
9. ตะแกรงล้างและกรองเยื่อ.
10. บีกเกอร์ขนาด 250, 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร.

11. ปิเปตต์ขนาด 5, 10, และ100 มิลลิลิตร.
12. ออโตเมติกบิวเรตต์ขนาด 50 มิลลิลิตร.
13. นาฬิกาจับเวลา.
14. ชุดทำแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI.
15. ชุดทดสอบสมบัติเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI.

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำ

องค์ประกอบทางเคมีของพืช มีความแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์. แม้พืชชนิดและสายพันธุ์เดียวกัน แต่มีถิ่นกำเนิด, ขนาด และอายุต่างกัน จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป. ความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีของพืช มีผลโดยตรงต่อสภาวะการผลิตเยื่อ, คุณภาพ และผลผลิตเยื่อ. ดังนั้น ก่อนการทดลองผลิต ได้ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำ เทียบกับไม้ยูคาลิปตัส ที่ใช้ผลิตเยื่อสำหรับผลิตกระดาษพิมพ์เขียนตามมาตรฐาน TAPPI, ดังรายการต่อไปนี้ :

ปริมาณเถ้า	มาตรฐาน TAPPI T 211 om-93.
การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน	มาตรฐาน TAPPI T 204 om-88.
การละลายในน้ำร้อน	มาตรฐาน TAPPI T 207 om-93.
การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1	มาตรฐาน TAPPI T 212 om-93.
เพนโตซาน	มาตรฐาน TAPPI T 223 ts-63.
ลิกนิน	มาตรฐาน TAPPI T 222 om-88.
โฮโลเซลลูโลส	มาตรฐาน TAPPI Section.
อัลฟาเซลลูโลส	มาตรฐาน TAPPI T 203 om-93.
บีตาเซลลูโลส	มาตรฐาน TAPPI T 203 om-93.
แกมมาเซลลูโลส	มาตรฐาน TAPPI T 203 om-93.

องค์ประกอบทางเคมีบ่งชี้สมบัติเบื้องต้นของไม้ ทำให้ทราบถึงความสามารถในการละลายในสารละลายชนิดต่างๆ เช่น ความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน, น้ำร้อน และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1, รวมทั้ง ค่าประมาณเคมีของไม้สบู่ดำที่คละ

อายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี แสดงในตารางที่ 2.1–2.3 และองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัส ที่ใช้ผลิตเยื่อสำหรับผลิตกระดาษพิมพ์เขียน แสดงในตารางที่ 2.4.

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้สปู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก

Description	% based on dry weight of wood
1. ปริมาณเถ้า	9.2
2. การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน	3.8
3. การละลายในน้ำร้อน	19.6
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1	44.1
5. เพนโตซาน	16.7
6. ลิกนิน	16.8
7. โฮโลเซลลูโลส	61.8
8. อัลฟาเซลลูโลส	37.3
9. บีตาเซลลูโลส	10.9
10.แกมมาเซลลูโลส	13.6

ตารางที่ 2.2. องค์ประกอบทางเคมีของไม้สปู่ดำอายุ 1 ปี

Description	%basaed on dry weight of wood		
	กิ่ง	ต้น	กิ่ง+ต้น
1. ปริมาณเถ้า	6.9	8.7	7.6
2. การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน	6.6	4.5	5.9
3. การละลายในน้ำร้อน	26.6	23.9	25.8
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1	51.4	45.5	48.9
5. เพนโตซาน	11.3	14.8	12.1
6. ลิกนิน	13.3	14.7	14.3
7. โฮโลเซลลูโลส	54.8	61.8	59.8
8. อัลฟาเซลลูโลส	32.7	36.5	35.3
9. บีตาเซลลูโลส	9.4	10.7	10.6
10. แกมมาเซลลูโลส	11.4	13.1	12.7

ตารางที่ 2.3. องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี

Description	% based on dry weight of wood		
	กิ่ง	ต้น	กิ่ง+ต้น
1. ปริมาณเถ้า	7.9	10.4	8.9
2. การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน	5.6	4.0	4.8
3. การละลายในน้ำร้อน	19.8	14.2	14.6
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1	47.7	34.6	36.3
5. เพนโตซาน	17.1	19.7	18.6
6. ลิกนิน	17.1	18.7	18.4
7. โฮโลเซลลูโลส	62.5	71.6	63.6
8. อัลฟาเซลลูโลส	37.3	39.6	37.4
9. บีตาเซลลูโลส	10.7	16.2	11.4
10.แกมมาเซลลูโลส	14.5	15.8	14.7

ตารางที่ 2.4. องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัส

Description	% Based on dry weight of wood
1. ปริมาณเถ้า	< 1 % (0.6-0.8%)
2. การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน	1-2 %
3. การละลายในน้ำร้อน	~ 6-10%
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1	22-24%
5. เพนโตซาน	14-16 %
6. ลิกนิน	26-28 %

2.2.2 การเตรียมและคัดแยกตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อใช้ทดลองผลิตเยื่อ

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.1, ทั้งอายุและขนาดของไม้สบู่ดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ มีผลต่อสภาวะ, ผลผลิต และคุณภาพเยื่อ. ในการทดลองนี้ จึงได้นำไม้สบู่ดำส่วนที่เป็นกิ่งและต้นที่คละอายุการปลูก, อายุ 1 และ 2 ปี, มาเตรียมชิ้นไม้เพื่อใช้ในการทดลองผลิตเยื่อตามขั้นตอนดังนี้ :

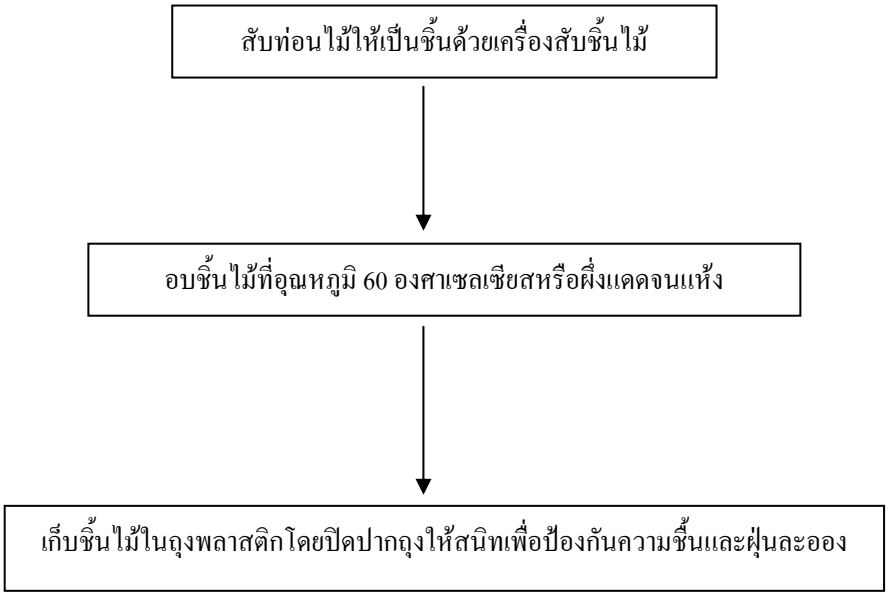
1. นำท่อนไม้สบู่ดำแต่ละอายุการปลูก (คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี) เข้าเครื่องสับชิ้นไม้เพื่อสับไม้ท่อนให้เป็นชิ้นขนาดใกล้เคียงกัน, โดยแยกส่วนกิ่งและต้นออกจากกัน.

2. อบชิ้นไม้ ข้อ 1. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หรือผึ่งแดดจนชิ้นไม้แห้ง.

3. เก็บชิ้นไม้ ข้อ 2. ในถุงพลาสติกโดยปิดปากถุงให้สนิทเพื่อป้องกันความชื้นและฝุ่นละออง.

4. หาอัตราส่วนชิ้นไม้อบแห้งแต่ละอายุการปลูกระหว่างส่วนต้นและกิ่ง ในข้อ 3. เพื่อคำนวณปริมาณไม้สบู่ดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ.

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ แสดงในรูปที่ 2.1 – 2.5.



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้.

รูปที่ 2.2 ท่อนไม้สบู่ดำที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ.

รูปที่ 2.3 สับท่อนไม้สบู่ดำด้วยเครื่องสับชิ้น.

รูปที่ 2.4 ชิ้นไม้สบู่ดำที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับชิ้น.

รูปที่ 2.5 อบหรือผึ่งชิ้นไม้ให้แห้ง.

2.2.3 การทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำ

การทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำในที่นี้ เป็นการนำส่วนกิ่ง ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูกที่อายุ 1 และ 2 ปี มาผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาร่วมกับแอนทราควิโนน. โดยตั้งเป้าหมายจากค่าแคปปานัมเบอร์ (ตัวเลขแสดงปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังกระบวนการต้ม) ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 25-30 เป็นตัวชี้วัด และหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเคมี, อัตราส่วนน้ำกับไม้สบู่ดำ. แล้วทำการฟอกจางสีเยื่อให้ได้ค่าความขาวสว่างในระดับกระดาษถนอมสายตาที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน (opacity 90.06%, brightness 77.44% เป็นค่าที่วัดได้จากกระดาษถนอมสายตา).

2.2.3.1 การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอก

เนื่องจากการผลิตเยื่อเพื่อการผลิตกระดาษพิมพ์เขียนทั่วไป เป็นการนำส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัส มาผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีทางเคมี, เพื่อให้ได้เยื่อที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาใช้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียน. ดังนั้น การทดลองผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกในขั้นต้น จึงนำแต่ไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกเพียงอย่างเดียวมาผลิตเยื่อ, โดยปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์, อัตราส่วนน้ำกับไม้สบู่ดำคิดเป็นน้ำหนักแห้ง และเวลาในการต้มเยื่อที่ 170 องศาเซลเซียส. โดยมีขั้นตอนการทดลอง, ดังนี้ :

1. คัดแยกชิ้นไม้ส่วนกิ่งและต้นที่คละอายุการปลูกในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ (ข้อ 2.2.1) ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาใช้ในการทดลองผลิตเยื่อ (การทดลองขั้นต้นใช้เฉพาะไม้สบู่ดำ ส่วนต้นที่คละอายุการปลูกเพียงอย่างเดียว).

2. หาค่าความชื้นชิ้นไม้สบู่ดำข้อ 1. โดยสุ่มและชั่งตัวอย่างชิ้นไม้ประมาณ 20 กรัม ใส่ในถ้วยที่รู้ค่าน้ำหนักแล้ว, นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่. ชั่งน้ำหนักไม้หลังการอบแล้วคำนวณหาค่าความชื้นของไม้เป็นร้อยละเพื่อใช้คำนวณน้ำหนักวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ.

3. นำค่าอัตราส่วนและความชื้นไม้สบู่ดำข้อ 1. และ 2. มาคำนวณหาปริมาณไม้สบู่ดำคิดเป็นน้ำหนักแห้งเพื่อใช้ในการทดลอง (กรณีไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูกไม่ต้องนำอัตราส่วนมาใช้คำนวณเนื่องจากใช้เฉพาะส่วนต้นเพียงอย่างเดียว).

4. ทดลองผลิตเยื่อกระดาษ โดยใช้วัตถุดิบตามข้อ 3 ในสภาวะของการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.5.

5. เทน้ำแช่ไม้สบู่ดำข้อ 4. ออก ปล่อยให้ไม้สะเด็ดน้ำ แล้วเทชิ้นไม้ใส่ใน Rotary autoclave.

6. ละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้แห้งในน้ำคิดเป็นปริมาณ 10 เท่าของน้ำหนักเนื้อไม้แห้ง แล้วเทสารละลายใส่ใน autoclave ข้อ 5. ปิดฝา autoclave ให้แน่นดังแสดงในรูปที่ 2.9 – 2.11.

7. ทำการต้มเยื่อใน autoclave ข้อ 6. ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.

8. ล้างเยื่อหลังต้มข้อ 7. ด้วยน้ำสะอาดจนหมดด่างดังแสดงในรูป 2.12.

รูปที่ 2.6 ล้างไม้สบู่ดำด้วยน้ำเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน.

รูปที่ 2.7 แช่น้ำข้ามคืน.

รูปที่ 2.8 เทชิ้นไม้ใส่ Rotary autoclave.

รูปที่ 2.9 ละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ.

รูปที่ 2.10 เทสารละลายใส่ใน autoclave.

รูปที่ 2.11 ปิดฝา autoclave ให้แน่น.

รูปที่ 2.12 ล้างเยื่อหลังต้มด้วยน้ำสะอาดจนหมดด่าง.

9. กระจายเยื่อข้อ 8. ด้วยเครื่องกระจายเยื่อ แล้วล้างน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 – 2.14.

10. หาค่าความชื้น และผลผลิตเยื่อข้อ 9. เป็นร้อยละของเยื่อที่ผลิตได้.

11. วิเคราะห์หาค่าแคปปานัมเบอร์ (ปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้ม) ของเยื่อข้อ 10. เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ และปริมาณน้ำคลอรีนที่พอเหมาะต่อการใช้ในกระบวนการฟอกจางสีเยื่อดังแสดงในรูปที่ 2.16.

12. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 4 – 11 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์จากร้อยละ 24 เป็น 26, 28, 30, 32 และ 34 อัตราส่วนน้ำกับไม้สบู่ดำคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 10 : 1 และ 8 : 1 เวลาในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็น 2 และ 3 ชั่วโมง โดยให้ตัวเลขที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าแคปปานัมเบอร์เป็นตัวบ่งชี้สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองผลิตเยื่อ ผลการทดลองขั้นต้นสรุปได้ตามตารางที่ 2.5

รูปที่ 2.13 ล้างเยื่อหลังกระจายเยื่อด้วยน้ำสะอาด.

รูปที่ 2.14 เยื่อที่เป็นผลผลิตจากไม้สบู่ดำ.

รูปที่ 2.15 หาค่าความชื้น และผลผลิตเยื่อเป็นร้อยละของเยื่อที่ผลิต.

รูปที่ 2.16 วิเคราะห์หาค่าแคปปานัมเบอร์.

ตารางที่ 2.5 ผลสรุปสภาวะเบื้องต้นของการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดา ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ				ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SSM 001	24	8 : 1	3	170	43.25	35.05
SSM 002	26	8 : 1	3	170	36.21	34.87
SSM 003	28	8 : 1	3	170	35.66	34.14
SSM 004	30	8 : 1	3	170	33.24	33.99
SSM 005	32	8 : 1	3	170	31.48	32.75
SSM 006	34	8 : 1	3	170	30.93	31.95

ผลทดลองตามตารางที่ 2.5 ได้จากการปรับเปลี่ยนสภาวะการต้มเยื่อ ที่แต่เดิมใช้เพียงโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณมาก. เพื่อต้องการให้ค่าแคปปานัมเบอร์ลดลงตามเป้าหมายที่กำหนด. จึงได้ทดลองลดปริมาณน้ำจากอัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 10 : 1 ให้เหลือเพียง 8 : 1 และเพิ่มเวลาในการต้มเยื่อจาก 2 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง. การใช้สารเคมีปริมาณสูง นอกจากเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว, ยังเป็นการเพิ่มภาระการบริหารจัดการน้ำทิ้งที่เป็นปัญหาควบคู่กับกระบวนการผลิตเยื่อด้วย. ดังนั้น การทดลองต่อไป จึงได้นำสารแอนทราควิโนนมาใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์. สารแอนทราควิโนนมีสมบัติในการเพิ่มอัตราการดูดซับของสารละลายเข้าในเนื้อไม้ และช่วยในการลดปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ผลิตเยื่อได้, ผลทดลองแสดงในตารางที่ 2.6.

ตารางที่ 2.6 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อ จากไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SASM 001	34	0.1	8 : 1	3	170	23.47	29.24
SASM 002	32	0.1	8 : 1	3	170	23.52	29.39
SASM 003	30	0.1	8 : 1	3	170	23.72	30.09
SASM 004	28	0.1	8 : 1	3	170	24.76	30.18
SASM 005	26	0.1	8 : 1	3	170	26.33	30.21
SASM 006	26	0.1	8 : 1	3	170	26.40	30.27
SASM 007	26	0.1	8 : 1	3	170	29.83	31.95
SASM 008	26	0.1	8 : 1	3	170	29.93	32.04
SASM 009	26	0.1	8 : 1	3	170	26.40	30.39
SASM 010	26	0.1	8 : 1	3	170	28.54	30.60
SASM 011	26	0.1	8 : 1	3	170	29.98	32.26
SASM 012	26	0.1	8 : 1	3	170	28.67	30.76
SASM 013	26	0.1	8 : 1	3	170	26.86	30.31
SASM 014	24	0.1	8 : 1	3	170	30.67	33.82
SASM 015	22	0.1	8 : 1	3	170	32.48	34.51

ผลทดลองตามตารางที่ 2.6 เป็นสภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนนของไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุ ซึ่งให้ค่าแคปปานัมเบอร์ในช่วงระหว่าง 25–30, ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้. แต่เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ปริมาณส่วนกิ่งที่เกิดจากการตัดแต่งกิ่งเพื่อการเพิ่มช่อดอกและผลมีอยู่เป็นจำนวนมาก. ดังนั้น ในการทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 1 และ 2 ปี จึงได้นำส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้น, มาใช้ในการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีเดียวกัน. ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอายุ และส่วนต่างๆ ของไม้ที่ใช้ในการผลิตเยื่อ. ผลทดลองแสดงตามตารางที่ 2.7-2.12.

ตารางที่ 2.7 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สปูดำส่วนกิ่งอายุ 1 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAB1 001	28	0.1	8 : 1	3	170	21.84	34.55
SAB1 002	26	0.1	8 : 1	3	170	22.52	35.12
SAB1 003	24	0.1	8 : 1	3	170	24.25	35.66
SAB1 004	24	0.1	8 : 1	3	170	25.05	36.40
SAB1 005	24	0.1	8 : 1	3	170	25.32	36.58
SAB1 006	24	0.1	8 : 1	3	170	26.24	36.81
SAB1 007	24	0.1	8 : 1	3	170	26.99	37.12
SAB1 008	24	0.1	8 : 1	3	170	27.13	37.40
SAB1 009	24	0.1	8 : 1	3	170	28.15	37.88
SAB1 010	24	0.1	8 : 1	3	170	28.84	38.14
SAB1 011	22	0.1	8 : 1	3	170	31.23	38.85
SAB1 012	20	0.1	8 : 1	3	170	34.59	39.92

ตารางที่ 2.8 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นอายุ 1 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAS1 001	28	0.1	8 : 1	3	170	23.50	33.78
SAS1 002	26	0.1	8 : 1	3	170	25.01	35.92
SAS1 003	24	0.1	8 : 1	3	170	26.52	36.68
SAS1 004	24	0.1	8 : 1	3	170	27.81	36.70
SAS1 005	24	0.1	8 : 1	3	170	27.92	36.79
SAS1 006	24	0.1	8 : 1	3	170	28.15	37.15
SAS1 007	24	0.1	8 : 1	3	170	29.13	38.01
SAS1 008	24	0.1	8 : 1	3	170	29.57	38.14
SAS1 009	24	0.1	8 : 1	3	170	30.29	39.37
SAS1 010	22	0.1	8 : 1	3	170	30.67	39.58
SAS1 011	20	0.1	8 : 1	3	170	36.98	40.32

ตารางที่ 2.9 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 1 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAH1 001	28	0.1	8 : 1	3	170	24.23	37.23
SAH1 002	26	0.1	8 : 1	3	170	26.36	37.35
SAH1 003	24	0.1	8 : 1	3	170	26.30	33.01
SAH1 004	24	0.1	8 : 1	3	170	26.40	36.30
SAH1 005	24	0.1	8 : 1	3	170	26.71	36.32
SAH1 006	24	0.1	8 : 1	3	170	27.24	36.07
SAH1 007	24	0.1	8 : 1	3	170	28.29	38.06
SAH1 008	24	0.1	8 : 1	3	170	28.85	38.82
SAH1 009	22	0.1	8 : 1	3	170	33.12	42.11
SAH1 010	20	0.1	8 : 1	3	170	33.95	43.81

ตารางที่ 2.10 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อ จากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 2 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAB2 001	30	0.1	8 : 1	3	170	21.02	31.75
SAB2 002	28	0.1	8 : 1	3	170	23.06	32.61
SAB2 003	26	0.1	8 : 1	3	170	24.44	32.78
SAB2 004	24	0.1	8 : 1	3	170	28.39	38.09
SAB2 005	24	0.1	8 : 1	3	170	29.55	39.12
SAB2 006	24	0.1	8 : 1	3	170	27.58	37.82
SAB2 007	24	0.1	8 : 1	3	170	26.45	37.01
SAB2 008	24	0.1	8 : 1	3	170	26.68	37.24
SAB2 009	24	0.1	8 : 1	3	170	28.07	37.45
SAB2 010	22	0.1	8 : 1	3	170	29.68	40.28

ตารางที่ 2.11 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นอายุ 2 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAS2 001	30	0.1	8 : 1	3	170	20.44	32.01
SAS2 002	28	0.1	8 : 1	3	170	22.11	32.66
SAS2 003	26	0.1	8 : 1	3	170	23.30	36.65
SAS2 004	24	0.1	8 : 1	3	170	27.34	38.11
SAS2 005	24	0.1	8 : 1	3	170	29.15	39.68
SAS2 006	24	0.1	8 : 1	3	170	30.41	40.03
SAS2 007	22	0.1	8 : 1	3	170	33.36	41.42

ตารางที่ 2.12 สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อ จากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 2 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์	ผลผลิตเยื่อ (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SAH2 001	28	0.1	8 : 1	3	170	19.73	31.97
SAH2 002	26	0.1	8 : 1	3	170	21.86	32.54
SAH2 003	24	0.1	8 : 1	3	170	27.30	38.05
SAH2 004	24	0.1	8 : 1	3	170	28.98	39.08
SAH2 005	24	0.1	8 : 1	3	170	29.01	40.09
SAH2 006	24	0.1	8 : 1	3	170	29.12	40.27
SAH2 007	24	0.1	8 : 1	3	170	30.42	40.80
SAH2 008	24	0.1	8 : 1	3	170	30.58	40.50
SAH2 009	22	0.1	8 : 1	3	170	28.35	40.35

นำผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน จากตารางที่ 2.6-2.12, มาหาค่าแคปปานัมเบอร์, ผลผลิตเยื่อเฉลี่ย และสรุปผลทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.13.

ตารางที่ 2.13 สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน ค่าแคปปานัมเบอร์ ผลผลิตเยื่อเฉลี่ยของไม้สปู่ดำส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี

ตัวอย่าง	สภาวะในการผลิตเยื่อ					ค่าแคปปานัมเบอร์เฉลี่ย	ผลผลิตเยื่อเฉลี่ย (%)
	ปริมาณ NaOH (%)	ปริมาณ AQ (%)	อัตราส่วนน้ำ/ไม้	เวลาการต้มเยื่อ (ชม.)	อุณหภูมิการต้มเยื่อ (°ซ.)		
SASM	26	0.1	8 : 1	3	170	28.10	30.98
SAB 1	24	0.1	8 : 1	3	170	26.50	37.00
SAS 1	24	0.1	8 : 1	3	170	28.48	37.55
SAH 1	24	0.1	8 : 1	3	170	27.30	36.43
SAB 2	24	0.1	8 : 1	3	170	27.79	37.87
SAS 2	24	0.1	8 : 1	3	170	28.97	39.27
SAH 2	24	0.1	8 : 1	3	170	29.24	39.80

หมายเหตุ : SASM = ต้น คละอายุ
SAB 1 = กิ่ง อายุ 1 ปี
SAS 1 = ต้น อายุ 1 ปี
SAH 1 = กิ่ง + ต้น อายุ 1 ปี
SAB 2 = กิ่ง อายุ 2 ปี
SAS 2 = ต้น อายุ 2 ปี
SAH 2 = กิ่ง + ต้น อายุ 2 ปี

2.2.3.2 การผลิตเยื่อฟอกจางสี

สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนนดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.13 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อของไม้สปู่ดำส่วนที่เป็นกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้น ที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี ที่ให้ค่าแคปปานัมเบอร์ในช่วง 25 – 30 ตามเป้าหมายที่กำหนด. ในการทดลองฟอกจางสีเยื่อให้ได้ค่าความขาวสว่างระดับกระดาษถนอมสายตา, ได้นำตัวอย่างเยื่อจากการทดลองแต่ละส่วนที่อายุการปลูกเดียวกันมารวมกัน, แล้วหาค่าแคปปานัมเบอร์เยื่อรวม, เพื่อใช้คำนวณปริมาณน้ำคลอรีนที่เหมาะสมต่อการฟอกจางสีในขั้นแรก และทำการฟอกขั้นต่อไปด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.

1. นำตัวอย่างเยื่อแต่ละส่วนที่อายุการปลูกเดียวกัน, ที่ทราบค่าความชื้นเป็นร้อยละ และค่าแคปปานัมเบอร์แล้ว มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัมแห้ง, ใส่ในภาชนะพลาสติกทนความร้อนที่มีฝาปิดสนิท.

2. ตวงน้ำคลอรีนคิดเป็นปริมาณเปอร์เซ็น active chlorine เท่ากับ 0.22 × ค่าแคปปานัมเบอร์ของตัวอย่างเยื่อที่ทำการฟอกจางสี.

3. ตวงน้ำปริมาณที่ทำให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 3 (3 % consistency).

4. เทน้ำคลอรีนข้อ 2. ลงในน้ำข้อ 3.

5. เทสารละลายคลอรีนข้อ 4. ลงในภาชนะบรรจุเยื่อข้อ 1.

6. ปรับค่าความเป็นกรด–เบสของของผสมข้อ 5. เป็น 1.8 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 10.

7. ปิดฝาภาชนะข้อ 6. ให้สนิทตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที.

8. ล้างเยื่อข้อ 7. ให้หมดสารเคมีด้วยน้ำสะอาด แล้วบีบเยื่อให้แห้ง.

9. นำเยื่อข้อ 8. ใส่ในภาชนะพลาสติกเช่นเดิม.

10. ละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในน้ำปริมาณที่ทำให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 6 (6 % consistency).

11. เทสารละลายข้อ 10. ลงในภาชนะบรรจุเยื่อข้อ 9.

12. ปิดฝาภาชนะพลาสติกข้อ 11. ให้สนิท, นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในเครื่องอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที.

13. ล้างเยื่อข้อ 12. ด้วยน้ำสะอาดให้หมดด่างแล้วบีบให้แห้ง.

14. นำเยื่อข้อ 13. ใส่ในภาชนะพลาสติกเช่นเดิม.

15. ชั่งสารโซเดียมซิลิเกตปริมาณร้อยละ 3 และตวงสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ลงในน้ำปริมาณที่ทำให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 4 (4 % consistency).

16. เทสารละลายผสมข้อ 15. ลงในภาชนะบรรจุเยื่อข้อ 14.

17. ปิดฝาภาชนะพลาสติกข้อ 16. ให้สนิท นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียสในเครื่องอังไอน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.

18. ล้างเยื่อข้อ 17. ด้วยน้ำสะอาดจนหมดสารเคมีแล้วบีบให้แห้ง.

19. นำเยื่อข้อ 18. ใส่ในภาชนะพลาสติกเช่นเดิม.

20. ดำเนินการซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 10. – 19.

21. ละลายสารโซเดียมไบซัลไฟท์ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในน้ำปริมาณที่ทำให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 6 (6 % consistency).

22. เทสารละลายข้อ 21. ลงในภาชนะบรรจุเยื่อข้อ 20.

23. ปรับค่าความเป็นกรด–เบสของของผสมข้อ 22. เป็น 5 ด้วยสารละลาย กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 10.

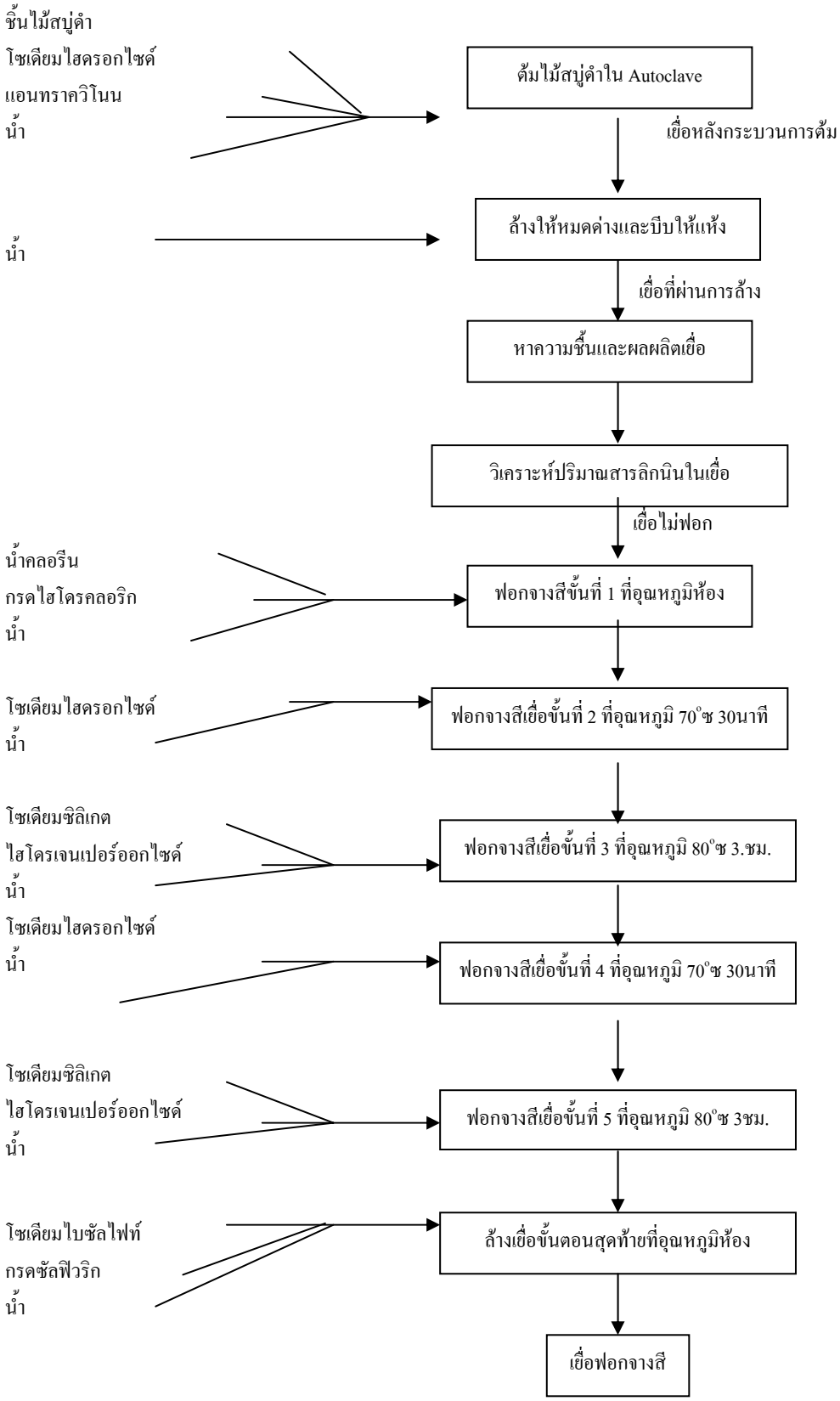
24. ปิดฝาภาชนะพลาสติกข้อ 23. ให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที.

25. ล้างเยื่อข้อ 24. ด้วยน้ำสะอาดจนหมดสารเคมีแล้วบีบให้แห้ง.

26. หาค่าความชื้นเยื่อฟอกจางสีเป็นร้อยละ เพื่อใช้คำนวณหาน้ำหนักเยื่อในการทำแผ่นทดสอบในขั้นตอนต่อไป.

ขั้นตอนการผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกและฟอกจางสีจากไม้สบู่ดำแสดงในรูปที่ 2.17.

การเปรียบเทียบเยื่อก่อนและหลังการฟอกจางสีแสดงในรูปที่ 2.18.



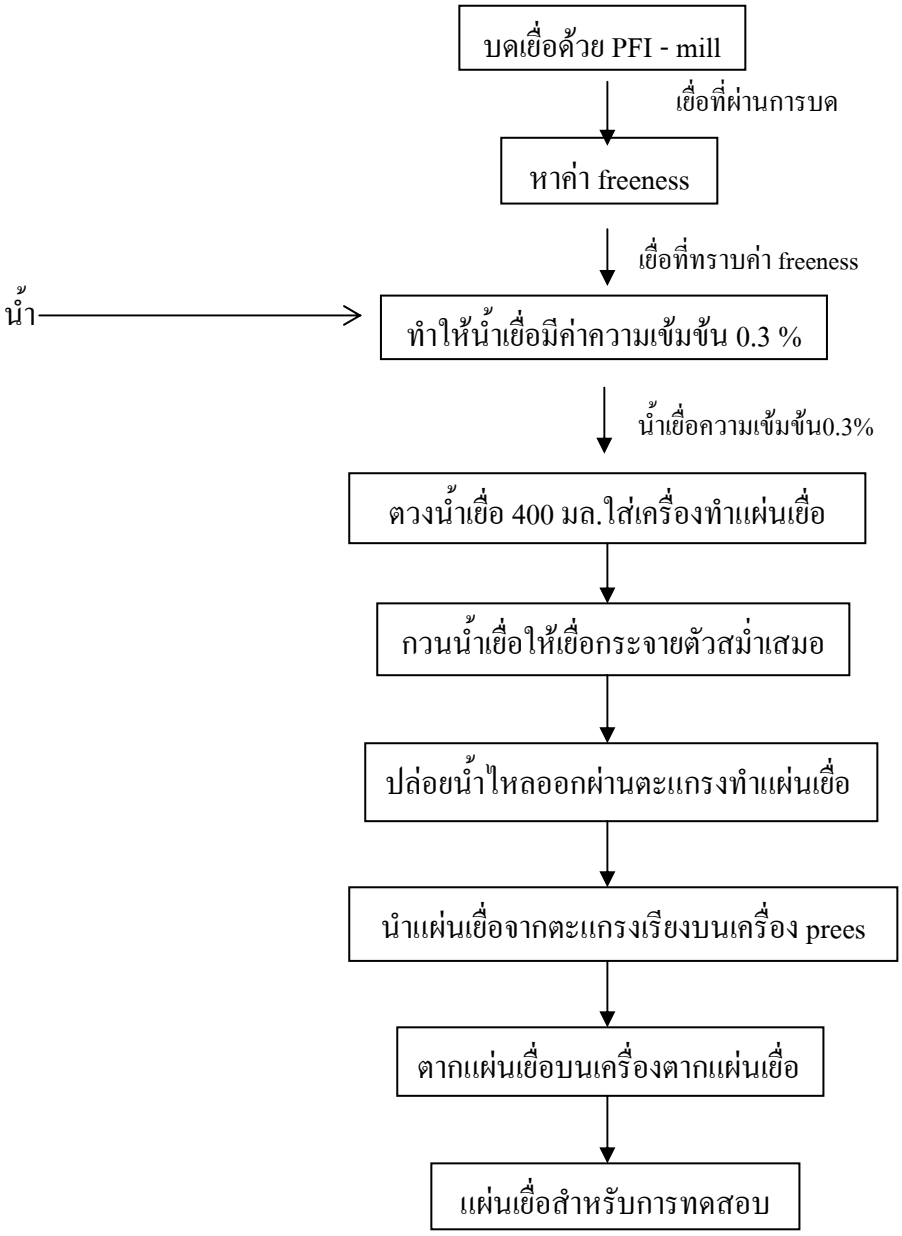
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอก และฟอกจางสีจากไม้สบู่ดำ.

รูปที่ 2.18 การเปรียบเทียบเยื่อก่อนและหลังการฟอกจางสี.

2.2.4 การทำแผ่นทดสอบเยื่อ

การทำแผ่นทดสอบทั้งเยื่อไม่ฟอกและเยื่อฟอกจางสีแต่ละส่วนและอายุ สำหรับใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อการประเมินผล, ดำเนินการตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHODS ที่ T 205 om-88, โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติเช่นเดียวกันดังนี้ :

1. นำเยื่อไม่ฟอก หรือเยื่อฟอกจางสีมาทำการบดด้วยเครื่อง PFI-mill ที่ค่า freeness (ความอุ้มน้ำ) ระดับต่างๆ.
2. นำเยื่อบดแต่ละค่า freeness มาเจือจางด้วยน้ำในถังผสม (Mixer) ให้ได้ค่าความเข้มข้นน้ำเยื่อ 0.3% consistency.
3. ตวงน้ำเยื่อปริมาณ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในเครื่องทำแผ่นมาตรฐาน, ปล่อยน้ำเข้าเครื่องให้สูงถึงเส้นระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ด้านในทรงกระบอก.
4. กวนน้ำเยื่อเพื่อให้เยื่อมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอด้วย stirrer.
5. ปล่อยน้ำออกจากเครื่องโดยการเปิดวาล์วใต้เครื่อง ได้แผ่นเยื่อตกค้างบนตะแกรง.
6. นำแผ่นเยื่อออกจากตะแกรงเรียงบนเครื่อง Prees (เพื่อบีบน้ำออก).
7. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1 – 6 จนได้แผ่นเยื่อ 10 แผ่น ในแต่ละค่า freeness.
8. ตากแผ่นเยื่อในข้อ 7. บนเครื่องตากเยื่อ.
9. นำแผ่นเยื่อข้อ 8. ไปแขวนในห้องควบคุมสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65$\pm$2, อุณหภูมิ 27$\pm$1 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ. ขั้นตอนการทำแผ่นทดสอบแสดงในรูปที่ 2.19 – 2.2.



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการทำแผ่นทดสอบเยื่อ.

รูปที่ 2.20 เยื่อไม่ฟอกก่อนบด.

รูปที่ 2.21 เยื่อไม่ฟอกหลังบด.

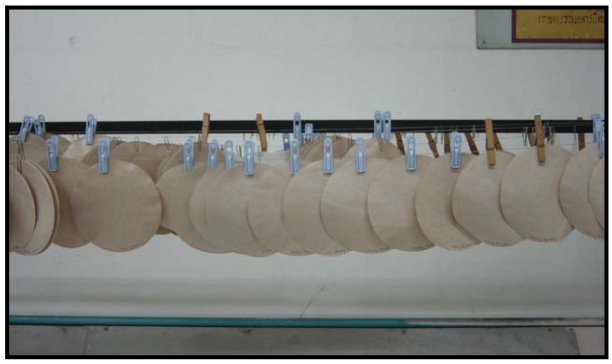
รูปที่ 2.22 เยื่อฟอกก่อนบด.

รูปที่ 2.23 เยื่อฟอกหลังบด.

รูปที่ 2.24 ผสมน้ำเยื่อในเครื่องผสม (Mixer).

รูปที่ 2.25 แผ่นเยื่อบนตะแกรงเครื่องทำแผ่น.

รูปที่ 2.26 เรียงแผ่นเยื่อบนเครื่อง Press เพื่อรีดน้ำออก. **รูปที่ 2.27 ตากแผ่นเยื่อบนเครื่องตากเยื่อ.**



รูปที่ 2.28 แขวนแผ่นเยื่อในห้องควบคุมสภาวะที่ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2%.

รูปที่ 2.29 แผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสี (ซ้าย) และชนิดไม่ฟอก (ขวา).

2.2.5 การทดสอบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อ

แผ่นทดสอบเยื่อแต่ละส่วน และอายุ ที่ค่า freeness ต่างระดับนำมาทดสอบเพื่อหาสมบัติเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHOD ดังรายการต่อไปนี้ :

T 403 cm-85 ทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ.

T 404 cm-87 ทดสอบความต้านทานแรงดึง.

T 414 cm-88 ทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด.

T 425 cm-86 ทดสอบความทึบแสง.

T 452 cm-87 ทดสอบความขาวสว่าง.

2.2.5.1 เยื่อสบู่ดำคละอายุ

การผลิตเยื่อโดยทั่วไป มักใช้เส้นใยจากส่วนของลำต้นในการผลิต. ดังนั้น การทดลองเบื้องต้น จึงได้นำเฉพาะส่วนลำต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูกเพียงส่วนเดียวมาทดลองผลิตเยื่อทั้งชนิดไม่ฟอกและชนิดฟอกจางสี. จากนั้น ได้ทำการทดสอบสมบัติเยื่อทั้งสองชนิดตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHOD, ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2.14 – 2.15.

เยื่อไม่ฟอก

ตารางที่ 2.14 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นคละอายุ

Description	Freeness		
	295	275	250
Basis weight, g / m^2	60.50	60.13	60.58
Opacity, %	98.48	97.82	97.29
Brightness, %	21.90	27.92	26.38
Tear index, mN-m^2/g	5.6	6.1	7.1
Burst index, kPa-m^2/g	4.8	5.0	5.3
Tensile index, Nm/g	67.5	68.9	75.6

เยื่อฟอกจางสี

ตารางที่ 2.15 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นคละอายุ

Description	Freeness		
	310	**270**	**222**
Basis weight, g / m^2	59.76	64.89	62.9
Opacity, %	90.01	71.2	70.3
Brightness, %	79.6	77.4	76.1
Tear index, mN-m^2/g	7.1	7.3	5.15
Burst index, kPa-m^2/g	5.5	6.1	5.29
Tensile index, Nm/g	62.30	69.8	74.2

2.2.5.2 เยื่อสบู่ดำอายุ 1 ปี

เยื่อไม่ฟอก

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น การทดลองผลิตเยื่อไม้สบู่ดำคละอายุการปลูกที่ผ่านมาได้พิจารณาเห็นว่า ปริมาณส่วนกิ่งที่เกิดจากการตัดแต่งเพื่อเพิ่มช่อดอกและผล มีอยู่จำนวนมากมายและถูกนำไปเผาหรือกองทิ้งไว้รอการเน่าเปื่อย, จึงได้เริ่มนำส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำมาทดลองผลิตเยื่อด้วย, โดยแบ่งการทดลองผลิตเป็นส่วนของกิ่ง, ส่วนของต้น และส่วนกิ่งผสมกับต้น. แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเยื่อไม่ฟอกและฟอกจางสีที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHOD. ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2.16-2.21.

ตารางที่ 2.16 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนกิ่งอายุ 1 ปี

Description	Freeness			
	398	**281**	**251**	**221**
Basis weight, g / m^2	65.92	66.99	66.05	65.39
Opacity, %	99.6	99.5	99.2	98.8
Brightness, %	28.4	25.8	24.8	23.95
Tear index, mN-m^2/g	5.86	6.18	6.22	5.86
Burst index, kPa-m^2/g	2.93	4.38	4.91	5.01
Tensile index, Nm/g	50.7	69.6	70.2	72.8

ตารางที่ 2.17 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นอายุ 1 ปี

Description	Freeness (CSF)				
	441	400	325	273	219
Basis weight, g / m^2	66.75	-	65.20	65.64	65.84
Opacity, %	100.0	99.8	99.4	99.2	99.1
Brightness, %	28.55	27.81	26.45	25.30	24.00
Tear index, mN-m^2/g	5.70	6.04	6.09	6.13	5.96
Burst index, kPa-m^2/g	2.95	3.36	4.11	4.65	4.99
Tensile index, Nm/g	49.0	54.8	67.9	72.1	74.8

ตารางที่ 2.18 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 1 ปี

Description	Freeness				
	395	391	316	270	238
Basis weight, g / m^2	65.48	-	66.49	65.61	66.55
Opacity, %	99.7	99.7	99.5	99.3	98.9
Brightness, %	27.90	27.79	25.8	24.85	23.60
Tear index, mN-m^2/g	6.13	6.14	6.40	6.33	5.54
Burst index, kPa-m^2/g	2.95	3.01	4.01	4.49	4.77
Tensile index, Nm/g	49.2	50.0	63.0	69.7	73.6

เยื่อฟอกจางสี

ตารางที่ 2.19 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนกิ่งอายุ 1 ปี

Description	**Freeness**				
	413	**400**	**330**	**276**	**234**
Basis weight, g / m^2	64.65	-	66.48	65.35	64.56
Opacity, %	75.2	71.2	70.0	65.9	69.3
Brightness, %	80.7	77.6	75.9	72.6	73.4
Tear index, mN-m^2/g	5.11	5.53	5.92	6.21	6.55
Burst index, kPa-m^2/g	3.2	3.39	4.40	5.19	5.68
Tensile index, Nm/g	50.0	50.9	52.8	68.0	71.4

ตารางที่ 2.20. สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นอายุ 1 ปี

Description	Freeness				
	416	400	363	305	255
Basis weight, g / m^2	66.0	-	66.51	66.49	65.14
Opacity, %	89.8	90.0	85.6	80.7	89.9
Brightness, %	78.7	77.4	76.1	75.2	68.7
Tear index, mN-m^2/g	5.82	6.65	6.67	6.91	6.84
Burst index, kPa-m^2/g	3.27	3.53	4.11	5.37	5.85
Tensile index, Nm/g	51.80	52.10	66.5	68.8	72.2

ตารางที่ 2.21. สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 1 ปี

Description	Freeness				
	435	400	353	307	262
Basis weight, g / m^2	66.84	-	67.26	65.94	65.82
Opacity, %	92.6	90.1	86.6	71.2	69.8
Brightness, %	79.8	77.4	75.8	75.1	73.4
Tear index, mN-m^2/g	6.43	6.52	6.76	6.88	6.83
Burst index, kPa-m^2/g	3.43	3.99	4.74	5.12	5.24
Tensile index, Nm/g	50.1	51.4	60.9	63.4	69.8

2.25.3 เยื่อสบู่ดำอายุ 2 ปี

เยื่อไม่ฟอก

การผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ได้ดำเนินการเช่นเดียวกับการผลิตเยื่อจากไม้อายุ 1 ปี, โดยนำส่วนกิ่ง, ส่วนต้น และส่วนกิ่งผสมกับต้นมาผลิตเยื่อ. แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเยื่อไม่ฟอกและฟอกจางสีที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHOD, ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2.22 – 2.27.

ตารางที่ 2.22 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำไม่ฟอกส่วนกิ่งอายุ 2 ปี

Description	Freeness		
	480	335	285
Basis weight, g / m^2	59.3	59.9	58.8
Opacity, %	99.04	98.66	98.25
Brightness, %	25.15	26.86	25.59
Tear index, mN-m^2/g	5.51	5.96	6.36
Burst index, kPa-m^2/g	3.66	4.78	5.06
Tensile index, Nm/g	49.8	58.6	72.1

ตารางที่ 2.23 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นอายุ 2 ปี

Description	Freeness			
	505	395	335	300
Basis weight, g / m^2	59.3	60.6	60.9	61.0
Opacity, %	99.24	98.81	98.35	98.65
Brightness, %	25.23	27.87	26.42	24.65
Tear index, mN-m^2/g	5.42	5.88	6.20	6.56
Burst index, kPa-m^2/g	3.52	4.71	5.15	5.37
Tensile index, Nm/g	49.3	60.8	69.5	75.2

ตารางที่ 2.24 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 2 ปี

Description	Freeness			
	480	355	315	290
Basis weight, g / m^2	60.02	62.1	59.1	59.2
Opacity, %	99.09	98.76	98.4	98.29
Brightness, %	24.9	27.86	26.09	24.23
Tear index, mN-m^2/g	5.65	6.01	6.29	6.41
Burst index, kPa-m^2/g	3.50	4.74	4.86	5.16
Tensile index, Nm/g	50.1	59.8	66.1	73.4

เยื่อฟอกจางสี

ตารางที่ 2.25 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนกิ่งอายุ 2 ปี

Description	Freeness			
	510	395	350	290
Basis weight, g / m^2	58.9	58.3	58.9	58.7
Opacity, %	82.6	73.2	70.2	68.1
Brightness, %	80.2	77.5	76.0	74.4
Tear index, mN-m^2/g	5.80	6.02	6.25	6.48
Burst index, kPa-m^2/g	3.86	4.88	5.23	5.75
Tensile index, Nm/g	48.1	50.4	57.9	71.5

ตารางที่ 2.26. สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นอายุ 2 ปี

Description	Freeness			
	525	435	375	295
Basis weight, g / m^2	58.2	59.2	59.5	58.7
Opacity, %	89.9	80.6	77.8	75.4
Brightness, %	79.15	77.1	76.0	75.2
Tear index, mN-m^2/g	5.23	6.12	6.28	6.60
Burst index, kPa-m^2/g	3.98	4.79	5.28	5.93
Tensile index, Nm/g	48.8	50.9	67.1	74.3

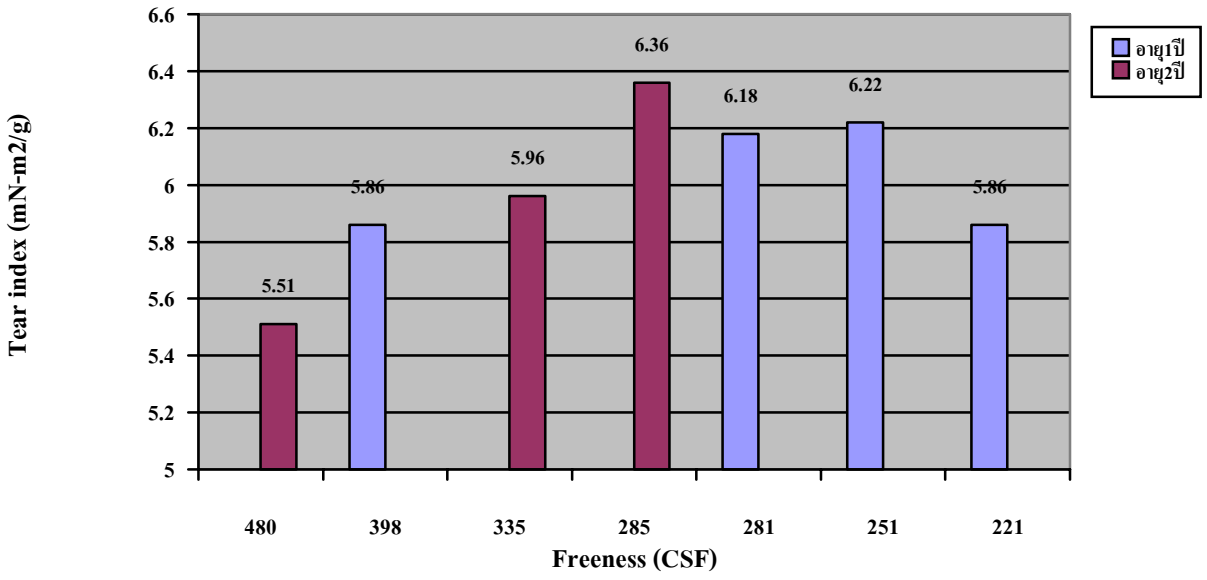
ตารางที่ 2.27. สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง (ทั้งต้น) อายุ 2 ปี

Description	Freeness			
	515	420	370	285
Basis weight, g / m^2	60.5	58.9	59.4	59.7
Opacity, %	91.3	80.65	78.3	70.6
Brightness, %	79.7	76.4	75.3	74.7
Tear index, mN-m^2/g	5.50	5.85	6.35	6.40
Burst index, kPa-m^2/g	3.55	4.5	5.52	5.84
Tensile index, Nm/g	49.6	50.1	59.4	72.8

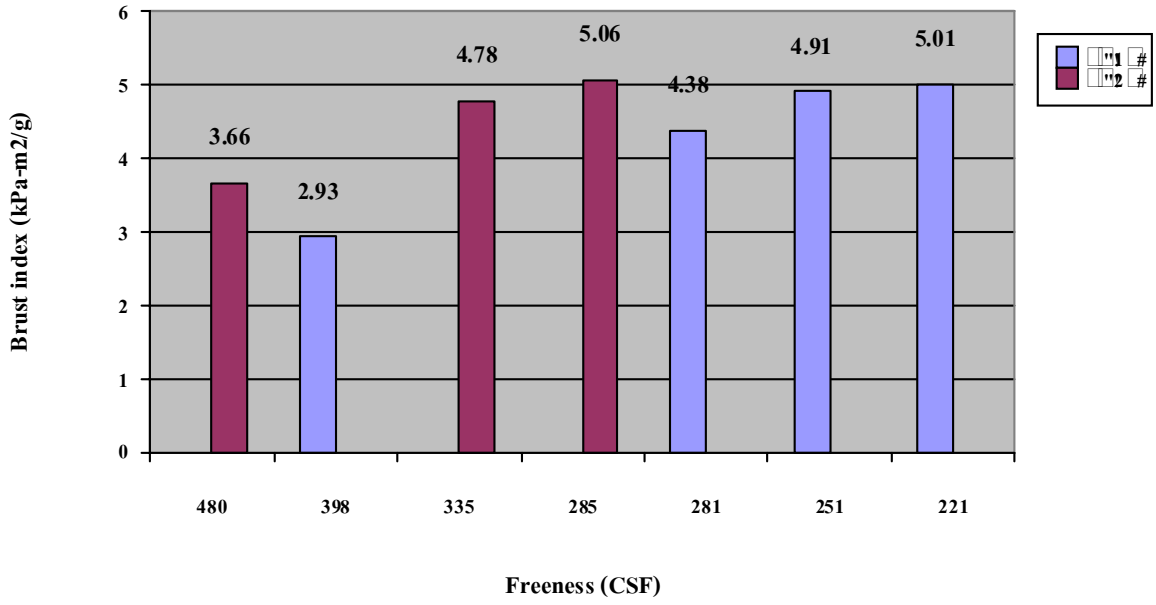
ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพจากตารางที่ 2.14 – 2.27 นำมาเปรียบเทียบตามส่วนและอายุ เพื่อประเมินผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.28 – 2.33 และรูปที่ 2.30 – 2.47.

ตารางที่ 2.28 เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี

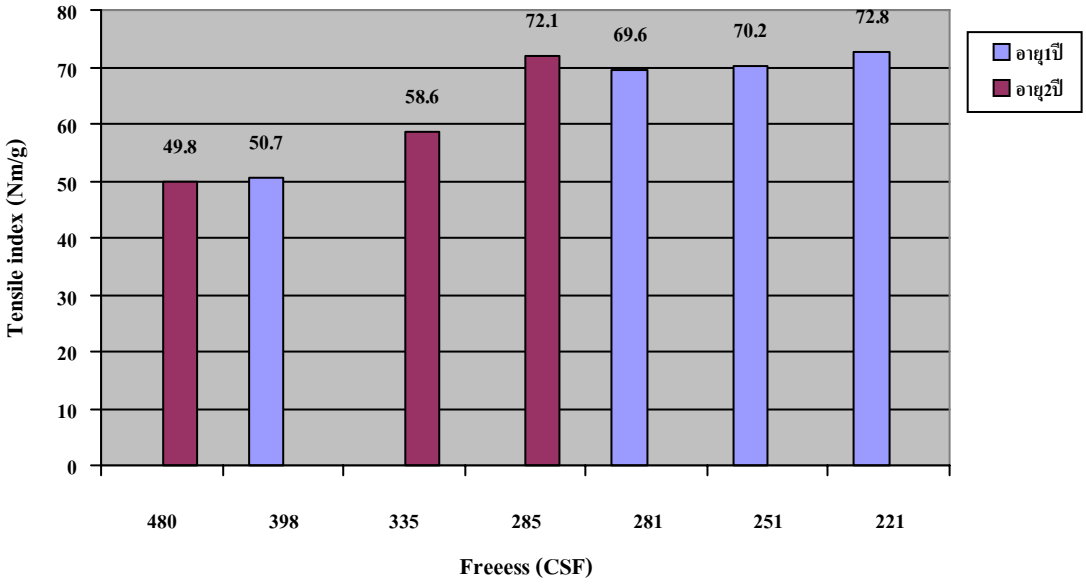
Sample	Freeness	Description			
		Basis weight	Tear index	Burst index	Tensile index
	(CSF)	(g / m^2)	(mN-m^2/g)	(kPa-m^2/g)	(Nm/g)
	398	65.92	5.86	2.93	50.7
	281	66.99	6.18	4.38	69.6
อายุ 1 ปี	251	66.05	6.22	4.91	70.2
	221	65.39	5.86	5.01	72.8
	480	59.3	5.51	3.66	49.8
อายุ 2 ปี	335	59.9	5.96	4.78	58.6
	285	58.8	6.36	5.06	72.1



รูปที่ 2.30 เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.



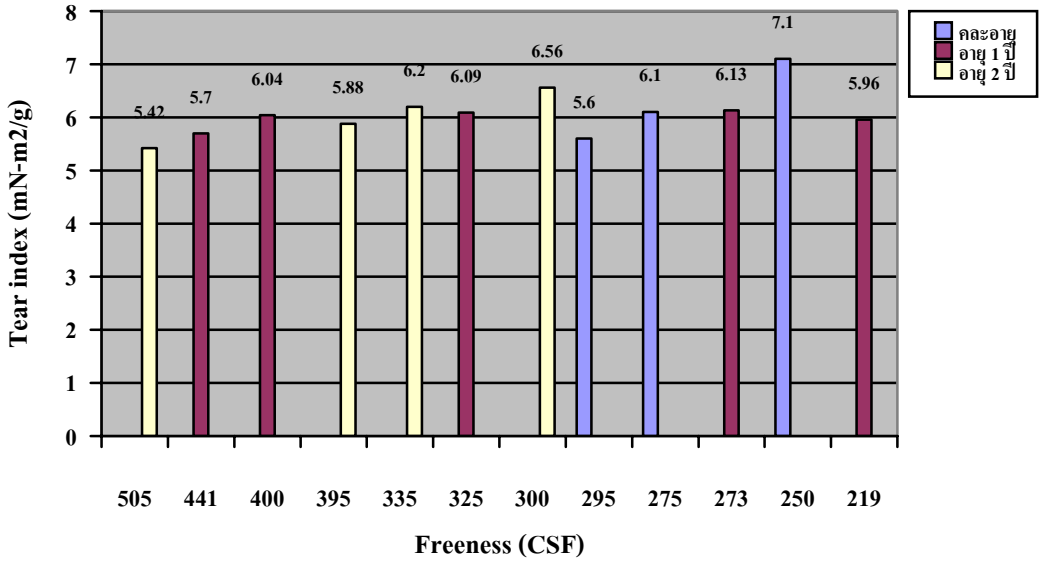
รูปที่ 2.31 เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.



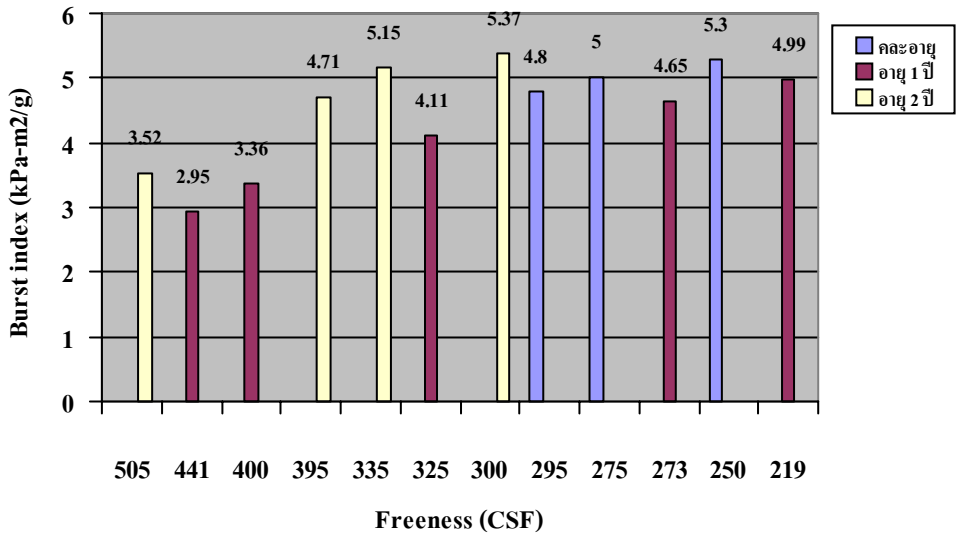
รูปที่ 2.32 เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.

ตารางที่ 2.29 เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี

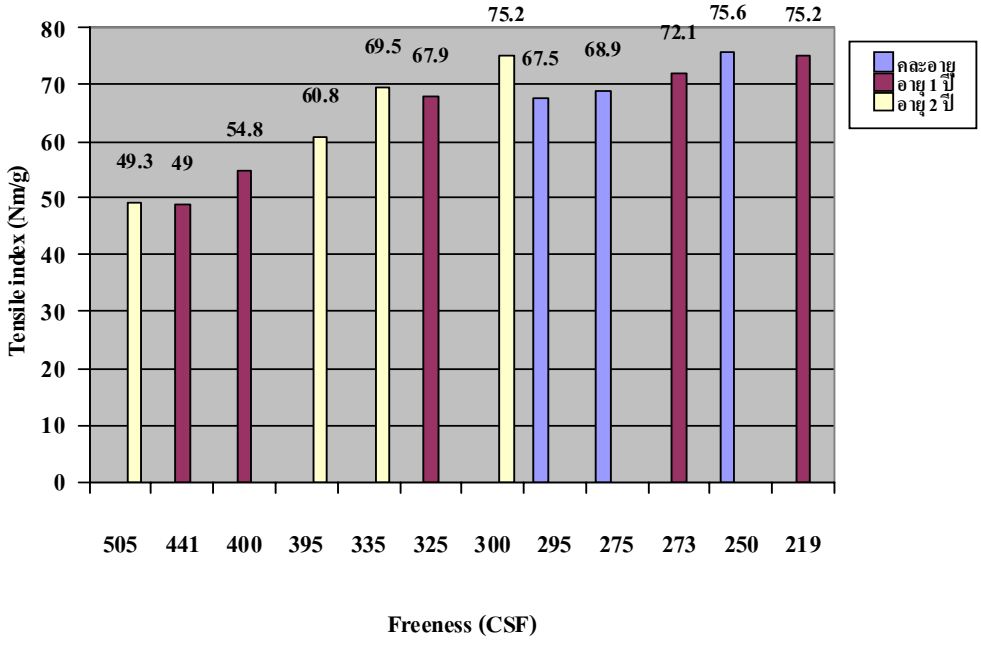
Sample	Freeness (CSF)	Description			
		Basis weight (g / m^2)	Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	295	60.50	5.6	4.8	67.5
คละอายุ	275	60.13	6.1	5.0	68.9
	250	60.58	7.1	5.3	75.6
	441	66.75	5.70	2.95	49.0
	400	-	6.04	3.36	54.8
อายุ 1 ปี	325	65.20	6.09	4.11	67.9
	273	65.64	6.13	4.65	72.1
	219	65.84	5.96	4.99	74.8
	505	59.3	5.42	3.52	49.3
อายุ 2 ปี	395	60.6	5.88	4.71	60.8
	335	60.9	6.20	5.15	69.5
	300	61.0	6.56	5.37	75.2



รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.



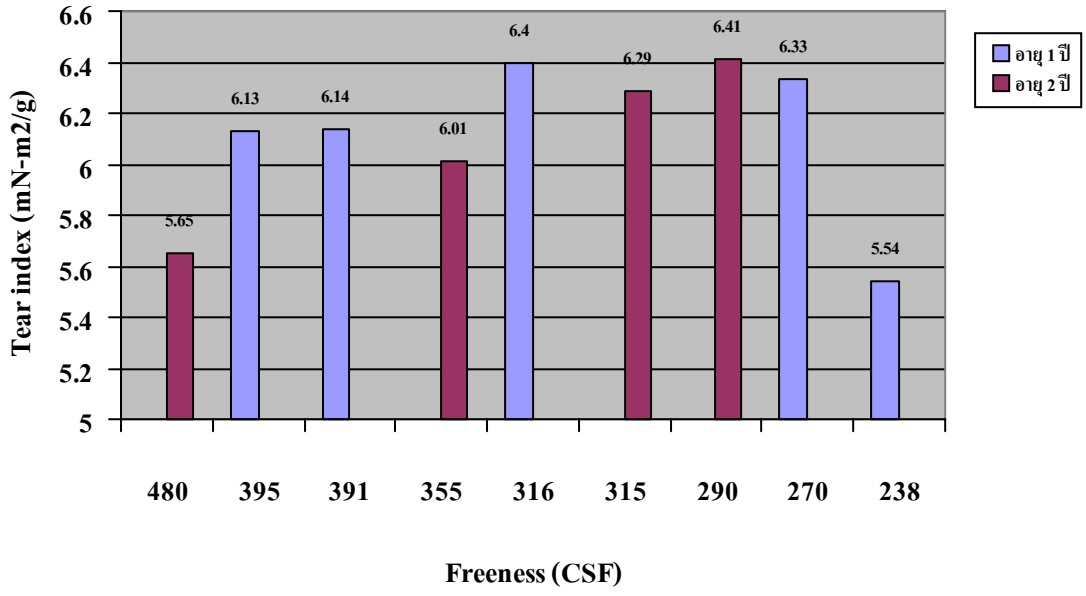
รูปที่ 2.34 เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.



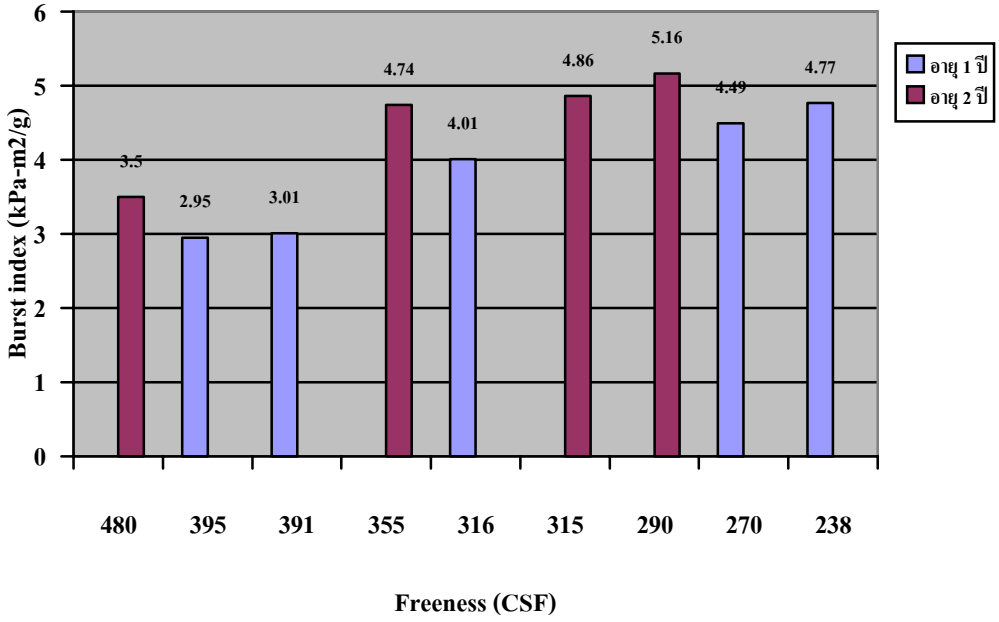
รูปที่ 2.35 เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นไม่ฟอกที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.

ตารางที่ 2.30 เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สปูดำส่วนต้นผสมกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี

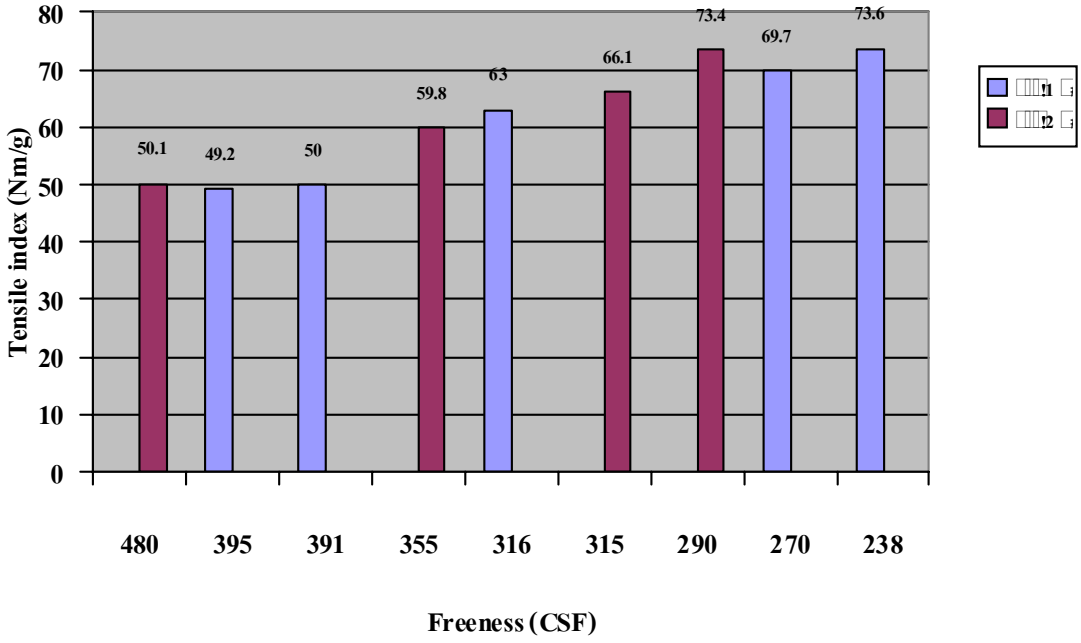
Sample	Freeness (CSF)	Description			
		Basis weight (g / m^2)	Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	395	65.48	6.13	2.95	49.2
	391	-	6.14	3.01	50.0
อายุ 1 ปี	316	66.49	6.40	4.01	63.0
	270	65.61	6.33	4.49	69.7
	238	66.55	5.54	4.77	73.6
	480	60.02	5.65	3.50	50.1
อายุ 2 ปี	355	62.1	6.01	4.74	59.8
	315	59.1	6.29	4.86	66.1
	290	59.2	6.41	5.16	73.4



รูปที่ 2.36 เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปูดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.



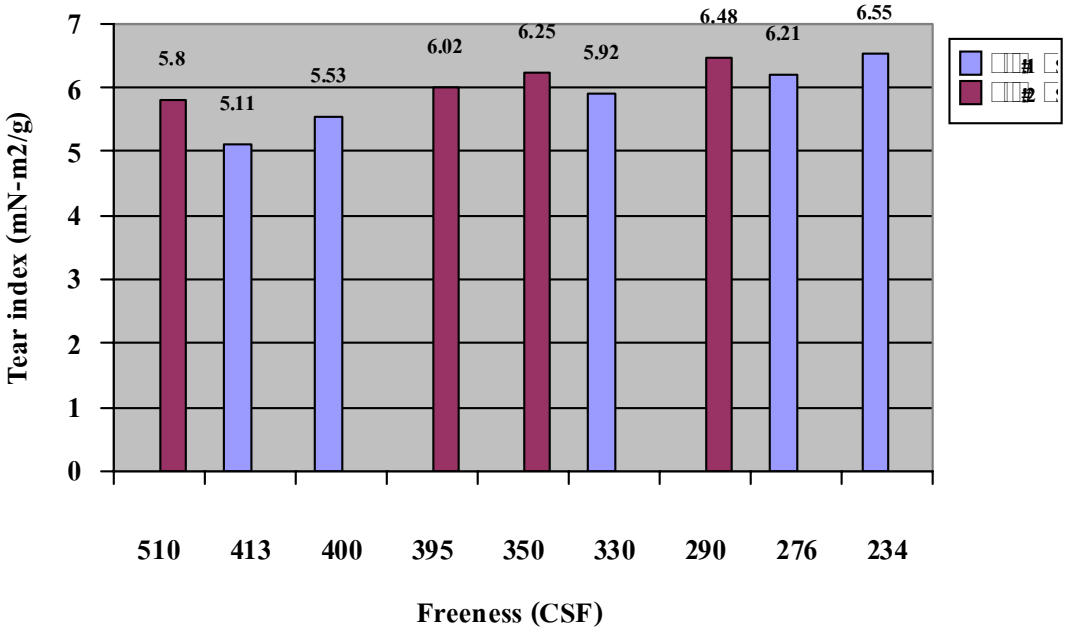
รูปที่ 2.37 เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.



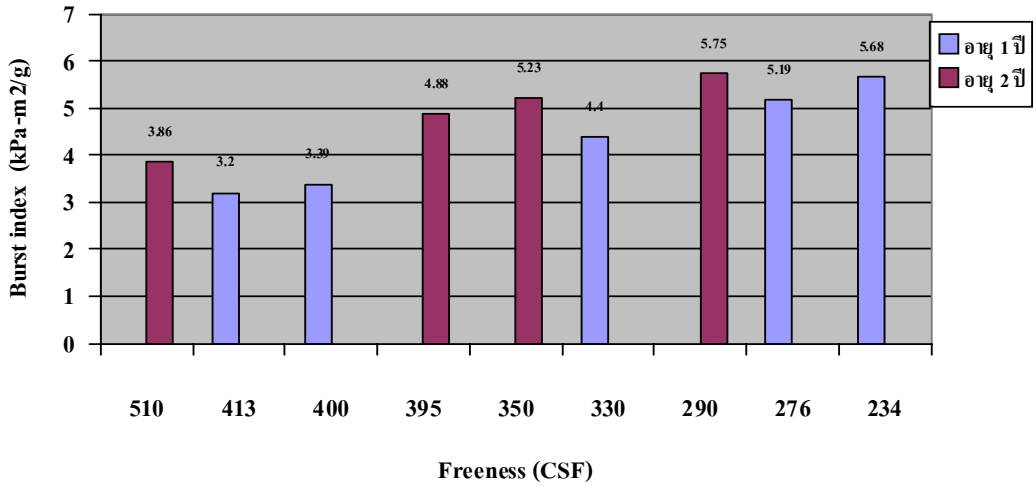
รูปที่ 2.38 เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำส่วนต้นผสมกิ่งไม่ฟอกอายุ 1 และ 2 ปี.

ตารางที่ 2.31 เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สปู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี

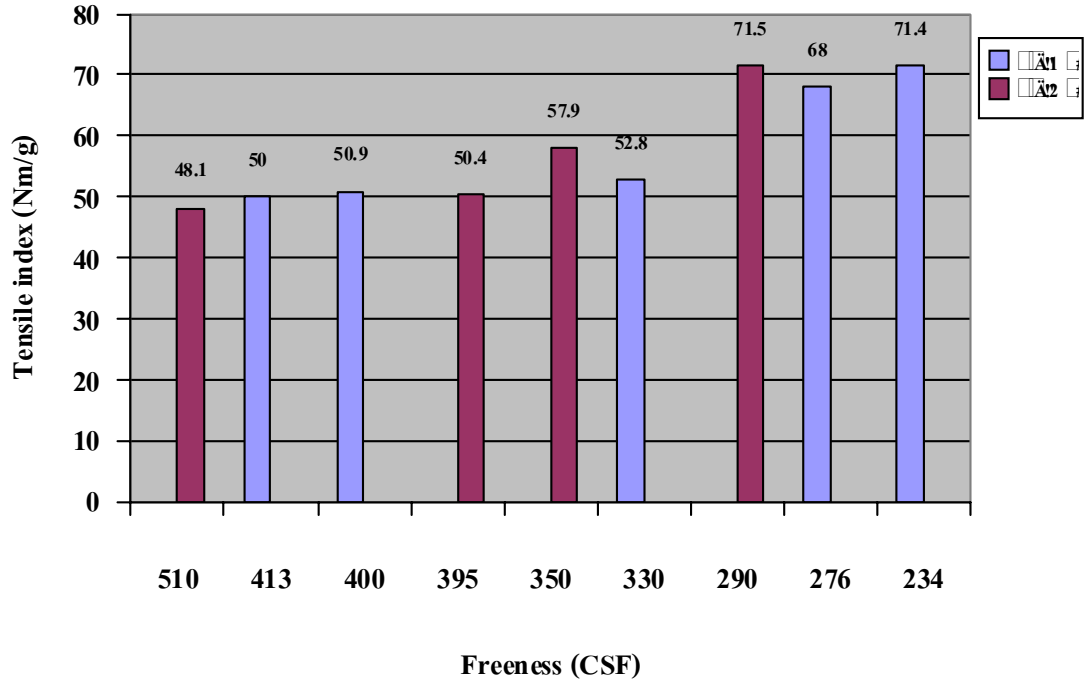
Sample	Freeness (CSF)	Description			
		Basis weight (g / m^2)	Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
อายุ 1 ปี	413	64.65	5.11	3.2	50.0
	400	-	5.53	3.39	50.9
	330	66.48	5.92	4.40	52.8
	276	65.35	6.21	5.19	68.0
	234	64.56	6.55	5.68	71.4
อายุ 2 ปี	510	58.9	5.8	3.86	48.1
	395	58.3	6.02	4.88	50.4
	350	58.9	6.25	5.23	57.9
	290	58.7	6.48	5.75	71.5



รูปที่ 2.39. เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสีอายุ 1 และ 2 ปี.



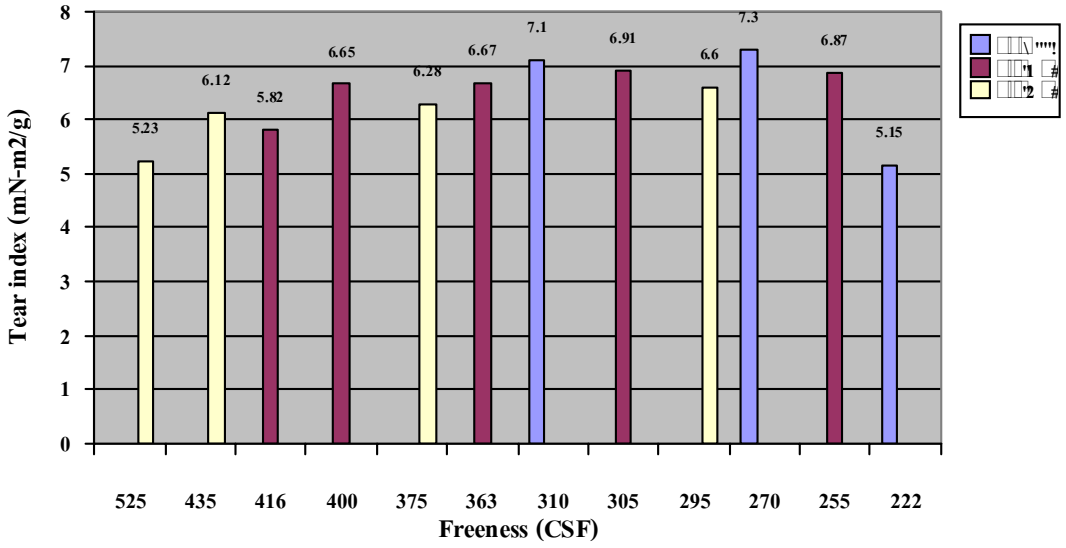
รูปที่ 2.40 เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสีอายุ 1 และ 2 ปี.



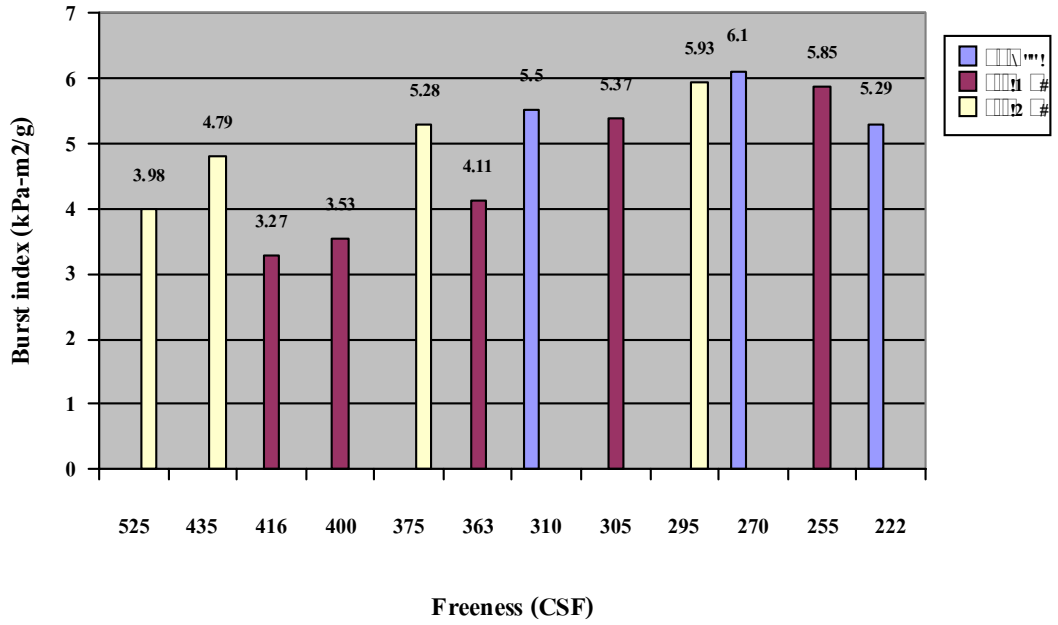
รูปที่ 2.41 เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนกิ่งฟอกจางสีอายุ 1 และ 2 ปี.

ตารางที่ 2.32. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สปู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี

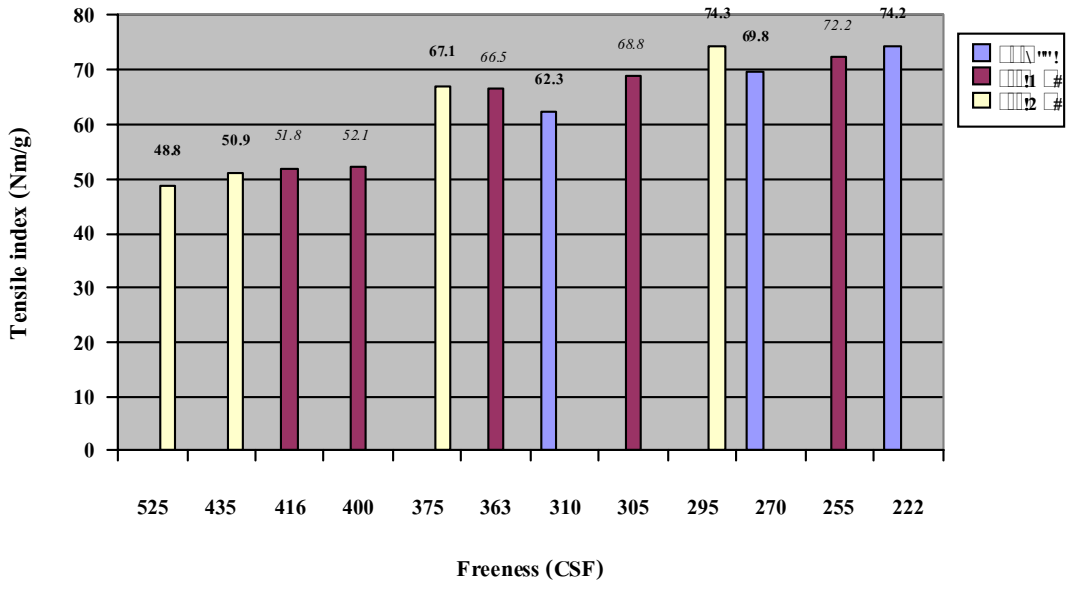
Sample	Freeness (CSF)	Description			
		Basis weight (g / m^2)	Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	310	59.76	7.10	5.50	62.3
คละอายุ	270	64.89	7.30	6.10	69.8
	222	62.90	5.15	5.29	74.2
	416	66.00	5.82	3.27	51.80
	400	-	6.65	3.53	52.10
อายุ 1 ปี	363	66.51	6.67	4.11	66.5
	305	66.49	6.91	5.37	68.8
	255	65.14	6.84	5.85	72.2
	525	58.2	5.23	3.98	48.8
อายุ 2 ปี	435	59.2	6.12	4.79	50.9
	375	59.5	6.28	5.28	67.10
	295	58.7	6.60	5.93	74.3



รูปที่ 2.42. เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนต้นฟอกจางสีที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.



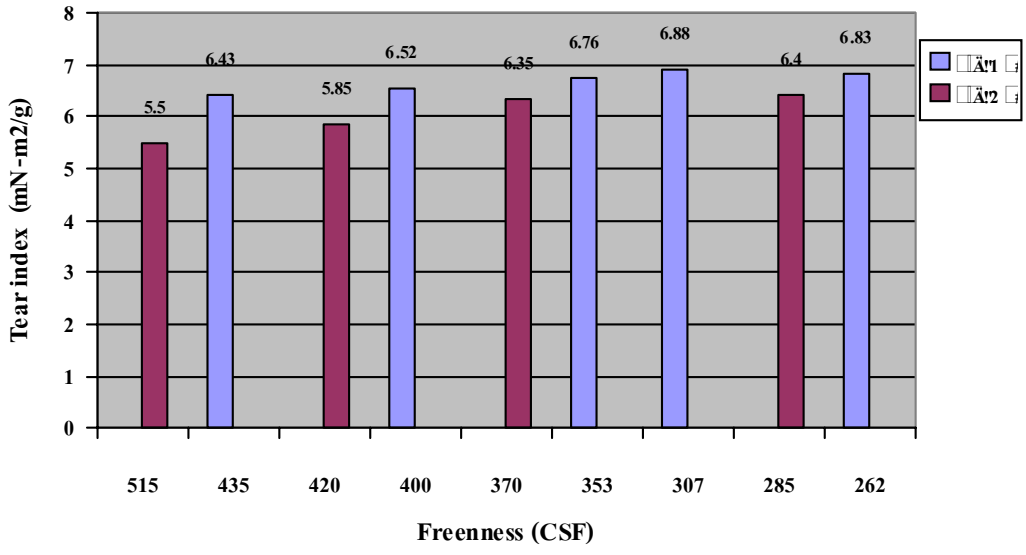
รูปที่ 2.43. เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนต้นฟอกจางสีที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.



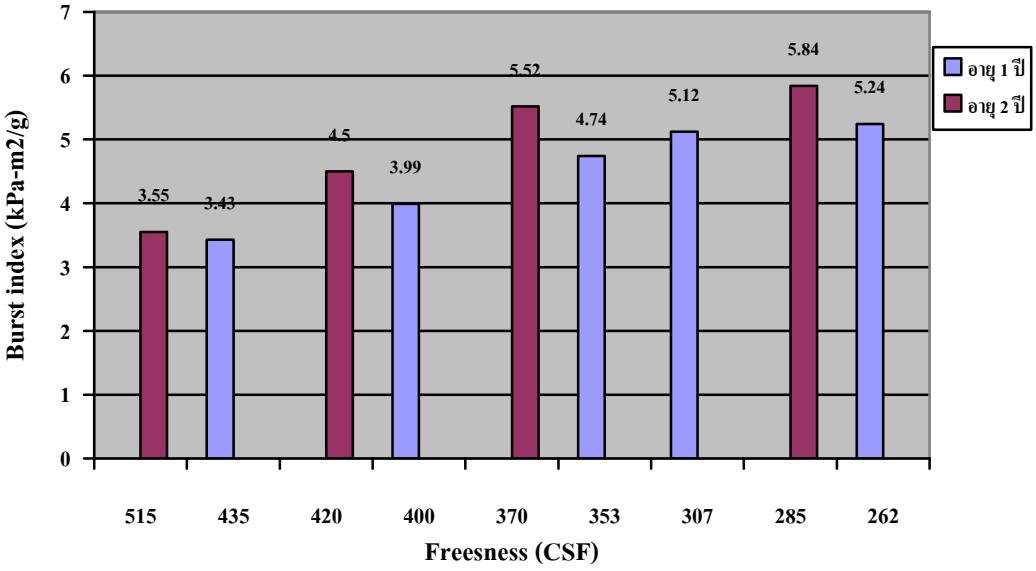
รูปที่ 2.44. เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำส่วนต้นฟอกจางสีที่คละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี.

ตารางที่ 2.33. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสี ระหว่างไม้สปู่ดำส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี

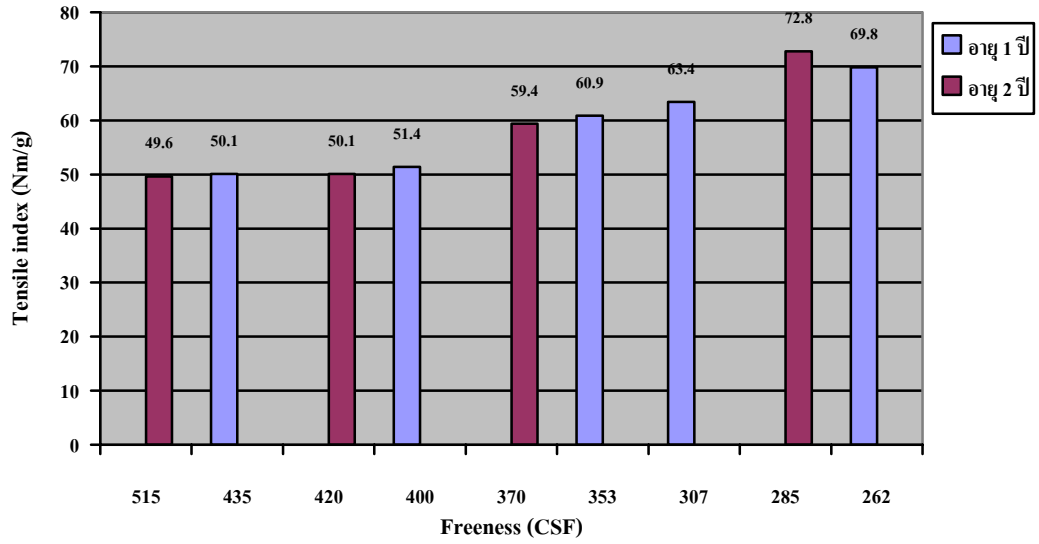
Sample	Freeness (CSF)	Description			
		Basis weight (g / m^2)	Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	435	66.84	6.43	3.43	50.1
	400	-	6.52	3.99	51.4
อายุ 1 ปี	353	67.26	6.76	4.74	60.9
	307	65.94	6.88	5.12	63.4
	262	65.82	6.83	5.24	69.8
	515	60.5	5.50	3.55	49.6
อายุ 2 ปี	420	58.9	5.85	4.5	50.1
	370	59.4	6.35	5.52	59.4
	285	59.7	6.40	5.84	72.80



รูปที่ 2.45. เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี.



รูปที่ 2.46. เปรียบเทียบค่า Burst index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี.

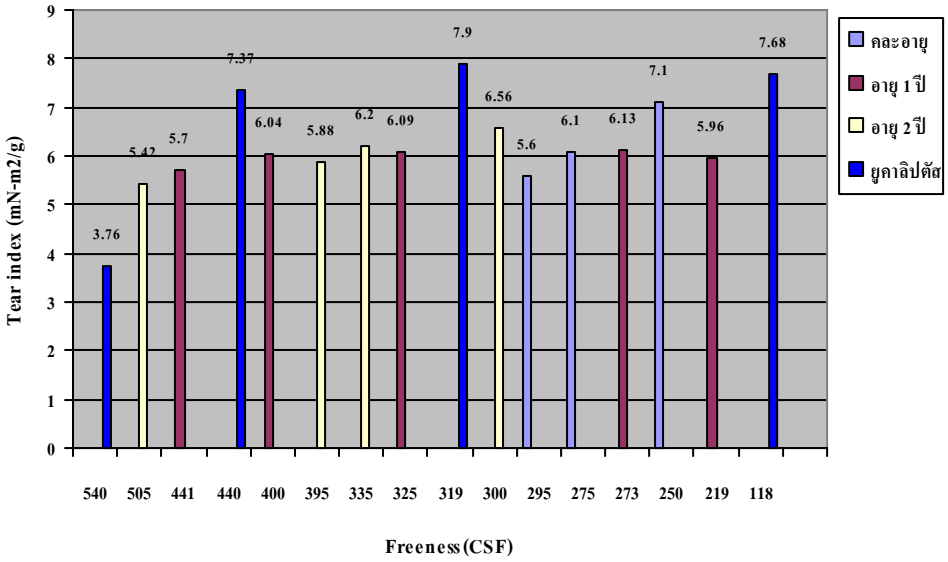


รูปที่ 2.47. เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นผสมกิ่ง อายุ 1 และ 2 ปี.

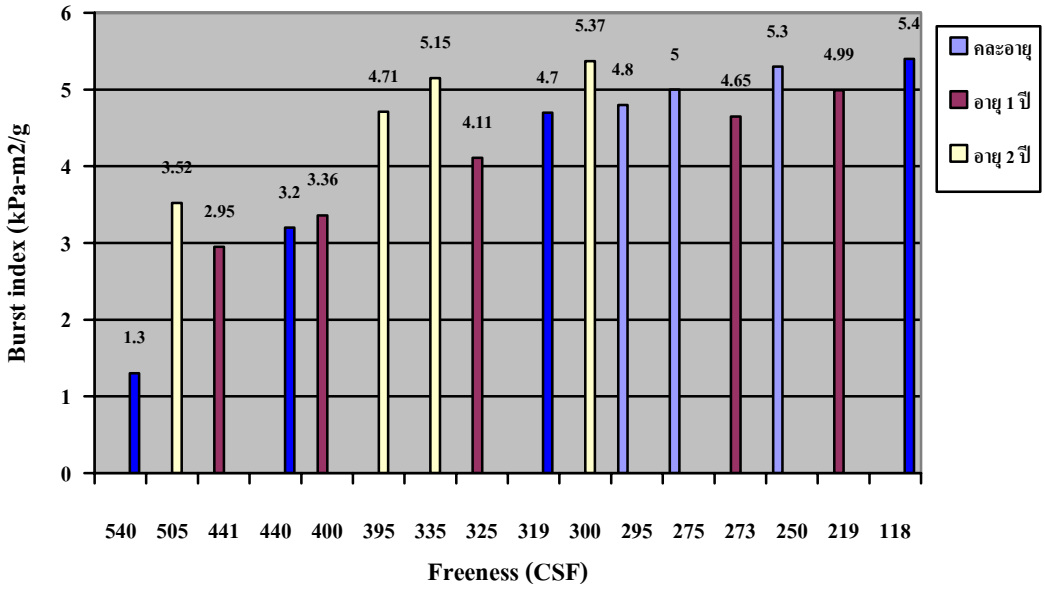
ในปัจจุบัน กระดาษพิมพ์เขียนส่วนใหญ่ที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้น ผลิตจากเยื่อกระดาษของไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำกับไม้ยูคาลิปตัสไว้ดังกล่าวในหัวข้อ 2.2.1 (ส่วนประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำ). ดังนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลการเปรียบเทียบที่สมบูรณ์ขึ้น จึงได้นำสมบัติของเยื่อไม่ฟอกและเยื่อฟอกขาวจากส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัสมาทำการเปรียบเทียบกับเยื่อส่วนต้นชนิดไม่ฟอกและฟอกจางสีของไม้สบู่ดำ, ดังแสดงในตารางที่ 2.34 – 2.35 และรูปที่ 2.48 – 2.52.

ตารางที่ 2.34. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส

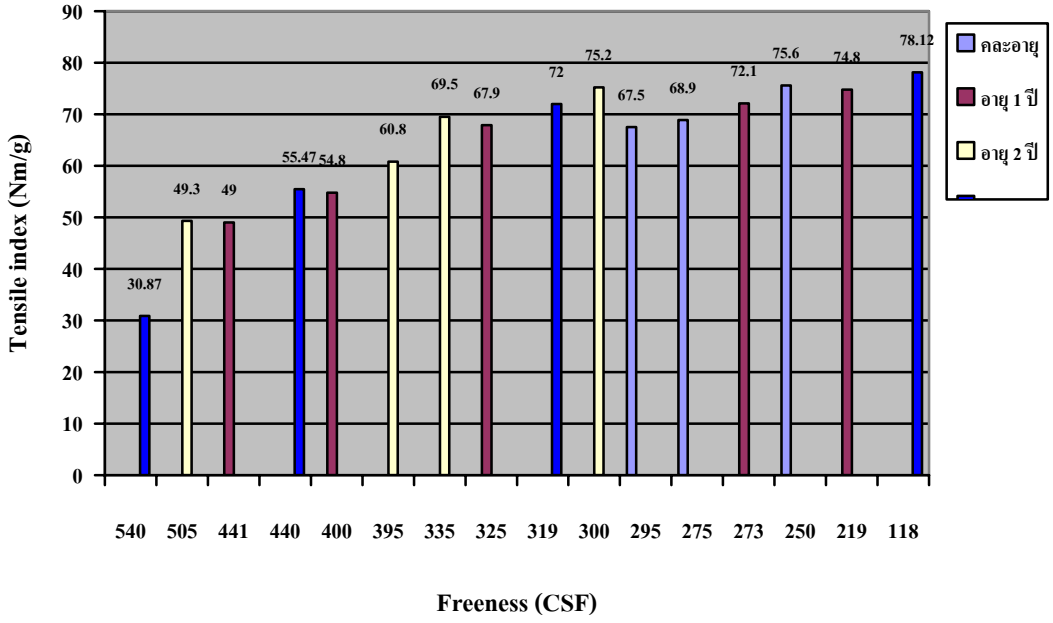
Sample	Freeness,CSF	Description		
		Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	295	5.6	4.8	67.5
คละอายุ	275	6.1	5.0	68.9
	250	7.1	5.3	75.6
	441	5.70	2.95	49.0
	400	6.04	3.36	54.8
อายุ 1 ปี	325	6.09	4.11	67.9
	273	6.13	4.65	72.1
	219	5.96	4.99	74.8
	505	5.42	3.52	49.3
อายุ 2 ปี	395	5.88	4.71	60.8
	335	6.20	5.15	69.5
	300	6.56	5.37	75.2
	540	3.76	1.3	30.87
ยูคาลิปตัส	440	7.37	3.2	55.47
	319	7.9	4.7	72.0
	118	7.68	5.4	78.12



รูปที่ 2.48. เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส.



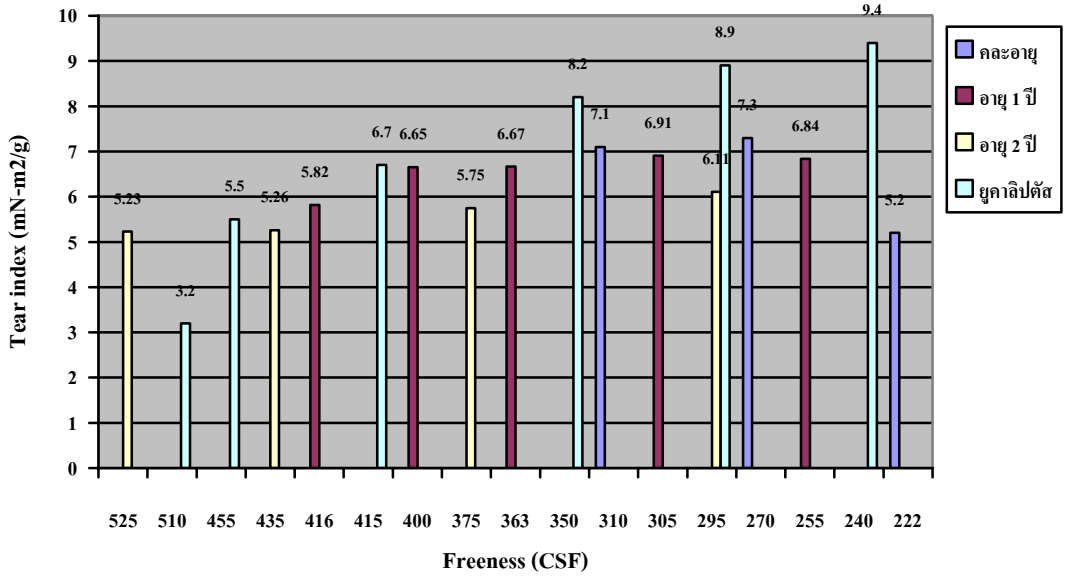
รูปที่ 2.49. เปรียบเทียบค่าBurst index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส.



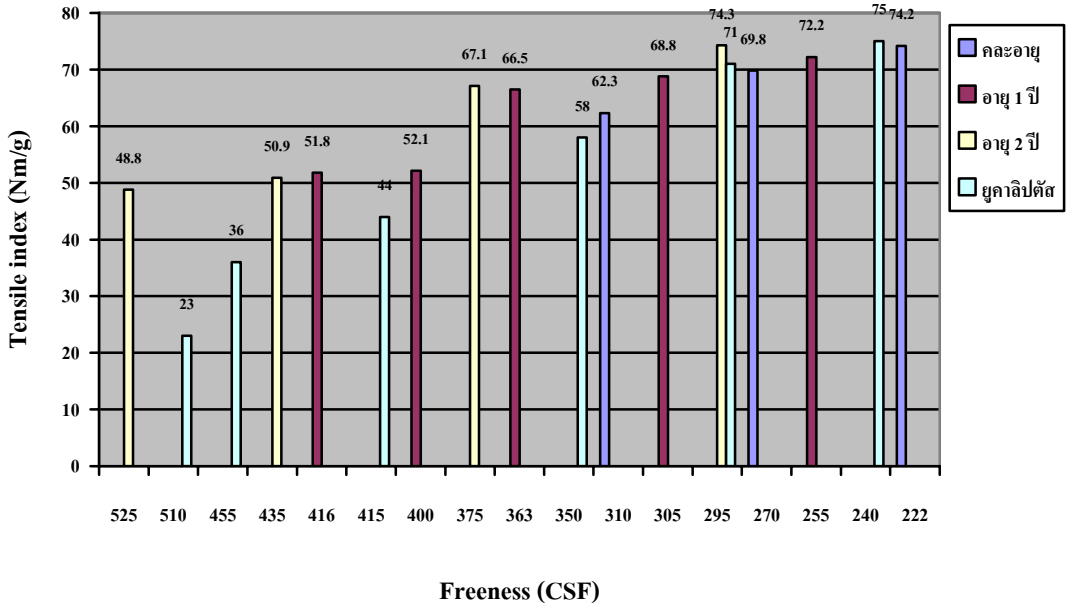
รูปที่ 2.50. เปรียบเทียบค่าTensile index แผ่นทดสอบเยื่อสบู่ดำไม่ฟอกส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส.

ตารางที่ 2.35. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส

Sample	Freeness,CSF	Description		
		Tear index (mN-m^2/g)	Burst index (kPa-m^2/g)	Tensile index (Nm/g)
	310	7.1	5.5	62.30
คละอายุ	270	7.3	6.1	69.8
	222	5.2	5.3	74.2
	416	5.82	3.27	51.80
	400	6.65	3.53	52.10
อายุ 1 ปี	363	6.67	4.11	66.50
	305	6.91	5.37	68.80
	255	6.84	5.85	72.2
	525	5.23	3.98	48.8
อายุ 2 ปี	435	6.12	4.79	50.9
	375	6.28	5.28	67.1
	295	6.60	5.93	74.3
	510	3.2	-	23
ยูคาลิปตัส	455	5.5	-	36
	415	6.7	-	44
	350	8.2	-	58
	295	8.9	-	71
	240	9.4	-	75



รูปที่ 2.51. เปรียบเทียบค่า Tear index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส.



รูปที่ 2.52. เปรียบเทียบค่า Tensile index แผ่นทดสอบเยื่อสปู่ดำฟอกจางสีส่วนต้นที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส.

3. การวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและรายละเอียดการทดลองผลิตเยื่อ ทั้งชนิดไม่ฟอก และฟอกจางสีจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง, ส่วนต้น และส่วนกิ่งผสมต้น ที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี, พร้อมกับทดสอบสมบัติของเยื่อทั้ง 3 อายุการปลูก เปรียบเทียบกับสมบัติเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน.

3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำ

โดยทั่วไป พืชต่างชนิด, ต่างสายพันธุ์ หรือแม้พืชชนิดและสายพันธุ์เดียวกัน แต่มีอายุ ขนาด และถิ่นกำเนิดที่ต่างกัน จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไป. เช่นเดียวกับไม้สบู่ดำที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาวิจัยนี้ แม้จะมีสายพันธุ์และถิ่นกำเนิดเดียวกัน, แต่ด้วยอายุการปลูกที่ต่างกัน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้มีความแตกต่างกันไปด้วย.

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้น (ทั้งต้น) ที่คละอายุการปลูกที่อายุ 1 และ 2 ปี และนำแต่ละส่วนของไม้แต่ละอายุการปลูกมาเปรียบเทียบกัน โดยเฉพาะการนำส่วนต้นของไม้ เทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเพื่อการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ตามที่แสดงไว้ในตาราง 2.1 – 2.4 จะเห็นความแตกต่างได้ดังนี้.

3.1.1 ปริมาณเถ้า

เถ้าจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีมีปริมาณร้อยละ 7.9, 10.4 และ 8.9, ตามลำดับ, สูงกว่าไม้อายุ 1 ปี ซึ่งมีปริมาณร้อยละ6.9, 8.7 และ7.6, ตามลำดับ. สำหรับไม้สบู่ดำคละอายุการปลูกที่นำเฉพาะส่วนต้นมาทำการศึกษา เมื่อเทียบปริมาณเถ้ากับส่วนต้นของไม้อายุ 1 และ 2 ปี รวมถึงไม้ยูคาลิปตัสแล้ว, จะเห็นว่า ไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีปริมาณเถ้าสูงสุดที่ร้อยละ 10.4, รองลงมาคือ ไม้ที่คละอายุการปลูก มีปริมาณเถ้าร้อยละ 9.2 และไม้อายุ 1 ปี มีปริมาณเถ้าร้อยละ 8.7. เมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัส (มีปริมาณเถ้าเพียงร้อยละ 0.6-0.8), ไม้สบู่ดำมีปริมาณเถ้าที่สูงกว่า. นั่นคือ ไม้สบู่ดำมีปริมาณเกลือแร่และสารอนินทรีย์ในเนื้อไม้สูงกว่าไม้ยูคาลิปตัสมาก.

3.1.2 การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน

การวิเคราะห์หาปริมาณแวกซ์, เรซิน, ไขมัน, สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ระเหย, สารคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ, เกลือแร่ชนิดต่างๆ รวมถึงสารอื่นๆ ในไม้สบู่ดำ, พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 1 ปี มีค่าการละลายของสารต่างๆ ดังกล่าวในแอลกอฮอล์และเบนซินอยู่ที่ร้อยละ 6.6, 4.5 และ5.9, ตามลำดับ, ซึ่งสูงกว่าไม้อายุ 2 ปี ที่มีค่าการละลายในแอลกอฮอล์และเบนซินร้อยละ 5.6, 4.0 และ4.8, ตามลำดับ. เมื่อนำส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูกมาเทียบกับส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุและไม้ยูคาลิปตัสแล้ว, จะพบว่า การละลายของสารต่างๆ ในแอลกอฮอล์และเบนซินของไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 1-2 มีค่าต่ำกว่าส่วนต้นของไม้อายุ 1 ปี (ร้อยละ 4.5), 2 ปี(ร้อยละ 4.0) และไม้ที่คละอายุการปลูก (ร้อยละ 3.8).

3.1.3 การละลายในน้ำร้อน

ค่าการละลายในน้ำร้อนแสดงถึงปริมาณแป้งที่ถูกเก็บสะสมในเนื้อไม้. ผลการวิเคราะห์พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี มีค่าการละลายในน้ำร้อนร้อยละ 26.6, 23.9 และ 25.8, ตามลำดับ, สูงกว่าค่าการละลายในน้ำร้อนของไม้อายุ 2 ปี ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 19.8, 14.2 และ14.6, ตามลำดับ. เมื่อนำค่าการละลายในน้ำร้อนส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูก เทียบกับค่าการละลายในน้ำร้อนส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุและของไม้ยูคาลิปตัส, พบว่า การละลายในน้ำร้อนของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี มีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 23.9, รองลงมาคือไม้คละอายุและไม้อายุ 2 ปี ซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 19.6 และ 14.2, ตามลำดับ. สำหรับไม้ยูคาลิปตัส เมื่อเทียบกับไม้สบู่ดำแล้วจะมีค่าการละลายในน้ำร้อนที่ต่ำกว่าคือที่ร้อยละ 6–10.

3.1.4 การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1

การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ของไม้ แสดงถึงแนวโน้มในการสลายของไม้ในด่าง. สารละลายด่างร้อนสามารถสกัดคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในเนื้อไม้หรือเส้นใย เป็นผลให้ปริมาณร้อยละของสารที่ละลายในด่างเพิ่มสูงขึ้น. กล่าวคือ ในระหว่างกระบวนการต้มหรือฟอก หลังจากที่ลิกนินถูกสลายด้วยด่างไปแล้ว, เซลลูโลสบางส่วนในเส้นใยจะถูกทำลายไปด้วย. การถูกทำลายของเซลลูโลสมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงและสมบัติอื่นๆ ของเยื่อ. ดังนั้น การหาค่าการละลายของไม้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงช่วยให้สามารถประมาณปริมาณของด่างที่จะใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อได้ง่ายและเร็วขึ้นได้.

จากการวิเคราะห์ค่าการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ของไม้สบู่ดำ พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 1 ปีมีค่าการละลายร้อยละ 51.4, 45.5 และ48.9, ตามลำดับ, สูงกว่าค่าการละลายในด่างของไม้อายุ 2 ปี ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 47.7, 34.6 และ 36.3, ตามลำดับ. เมื่อนำค่าการละลายในด่างส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูก เทียบกับค่าการละลายในด่างส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุและไม้ยูคาลิปตัส, พบว่า การละลายในด่างของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 45.5, รองลงมาคือไม้คละอายุและไม้อายุ 2 ปี ซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 44.1 และ 34.6, ตามลำดับ. สำหรับไม้ยูคาลิปตัส เมื่อเทียบกับไม้สบู่ดำ จะมีค่าการละลายในด่างที่ต่ำกว่า คือ อยู่ที่ร้อยละประมาณ 22 – 24.

3.1.5 เพนโตซาน

เฮมิเซลลูโลสในเนื้อไม้ ประกอบด้วยเพนโตซานและเฮกโซซาน. เฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้อแข็งมีเพนโตซานเป็นส่วนประกอบหลักอยู่ประมาณร้อยละ 19–25. สำหรับในไม้เนื้ออ่อนมีเพนโตซานประมาณร้อยละ 7–10. เส้นใยที่มีเพนโตซานเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง แสดงว่า มีเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่สูง ทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีความแข็งแรงดี.

ในการวิเคราะห์หาปริมาณเพนโตซานของไม้สบู่ดำ พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 2 ปีมีปริมาณเพนโตซานร้อยละ 17.1, 19.7 และ 18.6, ตามลำดับ, สูงกว่าปริมาณเพนโตซานของไม้อายุ 1 ปีซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 11.3, 14.8 และ 12.1. เมื่อเทียบปริมาณเพนโตซานในส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูก กับปริมาณเพนโตซานส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุและของไม้ยูคาลิปตัส, พบว่า ไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีมีปริมาณเพนโตซานสูงสุดที่ร้อยละ 19.7, รองลงมา คือ ไม้คละอายุ และไม้อายุ 1 ปี ซึ่งมีปริมาณเพนโตซานอยู่ที่ร้อยละ 16.7 และ 14.8, ตามลำดับ. สำหรับไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณเพนโตซานอยูที่ร้อยละ 14 – 16, ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่า ส่วนต้นของไม้อายุ 2 ปีมีแนวโน้มในการผลิตเยื่อที่มีความแข็งแรงดีกว่า, เยื่อที่ผลิตจากไม้คละอายุและไม้อายุ 1 ปี จะมีแนวโน้มในการผลิตเยื่อที่มีความแข็งแรง เทียบเคียงกับเยื่อที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส.

3.1.6 ลิกนิน

เนื้อไม้โดยทั่วไปประกอบด้วยลิกนินปริมาณร้อยละประมาณ 20–30. ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีผลต่อสี และสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้. ดังนั้น การหาปริมาณลิกนินในเนื้อไม้เป็นการค้นหาข้อมูลเบื้องต้น ในกระบวนการต้มและฟอกเยื่อที่มีคุณภาพ.

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินในเนื้อไม้สบู่ดำ พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีมีปริมาณลิกนินร้อยละ 17.1, 18.7 และ 18.4, ตามลำดับ, สูงกว่าปริมาณลิกนินของไม้อายุ 1 ปี ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 13.3, 14.7 และ 14.3, ตามลำดับ. เมื่อเทียบปริมาณลิกนินส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูกกับปริมาณลิกนินส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุและของไม้ยูคาลิปตัส, พบว่า ไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีมีปริมาณลิกนินต่ำสุดที่ร้อยละ 14.7, สูงขึ้นไป คือ ไม้คละอายุมีปริมาณร้อยละ 16.8, ไม้อายุ 2 ปีมีปริมาณร้อยละ 18.7 และไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณลิกนินสูงสุดที่ร้อยละ 26-28. ในพืชชนิดและสายพันธุ์เดียวกัน พืชที่อายุมากกว่าจะมีลิกนินสะสมในเนื้อไม้ในปริมาณสูงกว่า. สำหรับพืชต่างชนิด ระหว่างไม้สบู่ดำกับไม้ยูคาลิปตัส พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสมีสารลิกนินในปริมาณที่สูงกว่า.

3.1.7 โฮโลเซลลูโลส

เป็นสารพวกพอลิแซกคาไรด์ ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำ. ตามปกติ เฮมิเซลลูโลสจะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า และถูกไฮโดรไลส์โดยกรดได้ง่ายกว่าเซลลูโลส. โดยทั่วๆ ไปในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ, ต้องการวัตถุดิบที่มีโฮโลเซลลูโลสสูงและปริมาณลิกนินต่ำ เพื่อความสะดวกในการกำจัดสารลิกนินออกจากเยื่อ. โฮโลเซลลูโลสในเนื้อไม้ต่างชนิดกัน จะมีการตอบสนองต่อสารเคมีในกระบวนการผลิตเยื่อที่ต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตและคุณภาพของเยื่อที่ผลิตได้.

ผลวิเคราะห์ปริมาณโฮโลเซลลูโลสในไม้สบู่ดำ พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีมีโฮโลเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 62.5, 71.6 และ 63.6, ตามลำดับ, สูงกว่าปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไม้อายุ 1 ปีซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 54.8, 61.8 และ 59.8, ตามลำดับ. เมื่อเทียบปริมาณโฮโลเซลลูโลสส่วนต้นของไม้ทั้ง 2 อายุการปลูกกับปริมาณโฮโลเซลลูโลสส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุ, พบว่า ไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีโฮโลเซลลูโลสปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 71.6 และไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี รวมถึงไม้ที่คละอายุมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสที่เท่าเทียมกันคืออยู่ที่ปริมาณร้อยละ 61.8. โดยความเป็นจริงนั้น ไม้ที่อายุมากกว่าควรมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงกว่า, แต่เนื่องจากการคละอายุของไม้ ทำให้ไม้คละอายุมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสเฉลี่ยเทียบเคียงกับไม้อายุ 1 ปี ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของไม้ที่คละอายุว่ามีจำนวนอายุมากหรือจำนวนอายุน้อยอย่างไหนมากกว่ากัน. หากพบว่า มีไม้ที่อายุมากในจำนวนที่มากกว่า ปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไม้คละอายุจะสูงกว่าไม้อายุ 1 ปี, แต่หากในไม้คละอายุมีอัตราส่วนไม้อายุน้อยมากกว่า จะทำให้ไม้คละอายุมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสน้อยกว่าหรือเท่าเทียมกับไม้อายุ 1 ปี หรืออาจสูงกว่าเล็กน้อยขึ้นกับอายุไม้ที่คละอายุกันนั้น.

3.1.8 อัลฟาเซลลูโลส บีตาเซลลูโลส แกมมาเซลลูโลส

อัลฟาเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อ ปริมาณอัลฟาเซลลูโลสบ่งบอกถึงปริมาณเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในเยื่อ, มีสมบัติไม่สลายง่ายในสารละลายด่างความเข้มข้นร้อยละ 17.5. การหาปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสดำเนินการพร้อมกันโดยวิธีการไทเทรต. บีตาเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลสซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าอัลฟาเซลลูโลสจะถูกสลายในด่างความเข้มข้นร้อยละ 17.5. เมื่อทำสารละลายด่างให้เป็นกลางด้วยการเติมกรด, บีตาเซลลูโลสจะตกตะกอนและแยกตัวออกจากสารละลาย. ปริมาณบีตาเซลลูโลสจึงบ่งบอกถึงปริมาณเซลลูโลสที่สลายไปในสารละลายด่างความเข้มข้นร้อยละ 17.5. สำหรับแกมมาเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสอีกจำพวกหนึ่งที่ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่. หลังจากแยกตะกอนบีตาเซลลูโลสออกจากสารละลายที่ถูกทำให้เป็นกลางด้วยกรดแล้ว, แกมมาเซลลูโลสยังคงอยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งสามารถหาปริมาณได้ด้วยวิธีการไทเทรต.

ผลวิเคราะห์ปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสในเนื้อไม้สบู่ดำ, พบว่า ส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสร้อยละ 37.3, 10.7 และ 14.5, ตามลำดับ, สูงกว่าส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ซึ่งมีอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลส อยู่ปริมาณร้อยละ 32.7, 9.4 และ 11.4, ตามลำดับ. เมื่อเทียบปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสในส่วนต้นของไม้สบู่ดำทั้ง 2 อายุ กับไม้สบู่ดำที่คละอายุ, พบว่า ไม้อายุ 2 ปี มีปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสสูงสุด ที่ร้อยละ 39.6, 16.2 และ 15.8, ตามลำดับ. รองลงมาคือไม้คละอายุ ซึ่งมีปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสอยู่ที่ร้อยละ 37.3, 10.9 และ 13.6, ตามลำดับ และไม้อายุ 1 ปีมีปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสต่ำสุด ที่ร้อยละ 36.5, 10.7 และ 13.1, ตามลำดับ. ในกรณีของไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้น พบว่า ไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสร้อยละ 37.4, 11.4 และ14.7 สูงกว่าปริมาณอัลฟาเซลลูโลส, บีตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 35.3, 10.6 และ 12.7, ตามลำดับด้วย.

ในกระบวนการผลิตเยื่อที่ใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นเกินร้อยละ 17.5 ทั้งบีตาเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลสจะถูกสลายไปอยู่ในรูปสารละลาย คงเหลือแต่ส่วนของอัลฟาเซลลูโลสที่เป็นส่วนของเยื่อซึ่งสามารถนำมาผลิตกระดาษได้. อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารละลายด่างที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อ ควรใช้ในปริมาณที่พอเหมาะต่อการสกัดสารลิกนิน

และสารสกัดอื่นๆ ออกได้มาก และทำลายเส้นใยให้น้อยที่สุด, เนื่องจากปริมาณด่างที่มากหรือน้อยจนเกินไป จะมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพเยื่อ.

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ จึงเป็นการหาข้อมูลเบื้องต้นของไม้เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างไม้ต่างชนิดหรือไม้ชนิดเดียวกัน, ที่มีสายพันธุ์, ขนาด, อายุ และถิ่นกำเนิดต่างกัน. ใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำไม้นั้น มาใช้งานตามวัตถุประสงค์ และเป็นแนวทางในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น.

3.2 การเตรียมและคัดแยกตัวอย่างวัตถุดิบ

นอกจากการคัดแยกไม้สบู่ดำตามอายุการปลูกและตามส่วนต่างๆ ของต้นแล้ว, การเตรียมและคัดแยกวัตถุดิบตามขนาดชิ้นไม้ นับเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิตเยื่อ. ไม้สบู่ดำที่ผ่านการสับเป็นชิ้นจะมีขนาดใหญ่และเล็กปะปนกัน, จึงควรคัดแยกชิ้นไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาใช้ในการทดลองผลิตเยื่อ. ทั้งนี้ เนื่องจากการปะปนของไม้ที่ต่างขนาด จะทำให้การแทรกซึมสารละลายเคมีเข้าไปถึงชั้นในของชิ้นไม้ขนาดใหญ่ไม่ทั่วถึงเท่าชิ้นไม้ขนาดเล็ก ในขณะที่ทำการต้ม. เมื่อชิ้นไม้ผ่านกระบวนการต้มแล้ว เส้นใยจากไม้ชิ้นเล็กจะถูกทำลายจนแตกละเอียด, ในขณะที่เส้นใยของไม้ชิ้นใหญ่กว่ายังคงแข็งกระด้างและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย, ทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำและไม่สม่ำเสมอ เท่ากับเยื่อที่ผลิตขึ้นจากชิ้นไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน. ขั้นตอนการเตรียมและคัดแยกตัวอย่างวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 2.1 – 2.5.

3.3 การทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำ

การผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำในการศึกษานี้ เป็นการนำส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก อายุ 1 และ 2 ปี มาทดลองผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน. โดยตั้งเป้าหมายค่าแคปปานัมเบอร์ของเยื่อหลังผ่านกระบวนการต้มไว้ในช่วงระหว่าง 25–30 สำหรับเป็นตัวชี้วัดสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อและผลิตเยื่อชนิดฟอกจางสี ด้วยขั้นตอน CEPEP, ที่ให้ค่าความขาวสว่างระดับกระดาษถนอมสายตาที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน. ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2.5–2.13 และรูปที่ 2.6–2.18.

3.3.1 การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอก

การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกจากไม้คละอายุ

กระดาษพิมพ์เขียนที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ได้จากการนำส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัสมาผลิตเป็นเยื่อด้วยวิธีทางเคมี, แล้วนำเยื่อที่ผลิตได้ผสมกับสารเติมแต่ง เพื่อนำไปผลิตกระดาษที่มีสมบัติพอเหมาะต่อการนำไปใช้เป็นกระดาษพิมพ์เขียน. ดังนั้น การทดลองในเบื้องต้นจึงได้นำแต่ไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกมาผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาเพียงอย่างเดียว, โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ปริมาณร้อยละ 24 ถึงร้อยละ 34 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, อัตราส่วนน้ำกับไม้สบู่ดำคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 10 : 1 และ 8 : 1, เวลาในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็น 2 และ 3 ชั่วโมง. เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าแคปปานัมเบอร์ เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว, ผลการทดลองขั้นต้นสรุปได้ตามตารางที่ 2.5, พบว่า ในการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 ต่อ 1, เวลาในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็น 3 ชั่วโมง, จะให้ผลผลิตเยื่อปริมาณร้อยละ 35.05 ที่ค่าแคปปานัมเบอร์ 43.25. ที่สภาวะเดียวกัน แต่เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากปริมาณร้อยละ 24 ไปเป็นร้อยละ 26, 28, 30, 32 และ 34, ตามลำดับ, ทำให้ผลผลิตเยื่อที่ได้ลดลงจากร้อยละ 35.05 ไปเป็นร้อยละ 34.87, 34.14, 33.99, 32.75 และ 31.95, ตามลำดับ, และค่าแคปปานัมเบอร์ลดลงจาก 43.25 ไปเป็น 36.21, 35.66, 33.24, 31.48 และ 30.93, ตามลำดับ. จะเห็นว่า ต้องเพิ่มปริมาณความเข้มข้นสารละลายเคมีถึงร้อยละ 34 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง จึงจะได้ค่าแคปปานัมเบอร์ลดลงเหลือ 30.93, ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ค่อนข้างสูงมาก.

การใช้สารเคมีปริมาณสูง นอกจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว ยังเป็นการเพิ่มภาระการบริหารจัดการน้ำทิ้งที่ควบคู่กับกระบวนการผลิตเยื่อมากขึ้นอีกด้วย. ดังนั้น การทดลองจึงได้ดำเนินต่อไปโดยนำสารแอนทราควิโนนมาใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารแอนทราควิโนนนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับสารละลายเข้าในเนื้อไม้ และช่วยให้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ผลิตเยื่อลดลงไปได้.

เพื่อให้การทดลองดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จึงนำไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกมาทดลองผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน, โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, เวลาในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็น 3 ชั่วโมงเช่นเดียวกับผลสรุปการผลิตเยื่อ

ด้วยกรรมวิธีโซดา, ใช้สารแอนทราควิโนนในปริมาณคงที่ที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, แต่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ปริมาณร้อยละ 22 ไปจนถึงร้อยละ 34. ผลการทดลองตามตารางที่ 2.6 เทียบกับตารางที่ 2.5, พบว่า เมื่อใช้สารแอนทราควิโนนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และสภาวะการต้มเยื่อเดียวกันกับการต้มเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดานั้น, สารแอนทราควิโนนสามารถลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ลงได้ถึงประมาณร้อยละ 10 ที่ค่าแคปปานัมเบอร์ระดับเดียวกัน และให้ผลผลิตเยื่อที่สูงกว่า. กล่าวคือ ที่สภาวะการผลิตเดียวกัน (อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้ง, อุณหภูมิ และเวลาการต้มเยื่อเดียวกัน), การผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงร้อยละ 34 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง จึงจะได้เยื่อที่ให้ค่าแคปปานัมเบอร์ที่ 30.93 และผลผลิตเยื่อที่ร้อยละ 31.95 (ตารางที่ 2.5) เทียบกับการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน. เมื่อเติมสารแอนทราควิโนนเพียงปริมาณร้อยละ 0.1 ลงไปใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงปริมาณร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, สามารถผลิตเยื่อที่ให้ค่าแคปปานัมเบอร์ระดับเดียวกันที่ 30.67 และให้ผลผลิตเยื่อสูงกว่า คือ ที่ปริมาณร้อยละ 33.82 ได้ (ตารางที่ 2.6).

ไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก เป็นแปลงไม้ที่มีไม้สบู่ดำต่างอายุอยู่รวมกันหลายอายุและหลายรุ่น. การสุ่มตัวอย่างชิ้นไม้สบู่ดำที่ผ่านการสับชิ้นเพื่อใช้ในการทดลอง จึงอาจมีชิ้นไม้ที่มีอายุการปลูกมากหรือน้อยแต่ละครั้งไม่เท่าเทียมกัน ซึ่งจะมีผลต่อสภาวะการต้ม, ผลผลิต, ค่าแคปปานัมเบอร์ และคุณภาพของเยื่อ. ดังนั้น เพื่อให้สภาวะการผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก ได้ครอบคลุมค่าแคปปานัมเบอร์ตามเป้าหมายที่กำหนดในช่วงระหว่าง 25–30, จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกจากผลทดลองตามตารางที่ 2.6 ไว้ที่ความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 26 และ 0.1, ตามลำดับ, ใช้อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ซึ่งจะได้ผลผลิตเยื่อและค่าแคปปานัมเบอร์ในช่วงระหว่าง 30.21–32.26 และ 26.33–29.98, ตามลำดับ.

การทดลองผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกจากไม้สบู่ดำในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นสภาวะการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนนของไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกเพียงอย่างเดียว, ซึ่งให้ค่าแคปปานัมเบอร์ในช่วงระหว่าง 25–30 ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้. แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณส่วนกิ่งที่เกิดจากการตัดทิ้ง เพื่อนำแต่ส่วนต้นมาใช้งานหรือเกิดจากการตัดแต่ง เพื่อการเพิ่มช่อดอกและผล นับว่ามีอยู่เป็นจำนวนมาก. ดังนั้น ในการทดลองผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 1 และ 2 ปี จึงได้นำ

ส่วนกิ่ง, ส่วนต้น และส่วนกิ่งผสมต้น, มาใช้ในการทดลองผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีเดียวกัน. ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอายุและส่วนต่างๆ ของไม้ที่ใช้ผลิตเยื่อ. ผลทดลองแสดงตามตารางที่ 2.7 – 2.12.

การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกจากไม้อายุ 1 ปี

การผลิตเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีได้ทำการแยกส่วนกิ่งและส่วนต้นออกจากกัน, แล้วหาอัตราส่วนระหว่างกิ่งกับต้น เพื่อหาปริมาณกิ่งและต้นที่ต้องใช้ในการทดลองผลิตเยื่อจากส่วนกิ่งผสมต้นในแต่ละครั้งตามที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.2.2 (การเตรียมและคัดแยกตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อใช้ทดลองผลิตเยื่อ). ดังนั้น ในการทดลองจึงแบ่งวัตถุดิบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนกิ่ง, ส่วนต้น และส่วนกิ่งผสมต้น. จากนั้น นำวัตถุดิบทั้ง 3 ส่วนมาทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนน โดยดำเนินการเช่นเดียวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก. ในเบื้องต้นได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากส่วนกิ่ง โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์จากปริมาณร้อยละ 28 ลงมาจนถึงร้อยละ 20 และให้ปริมาณสารแอนทราควิโนนคงที่ไว้ที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเป็น 8 : 1, ทำการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 170 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง. ผลการทดลองตามตารางที่ 2.7 พบว่า การต้มไม้สบู่ดำส่วนกิ่งที่ความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับของน้ำหนักไม้สบู่ดำแห้ง. จะได้เยื่อที่มีผลผลิตระหว่างร้อยละ 35.66–38.14 และค่าแคปปานัมเบอร์ระหว่าง 24.25–28.84 ตามเป้าหมาย. หากพิจารณาปริมาณสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้สูงเกินร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้แห้งแล้ว (ร้อยละ 26) จะเห็นว่า แม้ได้เยื่อที่ให้ค่าแคปปานัมเบอร์ต่ำที่ 22.52, แต่จะส่งผลถึงผลผลิตเยื่อต่ำที่ 35.12 ตามปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงขึ้น. นอกจากนี้ ปริมาณสารเคมีที่สูงเกินพอต่อการต้มเยื่อที่ละลายปนไปกับน้ำทิ้ง ต้องทำการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ, จึงสามารถแก้ปัญหาสภาพแวดล้อมอันเกิดจากน้ำเสียได้. ขณะเดียวกัน การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้แห้ง (ร้อยละ 22) แม้ให้ผลผลิตเยื่อโดยรวมที่สูงกว่า (ร้อยละ 38.86), แต่จะให้ค่าแคปปานัมเบอร์ที่สูงเกินเป้าหมายกำหนด (31.23) เช่นกัน. จึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี คือ ที่ค่าความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับของน้ำหนักไม้แห้ง, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.

ทำนองเดียวกัน ผลการทดลองตามตารางที่ 2.8 และ 2.9, พบว่า ส่วนต้นและกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี มีสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อเดียวกัน, ที่ค่าความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับของน้ำหนักไม้แห้ง, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อของส่วนต้นและส่วนกิ่งผสมต้นระหว่างร้อยละ 36.68–39.37 และ 33.01–38.82, ตามลำดับ และค่าแคปปานัมเบอร์ระหว่าง 26.52–30.29 และ 26.3–28.85, ตามลำดับ.

การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกจากไม้อายุ 2 ปี

การผลิตเยื่อชนิดไม่ฟอกจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นจากไม้อายุ 2 ปี ดำเนินการเช่นเดียวกับส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นจากไม้อายุ 1 ปี. ผลการทดลองตามตารางที่ 2.10-2.12 พบว่า ส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นจากไม้อายุ 2 ปี มีสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อเดียวกัน ที่ค่าความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับของน้ำหนักไม้แห้ง, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อของส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นระหว่างร้อยละ 37.01–39.12, 38.11–40.03 และ 38.05–40.80, ตามลำดับ และค่าแคปปานัมเบอร์ระหว่าง 26.45–29.55, 27.34–30.41 และ 27.30–30.58, ตามลำดับ.

นำผลผลิตและค่าแคปปานัมเบอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ ตามตารางที่ 2.6 -2.12 มาหาค่าเฉลี่ยและทำการสรุปผลการทดลองผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนนจากไม้สบู่ดำที่คละอายุ อายุ 1 และ 2 ปี ไว้ตามตารางที่ 2.13, ดังนี้ :

- การผลิตเยื่อจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำคละอายุการปลูก มีสภาวะที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 26 และ 0.1, ตามลำดับ, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 30.98 และค่าแคปปานัมเบอร์ที่ 28.10.

- การผลิตเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี มีสภาวะที่เหมาะสมเดียวกันที่ความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับ, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 37.00, 37.55 และ 36.43 และค่าแคปปานัมเบอร์ที่ 26.50, 28.48 และ 27.30, ตามลำดับ.

- การผลิตเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีสภาวะที่เหมาะสมเดียวกัน ที่ความเข้มข้นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 24 และ 0.1, ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 37.87, 39.27 และ 39.80, ตามลำดับ และค่าแคปปานัมเบอร์ที่ 27.79, 28.97 และ 29.24, ตามลำดับ.

จะเห็นว่า ที่ค่าแคปปานัมเบอร์ระดับเดียวกัน การผลิตเยื่อจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำคละอายุ (แคปปานัมเบอร์ 28.10) ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณร้อยละ 26 และ 0.1 ของน้ำหนักไม้แห้ง, ในขณะที่ไม้อายุ 1 ปี (แคปปานัมเบอร์ 28.48) และ 2 ปี (แคปปานัมเบอร์ 28.97) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแอนทราควิโนนปริมาณเท่ากันที่ร้อยละ 24 และ 0.1 ของน้ำหนักไม้แห้ง ตามลำดับ, อัตราส่วนน้ำต่อไม้สบู่ดำแห้งเท่ากับ 8 : 1, ทำการต้มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง. โดยไม้อายุ 2 ปี จะให้ผลผลิตเยื่อสูงสุดที่ปริมาณร้อยละ 39.27, รองลงมาคือไม้อายุ 1 ปี ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อปริมาณร้อยละ 37.55 และไม้คละอายุให้ผลผลิตต่ำสุดที่ปริมาณร้อยละ 30.98. ทั้งนี้ สาเหตุอาจเนื่องจากความแตกต่างกันมากของอายุไม้ในไม้คละอายุ ที่ทำให้ต้องใช้สารเคมีปริมาณสูงกับการต้มเยื่อจากไม้ที่อายุมาก. ในขณะเดียวกันสารเคมีปริมาณสูงจะเข้าทำลายเส้นใยในไม้อายุน้อย เป็นผลให้ไม้คละอายุมีผลผลิตเยื่อที่ต่ำกว่าไม้อายุ 1 และ 2 ปี.

สำหรับเยื่อที่ผลิตจากส่วนกิ่งและกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 และ 2 ปี ที่ใช้ความเข้มข้นสารเคมีและสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเดียวกัน, พบว่า เยื่อส่วนกิ่งของไม้อายุ 2 ปี ให้ผลผลิตเยื่อ (ร้อยละ 37.87) และค่าแคปปานัมเบอร์ (27.79) สูงกว่าเยื่ออายุ 1 ปี (ผลผลิตเยื่อร้อยละ 37.00 และค่าแคปปานัมเบอร์ 26.50). ในทำนองเดียวกัน ยังพบว่า เยื่อส่วนกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 2 ปี ให้ผลผลิตเยื่อ (ร้อยละ 39.80) และค่าแคปปานัมเบอร์ (29.24) สูงกว่าเยื่ออายุ 1 ปี (ผลผลิตเยื่อร้อยละ 36.43 และค่าแคปปานัมเบอร์ 27.30) เช่นเดียวกัน.

ผลการทดลองจากตารางที่ 2.5–2.13 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อ เป็นปฏิภาคผกผันกับค่าแคปปานัมเบอร์และผลผลิตเยื่อ. กล่าวคือ เมื่อใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณสูง เยื่อที่ผลิตได้จะให้ค่าแคปปานัมเบอร์และผลผลิตเยื่อต่ำ. เมื่อลดปริมาณการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้น้อยลง จะทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีค่าแคปปานัมเบอร์และผลผลิตเยื่อที่สูงขึ้น ตามปริมาณความเข้มข้นของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่

ลดลงด้วย. ดังนั้น การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากไม้ชนิดใด ควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมี, ค่าแคปปานัมเบอร์ และผลผลิตเยื่อควบคู่กันไปด้วย.

3.3.2 การผลิตเยื่อชนิดฟอกจางสี

เยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีโซดาแอนทราควิโนนจากส่วนต้นของไม้คละอายุและที่ผลิตจากส่วนกิ่งต้นและกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 1 และ 2 ปี มีค่าแคปปานัมเบอร์อยู่ในช่วงเดียวกันระหว่าง 25–30 ตามเป้าหมายที่กำหนด และด้วยค่าแคปปานัมเบอร์ในช่วงเดียวกัน. จึงสามารถฟอกจางสีเยื่อที่ผลิตได้ในแต่ละส่วน แต่ละอายุด้วยกรรมวิธีและขั้นตอน CEPEP เดียวกัน, ทำให้ได้เยื่อฟอกจางสีที่มีค่าความขาวสว่างใกล้เคียงกันในระดับกระดาษถนอมสายตา (opacity 90.06%, brightness 77.44%) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน.

3.4 สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อ

เยื่อชนิดไม่ฟอกและเยื่อฟอกจางสีจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำคละอายุและส่วนกิ่ง, ต้น, กิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 และ 2 ปี นำมาตีให้ได้ค่าความอุ้มน้ำระดับต่างๆ, แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHODS T 205om - 88 และทดสอบสมบัติของแผ่นเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI TEST METHOD T 403 cm – 85 (ความต้านทานแรงดันทะลุ), T 404 cm - 87 (ความต้านทานแรงดึง), T 414 cm - 88 (ความต้านทานแรงฉีกขาด), T 425 cm – 86 (ความทึบแสง) และ T 452 cm – 87 (ความขาวสว่าง), ได้ผลทดสอบตามตารางที่ 2.14–2.35 และรูปที่ 2.30-2.52.

3.4.1 ผลทดสอบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอก

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอกคละอายุ

ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา ไม้สบู่ดำคละอายุได้ทำการทดลองผลิตเยื่อจากส่วนต้นของไม้เพียงอย่างเดียว. ดังนั้น ในการทดสอบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อคละอายุ จึงทดสอบเฉพาะแผ่นเยื่อที่ผลิตจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำเท่านั้น. ผลการทดสอบตามตารางที่ 2.14 พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำ 250 CSF, แผ่นทดสอบเยื่อส่วนต้นชนิดไม่ฟอกจากไม้คละอายุ ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 7.1 mN-m^2/g, 5.3 kPa-m^2/g และ 75.6 Nm/g, ตามลำดับ. แต่เนื่องจากเป็นเยื่อชนิดไม่ฟอกจึงให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 27.92 และ 98.48, ที่ค่าความอุ้มน้ำที่ 275 CSF และ 295 CSF, ตามลำดับ.

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอกอายุ 1 ปี

แผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอกอายุ 1 ปี ขึ้นรูปด้วยเยื่อที่ผลิตจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำ. ในการทดสอบสมบัติของเยื่อ จึงแบ่งแผ่นทดสอบเยื่อออกตามส่วนของไม้. ผลการทดสอบตามตารางที่ 2.16 พบว่า ส่วนกิ่งของไม้อายุ 1 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุดที่ 6.22 mN-m^2/g ที่ค่าความอุ้มน้ำ 251 CSF และให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 5.01 kPa-m^2/g และ 72.8 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 221 CSF. สำหรับความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดของแผ่นเยื่ออยู่ที่ร้อยละ 28.4 และ99.6, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 398 CSF.

ในขณะเดียวกัน ผลทดสอบเยื่อไม่ฟอกส่วนต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ตามตารางที่ 2.17 แสดงให้เห็นว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำ 273 CSF, แผ่นเยื่อให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุดที่ 6.13 mN-m^2/g และให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ, ความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 4.99 kPa-m^2/g และ 74.8 Nm/g ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 219 CSF. โดยมีความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 28.55 และ100.0, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 441 CSF.

สำหรับแผ่นเยื่อไม่ฟอกส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ตามผลทดสอบในตารางที่ 2.18 พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำ 316 CSF, แผ่นเยื่อให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุดที่ 6.40 mN-m^2/g และที่ค่าความอุ้มน้ำ 238 CSF จะให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 4.77 kPa-m^2/g และ 73.6 Nm/g, ตามลำดับ. โดยให้ความขาวสว่าง และความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 27.9 และ99.7, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 395 CSF.

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอกอายุ 2 ปี

ไม้อายุ 2 ปีทำการทดลองผลิต, ขึ้นรูป และทดสอบแผ่นเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นเช่นเดียวกับไม้อายุ 1 ปี. ผลทดสอบตามตารางที่ 2.22 พบว่า ส่วนกิ่งของไม้อายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 6.36 mN-m^2/g, 5.0**6** kPa-m^2/g และ 72.1 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 285 CSF และที่ค่าความอุ้มน้ำ 335 และ 480 CSF จะให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงของแผ่นเยื่อสูงสุดที่ร้อยละ 26.86 และ 99.04, ตามลำดับ.

กรณีแผ่นทดสอบเยื่อส่วนต้นตามตารางที่ 2.23 พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำ 300 CSF, ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 6.56 mN-m^2/g, 5.37 kPa-m^2/g และ 75.2 Nm/g, ตามลำดับ และที่ค่าความอุ้มน้ำ 395 และ 505 CSF จะให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 27.87 และ 99.24, ตามลำดับ.

ขณะเดียวกันตารางที่ 2.24 ยังแสดงให้เห็นด้วยว่า แผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกส่วนกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 6.41 mN-m^2/g, 5.16 kPa-m^2/g และ 73.4 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 290 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงของแผ่นเยื่อสูงสุดที่ร้อยละ 27.86 และ 99.09, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำ 335 และ 480 CSF, ตามลำดับ เช่นเดียวกัน.

3.4.2 ผลทดสอบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสี

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสีคละอายุ

เยื่อชนิดฟอกจางสีคละอายุ ได้ทำการทดลองผลิต และทดสอบแผ่นเยื่อเฉพาะส่วนต้นของไม้ เช่นเดียวกับเยื่อชนิดไม่ฟอกคละอายุ. ผลทดสอบตามตารางที่ 2.15 พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำ 270 CSF, ความต้านทานแรงฉีกขาดและความต้านทานแรงดันทะลุสูงสุดของแผ่นเยื่ออยู่ที่ 7.3 mN-m^2/g และ 6.1 kPa-m^2/g, ตามลำดับ. โดยมีความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 74.2 Nm/g เมื่อความอุ้มน้ำอยู่ที่ 222 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 79.6 และ 90.01, ตามลำดับ, ที่ค่าความอุ้มน้ำ 310 CSF.

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสีอายุ 1 ปี

เยื่อฟอกจางสีจากไม้สบู่ดำอายุ 1 และ 2 ปี ได้ทำการทดลองผลิต, ขึ้นรูป และทดสอบแผ่นเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 1 และ 2 ปี เช่นเดียวกับเยื่อชนิดไม่ฟอก. โดยตารางที่ 2.19 แสดงให้เห็นว่า เยื่อส่วนกิ่งของไม้อายุ 1 ปีให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 6.55 mN-m^2/g, 5.68 kPa-m^2/g และ 71.4 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 234 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 80.7 และ 75.2, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 413 CSF.

สำหรับสมบัติเยื่อส่วนต้นของไม้อายุ 1 ปี ตามตารางที่ 2.20 พบว่า แผ่นทดสอบเยื่อให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุดที่ 6.91 mN-m^2/g ที่ความอุ้มน้ำ 305 CSF และให้ค่าความ

ต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 5.85 kPa-m^2/g และ 72.2 Nm/g, ตามลำดับ ที่ความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 255 CSF. โดยให้ความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 78.7 และ 90.0 ที่ความอุ้มน้ำ 416 และ 400 CSF, ตามลำดับ.

จากตาราง 2.21 พบว่า เยื่อส่วนกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 1 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุดที่ 6.88 mN-m^2/g ที่ความอุ้มน้ำ 307 CSF และให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 5.24 kPa-m^2/g และ 69.8 Nm/g, ตามลำดับ ที่ความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 262 CSF. โดยให้ความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 79.8 และ 92.6, ตามลำดับ ที่ความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 435 CSF.

สมบัติแผ่นทดสอบเยื่อชนิดฟอกจางสีอายุ 2 ปี

ทำนองเดียวกับเยื่อฟอกจางสีอายุ 1 ปี ผลทดสอบแผ่นเยื่อฟอกจางสีตามตารางที่ 2.25 พบว่า ส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ให้เยื่อที่มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 6.48 mN-m^2/g, 5.75 kPa-m^2/g และ 71.5 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 290 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 80.2 และ 82.6, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 510 CSF.

สำหรับสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีส่วนต้นของไม้อายุ 2 ปีตามตารางที่ 2.26 พบว่า แผ่นทดสอบเยื่อให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 6.60 mN-m^2/g, 5.93 kPa-m^2/g และ 74.3 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 295 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 79.15 และ 89.9, ตามลำดับที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 525 CSF เช่นเดียวกัน.

เมื่อพิจารณาถึงความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงของแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีส่วนกิ่งผสมต้นของไม้อายุ 2 ปี ในตารางที่ 2.27, จะเห็นว่า มีค่าสูงสุดที่ 6.40 mN-m^2/g, 5.84 kPa-m^2/g และ 72.8 Nm/g, ตามลำดับ ที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 285 CSF และให้ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงสูงสุดที่ร้อยละ 79.7 และ 91.3, ตามลำดับที่ค่าความอุ้มน้ำเดียวกันที่ 515 CSF.

ตารางที่ 2.14–2.27 เป็นผลทดสอบแผ่นเยื่อที่ได้จากส่วนกิ่ง, ส่วนต้น หรือส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำแต่ละอายุการปลูก. การที่จะนำส่วนใดหรืออายุใดของไม้สบู่ดำที่ได้ทำการทดลองไปแล้วนั้นมาใช้ผลิตเยื่อที่มีคุณภาพ จำเป็นต้องพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อที่ทดลองผลิต. ดังนั้น หัวข้อที่จะกล่าวถึงต่อไป จึงเป็นการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อทั้งชนิดไม่ฟอกและฟอกจางสีที่ผลิตจากไม้สบู่ดำส่วนเดียวกัน, แต่ต่างกันที่อายุการปลูก. ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2.28–2.35 และรูปที่ 2.30–2.52.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี

ในการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อ จะเลือกเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อที่ค่าความอุ้มน้ำใกล้เคียงกัน. เมื่อพิจารณาผลทดสอบตามตารางที่ 2.28 และรูปที่ 2.30–2.32 จะเห็นว่า ค่าความอุ้มน้ำที่ 285 CSF ของแผ่นทดสอบเยื่อส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นทดสอบเยื่อส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีที่ค่าความอุ้มน้ำ 281 CSF, พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำระดับเดียวกันแผ่นเยื่อไม่ฟอกส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงที่ 6.36 mN-m^2/g, 5.06 kPa-m^2/g และ 72.10 Nm/g, ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าต่างๆ ดังกล่าวสูงกว่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงที่ 6.18 mN-m^2/g, 4.38 kPa-m^2/g และ 69.6 Nm/g, ตามลำดับ ของแผ่นเยื่อไม่ฟอกส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอก ระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกอายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อไม่ฟอกส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัส

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า การผลิตกระดาษพิมพ์เขียนทั่วไปในปัจจุบัน เป็นการนำส่วนลำต้นของไม้ยูคาลิปตัสมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ เพื่อผลิตกระดาษพิมพ์เขียน. ดังนั้น ในการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อไม่ฟอกของไม้สบู่ดำส่วนต้น, จึงได้นำผลทดสอบและเปรียบเทียบจากตารางที่ 2.29 และรูปที่ 2.33-2.35 มาเปรียบเทียบกับสมบัติแผ่นเยื่อไม่ฟอกของไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ. ผลเปรียบเทียบที่แสดงในตาราง 2.34 และรูปที่ 2.48-2.50, พบว่าที่ค่าความอุ้มน้ำระดับเดียวกัน (ค่าความอุ้มน้ำของไม้สบู่ดำคละอายุ, อายุ 1 ปี, อายุ 2 ปี และไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ 295, 325, 300 และ 319 CSF, ตามลำดับ), แผ่นเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตกระดาษพิมพ์เขียนให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 7.9 mN-m^2/g สูงกว่าเยื่อจากไม้สบู่ดำคละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี. เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเยื่อระหว่างไม้สบู่ดำด้วยกัน, พบว่า เยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 6.56 mN-m^2/g สูงกว่าเยื่อจากไม้อายุ 1 ปี, ซึ่งให้ค่าความต้านทาน

แรงฉีกขาดที่ 6.09 mN-m^2/g และเยื่อจากไม้คละอายุให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดต่ำสุดที่ 5.60 mN-m^2/g.

กรณีความต้านทานแรงดันทะลุ พบว่า เยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีให้ค่าสูงสุดที่ 5.37 kPa-m^2/g, รองลงมาคือ เยื่อจากไม้คละอายุ ซึ่งให้ค่าเทียบเคียงกับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสที่ 4.80 และ 4.70 kPa-m^2/g, ตามลำดับ และเยื่อจากไม้อายุ 1 ปีให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุต่ำสุดที่ 4.11 kPa-m^2/g.

สำหรับความต้านทานแรงดึง พบว่า เยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีให้ค่าสูงสุดที่ 75.20 Nm/g, รองลงมาคือ เยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 72.0 Nm/g และเยื่อจากไม้อายุ 1 ปี และไม้คละอายุจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงเทียบเคียงกันที่ 67.9 และ 67.5 Nm/g, ตามลำดับ.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อไม่ฟอกระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 1 และ 2 ปี

ตารางที่ 2.30 และรูปที่ 2.36 – 2.38 แสดงให้เห็นว่า ค่าความอุ้มน้ำที่ระดับเดียวกันของเยื่อไม่ฟอกจากไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ที่ 316 CSF และอายุ 2 ปี ที่ 315 CSF, พบว่า แผ่นเยื่อไม่ฟอกส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 6.29 mN-m^2/g. ค่าที่ได้จะต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 1 ปี ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 6.40 mN-m^2/g. สำหรับความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึง พบว่า เยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่ 4.86 kPa-m^2/g และความต้านทานแรงดึงที่ 66.10 Nm/g สูงกว่าเยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 1 ปี ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงที่ 4.01 kPa-m^2/g และ 63.0 Nm/g, ตามลำดับ.

จากการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อไม่ฟอกตามส่วนและอายุของไม้สบู่ดำตามตารางที่ 2.28-2.30 และเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อที่ผลิตจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำและไม้ยูคาลิปตัสตามตารางที่ 2.34, สามารถกล่าวโดยรวมได้ว่า เส้นใยส่วนกิ่งที่ใช้ผลิตเยื่อของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีให้ความแข็งแรงไม่เพียงพอต่อการนำมาผลิตเยื่อ. ในขณะเดียวกัน เยื่อจากส่วนกิ่งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่และเส้นใยที่แข็งแรงกว่าของไม้อายุ 2 ปี ให้สมบัติของแผ่นเยื่อที่ดีขึ้นเล็กน้อย, แต่ความแข็งแรงของเส้นใยจากส่วนกิ่งของไม้ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาผลิตเยื่อ เพื่อผลิตกระดาษ. เมื่อพิจารณาสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อจากส่วนต้นที่ผลิตจากไม้สบู่ดำ พบว่า แม้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นเยื่อจากไม้สบู่ดำที่คละอายุและอายุ 2 ปี จะต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบ

เยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส, แต่ให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงที่เทียบเคียงกัน. สำหรับแผ่นทดสอบเยื่อจากไม้อายุ 1 ปีนั้น ยังให้สมบัติด้านความแข็งแรงที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส. อย่างไรก็ตาม แผ่นทดสอบเยื่อจากไม้คละอายุอาจให้สมบัติแผ่นเยื่อที่สูง หรือต่ำกว่าค่าที่แสดงในตารางเปรียบเทียบได้ ในกรณีที่ไม้คละอายุมีสัดส่วนของไม้อายุมากและน้อยแตกต่างจากตัวอย่างไม้คละอายุที่นำมาใช้ในการทดลอง. ดังนั้น หากต้องการสมบัติแผ่นเยื่อที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, ควรหลีกเลี่ยงการใช้ไม้ต่างอายุ, โดยทำการวางแผนและติดตามระยะเวลาการปลูกไม้สบู่ดำแต่ละรุ่นเพื่อใช้ในการผลิตเยื่อด้วย. ในกรณีของแผ่นทดสอบเยื่อที่ผลิตจากส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำ พบว่า ไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง ซึ่งมีความแข็งแรงของเส้นใยน้อย ผสมกับส่วนต้นที่มีเส้นใยแข็งแรงกว่า, เมื่อนำมาผลิตเยื่อจะทำให้ค่าความแข็งของเยื่อลดลง เมื่อเทียบกับการใช้เฉพาะส่วนของต้นเพียงอย่างเดียว. ดังนั้น หากต้องการนำส่วนกิ่งมาใช้ร่วมกับส่วนต้นในการผลิตเยื่อ จึงต้องพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรืออายุการปลูกของไม้เพิ่มขึ้นด้วย.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี

ค่าความอุ้มน้ำที่ใกล้เคียงกันของแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีที่ผลิตจากไม้สบู่ดำส่วนกิ่งอายุ 1 และ 2 ปี ตามตารางที่ 2.31 (รูปที่ 2.39–2.41) อยู่ที่ 276 และ 290 CSF, ตามลำดับ. ในการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อ พบว่า แผ่นเยื่อฟอกจางสีส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงที่ 6.48 mN-m^2/g, 5.75 kPa-m^2/g และ 71.5 Nm/g, ตามลำดับ, ซึ่งสูงกว่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาด, ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงดึงที่ 6.21 mN-m^2/g, 5.19 kPa-m^2/g และ 68.0 Nm/g, ตามลำดับ ของแผ่นเยื่อฟอกจางสีส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสี ระหว่างไม้สบู่ดำส่วนต้นที่คละอายุการปลูกอายุ 1 และ 2 ปี กับเยื่อฟอกจางสีส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัส

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีของไม้สบู่ดำส่วนต้น กับเยื่อฟอกจางสีส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัส ดำเนินการโดยนำผลทดสอบและเปรียบเทียบจากตารางที่ 2.32 และรูปที่ 2.42–2.44 มาเปรียบเทียบกับสมบัติแผ่นเยื่อฟอกจางสีของไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ. ผลเปรียบเทียบที่แสดงในตาราง 2.35 และรูปที่ 2.51–2.52, พบว่า ที่ค่าความอุ้มน้ำระดับเดียวกัน (ค่าความอุ้มน้ำของไม้สบู่ดำคละอายุ, อายุ 1 ปี, อายุ 2 ปี และไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ 310, 305, 295 และ 295 CSF, ตามลำดับ), แผ่นเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตกระดาษพิมพ์เขียนให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 8.9 mN-m^2/g, สูงกว่าเยื่อจากไม้สบู่ดำคละอายุ, อายุ 1 และ 2 ปี. เมื่อ

เปรียบเทียบสมบัติเยื่อระหว่างไม้สบู่ดำด้วยกัน พบว่า เยื่อจากไม้คละอายุให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 7.1 mN-m^2/g, สูงกว่าเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 1 ปี ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 6.91 mN-m^2/g และเยื่อจากไม้อายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดต่ำกว่าเล็กน้อยที่ 6.60 mN-m^2/g.

กรณีความต้านทานแรงดันทะลุของแผ่นทดสอบเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส ไม่ปรากฏข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบในตาราง, แต่พบว่า เยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีให้ค่าสูงสุดที่ 5.93 kPa-m^2/g, ลำดับรองลงมาคือ เยื่อจากไม้คละอายุ ซึ่งให้ค่าเทียบเคียงกับเยื่อจากไม้อายุ 1 ปีที่ 5.50 และ 5.37 kPa-m^2/g, ตามลำดับ.

สำหรับความต้านทานแรงดึง พบว่า เยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีให้ค่าสูงสุดที่ 74.30 Nm/g, รองลงมาคือ เยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 71.0 Nm/g, สูงกว่าเยื่อจากไม้อายุ 1 ปี ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 68.80 Nm/g และไม้คละอายุจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดที่ 62.30 Nm/g.

การเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อฟอกจางสีระหว่างไม้สบู่ดำส่วนกิ่งผสมต้นอายุ 1 และ 2 ปี

ตารางที่ 2.33 และรูปที่ 2.45 – 2.47 แสดงให้เห็นว่า ค่าความอุ้มน้ำที่ระดับใกล้เคียงกันของเยื่อจากไม้สบู่ดำอายุ 1 ปีที่ 262 CSF และอายุ 2 ปีที่ 285 CSF, พบว่า แผ่นเยื่อฟอกจางสีส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำอายุ 2 ปีให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดที่ 6.40 mN-m^2/g, ค่าที่ได้จะต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 1 ปี ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 6.83 mN-m^2/g. สำหรับความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึง, พบว่า เยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 2 ปี ให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่ 5.84 kPa-m^2/g และความต้านทานแรงดึงที่ 72.80 Nm/g, สูงกว่าเยื่อที่ผลิตจากไม้อายุ 1 ปี ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงที่ 5.24 kPa-m^2/g และ 69.8 Nm/g, ตามลำดับ.

เยื่อฟอกจางสี ได้จากการนำเยื่อชนิดไม่ฟอกมาผ่านกระบวนการฟอกด้วยสารเคมีหลายขั้นตอน ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ, ทำให้สมบัติของเยื่อฟอกจางสีต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับเยื่อชนิดไม่ฟอก. ในการเปรียบเทียบสมบัติแผ่นเยื่อฟอกจางสีตามส่วนและอายุของไม้สบู่ดำ ตามตารางที่ 2.31-2.33 และเปรียบเทียบสมบัติแผ่นทดสอบเยื่อที่ผลิตจากส่วนต้นของไม้สบู่ดำกับไม้ยูคาลิปตัสตามตารางที่ 2.35, จึงอาจกล่าวได้ในทำนองเดียวกันกับแผ่นทดสอบเยื่อชนิดไม่ฟอกว่า

ความแข็งแรงของเส้นใยจากส่วนกิ่งของไม้ ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาผลิตเยื่อฟอกเพื่อการผลิตกระดาษ. สำหรับแผ่นทดสอบเยื่อจากส่วนต้นที่ผลิตจากไม้สบู่ดำ พบว่า แม้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นเยื่อจากไม้สบู่ดำที่คละอายุและอายุ 2 ปี จะต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส, แต่ให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงที่เทียบเคียงกันได้. กรณีที่ไม้คละอายุมีสัดส่วนของไม้อายุมากและน้อยแตกต่างจากตัวอย่างไม้คละอายุที่นำมาใช้ในการทดลอง อาจให้สมบัติแผ่นเยื่อที่สูงหรือต่ำกว่าค่าที่แสดงในตารางเปรียบเทียบได้, หากต้องการสมบัติแผ่นเยื่อที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, ควรที่จะทำการวางแผนและติดตามระยะเวลาการปลูกไม้สบู่ดำแยกออกตามรุ่นการปลูก, เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อด้วย.

สำหรับแผ่นทดสอบเยื่อจากไม้อายุ 1 ปี ยังคงให้สมบัติด้านความแข็งแรงโดยรวมของเยื่อน้อยกว่า เมื่อเทียบกับเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส. ในกรณีของแผ่นทดสอบเยื่อที่ผลิตจากส่วนกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำ, พบเช่นดียวกันว่า เมื่อนำไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง ซึ่งมีความแข็งแรงของเส้นใยน้อยผสมกับส่วนต้นที่มีเส้นใยแข็งแรงกว่ามาผลิตเยื่อ จะทำให้ค่าความแข็งของเยื่อลดลง, เมื่อเทียบกับการใช้เฉพาะส่วนของต้นเพียงอย่างเดียว. ดังนั้น หากต้องการนำส่วนกิ่งมาใช้ร่วมกับส่วนต้นในการผลิตเยื่อ, จึงต้องพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรืออายุการปลูกของไม้ที่เพิ่มขึ้น, ซึ่งหมายถึงความแข็งแรงของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย.

4. สรุปผลการทดลอง

ไม้สบู่ดำที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาวิจัยนี้ แม้จะมีสายพันธุ์และถิ่นกำเนิดเดียวกัน แต่ด้วยอายุการปลูกที่ต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้มีความแตกต่างกันไป. จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไม้สบู่ดำส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้น (ทั้งต้น) ที่คละอายุการปลูกอายุ 1 และ 2 ปี และนำแต่ละส่วนของไม้แต่ละอายุการปลูกมาเปรียบเทียบกัน, โดยเฉพาะการนำส่วนต้นของไม้แต่ละอายุการปลูก มาเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีส่วนต้นของไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเพื่อการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน, จะเห็นความแตกต่างได้ว่า ปริมาณเถ้า, ความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน, ความสามารถในการละลายในน้ำร้อน และความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของไม้ยูคาลิปตัส มีค่าต่ำกว่า และมีปริมาณลิกนินที่สูงกว่าส่วนต้นของไม้สบู่ดำที่คละอายุการปลูก, อายุ 1 และ 2 ปี. โดยไม้สบู่ดำที่อายุสูงกว่า จะมีปริมาณเถ้าและลิกนินสูงกว่า, แต่มีความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์และเบนซิน, ความสามารถในการละลายในน้ำร้อน และความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1, ที่ต่ำกว่าไม้สบู่ดำอายุน้อย.

สำหรับการทดลองผลิตเยื่อจากส่วนกิ่ง, ต้น และกิ่งผสมต้นของไม้สบู่ดำคละอายุ อายุ 1 และ 2 ปี, พบว่า ส่วนกิ่งของไม้สบู่ดำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและอายุการปลูกสูง มีแนวโน้มที่จะนำมาผสมกับไม้ส่วนต้น เพื่อเพิ่มปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเยื่อกระดาษได้. แต่หากจะนำเฉพาะส่วนต้นของไม้มาใช้ผลิตเยื่อ ควรเลือกใช้ไม้สบู่ดำที่อายุเกินกว่า 2 ปี, ซึ่งแม้มีสมบัติด้านความต้านทานแรงฉีกขาดที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัส, แต่ด้วยสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงดึงที่เทียบเคียงกัน, จึงมีความเป็นไปได้ ที่จะนำส่วนต้นของไม้สบู่ดำอายุเกินกว่า 2 ปี มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเมื่อยามขาดแคลนไม้ยูคาลิปตัสในการผลิตกระดาษ.

5. ข้อเสนอแนะ

การผลิตเยื่อกระดาษจากไม้สบู่ดำในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่า ไม้สบู่ดำส่วนต้นที่มีอายุการปลูกเกินกว่า 2 ปี มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษได้เช่นเดียวกับไม้ยูคาลิปตัส, แต่เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระดาษที่สามารถนำไปใช้งานอย่างเป็นรูปธรรม, จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงสมบัติของเยื่อที่ผลิตจากส่วนต้นและกิ่งส่วนที่ติดกับลำต้นของไม้สบู่ดำ ที่มีอายุการปลูกมากขึ้น (กิ่งใหญ่มีแนวโน้มใช้ผลิตเยื่อได้). ทั้งนี้ เนื่องจากไม้ที่มีอายุมากขึ้น จะมีความแข็งแรงของเส้นใยที่สูงขึ้น ซึ่งอาจมีแนวโน้มในการที่จะนำส่วนกิ่งของไม้มาผสมกับส่วนต้นในการผลิตเยื่อกระดาษ, เป็นการเพิ่มปริมาณวัตถุดิบในการผลิตเยื่อได้. นอกจากนี้ การศึกษาสมบัติเยื่อส่วนต้นของไม้ที่อายุเกินกว่า 2 ปี อาจทำให้พบสมบัติของเยื่อที่เหนือกว่าเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสได้อย่างเด่นชัดขึ้นด้วย.

6. บรรณานุกรม

คาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาล. 2552. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.incomen.com/forum/Index.php?topic=171.1msg187#msg183, [เข้าถึงเมื่อ 4 ตุลาคม 2553].

Atchion, J. E., 1987. Data on non-wood plant fiber, *In* Pulp and Paper Manufacture, Secondary Fiber and Non-Wood Pulping, Hamilton, F., Leopold, B., and Kocurek, M.J., (eds.), Atlanta, ***4***, pp. 4-21.

Baba, M. A., Vereramami, H. and Rao, J. S., 1985. Soda-anthraquinone pulping of plantation Eucalyptus, *Appita*, ***38***, pp. 185-187.

Blain, T. J., 1993. Anthraquinone Pulping, *Tappi*, ***76***, 3, p. 137.

Colebrook, M., 2010. Life Chemistry, [online]. Arailable or http://www.grenspirit.org.uk/resources/lifechemintry.shtml, [accessed 4 October 2010].

Fibre Morphology and Chemical Composition of *Eucrlyptus Grandis* Grown in Tarsuskarabucak, Turkey Erol Göksel[1], *et al.* XI World Forestry Congressa Antalya, Turkey, 13 to 22 October 1997 Volume 4, Topic 19 Summaries of Voluntary Papers.

Fossom, G., Hugglund, S. and Lindqvist, B., 1980. Alkaline pupling of pine and birch with anthraquinone as additives, *Svensk Papperstiding*, *15*, pp. 430-433.

Fossom, G., Hugglund, S. and Lindqvist, B., 1980. Alkaline Pupling of pine and birch with anthraquinone as additives, *Svensk Papperstiding*, ***16***, pp. 455-460.
http://en.wikipedia.org/wiki/Pulp_(paper)

Hurter, A. M., 1991. Utilization of annual plants and agricultural residues for the production of pulp and paper, *In* Nonwood Plant Fiber Pulping Progress Report No.19, Atlanta, pp. 49-62.

MacLeod, J. M., 1997. Alkaline Sulfite–anthraquinone pulp from aspen, *In* Anthraquinone Pulping, Goyal, G. C. (ed.), Anthology of Published Papers, 1977–1996, Atlanta, A TAPPI PRESS, pp. 382–385.

Shin, N. H., 1988. A modified soda-AQ /oxygen pulping process as an alternative to kraft process for the production of bleached softwood pulp, Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Smook, G. A., 2002. Handbook for Pulp and Paper Technology, 2nd ed., Vancouver: Angus Wide Publication Inc.

TAPPI. Fibrous Materials and Pulp Testing. T1-T270, Tappi Test Methods. V. I. Atlanta, TAPPI Press.

TAPPI. Paper and Paperboard Testing T 400–T 550, TAPPI TEST METHODS Atlanta, TAPPI Press.

Purves, W.K. *et al*. 1994. Structure of Cellulose, *In* Life : The Scieence of Biology, 4th Edition, W.H. Freeman and Compan.

Wikimedia Commons, 2010. Licmin Structure, [online]. Avoilable at : hittp:\\commons.wikimediarong/wiki/File:Lignin_structure.svg [accessed 4 October 2010].

Xylanases, 2010. [Online] Available from : http : // Chemistry. Umeche. maine. edu/CHY431/wood 14 html, [accessed 10 October 2010].