

ผลของการใช้เยื่อกระดาษต่อกระบวนการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์
Effects of Pulp use on the Papermaking Process from
Casuarina Junghuhniana Mig

สิริยาดา เดชบุญ¹ วินัย ตาระเวช² สุธันย์ บุญโยบhas³ และโสภิตา วิศาลศักดิ์กุล^{2*}
Siriya Dechboon¹ Vinai Taravet² Sutasanee Boonyobhas³ and Sopida Wisansakul^{2*}

Received 26 ตุลาคม 2568 Revised 15 มกราคม 2569 Accepted 26 มกราคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ และศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ โดยศึกษากระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การผลิตเยื่อกระดาษ และการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของกระดาษ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณเยื่อกระดาษทดแทนใบสนประดิพัทธ์ แปรเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย ร้อยละ 10 20 30 ของน้ำหนัก และชนิดของเยื่อกระดาษทดแทนใบสนประดิพัทธ์ แปรเป็น 2 ชนิด ประกอบด้วย เยื่อปอสา และเยื่อกระดาษขาว ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จะได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง และทำการเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษ แล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้น ความหนา ความทนต่อการฉีกขาด และลักษณะที่ปรากฏ ผลการวิจัยพบว่ากระดาษจากใบสนประดิพัทธ์เสริมเยื่อปอสา ร้อยละ 30 มีลักษณะดีที่สุด โดยมีสีน้ำตาลอ่อนเป็นธรรมชาติ และมีความเรียบเนียนเหมาะสมต่อการใช้ในงานประดิษฐ์ มีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 12.84 ค่าความหนาเท่ากับ 0.63 มิลลิเมตร และค่าความคงทนต่อการฉีกขาดเท่ากับ 3.33 นิวตัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบสนประดิพัทธ์เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นกระดาษเชิงสร้างสรรค์ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดของเสียตกค้างและสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการง่าย ประหยัด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ใบสนประดิพัทธ์, เยื่อกระดาษ, กระดาษเชิงสร้างสรรค์

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹ Undergraduate, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² Assistant Professor, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ ข้าราชการบำนาญ, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ Government Pensioner, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* ผู้ประสานงานนิพนธ์ e-mail: sopida_w@rmutt.ac.th

Abstract

This research aimed to determine the optimal process for producing paper from *Casuarina junghuhniana* Mig. and to examine their chemical and physical properties. The study examined the raw material preparation process, pulp production, and the paper's chemical and physical properties. The factors studied were the amount of *Casuarina junghuhniana* Mig. replacement pulp at 3 levels (10, 20, and 30 percent by weight), and the type of paper pulp used to replace *Casuarina junghuhniana* Mig. is divided into 2 types: paper mulberry and recycled white pulp. A completely randomized factorial in CRD experimental design was used to evaluate 6 treatments, including a control lacking paper pulp. Physical properties, including moisture content, thickness, tear resistance, and appearance, were tested. The results showed that paper made from *Casuarina junghuhniana* Mig. Reinforced with 30 percent paper mulberry, it had the best properties, with a natural light-brown color and smoothness, making it suitable for handicrafts. It has a moisture content of 12.84, a thickness of 0.63 mm, and a tear strength of 3.33 N, which shows that the *Casuarina junghuhniana* Mig. is a natural material with the potential to be used to produce creative paper without creating any residual waste, and can be produced with a simple, economical, and environmentally friendly process.

Keywords: *Casuarina junghuhniana* Mig, Paper pulp, Creative paper

1. บทนำ

ในปัจจุบัน แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเป็นกรอบสำคัญในการดำเนินงานด้านการผลิต การออกแบบเชิงสร้างสรรค์ และการจัดการเรียนรู้ในสาขาเกษตรศาสตร์ ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดของเสีย และสร้างสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม (กิตติยา ฤทธิภักดี และคณะ, 2568) วัสดุจากธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นจึงถูกนำมาพิจารณาเป็นทางเลือกสำคัญในการสร้างมูลค่าเพิ่มและสนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) (บุญฤทธิ์ สโมสร และกัมปนาท วงษ์วัฒนพงษ์, 2567)

ใบสนประดิพัทธ์ (*Casuarina junghuhniana* Mig.) เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ชายฝั่งและหลายภูมิภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะทางภาคกลางและภาคใต้ ใบสนชนิดนี้มีลักษณะเป็นเส้นเข็มขนาดเล็กและร่วงหล่นจำนวนมากตลอดปี ซึ่งมักถูกกวาดทิ้งหรือปล่อยให้สะสมตามพื้นที่สาธารณะและสถานที่ท่องเที่ยว โดยไม่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ส่งผลให้เกิดปัญหาการสะสมของวัสดุชีวภาพที่ย่อยสลายช้า และเพิ่มภาระด้านการจัดการขยะเชิงพื้นที่ (พิรดาว หมัดอำตัม และคณะ, 2567) ซึ่งปัญหาดังกล่าวสะท้อนความจำเป็นในการพัฒนาแนวทางแปรรูปใบสนประดิพัทธ์เพื่อสร้างคุณค่าใหม่ทั้งด้าน

สิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจชุมชน ดังนั้นการนำไบสนประดิษฐ์มาใช้ประโยชน์ใหม่จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการลดปริมาณของเสียทางชีวภาพและเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจในชุมชนท้องถิ่น ทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (Resource efficiency) และการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Design for environment)

แนวคิดหนึ่งที่สอดคล้องกับบริบทนี้คือการนำวัสดุชีวภาพจากท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นกระดาษ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับความสนใจในแวดวงการออกแบบเชิงหัตถกรรม (Craft Design) และนวัตกรรมวัสดุ (Material Innovation) เนื่องจากสามารถสร้างลักษณะเฉพาะตัวด้านสุนทรียภาพ วัฒนธรรมท้องถิ่น และความยั่งยืนให้กับผลิตภัณฑ์ได้ (Chudasri, D. 2015) งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวข้องกับการผลิตกระดาษจากเส้นใยพืช เช่น ใบตอง ฟางข้าว หรือ เปลือกไม้ แสดงให้เห็นว่าวัสดุเหล่านี้สามารถให้คุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปและการนำไปใช้ในงานศิลปประดิษฐ์ (Sannapapamma, K. J. et al., 2020; ยุวดี พรธราพงศ์ และคณะ, 2568) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่นำไบสนประดิษฐ์ใช้ในการผลิตกระดาษยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะในบริบทหัตถกรรมศาสตร์ที่ให้ความสำคัญทั้งด้านคุณลักษณะวัสดุและความงามเชิงวัฒนธรรม

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยฉบับนี้มุ่งศึกษากระบวนการพัฒนากระดาษจากไบสนประดิษฐ์โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ตัวแปรสำคัญ ได้แก่ ปริมาณเยื่อกระดาษที่ใช้ในการขึ้นรูป และชนิดของเยื่อกระดาษ เพื่อเปรียบเทียบผลต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของกระดาษที่ได้ การศึกษานี้คาดหวังว่าจะนำไปสู่การเพิ่มคุณค่าของทรัพยากรท้องถิ่น ลดปริมาณของเสียจากไบสนร่วงหล่น และสร้างแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อันจะส่งเสริมเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนและรองรับเศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Creative economy) ของประเทศต่อไป

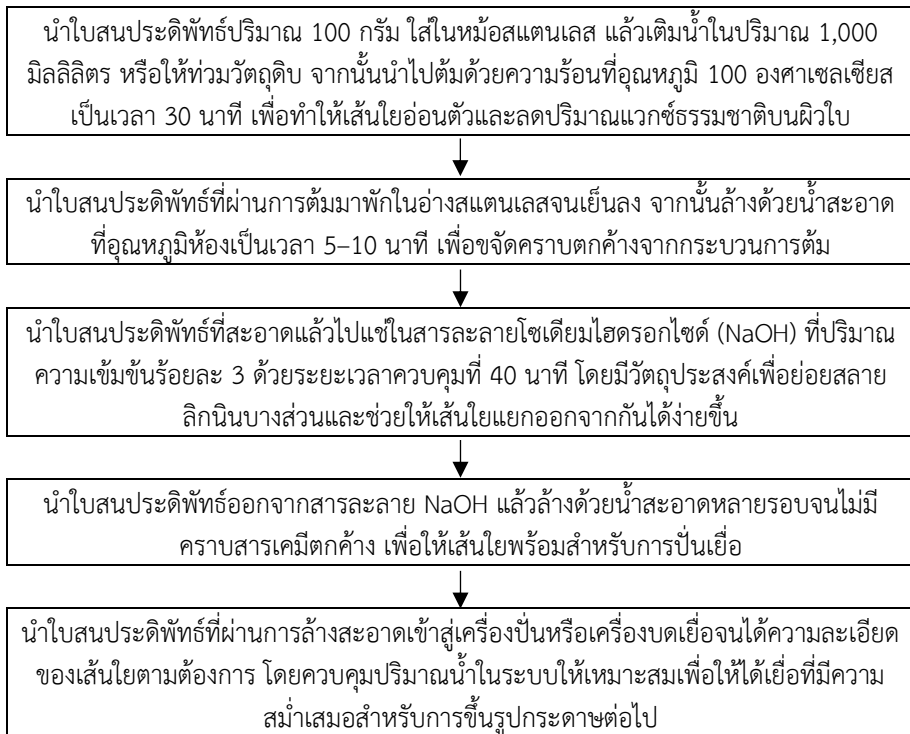
2. วัตถุประสงค์

- 2.1 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากไบสนประดิษฐ์
- 2.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระดาษจากไบสนประดิษฐ์

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมเยื่อไบสนประดิษฐ์เริ่มจากการเก็บไบสนประดิษฐ์ที่ร่วงหล่นบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยเลือกใบที่ไม่มีเชื้อรา ไม่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อน และไม่เปื้อนไบสนที่เน่าเปื่อยเพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อ จากนั้นนำไบสนที่คัดแยกแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวน 2 รอบ เพื่อขจัดฝุ่น เศษดิน และสิ่งสกปรกทั่วไป ก่อนเข้าสู่กระบวนการต้มเยื่อตามกระบวนการในภาพที่ 1



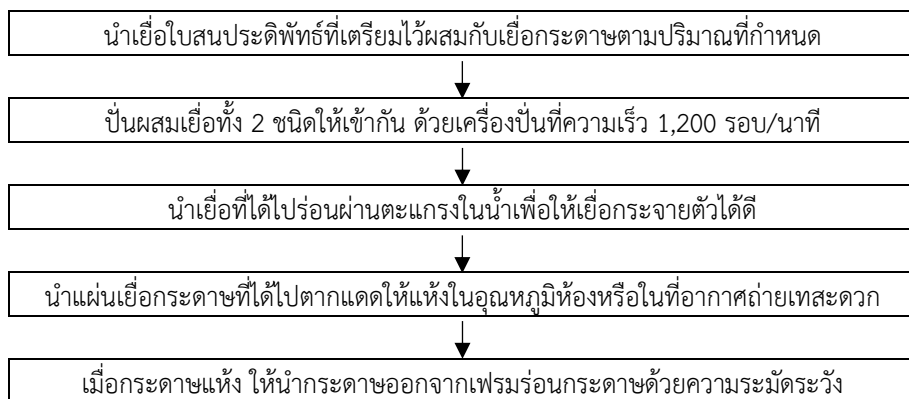
ภาพที่ 1 การเตรียมเยื่อไบสนประดิษฐ์

3.2 การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากไบสนประดิษฐ์

ทำการศึกษากลกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากไบสนประดิษฐ์ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณเยื่อกระดาษทดแทนไบสนประดิษฐ์ แปรเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย ร้อยละ 10 20 และ 30 ของน้ำหนัก และชนิดของเยื่อกระดาษทดแทนไบสนประดิษฐ์ แปรเป็น 2 ชนิด ประกอบด้วย เยื่อปอสา และเยื่อกระดาษขาว ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design: CRD) จะได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง และทำการเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 1 แล้วทำการขึ้นรูปกระดาษตามกระบวนการในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์

สิ่งทดลอง	ปริมาณเยื่อกระดาษ	ชนิดของเยื่อกระดาษ
1	0	Control
2	10	เยื่อปอสา
3	20	เยื่อปอสา
4	30	เยื่อปอสา
5	10	เยื่อกระดาษขาว
6	20	เยื่อกระดาษขาว
7	30	เยื่อกระดาษขาว



ภาพที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์

3.3 การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์

เมื่อได้สิ่งทดลองครบทั้ง 7 สิ่งทดลองแล้ว ให้นำสิ่งทดลองทั้งหมดมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพประกอบด้วย

3.3.1 การวัดค่าความชื้น เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักก่อนการอบและบันทึกน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอะลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากทำเป็นกระดาษและทำการคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสูตร คือ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

3.3.2 การวัดค่าความหนา ทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness test) ทำการวัดความหนาโดยใช้เครื่องวัดความหนา เพื่อหาความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่นกระดาษ ทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ด้วยเครื่องวัดความหนา

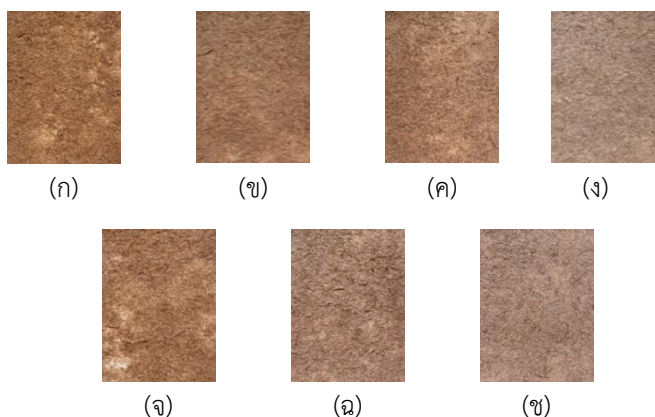
3.3.3 การวัดค่าความคงทนต่อการฉีกขาด ทดสอบด้านความคงทนต่อการฉีกขาด (Tearing test) ทำการทดสอบโดยตัดแผ่นกระดาษขนาด 5x7 เซนติเมตร ทำการบันทึกค่าที่ได้

ทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการวัดค่าความชื้น ค่าความหนา และค่าความคงทนต่อการฉีกขาด โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) แล้วทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีผลการทดสอบดีที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ พบว่า ลักษณะที่ปรากฏของกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ โดยวิธีการสังเกตทั้ง 7 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ (ก) กระดาษจากเยื่อใบสนประดิพัทธ์ร้อยละ 100 (ข) ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 10 (ค) ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 20 (ง) ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 30 (จ) ผสมเยื่อกระดาษขาวร้อยละ 10 (ฉ) ผสมเยื่อกระดาษขาวร้อยละ 20 และ (ช) ผสมเยื่อกระดาษขาวร้อยละ 30

จากการศึกษาการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์พบว่า สามารถขึ้นรูปเป็น แผ่นกระดาษได้อย่างสมบูรณ์ทั้ง 7 สิ่งทดลอง โดยแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะทางกายภาพ แตกต่างกันไปตามสัดส่วนของเยื่อใบสนประดิพัทธ์ เยื่อกระดาษปอสา และเยื่อกระดาษขาว ที่นำมาผสม ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละสิ่งทดลองพบว่า กระดาษจากเยื่อใบสนประดิพัทธ์ร้อยละ 100 มีลักษณะพื้นผิวหยาบ สีเข้มออกน้ำตาลแดง และมีเส้นใยปรากฏชัดเจนทั่วแผ่น ความหนา ค่อนข้างมากและมีความแข็งกระด้างเมื่อแห้งสนิท แสดงถึงปริมาณลิกนินและเส้นใยหยาบในใบ สนที่ยังคงอยู่ เมื่อผสมเยื่อปอสาร้อยละ 10 ภาพที่ 3 (ข) พบว่า พื้นผิวกระดาษมีความเรียบ เนียนมากขึ้น สีของกระดาษอ่อนลงเล็กน้อย และมีความยืดหยุ่นมากกว่าสูตรแรก เส้นใยมีการ กระจ่ายตัวสม่ำเสมอและยึดเกาะกันดีขึ้น แต่เมื่อผสมเยื่อปอสาถึงร้อยละ 30 ภาพที่ 3 (ง)

พบว่า กระจกมีความเรียบและสีของกระจกออกน้ำตาลอ่อน เส้นใยละเอียดและยึดเกาะแน่น ลักษณะผิวกระจกคล้ายเยื่อปอสา มีความยืดหยุ่นและสามารถดัดโค้งได้ดี

สำหรับกระจกที่ผสมเยื่อกระจกขาว ภาพที่ 3 (จ)-(ข) พบว่า พื้นผิวมีความสว่างมากขึ้น สีออกน้ำตาลอ่อนกว่าสูตรที่ใช้ปอสา เนื้อกระจกแน่นและมีความแข็งแรงปานกลาง เส้นใยกระจายตัวดี เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อกระจกพบว่า กระจกจะมีลักษณะผิวเรียบละเอียดมาก เส้นใยแทบมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ความหนาและน้ำหนักของกระจกลดลงเล็กน้อยแต่มีความยืดหยุ่นและความทนทานดี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเยื่อใบสนประดิพัทธ์กับเยื่อกระจกทั้งสองชนิดส่งผลต่อคุณสมบัติด้านสี ความเรียบเนียน และความหนาอย่างชัดเจน กระจกที่มีสัดส่วนเยื่อใบสนประดิพัทธ์สูงจะให้สีเข้มและพื้นผิวหยาบ ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของเยื่อปอสาหรือเยื่อกระจกขาวช่วยให้กระจกมีสีอ่อน เรียบเนียน และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

4.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระจกจากใบสนประดิพัทธ์

4.2.1 ผลการศึกษาค่าความชื้น จากการศึกษาค่าความชื้นของกระจกจากใบสนประดิพัทธ์ทั้ง 7 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของกระจกจากใบสนประดิพัทธ์

สิ่งทดลอง	ปริมาณเยื่อกระจก	ชนิดของเยื่อกระจก	ค่าความชื้น (ร้อยละ)
1	0	Control	9.99 ^c ±0.38
2	10	เยื่อปอสา	10.29 ^{bc} ±0.58
3	20	เยื่อปอสา	9.80 ^c ±0.81
4	30	เยื่อปอสา	12.84 ^a ±0.67
5	10	เยื่อกระจกขาว	11.72 ^{ab} ±1.34
6	20	เยื่อกระจกขาว	9.39 ^c ±0.60
7	30	เยื่อกระจกขาว	9.28 ^c ±1.07

หมายเหตุ : ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 2 พบว่ากระจกจากใบสนประดิพัทธ์ที่ผ่านการผสมเยื่อกระจกในปริมาณและชนิดที่ต่างกันมีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.28±1.07 ถึง 12.84±0.67 โดยตัวอย่างที่ไม่ผสมเยื่อกระจก (Control) มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยต่ำสุดที่ 9.99±0.38 ในขณะที่ตัวอย่างที่ผสมเยื่อปอสาปริมาณร้อยละ 30 มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยสูงสุดที่ 12.84±0.67 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเยื่อปอสามีผลทำให้ค่าความชื้นของกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของเยื่อปอสามีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บน้ำได้ดีกว่าเยื่อกระจกขาว

4.2.2 ผลการศึกษาค่าความหนา จากการศึกษาค่าความหนาของกระจกจากใบสนประดิพัทธ์ทั้ง 7 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาดจากใบสนประดิพัทธ์

สิ่งทดลอง	ปริมาณเยื่อกระดาด	ชนิดของเยื่อกระดาด	ค่าความหนา (มม)
1	0	Control	$0.72^{ab} \pm 0.47$
2	10	เยื่อปอสา	$0.68^{bc} \pm 0.25$
3	20	เยื่อปอสา	$0.74^a \pm 0.02$
4	30	เยื่อปอสา	$0.63^d \pm 0.01$
5	10	เยื่อกระดาดขาว	$0.72^{ab} \pm 0.01$
6	20	เยื่อกระดาดขาว	$0.66^{cd} \pm 0.03$
7	30	เยื่อกระดาดขาว	$0.68^{bc} \pm 0.02$

หมายเหตุ : ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 3 พบว่า กระดาดจากใบสนประดิพัทธ์ที่ผลิตโดยใช้เยื่อกระดาดในปริมาณและชนิดที่แตกต่างกันมีค่าความหนาเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.63 ± 0.01 ถึง 0.74 ± 0.02 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างที่มีค่าความหนามากที่สุดคือกระดาดที่ผสมเยื่อปอสาปริมาณร้อยละ 20 (0.74 ± 0.02 มม.) ส่วนตัวอย่างที่มีค่าความหนาน้อยที่สุดคือกระดาดที่ผสมเยื่อปอสาปริมาณร้อยละ 30 (0.63 ± 0.01 มม.) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนชนิดและปริมาณของเยื่อกระดาดไม่มีผลต่อค่าความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องมาจากกระบวนการขึ้นรูปกระดาดมีการควบคุมปริมาณเยื่อและแรงอัดที่ใช้ในการทำแผ่นกระดาดอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ค่าความหนาอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง นอกจากนี้ ความแตกต่างเล็กน้อยของค่าความหนาอาจเกิดจากโครงสร้างของเส้นใยเยื่อที่มีความละเอียดและการกระจายตัวไม่เท่ากันในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป

4.2.3 ผลการศึกษาค่าความคงทนต่อการฉีกขาด จากการศึกษาค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของกระดาดจากใบสนประดิพัทธ์ทั้ง 7 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของกระดาดจากใบสนประดิพัทธ์

สิ่งทดลอง	ปริมาณเยื่อกระดาด	ชนิดของเยื่อกระดาด	ค่าความคงทนต่อการฉีกขาด (นิวตัน)
1	0	Control	$1.23^d \pm 0.21$
2	10	เยื่อปอสา	$1.43^d \pm 0.21$
3	20	เยื่อปอสา	$2.33^c \pm 0.32$
4	30	เยื่อปอสา	$3.33^b \pm 0.35$
5	10	เยื่อกระดาดขาว	$2.23^c \pm 0.29$
6	20	เยื่อกระดาดขาว	$2.30^c \pm 0.17$
7	30	เยื่อกระดาดขาว	$5.40^a \pm 0.46$

หมายเหตุ : ^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของกระดาษจากไบสนประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.23 ± 0.21 ถึง 5.40 ± 0.46 นิวตัน โดยตัวอย่างที่ไม่ผสมเยื่อกระดาษ (Control) มีค่าความคงทนต่อการฉีกขาดต่ำที่สุดคือ 1.23 ± 0.21 นิวตัน ขณะที่ตัวอย่างที่ผสมเยื่อกระดาษขาวปริมาณร้อยละ 30 ให้ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดสูงที่สุดคือ 5.40 ± 0.46 นิวตัน รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ผสมเยื่อปอสาปริมาณร้อยละ 30 ให้ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดเท่ากับ 3.33 ± 0.35 นิวตัน ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาตามชนิดและปริมาณเยื่อกระดาษพบว่า การเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษมีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของกระดาษจากไบสนประดิษฐ์ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ใช้เยื่อปอสา ซึ่งให้ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดอยู่ในระดับที่เหมาะสม และกระดาษที่ได้มีผิวสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งโครงสร้างเส้นใยของเยื่อปอสามีความยาวและความเหนียว สามารถช่วยยึดเกาะและกระจายแรงดึงได้ดีกว่าเยื่อกระดาษขาวที่มีเส้นใยสั้นกว่า

5. อภิปรายผล

การศึกษาผลของการใช้เยื่อกระดาษต่อกระบวนการผลิตกระดาษจากไบสนประดิษฐ์พบว่า วัตถุดิบจากไบสนประดิษฐ์สามารถนำมาใช้ผลิตกระดาษเชิงหัตถศิลป์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านกระบวนการแปรรูปเยื่อที่ไม่ซับซ้อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดในบริบทของเศรษฐกิจหมุนเวียน (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2566) ผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของกระดาษจากไบสนประดิษฐ์พบว่า สีพื้นผิวและเนื้อสัมผัสของกระดาษมีความแตกต่างกันตามสัดส่วนและชนิดของเยื่อเสริม โดยเยื่อปอสาช่วยให้เยื่อกระดาษมีสีเข้มและผิวเรียบสม่ำเสมอมากกว่าการใช้เยื่อกระดาษขาว ซึ่งให้พื้นผิวหยาบและความหนาไม่สม่ำเสมอ ผลดังกล่าวอาจเกิดจากโครงสร้างเส้นใยของเยื่อปอสา ซึ่งมีลักษณะยาวและเหนียว ทำให้สามารถยึดเกาะกันได้ดี ส่งผลให้กระดาษมีความแน่นและสม่ำเสมอมากขึ้น (ประภาพรรณ ต้มทองคำ และคณะ, 2562) นอกจากนี้ การเพิ่มสัดส่วนเยื่อกระดาษยังส่งผลให้กระดาษมีความหนาแน่นสูงขึ้น สอดคล้องกับงานของ จารวี เล็กสุขศรี และคณะ (2566) ที่ระบุว่า การเพิ่มปริมาณเยื่อที่มีเส้นใยยาวในกระดาษจากพืชท้องถิ่นช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพและความสวยงามของผลิตภัณฑ์กระดาษแฮนด์เมด

ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละความชื้นของกระดาษพบว่าค่าเฉลี่ยระหว่าง 9.28-12.84 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานของกระดาษตามรายงานของ International Organization for Standardization (2017) โดยพบว่า ตัวอย่างที่ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 30 มีค่าร้อยละความชื้นสูงสุดเท่ากับ 12.84 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยปอสา ซึ่งมีโครงสร้างเซลลูโลสและลิกนินที่ยังคงสภาพตามธรรมชาติอยู่มาก ทำให้สามารถอุ้มน้ำได้ดี (Teeraphantuvat, T. et al., 2024) อย่างไรก็ตาม กระดาษที่มีค่าความชื้นสูงเกินไปอาจทำให้ความแข็งแรงลดลงเมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมชื้น ดังนั้นการควบคุมอัตราส่วนเยื่อและการอบแห้งจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของกระดาษในงานประดิษฐ์

ผลการศึกษาค่าความหนาพบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.63–0.74 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่า ชนิดและปริมาณเยื่อที่ผสมมีผลต่อความหนาในระดับจำกัด ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการ

เทเยื่อในแม่พิมพ์ที่มีการกระจายไม่สม่ำเสมอมากกว่าปัจจัยของเยื่อเอง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ อัครเดช ทองสว่าง และกานต์พิชชา สุวรรณวัฒน์เมธี (2565) ที่พบว่า ความหนาของกระดาษแฮนด์เมดขึ้นอยู่กับเทคนิคการขึ้นรูปและแรงกดระหว่างการรีดน้ำออกมากกว่าชนิดของเยื่อ

ผลการศึกษาค่าความคงทนต่อการฉีกขาดพบว่า กระดาษที่ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 30 มีค่าความคงทนต่อการฉีกขาดเท่ากับ 3.33 ± 0.35 นิวตัน ซึ่งมีค่าความคงทนต่อการฉีกขาดน้อยกว่าการใช้เยื่อกระดาษขาวในปริมาณร้อยละ 30 แต่จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของกระดาษที่ผสมเยื่อปอสาจะมีลักษณะผิวสัมผัสที่ดีกว่า และจากการศึกษาพบว่า เยื่อปอสาช่วยเพิ่มความเหนียวและความคงทนต่อแรงฉีกขาดของกระดาษได้ดี เนื่องจากเส้นใยปอสาให้การยึดเกาะที่ดีระหว่างเส้นใยใบสนประดิพัทธ์ ส่งผลให้เนื้อกระดาษมีความยืดหยุ่นและรับแรงได้มากขึ้น และจากลักษณะของเส้นใยที่สั้นและมีสารเคลือบผิวที่สามารถยึดเกาะระหว่างเส้นใยได้ดี (Jin, H. et al., 2022)

จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า กระดาษจากใบสนประดิพัทธ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานประดิษฐ์เชิงศิลป์ เช่น การทำปกสมุด การ์ด ของตกแต่ง และงานบรรจุภัณฑ์เชิงหัตถกรรม โดยเฉพาะสิ่งทดลองที่ผสมเยื่อปอสาร้อยละ 30 ซึ่งให้ความสวยงามตามธรรมชาติ เนื้อแน่น และมีความคงทนต่อการฉีกขาดสูง จึงสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต อีกทั้งกระบวนการผลิตยังใช้ทรัพยากรเหลือใช้ในท้องถิ่น ช่วยลดปริมาณขยะชีวมวลจากใบสน และสอดคล้องกับแนวคิด “การออกแบบเพื่อความยั่งยืน” (Design for sustainability) ในสาขาคหกรรมศาสตร์และศิลปหัตถกรรมร่วมสมัย

6. องค์ความรู้ใหม่

องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการศึกษานี้คือ การผสมเยื่อจากปอสาในกระบวนการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความคงทนต่อแรงฉีกขาดได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติพื้นฐานอื่น ๆ ของกระดาษ อันเป็นแนวทางใหม่ในการใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติและวัสดุรีไซเคิลให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งยังเป็นแนวทางการผลิตกระดาษเชิงสร้างสรรค์ที่ส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนในเชิงเศรษฐกิจหมุนเวียน

7. สรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ และศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ ค่าความชื้น ค่าความหนา และค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของกระดาษที่ได้จากการผลิตในแต่ละสูตรการผสม ผลการศึกษาพบว่า กระดาษจากใบสนประดิพัทธ์มีลักษณะพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ สีอ่อนนวล และมีความยืดหยุ่นในระดับเหมาะสมเมื่อผสมเยื่อปอสาหรือเยื่อกระดาษขาวปริมาณต่าง ๆ ค่าร้อยละความชื้นของกระดาษ พบว่ามีค่าเฉลี่ยระหว่าง 9.28-12.84 ส่วนค่าความหนามีแนวโน้มใกล้เคียงกับกระดาษควบคุม (Control) ซึ่งบ่งชี้ว่าการผสมเยื่อจากวัสดุธรรมชาติไม่ได้ทำให้โครงสร้างของกระดาษเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ค่าความคงทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนใน

สิ่งทดลองที่ผสมเยื่อปอสา โดยเฉพาะเมื่อใช้ในสัดส่วนที่สูงขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเส้นใยเยื่อปอสาช่วยเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยเซลลูโลสของใบสนประดิพัทธ์ให้แน่นหนายิ่งขึ้น

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

8.1.1 กระบวนการผลิตควรให้ความสำคัญกับการควบคุมสัดส่วนของเยื่อใบสนประดิพัทธ์กับเยื่อเสริม เช่น เยื่อจากกระดาษขาวหรือเยื่อปอสา เพื่อเพิ่มความเหนียวและความคงทนของกระดาษ

8.1.2 การเลือกสารย้อมประสานจากธรรมชาติ เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือกาวยาเกรน ควรผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีก่อนนำมาใช้ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีและการเสื่อมสภาพของกระดาษในระยะยาว

8.1.3 ควรส่งเสริมการใช้กระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ในเชิงพาณิชย์ โดยนำไปประยุกต์ใช้ในงานประดิษฐ์พื้นบ้าน เช่น การทำการ์ด ของตกแต่ง เครื่องหอม หรือบรรจุภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์

8.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

8.2.1 ควรมีการศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีของเยื่อใบสนประดิพัทธ์ เช่น ค่าลิกนิน เซลลูโลส และเอมิเซลลูโลส เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ เช่น ความหนาแน่น ความเรียบผิว และความต้านทานต่อแรงดึง

8.2.2 ควรศึกษาการผสมสารธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษ เช่น ความทนน้ำ การกันเชื้อรา หรือการเคลือบผิว เพื่อขยายขอบเขตการใช้งานในเชิงผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์

8.2.3 ควรศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ใช้กระดาษจากใบสนประดิพัทธ์ในลักษณะของงานหัตถกรรมร่วมสมัย เพื่อเพิ่มคุณค่าเชิงวัฒนธรรมและสร้างความแตกต่างในตลาดงานประดิษฐ์เชิงนวัตกรรม

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดสอบผลิตภัณฑ์

10. เอกสารอ้างอิง

กิตติยา ฤทธิภักดี, มนตรี กุมวาปี และทัศนีย์ โพธิ์ขวัญ. (2568). ชุดกิจกรรมการเรียนรู้การจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนสำหรับชุมชน: การพัฒนาและบทสะท้อนจากการปฏิบัติ. *วารสารสังคมพัฒนศาสตร์*, 8(6), 156-170.

จารวี เล็กสุขศรี, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี และธีรวัธ อาจสำอางค์. (2566). การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือต้นครามจากกระบวนการหมักสีธรรมชาติมาผลิตเป็นกระดาษหัตถกรรม. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 12(1), 57-63.

- บุญฤทธิ์ สโมสร และกัมปนาท วงษ์วัฒนพงษ์. (2567). แนวทางการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *Journal of Modern Learning Development*, 9(9), 628-641.
- ประภาพรรณ ตุ่มทองคำ, ณิชกานต์ บัวแต่งตันสกุล, รังสิมา ชลคุป, อำนาจ เจริรัตน์, สิริยุภา เนตรมัย และวุฒินันท์ คงทัด. (2562). การพัฒนากระดาษจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันและเปลือกปอสา และสารเคลือบโคโตะซาน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 13(2), 37-49.
- พิรดาว หมดอำตม์, เพ็ญศรี ฉรินัง, วรเดช จันทรร และวิพร เกตุแก้ว. (2567). เศรษฐกิจสีเขียวกับยุทธศาสตร์การพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน. *Journal of Roi Kaensam Academi*, 9(1), 627-642.
- ยุวดี พรธารพงศ์, อาณัฐ ศิริพิชญ์ตระกูล, ศิรวัชร พัฒคุ้ม, บุศรินทร์ มั่นวิชาชัย และสราวุธ มั่นวิชาชัย. (2568). การจัดการความรู้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมจักสาน ผักตบชวา เพื่อการออกแบบสร้างอัตลักษณ์ผลิตภัณฑ์ชุมชนและการส่งเสริมรายได้เชิงพาณิชย์. *วารสารปริชาต*, 38(2), 442-458.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. (2566). การส่งเสริมและพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy). กระทรวงพาณิชย์.
- อัครเดช ทองสว่าง และกานต์พิชชา สุวรรณวัฒน์เมธี. (2565). การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วยด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 21(1), 11-21.
- Chudasri, D. (2015). *An investigation into the potential of design for sustainability in the handicrafts of northern Thailand*. Lancaster University (United Kingdom).
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 287: Paper and board - Determination of moisture content of a lot — Oven-drying method* (4th ed.). Geneva: ISO.
- Jin, H., Kose, R., Akada, N. & Okayama, T. (2022). Relationship between wettability of pulp fibers and tensile strength of paper during recycling. *Scientific Reports*, 12(1), 1560. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05514-2>
- Sannapapamma, K. J., Mariyappanavar, S., Sangannavar, V. V., Jamadar, D., Vastrad, J. V. & Byadagi, S. A. (2020). Development and quality assessment of handmade papers using underutilized agro based natural fibres. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 1410-1417.

Teeraphantuvat, T., Jatuwong, K., Jinanukul, P., Thamjaree, W., Lumyong, S. & Aiduang, W. (2024). Improving the physical and mechanical properties of mycelium-based green composites using paper waste. *Polymers*, 16(2), 262. <https://doi.org/10.3390/polym16020262>