

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกข้าวโพด

ธวัชณ์ สร้อยทอง^{1*}, สุพัตรา วงศ์แสนใหม่¹ และ ณารินทร์ บุญรุ่งเรืองศักดิ์¹

¹สาขาวิชาวนวัฒนกรรมวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

*stawat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกเยื่อกระดาษจากเปลือกข้าวโพด เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมกระดาษ ตามแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพและหมุนเวียน (BCG Model) โดยใช้ระบบความดันสูงในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการต้มเยื่อ และทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ได้ โดยเริ่มจากการคัดแยกและย่อยขนาดเปลือกข้าวโพด ก่อนนำไปต้มในหม้อต้มเยื่อ (Digester) ภายใต้อุณหภูมิ 100–160 องศาเซลเซียส และความดัน 0.2–0.8 MPa โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0–10 โดยน้ำหนัก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า เปลือกข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 34.42 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 34.89 และลิกนินร้อยละ 11.89 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาผลิตเยื่อกระดาษ ผลการต้มเยื่อพบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เยื่อที่ได้ไม่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตกระดาษ เนื่องจากลิกนินยังคงหลงเหลืออยู่ในปริมาณมาก ทำให้เยื่อมีความแข็งและมีสีเข้ม โดยสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อคือการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 22.6 โดยมีความยาวเส้นใยอยู่ในช่วง 0.66–0.71 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 29–31 และค่า Freeness อยู่ในช่วง 750–820 CSF ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปผลิตกระดาษได้

คำสำคัญ: เปลือกข้าวโพด กระบวนการต้มเยื่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์

Study on the Optimal Conditions for Pulp Production from Corn Husks

Tawat Soitong^{1*}, Supattra Wongsanmai¹ and Narin Bunrungrueangsak¹

¹Program in Materials Innovation, Faculty of Science, Maejo University

*stawat@gmail.com

Abstract

This research aims to study the optimal conditions for pulp extraction from corn husks in order to utilize them as an alternative raw material in the paper industry, in accordance with the Bio-Circular-Green Economy (BCG Model). A high-pressure system was employed in this study. The experimental procedures included chemical composition analysis of corn husks, investigation of factors affecting the pulping process, and evaluation of the properties of the obtained pulp and paper. The corn husks were first cleaned and size-reduced, then subjected to pulping in a digester under temperatures ranging from 100-160 °C and pressures of 0.2–0.8 MPa, using sodium hydroxide at concentrations of 0-10% (w/w).

The results of chemical composition analysis revealed that corn husks contained 34.42% cellulose, 34.89% hemicellulose, and 11.89% lignin, indicating their suitability for pulp production. The pulping results showed that without the use of sodium hydroxide, pulp yield decreased with increasing temperature, and the obtained pulp was unsuitable for paper production due to the high residual lignin content, resulting in stiff and dark-colored pulp. The optimal pulping condition was found to be 7% (w/w) sodium hydroxide at 130 °C, yielding 22.6% pulp. The obtained fibers had lengths in the range of 0.66–0.71 mm Aspect Ratio 29-31 and a freeness value of 750–820 CSF. These results indicate that the pulp derived from corn husks can be effectively used for paper production.

Keywords: Corn husks, Chemical pulping, Sodium hydroxide

บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตรหรือเกี่ยวข้องมาโดยตลอด และในการทำการเกษตรให้ได้ผลผลิตสูงสิ่งสำคัญที่สุดคือการเตรียมดินที่จะทำการปลูกหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะมีการกำจัดเศษวัชพืช และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกษตรกรนิยมคือการเผาก่อเกิดเป็นมลภาวะทางอากาศที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญที่ทุกฝ่ายต้องเร่งแก้ไข [1] โดยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น ฟางข้าว ข้าวโพด เปลือกกล้วย เปลือกทุเรียน และอื่นๆ เหล่านี้มีศักยภาพในการนำไปผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบเป็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมกระดาษ เส้นใยจากพืชล้มลุกจึงเป็นอีกทางเลือกที่มีสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับเส้นใยที่ได้จากไม้ และมีปริมาณมากโดยเฉพาะที่เกิดขึ้นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ไม้ และชานอ้อย เส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการทำเยื่อกระดาษ (Paper Pulp) พืชเกือบทุกชนิด สามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ซึ่งสามารถ

จำแนกตามแหล่งที่มา ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พืชยืนต้น (Wood) และพืชล้มลุก (Non-wood) [2] โดยข้าวโพดจะอยู่ในกลุ่มพืชล้มลุกพืชกลุ่มนี้มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 50 ซึ่งใกล้เคียงกับไม้ แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของเซลลูโลส มีทั้งส่วนที่มีโครงสร้างผลึกและอสัณฐานจึงส่งผลให้เส้นใย ที่ได้จากพืชกลุ่มนี้มีคุณภาพต่ำกว่าเส้นใยที่ได้จากไม้ [3] โดยกระบวนการต้มเยื่อด้วยกระบวนการโซดา (Soda process) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อเชิงเคมี โดยมีการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการต้มเยื่อเพื่อนำไปผลิตกระดาษมักใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการต้มอยู่ที่ร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก ใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง [4, 5] โดย Nicholas และ Rosenfeld [4] พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการทำเยื่อมักจะใช้ปริมาณไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักจะส่งผลให้ได้เยื่อที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษเหมาะสมที่สุด ส่วน Hassan และคณะ [5] รายงานว่าเมื่อใช้ปริมาณสารมากกว่าร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เยื่อจะถูกทำลายโครงสร้างทำให้กระดาษที่ผลิตได้มีความแข็งแรงต่ำ นอกจากนี้การใช้กระบวนการโซดาทำให้เกิดของเสียปริมาณมาก ใช้เวลาและพลังงานในกระบวนการสูง โดยปัจจุบันกระบวนการต้มด้วยความดันสูงช่วยให้สามารถลดเวลาและสารเคมีลงได้ จากรายงานของ Nayeem และคณะ [6] พบว่าการต้มด้วยความดันและอุณหภูมิสูงให้ปริมาณเยื่อ และความขาวดีกว่า และลดปริมาณเถ้า (ash) และซิลิกา (silica) ได้ดี โดยเฉพาะในการต้มฟางข้าว เช่น อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา [7] ได้ศึกษาการผลิตกระดาษจากป่านศรนารายณ์โดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณแตกต่างกัน พบว่าสามารถใช้เวลาน้อยลงได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกเยื่อกระดาษจากเปลือกข้าวโพดเนื่องจากมีการนำมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมกระดาษ ตามแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพและหมุนเวียน (BCG Model) โดยใช้ระบบความดันสูง ในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการต้มเยื่อ และทดสอบสมบัติของเยื่อได้

วิธีวิจัย

1.การเตรียมวัตถุดิบและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ในการทดลองการต้มเยื่อกระดาษจากเปลือกข้าวโพด เริ่มจากการคัดแยกสิ่งสกปรก (เศษเม็ด เศษขัง ข้าวฝัก) จากเปลือกข้าวโพดบดเปลือกข้าวโพดให้มีขนาด 3-5 เซนติเมตร ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 40 เมช (mesh no.40) นำตัวอย่างเปลือกข้าวโพดที่ได้ทดสอบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ การละลายน้ำร้อน (TAPPI T 207 cm-08) การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซีน (TAPPI T204 cm-17) ปริมาณเถ้า (TAPPI T212 cm-18) ปริมาณเซลลูโลส ปริมาณเอมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนิน (T211 cm-22)

2.การต้มเยื่อเปลือกข้าวโพด

ทำการต้มแยกเยื่อเปลือกข้าวโพดด้วยเครื่องย่อยเยื่อระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory rotary pulp digester) แสดงดังภาพที่ 1 โดยศึกษาสภาวะและปริมาณสารเคมีในการต้มดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องย่อยเยื่อระดับห้องปฏิบัติการ(Laboratory rotary pulp digester)



ตารางที่ 1 สภาวะ และปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อ

สูตร	NaOH (%)	เปลือก ข้าวโพด (g)	ปริมาณ NaOH (g)	น้ำ (ml)	อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน สูงสุด (MPa)	เวลา (hr.)
1	20	500	100	20,000	100	-	2.5
2	0	500	0	10,000	100	0.25	2.5
3	0	500	0	10,000	130	0.4	2.5
4	0	500	0	10,000	150	0.6	2.5
5	1	500	5	10,000	130	0.35	2.5
6	3	500	15	10,000	130	0.39	2.5
7	5	500	25	10,000	130	0.4	2.5
8	7	500	35	10,000	130	0.4	2.5
9	10	500	50	10,000	130	0.4	2.5

3.การทดสอบสมบัติของเยื่อและการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ

นำเยื่อที่ผ่านกระบวนการต้มด้วยหม้อต้มแรงดันมากระจายเยื่อด้วยเครื่อง Disintegrator (PTA Group, Spain) ที่ 15,000 รอบ หลังจากนั้นวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไฟเบอร์และวัดขนาดเส้นใยแบบอัตโนมัติ (Fiber Analyzer) ตามมาตรฐาน ISO 16065-2 วิเคราะห์ค่า Kappa Number เพื่อหาปริมาณลิกนินในเยื่อ ตามมาตรฐาน TAPPI T236 cm-13 หาค่าการอุ้มน้ำของเยื่อ (freeness) TAPPI T227 om17 หลังจากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ ด้วยเครื่อง Square Hand Sheet Former (PTA Group, Spain) ให้ได้น้ำหนักมาตรฐาน 100±10 กรัมต่อตารางเมตร การวิเคราะห์และทดสอบค่าดัชนีแรงดึง (Tensile Index) ด้วยเครื่อง tensile tester ตามวิธีมาตรฐานของ ISO 1924-2:2008

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด

โดยทั่วไปเยื่อจากพืชที่ไม่ใช่ไม้จะมีองค์ประกอบทางเคมีลิกนินปริมาณน้อยและปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูง ขึ้นอยู่กับดินที่เพาะปลูก สภาวะการเติบโต และสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ [8]

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกข้าวโพด (ร้อยละของน้ำหนัก)
การละลายในน้ำร้อน	9.48
การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซีน	1.72
ปริมาณเถ้า	0.34
ปริมาณเซลลูโลส	34.42
ปริมาณเฮมิเซลลูโลส	34.89
ปริมาณลิกนิน	11.89

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าการละลายในน้ำร้อนและค่าการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซิน โดยเฉลี่ยของเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าร้อยละ 9.48 จากการวิเคราะห์พบว่าเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในน้ำส่วนใหญ่เป็นสารพวกแทนนิน ยางไม้ น้ำตาล สารให้สีและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในด้านความคงทนในการใช้งาน ในขณะที่สารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซินพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารพวก ไซไซม์ ยาง ชัน และบางส่วนเป็นสารที่ละลายได้ในน้ำประเภทอื่นๆ รวมถึงสารโพลีฟีนอล (polyphenols) และสารแทรกที่เป็นกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดเอลลาจิก (ellagic acid) กรดแกลลิก (gallic acid) สารพวกแอลลาจิทแทนนิน (ellagitannins) แกลโลแทนนิน (gallotannins) และสารพวกฟเลโวนอยด์ (flavonoids) ปริมาณสารที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซินนี้ หากมีปริมาณมากจะทำให้เกิดการผุได้ [9] จากการทดสอบพบว่าเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแข็งแรงและความคงตัวสามารถนำมาผลิตกระดาษได้ปริมาณเท่ากับเฉลี่ยของเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าร้อยละ 0.34 จากการวิเคราะห์พบว่าถ้าส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่อนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นพวก ซิลิกา แคลเซียม และโปแตสเซียม และบางส่วนเป็นพวกแมงกานีส และแมกนีเซียม หากมีเถ้าในปริมาณมากจะส่งผลให้กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเกิดการเปลี่ยนสีของเยื่อกระดาษปริมาณ [10] เซลลูโลสโดยเฉลี่ยในเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าร้อยละ 34.42 ในขณะที่ปริมาณลิกนินโดยเฉลี่ย ร้อยละ 11.89 จากผลวิเคราะห์แสดงว่าเปลือกข้าวโพดมีปริมาณเส้นใยเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

ผลการศึกษาสภาวะในการต้มในระบบความดัน

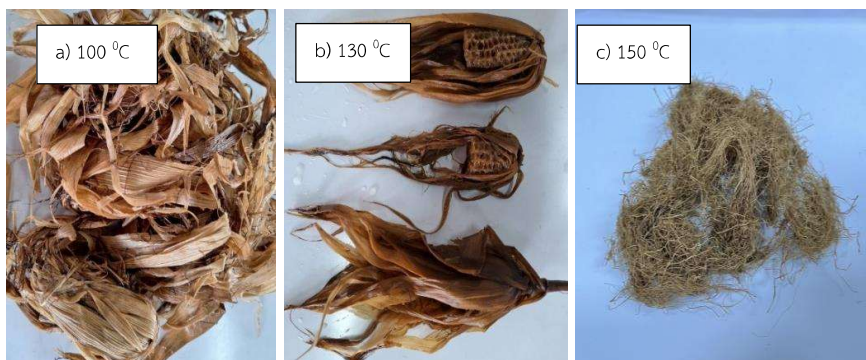
ในกระบวนการต้มได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิ ปริมาณสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการต้มแสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลผลิตเยื่อเปลือกข้าวโพดจากสภาวะการต้ม

สูตร	NaOH (%)	เปลือกข้าวโพด (g)	ปริมาณ NaOH (g)	น้ำ (ml)	อุณหภูมิ (°C)	แรงดันสูงสุด (MPa)	% Yield
1	20	500	100	20,000	100	-	26.1
2	0	500	0	10,000	100	0.25	75.0
3	0	500	0	10,000	130	0.4	53.7
4	0	500	0	10,000	150	0.6	25.6
5	1	500	5	10,000	130	0.35	71.5
6	3	500	15	10,000	130	0.39	57.2
7	5	500	25	10,000	130	0.4	50.6
8	7	500	35	10,000	130	0.4	22.6
9	10	500	50	10,000	130	0.4	18.9

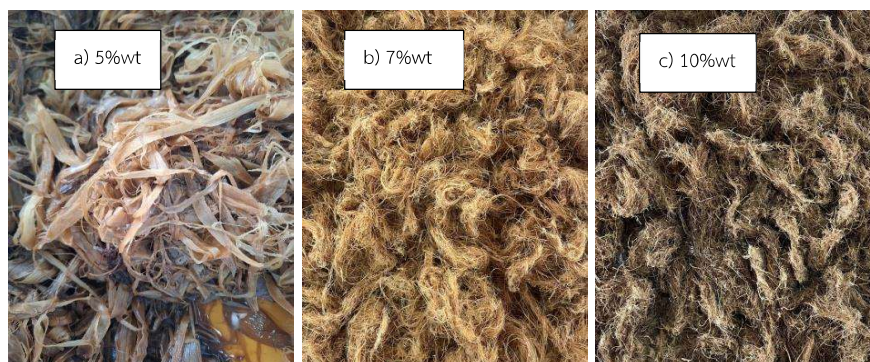
ผลของการต้มเยื่อด้วยระบบเปิดตามสูตรที่ 1 จำเป็นต้องใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจึงจะผลิตเยื่อได้ ในการทดลองในระบบปิดพบว่าผลของอุณหภูมิต่อการต้มความดันแบบไร้สารเคมี เมื่อเปลือกโดนต้ม จะเกิดการสลายตัวขององค์ประกอบ โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของเปลือกที่ได้ไม่เหมาะกับการนำไปทำเยื่อกระดาษ เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำหน้าที่สำคัญในการ ละลายลิกนิน ซึ่งเป็นสารยึดเกาะเส้นใย ทำให้เส้นใยแยกตัวกันได้ยากเยื่อที่ได้จึงมีลิกนินเหลืออยู่มากทำให้เยื่อมีความแข็ง สีเข้มไม่เหมาะแก่การ

นำไปทำกระดาษ [11] แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังภาพที่ 2 พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส เปลือกข้าวโพดไม่เกิดการย่อยเป็นเยื่อ ส่วนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 140 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้มีลักษณะฟู และเปราะแตกง่ายเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพไม่สามารถนำไปดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 2 แสดงเปลือกข้าวโพดที่ต้มที่อุณหภูมิต่างๆ กันโดยไม่ใช้สารเคมี

ในการทดลองขั้นตอนต่อไปได้ทำการทดลองโดยการปรับสารเคมี และคงอุณหภูมิไว้ที่ 130 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อสารเคมีปริมาณน้อยไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปลือกข้าวโพดยังไม่เกิดการย่อยเป็นเส้นใยเนื่องจากปริมาณสารเคมียังไม่เพียงพอต่อการละลายลิกนินอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ลิกนินและสารประกอบบางส่วนยังคงเหลืออยู่ในโครงสร้างของเส้นใย ส่งผลให้มวลเยื่อที่ได้ยังคงมีค่าสูง เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้เส้นใยเปลือกข้าวโพดมา ซึ่งพบว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไป โดยพบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเยื่อที่ได้จะมีการเสื่อมสภาพไม่สามารถนำไปใช้ได้ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เปลือกข้าวโพดที่ต้มโดยใช้สารเคมีในอัตราส่วนต่างๆ

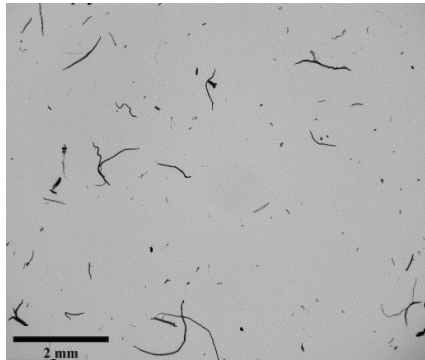
ผลการทดสอบค่า Kappa Number

ผลการทดสอบค่า Kappa Number สำหรับสูตร 8 และ 9 โดยมีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าเท่ากับ 13.37 ± 2.58 และ 10.12 ± 1.97 จากการเปรียบเทียบลักษณะของเยื่อข้าวโพดหลังจากกระบวนการสกัดเยื่อ จะเห็นได้อย่างชัดเจนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ร้อยละของผลผลิตเยื่อและค่า kappa number มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ช่วยให้เกิดการแทรกซึมของสารเคมีและเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ละลายลิกนินออกมาได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เส

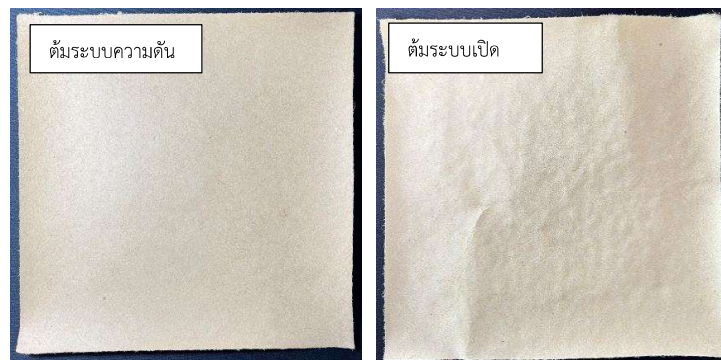
มิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกทำลายมากขึ้น จึงทำให้ผลผลิตเยื่อมีค่าลดลง โดยค่า Kappa Number ของเยื่อเปลือกข้าวโพดที่ต้มด้วยระบบเปิดมีค่า 15.56 ± 2.24 ซึ่งค่าการต้มด้วยระบบความดันถึงแม้จะใช้สารเคมีน้อยกว่าแต่ลดปริมาณลิกนินออกมาได้มากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยาละลายลิกนินได้เร็ว สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แทรกเข้าไปในเยื่อได้ดีขึ้น ไม่มีการระเหยของน้ำทำให้ความเข้มข้นของสารเคมีคงที่ [4]

การศึกษาลักษณะพื้นฐานของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

สมบัติทางกลของกระดาษขึ้นอยู่กัลักษณะพื้นฐานของเส้นใยของวัตถุดิบ พันธะระหว่างเส้นใย การแตกแขนงของเยื่อ กระบวนการเตรียมเยื่อและชั้นรูปกระดาษ ตัวแปรที่ได้จากลักษณะพื้นฐานของเส้นใย ความยาวของเส้นใย (Fiber length) มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกระดาษ และค่าการระบายน้ำของเยื่อ จากผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของเส้นใยเปลือกข้าวโพด ความยาวของเส้นใย 0.66-0.71 มิลลิเมตร ความกว้างเส้นใย 31.5-32.7 ไมโครเมตร โดยมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 29-31 แสดงดังภาพที่ 4 และค่า Freeness อยู่ในช่วง 750-820 CSF โดยเมื่อต้มด้วยระบบเปิดค่าความยาวเส้นใยอยู่ในช่วง 0.81-1.1 มิลลิเมตร และความกว้างเส้นใย 30.4 8 ค่า Freeness อยู่ในช่วง 680-720 CSF ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเยื่อทั้งสองระบบสามารถนำไปผลิตกระดาษได้ โดยลักษณะกระดาษเปลือกข้าวโพดแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นฐานของเยื่อจากเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์



ภาพที่ 5 แผ่นกระดาษจากเยื่อเปลือกข้าวโพด จากการต้มด้วยระบบความดัน และระบบเปิด

จากภาพที่ 5 แสดงกระดาษเปลือกข้าวโพดที่ได้จากการต้มเยื่อด้วยระบบความดัน และระบบเปิดเมื่อนำมาทดสอบค่าดัชนีแรงดึงพบว่ามีความเท่ากับ 5.89 ± 0.40 และ $6.99 \pm 0.64 \text{ kNm/kg}$ พบว่าสมบัติเชิงกลของกระดาษมีค่าใกล้เคียงกันโดยกระดาษที่ได้จากการต้มเยื่อด้วยระบบความดันมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยอาจเกิดจากเส้นใยที่สั้นกว่า แต่เห็นได้ชัดว่ากระบวนการต้มเยื่อระบบความดันสามารถทดแทนระบบเปิดได้ และมีข้อดีคือใช้สารเคมีน้อยลง

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกข้าวโพดโดยใช้กระบวนการต้มด้วยระบบความดันร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเปลือกข้าวโพดมีองค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเยื่อกระดาษ โดยมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสค่อนข้างสูง และมีปริมาณลิกนินต่ำ เมื่อศึกษาสภาวะการต้มพบว่าอุณหภูมิและปริมาณสารเคมีมีผลต่อสมบัติของเยื่ออย่างชัดเจน โดยที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ให้การแยกเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด และสามารถลดปริมาณลิกนินได้ดีกว่าการต้มแบบระบบเปิด ในสูตรที่ 1 ซึ่งใช้ปริมาณสารเคมีและน้ำมาก ถึงแม้ใช้ปริมาณสารเคมีต่ำกว่า ทั้งนี้เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าผลผลิตเยื่อและค่า Kappa Number มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้มากขึ้น นอกจากนี้เยื่อที่ได้จากระบบความดันยังสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ โดยมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับการต้มแบบระบบเปิด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการต้มเยื่อด้วยระบบความดันสามารถลดการใช้สารเคมีและมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ผลิตเยื่อกระดาษจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Noipha, W., & Pakdeelun, W. (2021). *Agricultural Burning Management and Reduction in Thailand*. Thailand Environment Institute Foundation [Online]. Available: https://www.tei.or.th/file/files/Agricultural%20Burning%20Management%20in%20Thailand_TEI-th.pdf (In Thai)
- [2] Department of Energy Development and Promotion, Ministry of Science, Technology and Environment. (1992). *Energy Consumption Behavior and Patterns in Corn Cultivation*. Mahidol University. (In Thai)
- [3] Tamthong, W., Kraisuwan, S., & Piromthamsiri, K. (2022). The Effects of Corn Varieties, Layers of Corn Husks and Fiber Extraction Methods on Chemical Compositions of Corn Husk Fibers. *RMUTSV Research Journal*, 14(1), 197–212. (In Thai).
- [4] Nicholas, P.C. & Paul, E.R. (2010), *Handbook of Pollution Prevention and Cleaner Production*. pp 179-259. William Andrew.
- [5] Hassan, S., Salleh, M.D., & Jaffer, N. (2016). The Effects of Sodium Hydroxide Content on Mechanical and Physical Properties of Rice Straw Paper. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(12), 7475.
- [6] Nayeem, J., Rahman, M.M., Jahan, M. S., & Popy R.S. (2023). *Pulping and Papermaking of Nonwood Plant Fibers*. In *Pulping and Papermaking of Nonwood Plant Fibers*.pp. 245-265. Academic Press.
- [7] Polyiam, U., & Panya, N. (2020). *Development of Paper and Paper Products from Sisal (Agave sisalana) Residues of Huai Krabok Community, Phetchaburi Province for Community Enterprise Promotion*. Research Report. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [8] Pydimalla, M., Chirravuri, H.V., and Uttaravalli, A.N., (2023). An overview on non-wood fiber characteristics for paper production: Sustainable management approach, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.278>



- [9] Hubbe, M. A., Maitland, C., Nanjiba, M., Horst, T., Ahn, K., and Potthast, A. (2023). Archival performance of paper as affected by chemical components: A Review, *BioResources* 18(3), 6430-6498.
- [10] Rowell, R. M. (2012). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites (2nd ed.). CRC Press.
- [11] Bajpai P. (2016). General background. Pulp and Paper Industry: *Energy Conservation*: pp. 1-11. Elsevier.