

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าจากพื้นที่สวนเกษตรไผ่ อำเภอลอง จังหวัดแพร่

Development of Bamboo Leaf Pulp Paper from *Dendrocalamus copelandii* Leaves from Bamboo Agroforestry Plots in Long District, Phrae Province

ธิตี วานิชดิlokรัตน์^{1*}, สรिता แสงเขียว¹, ณัฏฐ์ณฤทัย บุญญรัตน์¹, ณัฐนนท์ จันทร์สงแสง¹,
นิรชา วังศรี¹ และจิราภา วานิชดิlokรัตน์²

Thiti Wanishdilokratn^{1*}, Sarita Saengkhaio¹, Natnaruehai Boonyarat¹, Nattanon Jansongsang¹,
Niracha Wangkeeree¹ and Jirapa Wanishdilokratn²

Received date: 3 ก.ย. 68 Revised date: 3 ต.ค. 68 Accepted date: 7 ต.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269025>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่า (*Dendrocalamus copelandii*) ที่ได้จากพื้นที่สวนเกษตรไผ่ อำเภอลอง จังหวัดแพร่ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระดาษเยื่อใบไผ่ที่ผลิตจากใบไผ่เป่าอ่อนและใบไผ่เป่าแก่ การทดสอบประกอบด้วย ค่าความชื้น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระดาษเยื่อใบไผ่ที่ผลิตจากใบไผ่เป่าแก่มีคุณสมบัติดีกว่ากระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าอ่อน โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ย $7.59 \pm 3.98\%$ ความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85 ± 14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำเฉลี่ย $349.29 \pm 13.87\%$ การพองตัวตามความหนาเฉลี่ย $96.23 \pm 5.43\%$ ค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.26 ± 2.92 เมกะพาสคาล และค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99 ± 1.35 มิลลินิวตัน จากผลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ใบไผ่เป่าแก่มีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตกระดาษเยื่อใบไผ่ที่มีคุณภาพสูงกว่า ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าตลอดจนต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าความหนาแน่น ค่าแรงดึง ค่าแรงฉีก

Abstract

This study investigated the development of Bamboo leaf pulp paper from *Dendrocalamus copelandii* leaves collected from bamboo agroforestry plots in Long District, Phrae Province, Thailand. The research focused on comparing the physical and mechanical properties of Bamboo leaf pulp paper produced from young and mature bamboo leaves. The tested properties included moisture content, density, water absorption, thickness swelling, tensile strength, and tearing strength. The results revealed that Bamboo leaf pulp paper derived from mature bamboo leaves exhibited superior properties compared to that from young leaves. Specifically, the paper from mature leaves showed an average moisture content of $7.59 \pm 3.98\%$, density of 277.85 ± 14.95 kg/m³, water absorption of $349.29 \pm 13.87\%$, thickness swelling of $96.23 \pm 5.43\%$, tensile strength of 6.26 ± 2.92 MPa, and tearing strength of 6.99 ± 1.35 mN. These findings highlight the potential of mature *D. giganteus* leaves as a promising raw material for high-quality Bamboo leaf pulp paper production, providing a foundation for product development and further commercial applications.

Keywords: water absorption, thickness swelling, density, tensile strength, tearing strength

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

² สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 13 (แพร่) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จังหวัดแพร่ 54000

¹ Department of Forest Industry Technology, Establishment Project of the College of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae province, 54140

² Protected Area Regional Office 13 Phrae, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Phrae province, 54000

* Corresponding author: email: thiti_jk@hotmail.com

คำนำ

ปริมาณการใช้กระดาษในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนถึงการพัฒนาทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่ทำให้ความต้องการใช้กระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sakthirasunthon, 2020) โดยในปี 2567 ที่ผ่านมามีประเทศไทยได้มีการนำเข้าเยื่อไม้กว่า 690 ล้านกิโลกรัม (Royal Forest Department, 2025) อย่างไรก็ตาม การผลิตเยื่อกระดาษในประเทศยังคงมีปริมาณจำกัดและส่วนใหญ่ผลิตขึ้นเพื่อการบริโภคภายในประเทศ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดภายในและการทดแทนการนำเข้า (Chen, 2020; Khantayanuwong, 2003; Tangjitjaroenkit and Padungthon, 2020) เยื่อกระดาษโดยทั่วไปผลิตจากไม้ซึ่งแม้จะเป็นทรัพยากรที่สามารถปลูกทดแทนได้ แต่ไม้บางชนิดเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลานานกว่าจะสามารถเก็บเกี่ยวเพื่อแปรรูปเป็นเยื่อกระดาษได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาการพึ่งพาวัตถุดิบที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนในระยะยาว และกระทบต่อความยั่งยืนของอุตสาหกรรม (Chen et al., 2012) ดังนั้น การแสวงหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถทดแทนไม้และมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใบไม้ ชานอ้อย ฟางข้าว ใบสับปะรด เป็นต้น (Andrade and Colodette, 2014; Chaudhary et al. 2024; Rattanawongkun et al., 2020) ที่สามารถนำมาใช้ผลิตเยื่อกระดาษเพื่อลดการพึ่งพาไม้โดยตรง และยังช่วยลดปัญหาการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งในภาคเกษตรกรรมอีกด้วย

พื้นที่อำเภอลอง จังหวัดแพร่ เป็นแหล่งเพาะปลูกไม้ที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคเหนือ โดยเฉพาะไม้เป่า (Dendrocalamus copelandii) ซึ่งได้รับความนิยมปลูกอย่างแพร่หลายทั้งในเชิงเศรษฐกิจและการใช้ประโยชน์ในครัวเรือน (Wanishdilokratn and Wanishdilokratn, 2024) การปลูกไม้ในพื้นที่ดังกล่าวทำให้เกิดใบไม้ร่วงหล่นเป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี หากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสม ใบไม้ร่วงเหล่านี้อาจกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การทับถมของเศษซากพืชที่หนาแน่นไปจนขัดขวางการงอกของหน่อไม้ การสะสมความชื้นซึ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและโรคพืช การแย่งชิงธาตุอาหารระหว่างจุลินทรีย์กับพืชในช่วงการย่อยสลาย (Chaiyasart et al., 2018; Chakhatrakan and Promwee, 2010; Rodyoo and Chinawong, 2015) การเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า ตลอดจนการเป็นแหล่งสะสมของแมลงและสัตว์รบกวน (Wudthisawas and Kongsila, 2021; Tripathy et al., 2020; Zhao et al., 2024) ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของชุมชน แต่ยังสะท้อนถึงการสูญเสียโอกาสในการใช้ประโยชน์จากวัสดุใบไม้เป่าอีกด้วย โดยการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ กระดาษที่ผลิตจากเส้นใยพืชควรมีคุณสมบัติเด่นด้านความเหนียว ความทนทาน และลวดลายที่เป็นธรรมชาติ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานหัตถกรรม ศิลปะ และพิธีกรรมต่าง ๆ (Kongtud et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ใบไม้ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างใบอ่อนและใบแก่ในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ยังมียังมีอยู่จำกัด การเปรียบเทียบดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างเส้นใยของใบอ่อนและใบแก่อาจแตกต่างกัน เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เป็นต้น ส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของกระดาษเยื่อใบไม้ที่ได้ (Vangsirigul et al., 2017) การวิจัยในประเด็นนี้จึงถือเป็นก้าวสำคัญที่จะช่วยระบุแหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์

เพื่อตอบโจทย์ทั้งด้านการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการสร้างวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตเยื่อกระดาษ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพของใบไม้เป่าในฐานะวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ โดยอาศัยกระบวนการผลิตเยื่อทางเคมีซึ่งเป็นกระบวนการมาตรฐานที่สามารถควบคุมคุณภาพของเยื่อได้อย่างสม่ำเสมอ การวิจัยได้ออกแบบการทดสอบเพื่อประเมินคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการพองตัว ตลอดจนคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงและแรงฉีก โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าอ่อนและใบไม้เป่าแก่ ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบดังกล่าวจะช่วยระบุชนิดใบไม้ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเยื่อใบไม้ให้มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค และสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังมีส่วนช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ในท้องถิ่นและสนับสนุนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่างใบไผ่

ลงพื้นที่สำรวจสวนเกษตรไผ่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ดังแสดงใน Figure 1 เพื่อใช้เป็นแหล่งเก็บรวบรวมวัตถุดิบในการศึกษา โดยเลือกสวนเกษตรที่มีการปลูกไผ่เปื้อ (*Dendrocalamus copelandii*) ในลักษณะเป็นกอ (Figure 2) จากนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างใบไผ่ทั้งใบอ่อนและใบแก่ ที่มีลักษณะสมบูรณ์ โดยคัดเลือกเฉพาะใบที่มีขนาดเต็มใบ มีความสม่ำเสมอ ไม่ฉีกขาดหรือมีร่องรอยความเสียหาย เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการศึกษา

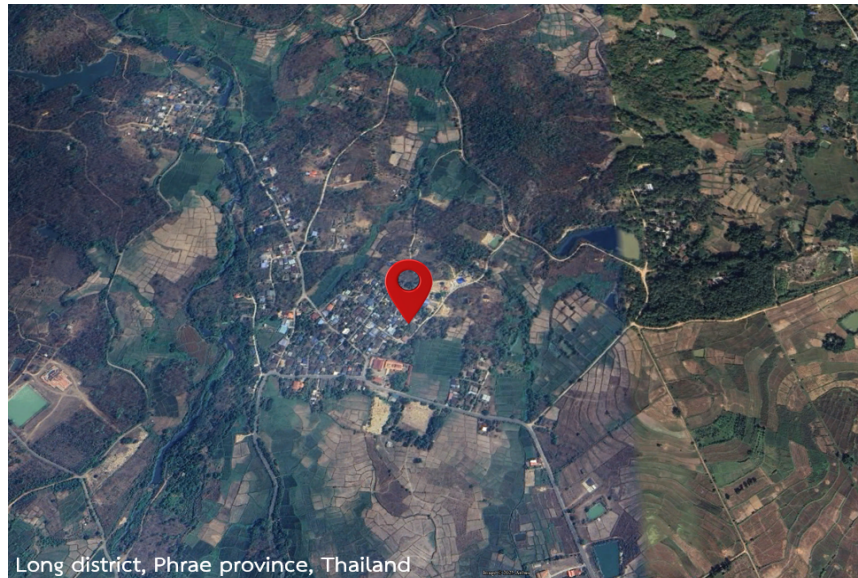


Figure 1 Location of bamboo agroforestry plots in Long District, Phrae Province



Figure 2 *Dendrocalamus copelandii* in bamboo agroforestry plots

การเตรียมตัวอย่าง

นำใบไผ่เปื้อที่เก็บได้ของใบอ่อนและใบแก่ มาทำการ ผึ่งแดดให้แห้ง เพื่อกำจัดความชื้นส่วนเกิน จากนั้นแยกใบไผ่แต่ละประเภทมาทำการปรับสภาวะด้วยด่างโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เส้นใยอ่อนตัวสำหรับการผลิตเยื่อ หลังจากนั้นนำใบไผ่มาต้มโดยใช้อัตราส่วนน้ำร้อยละ 70 และใบไผ่ร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำใบไผ่ที่ผ่านการต้มมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยเยื่อที่ได้จากการปั่นนำมาทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ขนาด 300x300x1 มิลลิเมตร โดยเกลี่ยเยื่อใบไผ่ที่

ได้ให้สมำเสมอทั้งแผ่นแล้วอัดตัวเป็นแผ่นให้แน่น เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นนำแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปแล้ว ผึ่งปรับสภาวะให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดัง Figure 3



Figure 3 Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* leaves; A. Young bamboo leaves and B. Mature bamboo leaves

การทดสอบคุณสมบัติ

นำกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เป่าในแต่ละสภาวะมาทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 412 (2013), TAPPI T 494 (2021) และ TAPPI T 494 (2006) ซึ่งประกอบด้วยค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- การทดสอบหาค่าความชื้น (Moisture content) และค่าความหนาแน่น (Density) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างขึ้นทดสอบจากกระดาษเยื่อใบไผ่ขนาด 50x50x1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นน้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนอบ จากนั้นวัดขนาดความกว้าง ความหนา และความยาวของขึ้นทดสอบ ต่อมาอบขึ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักของขึ้นทดสอบคงที่ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อเป็นน้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ และวัดขนาดความกว้าง ความหนา และความยาวของขึ้นทดสอบหลังอบ สำหรับหาปริมาตรของขึ้นตัวอย่าง การหาค่าปริมาณความชื้น แสดงดังสมการที่ (1)

$$Mc = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

Mc คือ ค่าความชื้น (ร้อยละ)

M_1 คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)

การหาค่าความหนาแน่น แสดงดังสมการที่ (2)

$$D = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (2)$$

เมื่อ

D คือ ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

M คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของขึ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และการพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างขึ้นทดสอบจากกระดาษเยื่อใบไผ่ขนาด 50x50x1 มิลลิเมตร ต่อมาชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ และวัดความหนาขึ้นทดสอบเป็นความหนาขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ แล้วแช่ขึ้นทดสอบในน้ำสะอาด เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ และวัดความหนาหลังทดสอบเป็นความหนาขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ การหาค่าการดูดซึมน้ำ แสดงดังสมการที่ (3)

$$W_a = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

W_a คือ ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)W₁ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)W₂ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)

การหาค่าการพองตัวตามความหนา แสดงดังสมการที่ (4)

$$T_s = \frac{(T_2 - T_1)}{T_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ

T_s คือ ค่าการพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)T₁ คือ ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)T₂ คือ ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าแรงดึง (Tensile strength) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกระดาศเยื่อใบไผ่ขนาด 15x180x1 มิลลิเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) โดยใช้อุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงดึง เพื่อทำการดึงในอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำค่าแรงดึงที่ทดสอบได้มาคำนวณ แสดงดังสมการที่ (5)

$$T_n = \frac{F}{(W \times L)} \quad (5)$$

เมื่อ

T_n คือ ค่าแรงดึง (เมกะพาสคาล)

F คือ แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)

W คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

- การทดสอบค่าแรงฉีก (Tearing strength) สามารถทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกระดาศเยื่อใบไผ่ขนาด 63x76x1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการบากบริเวณขอบของกระดาศเล็กน้อยเพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นการฉีกขาด แล้วหนีบปลายกระดาศทั้งสองด้านด้วยคลิป หนึ่งด้านยึดไว้กับที่คงที่ อีกด้านเชื่อมต่อกับเครื่องวัดแรงสปริง (Spring Balance) จากนั้นออกแรงดึงอย่างต่อเนื่องจนกระดาศเกิดการฉีกขาด พร้อมทั้งบันทึกค่ากำลังสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงสปริงเพื่อนำมาคำนวณแรงฉีก แสดงดังสมการที่ (6)

$$T_r = \frac{C}{N} \quad (6)$$

เมื่อ

T_r คือ ค่าแรงฉีก (มิลลินิวตัน)

C คือ แรงฉีกสูงสุด (มิลลินิวตัน)

N คือ จำนวนชิ้นตัวอย่างในการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีก มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่าสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ค่าความชื้นและค่าความหนาแน่น

ค่าความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปียะแกมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.59±3.98 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับใบไผ่เปียะอ่อนที่มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 8.44±3.55 ส่วนค่าความหนาแน่นของกระดาศเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปียะแกมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85±14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับใบไผ่เปียะอ่อนที่มีค่าเฉลี่ย 268.95±16.62 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสดงดัง Table 1 โดยค่าความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sungkaew et al. (2016) ที่ได้ทำการพัฒนาการผลิตกระดาศและผลิตภัณฑ์กระดาศจากไส้กรอ่วมกับการใช้สีย้อมธรรมชาติ พบว่า มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.36 ซึ่งการควบคุมปริมาณความชื้นของกระดาศเยื่อใบไผ่เป็นสิ่งสำคัญที่จะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย (Taikhao, 2013) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Tohluebaji et al. (2022) ที่ได้ทำการศึกษาความหนาแน่นของการผลิตกระดาศจากเศษกระจุตผสมกระดาศเหลือทิ้งจาก

สำนักงานเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 283.15 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลต่อความหนาแน่นของกระดาษ (Asta et al., 2024) ทำให้กระดาษมีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกัน (Park et al., 2020)

Table 1 Moisture content and density of Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Moisture content (%)	Density (kg/m ³)
Young	8.44±3.55	268.95±16.62
Mature	7.59±3.98	277.85±14.95
Average	8.02±3.77	273.40±15.79
p-value	0.78	0.80

Statistically significant difference at $p < 0.05$

ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวตามความหนา

ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 349.29±13.87 โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 356.26±22.66 เช่นเดียวกันกับค่าการพองตัวตามความหนาของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 96.23±5.43 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 102.22±3.17 แสดงดัง Table 2 โดยค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับ Maneewan and Yimchang (2007) ที่ได้ทำการศึกษาแผ่นเซลล์กระดาษเยื่อใบไผ่สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยพบว่า มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 220-390 เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Maneewan (2007) ที่ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อใบไผ่สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่า กระดาษสาจากบ้านนาเหลียง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน บ้านสะเนียน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน และบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 325.00-450.00 ส่วนค่าการพองตัวตามความหนามีความคล้ายคลึงกับ Tohluebaji et al. (2022) จากการทดลองการผลิตกระดาษจากเศษกระดาษพบว่า มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 98.55 โดยกระดาษเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้สูง ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสกับความชื้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำของกระดาษ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าการดูดซึมน้ำและอัตราการพองตัวตามความหนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Khongtong and Patjun, 2013) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุหรือวัตถุดิบที่จะนำมาทำกระดาษ และสารต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วย (Podkumnerd et al., 2019)

Table 2 Water absorption and thickness swelling of Bamboo leaf pulp paper Products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
Young	356.26±22.66	102.22±3.17
Mature	349.29±13.87	96.23±5.43
Average	352.78±18.26	99.27±4.30
p-value	0.26	0.26

Statistically significant difference at $p < 0.05$

ค่าแรงดึงและค่าแรงฉีก

ค่าแรงดึงของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าเฉลี่ย 6.07±2.83 เมกะพาสคาล มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.26±2.92 เมกะพาสคาล เช่นเดียวกันกับค่าแรงฉีกของกระดาษเยื่อใบไผ่จากใบไผ่เปื้อนแถมมีค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99±1.35 มิลลินิวตัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับใบไผ่เปื้อนอ่อนที่มีค่าเฉลี่ย 6.26±2.60 มิลลินิวตัน แสดงดัง Table 3 ซึ่งค่าแรงดึงมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tongsaewang and Suwannawatanamatee (2022) ที่ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วยด้วยคาร์บอกซิเมทิล

เซลลูโลส พบว่า มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 8.00 เมกะพาสคาล อีกทั้งคล้ายคลึงกับค่าแรงฉีกของ Eamchuen et al. (2020) ที่ได้ทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษกราฟจากไม้เลื้อยและไม้ซางนวลเพื่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย พบว่า กระดาษจากไม้เลื้อยมีค่าแรงฉีกอยู่ในช่วง 6.70-16.60 มิลลินิวตัน โดยปริมาณเซลลูโลสที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการยึดเกาะของเส้นใย (Pacaphol et al., 2023) ในค่าแรงดึงและค่าแรงฉีก ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านทานแรงทางกลของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหรือ วัสดุตั้งต้นในการผลิต (Li et al., 2021; Yamauchi and Tanaka, 2002) ซึ่งใบไม้เป็นวัตถุดิบทางเลือกจากธรรมชาติที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งเส้นใยสำหรับผลิตเยื่อกระดาษ (Gruyal and Ulbeda, 2024)

Table 3 Tensile strength and tearing strength of Bamboo leaf pulp paper products from *Dendrocalamus copelandii* Leaves

Bamboo leaf	Tensile strength (Mpa)	Tearing strength (mN)
Young	6.07±2.83	6.26±2.60
Mature	6.26±2.92	6.99±1.35
Average	6.17±2.86	6.63±1.97
p-value	0.95	0.21

Statistically significant difference at $p < 0.05$

สรุปผลการศึกษา

กระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าแฉะมีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีกว่ากระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าอ่อน โดยกระดาษเยื่อใบไม้ที่ผลิตจากใบไม้เป่าแฉะมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.59±3.98 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 277.85±14.95 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 349.29±13.87 ค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 96.23±5.43 ค่าแรงดึงเฉลี่ย 6.07±2.83 เมกะพาสคาล และค่าแรงฉีกเฉลี่ย 6.99±1.35 มิลลินิวตัน แสดงให้เห็นว่าใบไม้เป่าแฉะสามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตกระดาษเยื่อใบไม้ เนื่องจากให้ค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าใบไม้เป่าอ่อน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณนายเทียน กันทะล้น ผู้ใหญ่บ้านปง หมู่ที่ 3 อำเภอคลอง จังหวัดแพร่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล รวมถึงวัตถุดิบต่าง ๆ ในการวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ธิติ วานิชดิตรัตน์ การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ธิติ วานิชดิตรัตน์, ณัฐนนท์ จันทร์ส่งแสง และนริชา วังศิริ การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สรिता แสงเขียว และณัฐธัญญ์ บุญญศรี การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จิราภา วานิชดิตรัตน์ การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ธิติ วานิชดิตรัตน์ และสรिता แสงเขียว การให้การสนับสนุน specimens: จิราภา วานิชดิตรัตน์.

เอกสารอ้างอิง

- Andrade, M. F., & Colodette, J. L. (2014). Dissolving pulp production from sugar cane bagasse. *Industrial Crops and Products*, 52(1), 58-64.
- Asta, N., Kaplan, M., Kulachenko, A., Östlund, S., & Wågberg, L. (2024). Influence of density and chemical additives on paper mechanical properties. *Cellulose*, 31(1), 5809–5822.
- Chaiyasart, P., Poolsiri, R., & Haruthaithanasan, M. (2018). Litter decomposition of various bamboo plantations at Royal Agricultural Station Angkhang, Chiang Mai province. *Thai Journal of Forestry*, 37(2), 48-54. (in Thai).
- Chakhatrakan, S., & Promwee, A. (2010). Efficacy of *Trichoderma* spp. isolated from bamboo leaves for controlling damping-off disease of chinese kale caused by *Pythium aphanidermatum*. *Thai Journal of Science and Technology*, 18(1), 1-13. (in Thai).
- Chaudhary, U., Malik, S., Rana, V., & Joshi, G. (2024). Bamboo in the pulp, paper and allied industries. *Advances in Bamboo Science*, 7(1), 100069.
- Chen, G. (2020). An investigation of paper mill sustainable development in Thailand-a case study of Double A Public Company Limited. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 576(1), 012031.
- Chen, Q., Ni, Y., & He, Z. (2012). Substitution of high-yield-pulp for hardwood bleached kraft pulp in paper production and its effect on alkenyl succinic anhydride sizing. *BioResources*, 7(2), 1462-1473.
- Eamchuen, W., Pisuttipiched, S., & Puangsin, B. (2020). Properties of pulp derived from Liang and White Bamboo used in the kraft papermaking industry in Thailand. *Thai Journal of Forestry*, 39(2), 176-184. (in Thai).
- Gruyal, G. A., & Ulbeda, L. O. (2024). Development of bamboo leaf fiber. *Science International-Lahore*, 34(4), 193-195.
- Khantayanuwong, S. (2003). Determination of the effect of recycling treatment on pulp fiber properties by principal component analysis. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 37(2), 219-223.
- Khongtong, S., & Patjun, O. (2013). Developing of water resistance paper by the addition of natural rubber. *Srinakharinwirot Science Journal*, 29(2), 263-273. (in Thai).
- Kongtud, W., Witayakarn, S., & Tantatherdtam, R. (2016). Water resistance improvement of Saa paper by glucomannan. In *The 54th Kasetsart University Annual Conference*, pp. 741-748. Kasetsart University. (in Thai).
- Li, A., Shi, Y., Zhang, J., & Zhang, J. (2021). Comparative analysis of the physical and mechanical properties of kraft paper and watercolor paper. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23(1), 45.
- Maneewan, S., (2007). Investigation of physical properties of mulberry paper for evaporative cooling system. *Naresuan University Journal*, 15(2), 63-72. (in Thai).
- Maneewan, S., & Yimchang, C. (2007). The study of celpad from mulberry paper for evaporative cooling. *KMUTT Research & Development Journal*, 30(3), 523-536. (in Thai).
- Pacaphol, K., Seraypheap, K., & Aht-Ong, D. (2023). Extraction and silylation of cellulose nanofibers from agricultural bamboo leaf waste for hydrophobic coating on paper. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2178581.
- Park, N. Y., Ko, Y. C., Melani, L., & Kim, H. J. (2020). Mechanical properties of low-density paper. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35(1), 61–700.
- Podkumnerd, N., Wunsri, S., & Rattanankit, T. (2019). Product development process of Nipa paper from Nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) waste materials for sustainability of palian river basin community. *Journal of Community Development and Life Quality*, 7(3), 271-282. (in Thai).
- Rattanawongkun, P., Kunfong, N., Klayya, S., Chotimarnon, T., Duangphet, S., Tawichai, N., Intatha, U., Soykeabkaew, N. (2020). Comparison of molded pulps from rice straw, pineapple leaf and banana stem pulps. *ScienceAsia*, 46(Suppl.1), 79-84.
- Rodyoo, J., & Chinawong, S. (2015). Isolation and selection of indigenous cellulolytic microorganisms for production of palm oil empty fruit bunches compost. *Thaksin University Journal*, 18(3), 40-48. (in Thai).
- Royal Forest Department. (2025). *Forestry Statistics Data 2024*. Information and Communication Technology Center. (in Thai).
- Sakthirasunthon, A. (2020). The study of properties of palm fiber substitute mixed with waste paper to develop cut-notch press pads for garment. *Journal of Industrial Education*, 14(2), 121-133. (in Thai).
- Sungkaew, W., Yuvanatemiya, V., & Lommetta, K. (2016). Development of paper production and paper products from pith of sedge (*Cyperus colymbosus* Rottb) with natural dyes. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 10(4), 5-13. (in Thai).
- Taikhao, A. (2013). Analysis of the economics of mulberry paper solar dryers. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 7(1), 59-64.
- Tangjitjaroenkit, S., & Padunghon, S. (2020). Color removal of pulp and paper mill industry by a hybrid coagulation and adsorption process. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 20(3), 65-73. (in Thai).
- TAPPI. (2006). *Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus)* (T 494 om-06). TAPPI Press.
- TAPPI. (2013). *T 412 om-12: Moisture in Pulp, Paper and Paperboard (Test Method)*. TAPPI Press.

- TAPPI. (2021). **T 494 om-21: Tensile Breaking Properties of Paper and Paperboard (Using Constant Rate of Elongation Apparatus) (Test Method)**. TAPPI Press.
- Tohliebaji, N., Sayoh, I., & Lateh, N. (2022). The production of paper from Krajoed waste mixed with waste paper from the office for community product development. **Pridiyathorn Science Journal**, 1(2), 1-12. (in Thai).
- Tongsawang, A., & Suwannawatanamatee, K. (2022). The improvement of paper properties from banana pulp with carboxymethyl cellulose. **Journal of Applied Research on Science and Technology**, 21(1), 11-21. (in Thai).
- Tripathy, M. K., Kar, M. R., & Pradhan, B. K. (2020). Control of bamboo borer *Dinoderis minutes* Fab infesting Sal, *Shorea robusta* in Odisha, India. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, 8(4), 588-592.
- Vangsirigul, P., Leahpana, N., Sohko, S., Samanman, S., & Wattanayon, R. (2017). Pretreatment of office paper and newspaper by chemical and physicochemical method. **Princess of Naradhiwas University Journal**, 9(2), 113-121.
- Wanishdilokratn, T., & Wanishdilokratn, J. (2024). Physical and mechanical properties of *Dendrocalamus giganteus* from difference zones in Long district, Phrae province, Thailand. **Journal of Bamboo and Rattan**, 23(2), 29-36.
- Wudthisawas, P., & Kongsila, T. (2021). The bamboo management guidelines of Ban Phatub community dwelling surrounding Tham Phatub National Park, Muang District, Nan Province. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 15(3), 46-51. (in Thai).
- Yamauchi, T., & Tanaka, A. (2002). Tearing test for paper using a tensile tester. **Journal of Wood Science**, 48(1), 532-535.
- Zhao, Z., Yang, L., & Chen, X. (2024). Current and future potential distribution of two bamboo pests in China: *Anaka burmensis* and *Cicadella viridis* (Hemiptera, Cicadellidae). **Zookeys**, 1203(1), 197-210.