

บทความวิจัย

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยักญซงที่ผ่านการอบลดความชื้นด้วยลมร้อนและการตากธรรมชาติ

ธีระยุทธ ขอดแก้ว* วิวัฒน์ สิงใส วรเชษฐ หวานเสียง และ ชติพงษ์ จิโนสุวัตร

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ธวัชชัย อุ่นใจม

หน่วยวิจัยกลศาสตร์วัสดุ และการออกแบบวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

พฤทธิ เนตรสว่าง

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6732 4628 อีเมล: teerayut@rmutl.ac.th

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2026.10.002

รับเมื่อ 2 มีนาคม 2569 แก้ไขเมื่อ 3 พฤษภาคม 2569 ตอรับเมื่อ 11 มิถุนายน 2569 เผยแพร่ออนไลน์ 7 ตุลาคม 2569

© 2026 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของกระบวนการอบลดความชื้นเส้นใยักญซงด้วยลมร้อนและการตากแดดธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยักญซง วิธีการศึกษาเริ่มจากการวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้นด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ซึ่งพบว่ากระบวนการหาค่าความชื้นด้วยระบบอินฟราเรดและตู้อบมาตรฐานให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) จากนั้นทำการลดความชื้นเส้นใยักญซงจากค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยกระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อนให้เหลือร้อยละ 10–12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม จากนั้นนำเส้นใยักญซงไปทำการทดสอบแรงดึงพบว่าเส้นใยที่ผ่านกระบวนการอบมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.726 ± 1.451 จิกะปาสกาล ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติที่มีค่าเฉลี่ย 2.052 ± 1.370 จิกะปาสกาล อย่างไรก็ตามทั้งสองกระบวนการให้ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณรอยแตกหักที่สอดคล้องกันเมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยกลุ่มที่รับความเค้นสูงแสดงโครงสร้างจุลภาคของเส้นใยักญซงที่อัดแน่นของพันธะเซลลูโลสและลิกนิน ขณะที่กลุ่มที่มีความเครียดสูงแสดงการวิบัติแบบแยกเป็นเส้นใยย่อยเนื่องจากการสะสมความเค้นบริเวณส่วนอัสฐานนำไปสู่การเกิดรอยแตกขนาดเล็ก จากผลการศึกษาสรุปได้ว่ากระบวนการอบเพื่อลดความชื้นเส้นใยักญซงสามารถนำมาใช้ทดแทนกระบวนการตากแดดธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของเส้นใย

คำสำคัญ: การอบลดความชื้น โครงสร้างจุลภาค สัณฐานวิทยา สมบัติแรงดึง เส้นใยักญซง

การอ้างอิงบทความ: ธีระยุทธ ขอดแก้ว, วิวัฒน์ สิงใส, วรเชษฐ หวานเสียง, ชติพงษ์ จิโนสุวัตร, ธวัชชัย อุ่นใจม และ พฤทธิ เนตรสว่าง, “การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยักญซงที่ผ่านการอบลดความชื้นด้วยลมร้อนและการตากธรรมชาติ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 37, ฉบับที่ 1, หน้า 1–17, ม.ค.-มี.ค. 2570. เลขที่บทความ 271-058361, doi: 10.14416/j.kmutnb.2026.10.002.



Research Article

A Study on Mechanical Properties of Hemp Fibers Treated by Hot-Air Drying and Natural Sun Drying

Teerayut Cordkaew*, Wiwat Singsai, Worached Wanseang and Khattipong Jinosuwat

Affiliation Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

Thawatchai Ounjaijom

Mechanics, Materials and Engineering Design Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

Prud Netsawang

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

*Corresponding Author, Tel. 08 6732 4628, E-mail: teerayut@rmutl.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2026.10.002

Received 2 March 2026; Revised 3 May 2026; Accepted 11 June 2026; Published online: 7 October 2026

© 2026 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aimed to investigate and compare the effects of hot-air drying and natural sun drying on the mechanical properties of hemp bast fibers. The study began with an analysis of the initial moisture content using a Completely Randomized Design (CRD), which revealed that the infrared moisture analysis and standard oven methods yielded statistically consistent results (p -value > 0.05). The hemp fibers were subsequently dried from their initial moisture content using a hot-air oven until reaching a target moisture content of 10–12% wet basis, which is considered suitable for industrial applications. Tensile testing results indicated that the hot-air dried fibers exhibited an average elastic modulus of 2.726 ± 1.451 GPa, showing a higher tendency than the naturally sun-dried group, which had an average value of 2.052 ± 1.370 GPa. However, both drying processes exhibited consistent fracture morphologies when analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM). Samples subjected to high stress showed a compact microstructure of cellulose and lignin bonds, whereas samples with high strain exhibited fibrillation failure due to stress accumulation in the amorphous regions, leading to the formation of microcracks. In conclusion, the hot-air drying process can effectively replace natural sun drying without negatively affecting the mechanical properties or physical characteristics of the fibers.

Keywords: Dehydration, Microstructure, Morphology, Tensile Properties, Hemp Fiber

Please cite this article as: T. Cordkaew, W. Singsai, W. Wanseang, K. Jinosuwat, T. Ounjaijom, and P. Netsawang, "A study on mechanical properties of hemp fibers treated by hot-air drying and natural sun drying," *The Journal of KMUTNB*, vol. 37, no. 1, pp. 1–17, Jan.–Mar. 2027 (in Thai), Art. no. 271-058361, doi: 10.14416/j.kmutnb.2026.10.002.

1. บทนำ

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาเส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในฐานะวัสดุทางเลือกเพื่อทดแทนวัสดุสังเคราะห์ เนื่องจากมีจุดเด่นด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้เองตามธรรมชาติ [1] โดยหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติที่ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมคือ เส้นใยจากต้นกัญชง กัญชงมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ (*Cannabis sativa* L.) มีขนาดลำต้นสูงประมาณ 2 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นปล้องหรือข้อ แนวตรงยาว มีกิ่งก้านแตกไปในลักษณะทิศทางเดียวกัน ลำต้นของกัญชงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนที่เป็นเปลือกหรือที่เรียกกันว่าเส้นใยกัญชง (Hemp Bast Fiber) ลักษณะเด่นของเปลือกที่ได้จากต้นกัญชงเมื่อถูกนำมาทำเส้นใย ได้เส้นใยกัญชงมีคุณสมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึงที่ดีเมื่อเทียบกับน้ำหนัก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น สิ่งทอ วัสดุผสม วัสดุก่อสร้าง และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ [2]

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเส้นใยกัญชงเริ่มจากการเก็บเกี่ยว การลิดกิ่ง และแยกใบออกจากลำต้น และการแยกเปลือกของต้นออกจากแกนด้วยเครื่องกะเทาะ อย่างไรก็ตามเส้นใยกัญชงหลังกระบวนการกะเทาะมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ 50–60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก [3] ซึ่งหากไม่ได้รับการลดความชื้นอย่างรวดเร็วจะก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราและส่งผลให้เส้นใยเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใย ดังนั้นการลดความชื้นให้เหลือประมาณ 10–12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งเพื่อให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาและการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม [4]

ที่ระดับความชื้นดังกล่าวถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเส้นใยกัญชง เนื่องจากเป็นช่วงที่โครงสร้างเส้นใยมีความคงตัวสูง ช่วยจำกัดการดูดซับน้ำและลดการบวมตัวในชั้นออสโมติก ซึ่งเป็นการป้องกันการลดทอนพันธะเซลลูโลส (Cellulose) อันเป็นปัจจัยหลักในการรักษาความต้านทานแรงดึงของเส้นใย [4]

โดยปัจจุบันเกษตรกรที่ทำเส้นใยกัญชงเพื่อจำหน่ายนิยมใช้วิธีการตากแดดธรรมชาติเพื่อลดความชื้นของเส้นใย ซึ่งแม้จะเป็นวิธีที่ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาที่นานถึง 7–10 วัน และขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศที่ไม่แน่นอน เฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนที่มีปริมาณแสงแดดธรรมชาติน้อย ส่งผลต่อคุณภาพเส้นใยที่ได้ในบางครั้งเกิดการขึ้นราทำให้มีลักษณะทางกายภาพและคุณภาพไม่เป็นไปตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งที่หลากหลาย อาทิ การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Drying) [5] และการอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วย (Ultrasound-assisted Drying) [6] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีแนวโน้มการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งและการรักษาคุณภาพของวัสดุธรรมชาติ อย่างไรก็ตามวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมด้วยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนยังคงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความเรียบง่าย ต้นทุนต่ำ และสามารถเข้าถึงได้ง่ายทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่อลดความชื้นของเส้นใยกัญชงภายหลังกระบวนการกะเทาะ [7] จึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการลดความชื้นของเส้นใยกัญชง ในด้านการลดเวลาและเพื่อให้ได้คุณภาพของเส้นใยกัญชงที่ดีตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

เทคนิคการอบด้วยลมร้อนสามารถลดความชื้นของ

พืชได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง [8], [9] เส้นใยกล้วยงเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงเนื่องจากมีเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึก และมีลิกนิน (Lignin) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานโครงสร้างแต่หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เส้นใยมีความเปราะและลดประสิทธิภาพ [10] อีกด้านหนึ่งการใช้อุณหภูมิสูงและอัตราการอบที่ใช้เวลารวดเร็วอาจส่งผลกระทบต่อความเค้นภายในและนำไปสู่คุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยกล้วยงลดลง ดังนั้นความร้อนที่เหมาะสมสามารถกำจัดความชื้นโดยการรักษาพันธะระหว่างเซลลูโลสและลิกนิน แต่หากอุณหภูมิสูงเกินระดับวิกฤตจะทำให้โครงสร้างเสื่อมสภาพและเกิดความเค้นภายในส่งผลให้สมบัติความต้านทานแรงดึงของเส้นใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [11] ซึ่งในส่วนนี้ยังขาดงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบกับคุณสมบัติดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติซึ่งเป็นกระบวนการปัจจุบันของเกษตรกรกับเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นโดยใช้ตู้อบระบบลมร้อนที่มีการทดลองใช้งาน ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยน้ำริน หมู่ 8 ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย โดยงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่ากระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่แม่นยำ สามารถจะเป็นกระบวนการทดแทนการตากแดดธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและไม่ส่งผลเสียต่อความแข็งแรงเชิงกลของเส้นใยทำให้ได้เส้นใยที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงได้ในระดับที่เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเปรียบเทียบ

คุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของเส้นใยกล้วยง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนากระบวนการอบเพื่อลดความชื้นที่มีประสิทธิภาพ การเปรียบเทียบดังกล่าวทำการเปรียบเทียบเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการทั้งสองที่มีความชื้นประมาณ 10–12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่เหมาะสมตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม [12]

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

ต้นกล้วยงที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นต้นกล้วยงที่ปลูก ณ พื้นที่ส่งเสริมเกษตรกร ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยน้ำริน ซึ่งเป็นแหล่งปลูกกล้วยงที่มีการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยดำเนินการคัดเลือกต้นกล้วยงที่มีอายุประมาณ 3 เดือน มีความสมบูรณ์และมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน กระบวนการเตรียมต้นกล้วยงที่ใช้ในการทดลองมีขั้นตอนการประเมินลักษณะทางกายภาพดังแสดงในรูปที่ 1 โดยรูป (ก) แสดงลักษณะของต้นกล้วยงหลังการกำจัดใบและกิ่งก้าน จากนั้น (ข) ทำการคัดเลือกต้นกล้วยงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณโคนและกลางลำต้นอยู่ในช่วง 1–1.5 เซนติเมตร และ (ค) ต้นกล้วยงที่ใช้ในการทดลองมีความสูงระหว่าง 150–200 เซนติเมตร ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ต้นกล้วยงน้ำหนักรวม 100 กิโลกรัม จากนั้นนำต้นกล้วยงที่คัดเลือกถูกนำมาคละกั้นและทำการสุมแบ่งออกเป็น 12 กลุ่มการทดลอง ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) ขั้นตอนต่อมาต้นกล้วยงในแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปกะเทาะเพื่อแยกส่วนแกนและเส้นใยออกจากกัน ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ประเมินระดับความชื้นเริ่มต้นของเส้นใยด้วยเครื่องวัด



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการประเมินลักษณะทางกายภาพของต้นกล้วย (ก) ต้นกล้วยหลังการกำจัดใบและก้าน (ข) การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค) การวัดความสูงของลำต้น และ (ง) การประเมินค่าความชื้นเบื้องต้นของเส้นใยกล้วยหลังการกะเทาะด้วยเครื่องวัดความชื้นชนิดพกพา

ความชื้นแบบพกพาชนิดสัมผัสยี่ห้อ R&D รุ่น MT-19 ดังแสดงในรูปที่ 1 (ง) โดยทำการสุ่มวัดค่าความชื้นจำนวน 10 ครั้งต่อกลุ่ม กระบวนการวัดความชื้นนี้เป็นวิธีการของเกษตรกรใช้ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงเบื้องต้นก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้นของเส้นใยกล้วยอย่างละเอียดด้วยวิธีมาตรฐาน คือ การวัดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้แห้ง และการอบแห้งด้วยตู้อบมาตรฐาน

2.2 การอบลดความชื้นเส้นใยกล้วยด้วยตู้อบลมร้อน

ในการศึกษานี้ดำเนินการอบเพื่อลดความชื้นเส้นใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเส้นใย ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยน้ำริน โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่มีการพัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีขนาดห้องอบภายใน



รูปที่ 2 การอบเพื่อลดความชื้นของเส้นใยกล้วย

กว้าง 62 เซนติเมตร ยาว 72 เซนติเมตร และสูง 115 เซนติเมตร ทำงานด้วยระบบขดลวดความร้อนร่วมกับพัดลมหมุนเวียนอากาศเพื่อให้เกิดการกระจายความร้อนสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องอบ โดยในแต่ละรอบการทดลองจะทำการอบเส้นใยกล้วยดิบปริมาณต่อรอบการอบที่ 5 กิโลกรัม เพื่อให้มั่นใจถึงประสิทธิภาพการไหลเวียนของอากาศภายในห้องอบ ขั้นตอนการอบเส้นใยกล้วยเริ่มต้นจากการนำเส้นใยกล้วยเข้าไปแขวนที่ราวแขวนของตู้อบ จากนั้นทำการอบภายใต้สภาวะที่ควบคุมซึ่งกำหนดอุณหภูมิในการอบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นสภาวะที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าสามารถลดความชื้นเส้นใยกล้วยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 10-12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก [13] เพื่อให้ผลการทดลองน่าเชื่อถือมีการทำซ้ำกลุ่มตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นเส้นใยกล้วยที่ผ่านการอบจะถูกนำมาหาค่าความชื้นหลังการอบตามกระบวนการหาค่าความชื้น

ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อการหาค่าความชื้น

2.3 การสุ่มตัวอย่างเส้นใยจากกระบวนการตากแดดธรรมชาติ

ในการศึกษาได้ใช้เส้นใยจากกระบวนการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดดธรรมชาติของเกษตรกร ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยน้ำริน เพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงในการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลกับเส้นใยที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่พัฒนาขึ้น โดยเส้นใยกลุ่มตัวอย่างนี้ผู้วิจัยดำเนินการสุ่มตัวอย่างจำนวน 12 กลุ่มตัวอย่าง จากเส้นใยที่เก็บไว้เพื่อรอจำหน่าย โดยเส้นใยกลุ่มนี้ผ่านกระบวนการผลิตที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เกษตรกรทำการผึ่งแดดเป็นเวลา 5-7 วัน จนมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 10-12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยตัวอย่างเส้นใยกลุ่มนี้จะถูกนำมาตรวจสอบความชื้นซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการที่ระบุในหัวข้อถัดไปเพื่อยืนยันความสอดคล้องของสถานะตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง โดยผู้วิจัยเลือกใช้วิธีสุ่มตัวอย่างจากตัวอย่างเส้นใยกลุ่มจริงในพื้นที่ เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความสอดคล้องกับสภาพการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกร และเป็นไปตามมาตรฐานเส้นใยกลุ่มเพื่อนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมจริง

2.4 การหาค่าความชื้น

การหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเส้นใยกลุ่มหลังกระบวนการกระเทาะ ค่าความชื้นหลังกระบวนการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติ และการอบด้วยตู้อบลมร้อนดำเนินการโดยมี 2 กรรมวิธี คือ 1) การวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นตามหลักการวัดค่าการสูญเสียน้ำหนัก

มีหลักการคือ การทำให้วัสดุแห้งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้นยี่ห้อ Adam Equipment รุ่น PMB 53 ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) 2) การวัดด้วยวิธีอบแห้งในตู้อบแห้งมาตรฐาน ใช้ตู้อบยี่ห้อ Binder รุ่น ED-FD ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) การอบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบแห้งจะทำการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งประยุกต์โดยใช้เกณฑ์การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2654-22 [14] ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักทุก 2 ชั่วโมง [15] เพื่อให้มั่นใจว่าความชื้นถูกขจัดออกจากเส้นใยอย่างสมบูรณ์ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล ในงานวิจัยนี้ปริมาณความชื้นของเส้นใยกลุ่มจะถูกวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียก (Wet Basis) ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของมวลน้ำต่อมวลรวมของวัสดุ การคำนวณจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ตามสมการที่ (1) [16] ค่าความชื้นที่ได้ที่ผ่านการวัดและคำนวณทั้งสองวิธีจะถูกนำมาตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบความปกติ (Normality Test) [17] เพื่อยืนยันว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติก่อนการวิเคราะห์ขั้นตอนถัดไปหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความชื้นระหว่างการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด และวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบมาตรฐาน ใช้สถิติทดสอบค่าที่แบบจับคู่ (Paired t-test) ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ M_w คือ ปริมาณความชื้นฐานเปียก (ร้อยละ)

w คือ น้ำหนักของวัสดุชิ้น (กรัม)

d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (กรัม)



รูปที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความชื้น (ก) เครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Adam Equipment และ (ข) ตู้อบแห้งแบบระบายอากาศ ยี่ห้อ Binder รุ่น ED-FD

2.5 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเส้นใยแก้วที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นมาแล้วดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C1557 [18] ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ยี่ห้อ Intro Technology รุ่น TM-G20k ก่อนการทดสอบผู้วิจัยได้คัดเลือกเส้นใยที่มีขนาดสม่ำเสมอและวัดขนาดหน้าตัดเพื่อหาค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2-3 มิลลิเมตร โดยกำหนดระยะห่างระหว่างปากจับ (Gauge Length) ที่ 60 มิลลิเมตร และใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 3 มิลลิเมตรต่อนาที ทั้งนี้มีการให้แรงดึงล่วงหน้า (Pre-load) ขนาด 1 นิวตัน ก่อนเริ่มบันทึกค่าทุกครั้ง ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นแรงดึงและความเครียดตามสมการที่ (2) และ (3) แล้วนำไปพล็อตกราฟเพื่อหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นโดยใช้สมการที่ (4) [19] เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบอิทธิพลของกระบวนการลดความชื้นของทั้งสองวิธีต่อไป ดังแสดงการทดสอบแรงดึงของเส้นใยแก้วในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์และลักษณะการจับยึดเส้นใยแก้วในชุดปากจับสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ความเค้นดึง (Tensile Stress)

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad (2)$$

ความเครียดดึง (Tensile Strain)

$$\varepsilon_t = \frac{\delta_t}{L} \quad (3)$$

มอดุลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

$$E_t = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \quad (4)$$

โดยที่ σ_t คือ ความเค้นดึง (Pa)

F_t คือ แรงดึง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

ε_t คือ ความเครียดดึง (mm/mm)

L คือ ความยาวพิคัดของชิ้นทดสอบดึง (m)

E_t คือ ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Pa)

ภายหลังจากการหาค่าความเค้นและความเครียด

แรงดึงตลอดจนค่ามอดุลัสแล้ว เพื่อวิเคราะห์เชิงลึกถึงสาเหตุของพฤติกรรมการรับแรงที่ในระดับโครงสร้างของเส้นใยกัญชงที่ผ่านกระบวนการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติกับกระบวนการอบเพื่อลดความชื้น ผู้วิจัยจะดำเนินการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาบริเวณรอยขาดของเส้นใยกัญชงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น Prisma E ยี่ห้อ Thermo Scientific เพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพและผลกระทบของกระบวนการลดความชื้นทั้งสองวิธีที่มีต่อโครงสร้างระดับไมโครของเส้นใยกัญชง โดยการเตรียมตัวอย่างทำการตัดเส้นใยตามแนวยาวเพื่อที่จะสำรวจลักษณะรอยขาดและโครงสร้างภายใน จากนั้นติดตั้งตัวอย่างบนฐานรองด้วยเทปกาวยาคาร์บอน จากนั้นนำไปทำการเคลือบผิวด้วยทอง (Gold Sputter Coatings) เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยให้ภาพที่ได้มีความคมชัดสูง และป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าในระหว่างการตรวจวัดภายใต้สภาวะสุญญากาศ การคัดเลือกเส้นใยกัญชงตัวอย่างใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบเชิงพฤติกรรมประกอบด้วยเส้นใยกัญชงที่ให้ค่าความเค้นดึงและความเครียดดึงสูงสุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอธิบายความสัมพันธ์ร่วมระหว่างลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกลของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลดค่าความชื้นที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนี้ทำการสำรวจที่กำลังขยาย 60 ถึง 1,000 เท่า เพื่อประเมินลักษณะการเรียงตัวของเส้นใย ความขรุขระของพื้นผิว และร่องรอยความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยกัญชง

2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 19 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วนหลักคือ การทดสอบความแม่นยำของค่าความชื้นที่ได้จากเครื่องมือวัดด้วยการทดสอบค่าที่แบบจับคู่ เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องของค่าความชื้นที่ได้ระหว่างเครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรดกับตู้อบแห้งมาตรฐาน เพื่อยืนยันความแม่นยำของเครื่องมือและวิธีการวัดตลอดทั้งกระบวนการวิจัย และการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดพร้อมทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธีของ Tukey เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชื้นเริ่มต้นในแต่ละกลุ่มทดลอง ซึ่งจะช่วยให้การระบุค่าความชื้นของเส้นใยกัญชงทั้งก่อนและหลังกระบวนการ รวมถึงเส้นใยกัญชงที่นำมาใช้เปรียบเทียบจากศูนย์โครงการหลวงห้วยน้ำรินมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการหาค่าความชื้นเริ่มต้น

จากการทดสอบประสิทธิภาพการวัดความชื้นเริ่มต้นของเส้นใยกัญชงหลังกระบวนการกะเทาะจำนวน 12 กลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 1 ค่าความชื้นเริ่มต้นในเส้นใยกัญชงจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรดและตู้อบแห้งมาตรฐานพบว่าการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรดให้ค่าเฉลี่ยความชื้นทั้ง 12 กลุ่มเท่ากับ 56.10 ± 4.85 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียกและการวัดด้วยตู้อบมาตรฐานให้ค่าเฉลี่ย

ความชื้นเท่ากับ 55.02 ± 5.61 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้นจากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันและสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติความชื้นของเส้นใยกล้วยหลังกระบวนการกะเทาะในสภาวะสด [10] ที่รายงานผลว่าเส้นใยกล้วยหลังกะเทาะมีความชื้นอยู่ในช่วง 50–60 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยระดับความชื้นดังกล่าวเป็นผลมาจากความสดของลำต้นและการกักเก็บน้ำในโครงสร้างผนังเซลล์ของเส้นใยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการระเหยน้ำอย่างสมบูรณ์ ปริมาณความชื้นดังกล่าวที่อายุการเก็บเกี่ยวต้นกล้วย 3–4 เดือน

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างเครื่องมือทั้งสองชนิดด้วยการทดสอบค่าที่แบบจับคู่พบว่าทั้งสองวิธีการวัดค่าความชื้นมีค่าความชื้นที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยได้ค่า t เท่ากับ 0.66 และค่า p -value เท่ากับ 0.523 ซึ่งยืนยันความสอดคล้องระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสองประเภท ในขณะที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 12 กลุ่มด้วย One-way ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า F เท่ากับ 0.25 และค่า p -value เท่ากับ 0.619 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย [20] ที่พบว่ากระบวนการหาค่าความชื้นทั้งสองวิธีที่นำมาใช้ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง และจากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Tukey พบว่าอุปกรณ์ทั้งสองถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันคือ กลุ่ม A และมีช่วงความเชื่อมั่นของผลต่าง 95 เปอร์เซ็นต์ CI ที่ครอบคลุมค่าศูนย์คือ -2.52 ถึง 4.68 จึงยืนยันได้ว่าการวัดค่าความชื้นทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่

ด้วยวิธี Tukey ของค่าความชื้นเริ่มต้นที่วัดจากเครื่องวัดอินฟราเรดและตูบมาตรฐานที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 5 และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความชื้นเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้นนี้จึงเป็นการยืนยันความแม่นยำและความสอดคล้องของข้อมูลค่าความชื้นเริ่มต้นของเส้นใยกล้วย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือก่อนนำเส้นใยไปทดสอบในสภาวะการอบแห้งที่กำหนดต่อไป

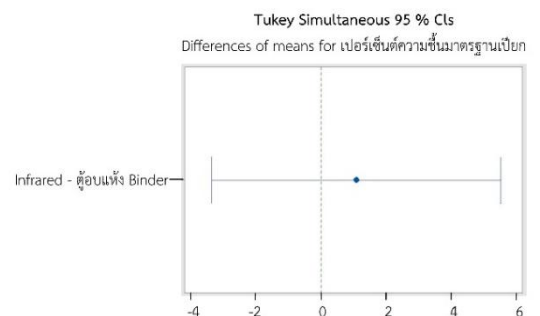
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
วิธีการวัด	1	6.965	6.965	0.25	0.619
Error	22	603.960	27.453		
Total	23	610.925			

Descriptive Statistics						
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	T-Value	P-Value
ค่าเฉลี่ยความชื้น Adam	12	56.10	4.85	1.40		
ค่าเฉลี่ยความชื้น Binder	12	55.02	5.61	1.62	0.66	0.523

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
วิธีการวัด	N	Mean	Grouping
Infrared (Adam Equipment)	12	56.10	A
ตูบแห้ง Binder (ED-FD)	12	55.02	A

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey ของค่าความชื้นเริ่มต้นที่วัดจากเครื่องวัดอินฟราเรดและตูบมาตรฐาน



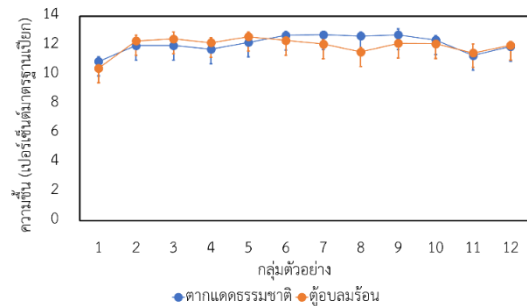
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความชื้นเริ่มต้นในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 1 ค่าความชื้นเริ่มต้นในเส้นใยกล้วยจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรดและตู้อบแห้งมาตรฐาน

กลุ่มที่	อินฟราเรด (Infrared)		ตู้อบแห้งมาตรฐาน (Binder ED-FD)	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน	มาตรฐาน
1	49.42	1.32	43.63	2.40
2	57.91	3.88	52.74	2.75
3	58.01	2.85	52.95	1.27
4	53.40	1.86	50.41	0.58
5	65.78	3.58	58.83	2.98
6	60.22	3.92	63.89	1.96
7	51.22	4.87	56.24	0.97
8	51.11	0.90	63.53	0.95
9	61.88	2.33	57.61	4.52
10	55.19	1.41	54.50	3.19
11	53.83	4.33	54.17	1.96
12	55.24	3.16	51.78	3.54

3.2 ผลค่าความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งด้วยลมร้อนและการตากแดดธรรมชาติ

จากการหาค่าความชื้นสุดท้ายของเส้นใยกล้วยจำนวน 12 กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการอบและการสุ่มตัวอย่างเส้นใยกล้วยของศูนย์โครงการหลวงห้วยน้ำริน เพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณภาพของเส้นใยกล้วยระหว่างตู้อบลมร้อนกับวิธีตากแดดธรรมชาติของเกษตรกรพบว่าค่าความชื้นสุดท้ายของทั้งสองกระบวนการมีความใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยกระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อนสามารถลดความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 10.43–12.59 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก โดยจากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นของเส้นใยกล้วยด้วยการทดสอบค่าทีแบบ



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความชื้นสุดท้ายของเส้นใยกล้วย 12 กลุ่มตัวอย่าง ที่ผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติและกระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อน

จับคู่ค่าความชื้นหลังกระบวนการอบมีค่าเฉลี่ย 11.97 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.582 ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างอ้างอิงที่ผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.90–12.73 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก และจากตารางที่ 2 ค่าความชื้นหลังกระบวนการตากแดดธรรมชาติมีค่าเฉลี่ย 12.10 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.583 โดยมีค่า t -value เท่ากับ 0.87 และ p -value เท่ากับ 0.401 ซึ่งยืนยันได้ว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนกับการตากแดดธรรมชาติมีผลของค่าความชื้นสุดท้ายของทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่ศูนย์โครงการหลวงห้วยน้ำรินและภาคอุตสาหกรรมต้องการ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าค่าความชื้นสุดท้ายที่ใกล้เคียงกันเกิดจากกลไกการแพร่ของความชื้นร่วมกับการพาความร้อนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่เลียนแบบสภาวะธรรมชาติของเส้นใยกล้วย ขณะเดียวกันการไหลเวียนอากาศช่วยลดชั้นขอบเขตและพาความชื้นออกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พฤติกรรมการอบแห้งมีลักษณะใกล้เคียงกับการตากแดดธรรมชาติ [21] เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพในรูปที่ 8 พบว่าเส้นใยที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน รูปที่ 8 (ข) มีลักษณะสีที่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความชื้นของเส้นใยกล้วยง

กระบวนการ	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้น มาตรฐานเปียก	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t-value	p-value
ตู้อบลมร้อน	11.97	0.582	0.87	0.401
ตากแดดธรรมชาติ	12.10	0.583		

ใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการตากแดดธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) โดยลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสี และลักษณะภายนอกของเส้นใยดังผลการวิจัยของ [9] ผลลัพธ์ดังกล่าวทำให้ได้เส้นใยกล้วยงที่มีคุณภาพ และเหมาะสมต่อการนำไปจำหน่ายให้ภาคอุตสาหกรรม

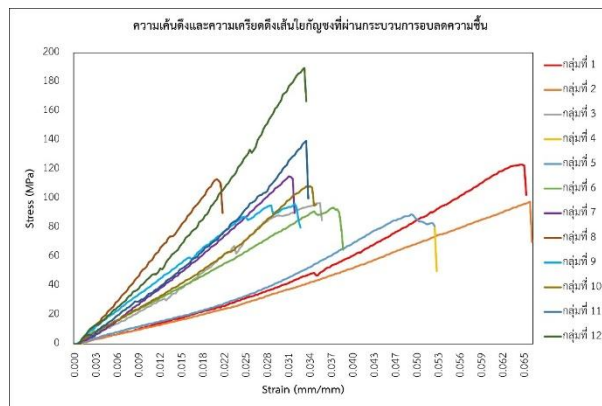


รูปที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกล้วยงหลังกระบวนการลดความชื้น (ก) การตากด้วยแสงแดดธรรมชาติเป็นเวลา 5-7 วัน และ (ข) การอบด้วยตู้อบลมร้อน

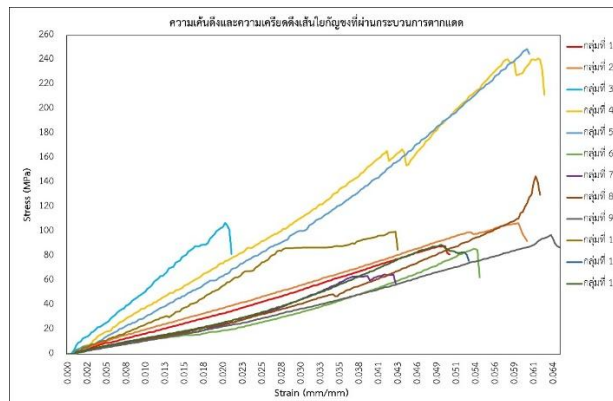
3.3 ผลการทดสอบแรงดึง

จากการพิจารณาผลการทดสอบแรงดึงของเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการอบลดความชื้นจำนวน 12 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าเส้นใยกล้วยงส่วนใหญ่มีความเค้นดึงเกาะกลุ่มอยู่ในช่วง 80-140 เมกะปาสกาล แม้จะมีกลุ่มตัวอย่างที่ 12 ที่แสดงค่าความเค้นสูงสุดโดดเด่นกว่ากลุ่มอื่นที่ 190 เมกะปาสกาล ซึ่งพิจารณาได้ว่าเกิดจากปัจจัยเฉพาะของตัวอย่างที่อาจเกิดจาก

มีการจัดเรียงตัวของโมโครไฟบริลที่ดีและมีจุดบกพร่องในโครงสร้างระดับต่ำร่วมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สม่ำเสมอ โดยทิศทางของเส้นกราฟ (Slope) หรือค่ามอดูลัสยังคงมีความคล้ายคลึงกัน ในด้านความเครียดพบว่าเส้นใยกล้วยงมีระยะยืดตัว ณ จุดขาดที่ค่อนข้างคงที่ในช่วง 0.03-0.05 mm/mm ในขณะที่เส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 10 มีค่าความเค้นดึงมีช่วงกว้างตั้งแต่ต่ำกว่า 100 เมกะปาสกาล ไปจนถึงระดับสูงสุดที่ประมาณ 250 เมกะปาสกาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มตัวอย่างที่ 4 และ 5 ในขณะที่ค่าความเครียด ณ จุดขาดมีการกระจายตัวตั้งแต่ 0.04 ไปจนถึงเกือบ 0.065 mm/mm เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยทั้ง 12 กลุ่มตัวอย่างของทั้งสองกระบวนการดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการอบลดความชื้นด้วยลมร้อนมีค่ามอดูลัสอยู่ระหว่าง 1.069-5.650 จิกะปาสกาล มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.73 จิกะปาสกาล ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.45 จิกะปาสกาล ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ผ่านการตากแดดธรรมชาติเล็กน้อย โดยกลุ่มที่ผ่านกระบวนการตากแดดมีค่ามอดูลัสอยู่ระหว่าง 0.954-5.303 จิกะปาสกาล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 2.05 จิกะปาสกาล มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.37 จิกะปาสกาล และเมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลผ่านการทดสอบทางสถิติแบบ t-test พบว่าค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการอบลมร้อนและการตากแดดธรรมชาติไม่มีความแตกต่างกันอย่าง



รูปที่ 9 ความเค้นดึงและความเครียดดึงเส้นใยกล้วยซึ่งผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ 10 ความเค้นดึงและความเครียดดึงเส้นใยกล้วยซึ่งผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติ

ตารางที่ 3 สมบัติมอดุลัสยืดหยุ่นของเส้นใยกล้วยหลังกระบวนการลดความชื้น

กระบวนการ	จำนวนตัวอย่าง	ช่วงของค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (จิกะปาสกาล)	ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย (จิกะปาสกาล)	t-value	p-value
ตู้อบลมร้อน	12	1.069–5.650	2.726 ±1.451	1.17	0.255
ตากแดดธรรมชาติ	12	0.954–5.303	2.052 ±1.370		

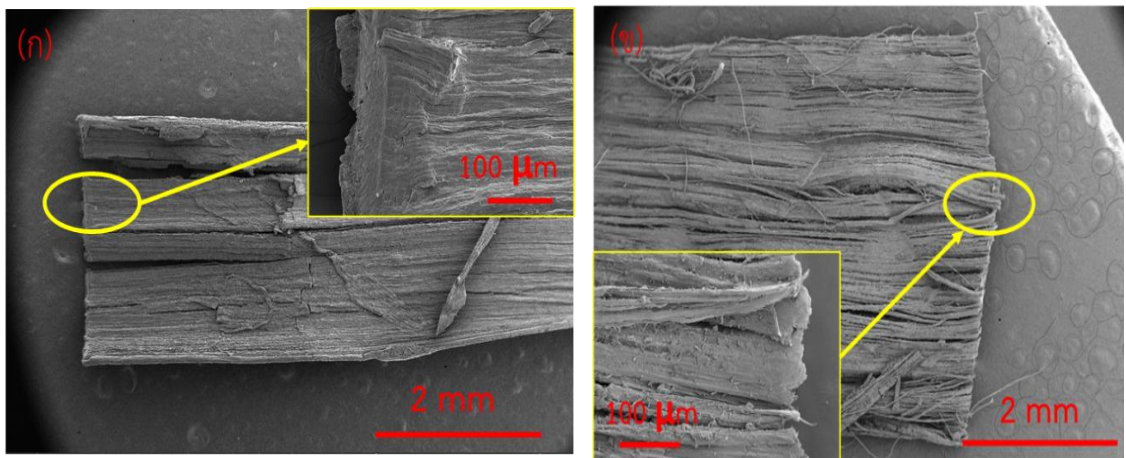
มีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่า t-value เท่ากับ 1.17 และค่า p-value เท่ากับ 0.255 เมื่อวิเคราะห์ถึงสมบัติความต้านทานแรงดึงของเส้นใยกล้วยซึ่งผ่านกระบวนการลดความชื้นทั้งสองกระบวนการพบว่าความผันแปรของค่าแรงดึงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูงนั้นเป็นลักษณะธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปในกลุ่มเส้นใยธรรมชาติ

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [22] ที่ระบุว่าความผันแปรดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ในเส้นใยกล้วย อีกทั้งค่าความผันแปรของสมบัติการรับแรงดึงของเส้นใยกล้วยนั้นสัมพันธ์กับความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง [18] และความไม่สม่ำเสมอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้วยหลังจากผ่านกระบวนการกะเทาะ [23],

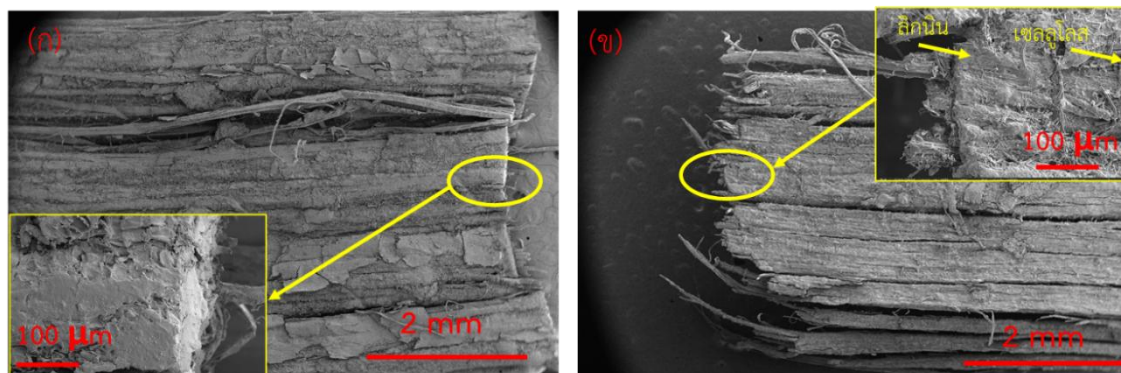
[24] ซึ่งถือเป็นหนึ่งในข้อจำกัดที่ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของขนาดของเส้นใยธรรมชาติ โดยโครงสร้างหลักของเส้นใยกล้วยจะประกอบด้วย เซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรง มีลิกนิน ทำหน้าที่ประสานการยึดเกาะระหว่างเส้นใย [23] ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการรับแรงของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการอบลดความชื้นและการตากแดดธรรมชาติ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างระดับไมโคร เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวรอยแตกหักของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของเส้นใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการอบและกระบวนการตากแดดธรรมชาติ เพื่อลดความชื้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังแสดงในรูปที่ 11 (ก) และ 12 (ก) โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างจากกลุ่มที่ให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดพบว่ามีความลักษณะโครงสร้างที่อัดแน่นและมีการแสดงลักษณะรอยแตกแยกตัวของเส้นใยเฉพาะส่วน

เมื่อพิจารณาในกำลังขยายสูงที่ 100 ไมครอน พบว่าพื้นผิวมีความเรียบสลับกับร่องรอยการดึงตัวของไมโครไฟบริลบางส่วน ลักษณะโครงสร้างที่อัดแน่นนี้บ่งบอกถึงพันธะระหว่างเซลล์ลูโลส และลิกนินที่ยังคงความสมบูรณ์ทำให้สามารถส่งผ่านแรงดึงและทนต่อความเค้นได้สูงก่อนการวิบัติ เมื่อพิจารณารูปที่ 11 (ข) และ 12 (ข) ลักษณะการวิบัติของเส้นใยกล้วยในกลุ่มที่มีค่าความเครียดแรงดึงสูงสุดพบลักษณะเส้นใยกล้วยแตกเป็นเส้นใยฝอยตามแนวอย่างเด่นชัดทั่วทั้งหน้าตัด โดยมัดเส้นใยเกิดการแยกตัวออกจากกันลักษณะนี้สะท้อนถึงกลไกการดูดซับพลังงานผ่านการรูดไถระหว่างชั้นเส้นใย ทำให้วัสดุสามารถยืดตัวได้มากกว่าปกติก่อนจะขาดสะบั้นสอดคล้องกับงานวิจัย [23], [25] ที่อธิบายโครงสร้างของเส้นใยกล้วยที่เกิดการวิบัติจากการรับแรงดึงที่อธิบายว่าภายใต้ภาระแรงดึงจะเกิดการสะสมของความเค้นบริเวณรอยต่อของไมโครไฟบริลในส่วนอสัณฐานนำไปสู่การเกิดรอยแตกขนาดเล็กและการแยกตัวของโครงสร้างในที่สุด ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าทั้ง



รูปที่ 11 สัณฐานวิทยาบริเวณรอยแตกหักของเส้นใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการอบ (ก) ตัวอย่างที่มีความเค้นแรงดึงสูงสุด และ (ข) ตัวอย่างที่มีความเครียดดึงสูงสุด



รูปที่ 12 สัณฐานวิทยาบริเวณรอยแตกหักของเส้นใยกล้วยงที่ผ่านกระบวนการตากแดดธรรมชาติ (ก) ตัวแทนตัวอย่างที่มีค่าความเค้นดิ่งสูงสุด และ (ข) ตัวแทนตัวอย่างที่มีค่าความเครียดดิ่งสูงสุด

สองกระบวนการต่างให้กลไกการวิบัติของเส้นใยกล้วยงที่แปรผันไปตามพฤติกรรมความเค้นและความเครียดในลักษณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยจากปอแฟลกซ์ (Flax Fiber) [26] ที่พบว่าพฤติกรรมการรับแรงของเส้นใยกล้วยง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยจากเปลือกลำต้น (Bast Fibers) เช่นเดียวกันมีลักษณะการแตกแยกตัวของเส้นใยที่สะท้อนถึงกลไกการเชื่อมข้ามรอยแตกและการรูดไถระหว่างเส้นใยย่อย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยชะลอการขยายตัวของรอยแตกและเพิ่มความเหนียวให้กับวัสดุทำให้เส้นใยสามารถทนต่อการดึงได้สูงก่อนการวิบัติโดยสมบูรณ์

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการอบลดความชื้นด้วยลมร้อนและการตากแดดธรรมชาติของเส้นใยกล้วยง สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการอบด้วยลมร้อนเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้งานทดแทนการตากแดดแบบดั้งเดิมได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสามารถควบคุมความชื้นสุดท้ายให้อยู่ในเกณฑ์ 10.43–12.59 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และ

ยังคงรักษาลักษณะทางกายภาพด้านสีที่มีความสม่ำเสมอของเส้นใยได้ใกล้เคียงกับวิธีการดั้งเดิม โดยในด้านสมบัติเชิงกลพบว่ากระบวนการอบลมร้อนให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยที่ 2.726 ± 1.451 จิกะปาสกาล ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ผ่านการตากแดดธรรมชาติที่มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเพียง 2.052 ± 1.370 จิกะปาสกาล สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้อง อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ยืนยันว่าทั้งสองกระบวนการก่อให้เกิดกลไกการวิบัติในรูปแบบที่ใกล้เคียงกันผ่านการเกิดรอยแตกขนาดเล็กในส่วนอัสฐานของเซลลูโลสและการแยกตัวของเส้นใยย่อยตามพฤติกรรมการรับแรงความเค้นและความเครียด ดังนั้นการอบเส้นใยกล้วยงด้วยลมร้อนได้สมบัติของเส้นใยที่สอดคล้องกับมาตรฐานเส้นใยธรรมชาติคุณภาพสูงชนิดอื่น และเพื่อเป็นการต่อยอดองค์ความรู้สู่การใช้งานในระดับอุตสาหกรรมในอนาคต ผู้วิจัยมีการวางแผนที่จะทำการศึกษาในเชิงลึกเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาปริมาณเซลลูโลสลิกนินที่แน่นอน ซึ่งผลดังกล่าวจะช่วยยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีกับพฤติกรรม

การแตกหักในระดับไมโครโครงสร้างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมถึงมีการทดสอบความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมของ เส้นใยหลังกระบวนการอบ การประเมินประสิทธิภาพ การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับวัสดุผสม และการวิเคราะห์ ต้นทุนในการใช้กระบวนการอบเพื่อลดความชื้นในการ ทดแทนกระบวนการตากแดดธรรมชาติตลอดจนความ ทนทานของเส้นใยกัญชงในการนำไปขึ้นรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการพัฒนาเส้นใยกัญชงเป็น วัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มแผนงานใต้ร่มพระบารมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนทุน วิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนาที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ รวมถึงขอขอบพระคุณศูนย์พัฒนา โครงการหลวงห้วยน้ำริน ในการสนับสนุนวัตถุดิบวิจัย เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Ingraio, A. L. Giudice, J. Bacenetti, C. Tricase, G. Dotelli, M. Fialla, V. Siracusa, and C. Mbohwa, "Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 29–42, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.06.002.
- [2] M. Zimniewska, "Hemp fibre properties and processing target textile: A review," *Materials*, vol. 15, no. 5, Jan. 2022, Art. no. 1901, doi: 10.3390/ma15051901.
- [3] V. Placet, O. Cisse, and M. L. Boubakar, "Influence of environmental relative humidity on the tensile and rotational behaviour of hemp fibres," *Journal of Materials Science*, vol. 47, pp. 3435–3446, Apr. 2012, doi: 10.1007/s10853-011-6191-3.
- [4] S. Islam and B. Hasan, "An overview of the effects of water and moisture absorption on the performance of hemp fiber and its composites," *SPE Polymers*, vol. 6, no. 1, 2025, Art. no. e10167, doi: 10.1002/pls2.10167.
- [5] B. Wang, S. Wang, and B. Ling, "Recent advances in the drying of medicinal herb by novel physical field-based techniques: A review," *Journal of Stored Products Research*, vol. 112, May 2025, Art. no. 102658, doi: 10.1016/j.jspr.2025.102658.
- [6] D. Huang, K. Men, D. Li, T. Wen, Z. Gong, B. Sunden, and Z. Wu, "Application of ultrasound technology in the drying of food products," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 63, May 2020, Art. no. 104950, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.104950.
- [7] Y. Baek, H. Grab, and C. Chen, "Postharvest drying and curing affect cannabinoid contents and microbial levels in industrial hemp (*Cannabis sativa*



- L.),” *Plants*, vol.14, no. 3, Jan. 2025, Art. no. 414, doi: 10.3390/plants14030414.
- [8] Y. Bai, W. Wang, Y. Zhang, X. Wang, X. Wang, and J. Shi, “Effects of different delignification and drying methods on fiber properties of moso bamboo,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 24, Dec. 2022, Art. no. 5464, doi: 10.3390/polym14245464.
- [9] A. Windyandari, O. Kurdi, S. Sulardjaka, and M. Tauviquirrahman, “Scanning electron microscopy observation of coir fibre with alkali and drying method treatment,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1053, Feb. 2021, Art. no. 012031, doi: 10.1088/1757-899X/1053/1/012031.
- [10] K. Promhuad, A. Srisa, H. San, Y. Laorenza, P. Wongphan, J. Sodsai, K. Tansin, P. Phromphen, N. Chartvivatpornchai, P. Ngoenchai, and N. Harnkarnsujarit, “Applications of hemp polymers and extracts in food, textile and packaging: A review,” *Polymers*, vol. 14, Oct. 2022, Art. no. 4274, doi: 10.3390/polym14204274.
- [11] A. Shahzad, “A study in physical and mechanical properties of hemp fibres,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2023, Jul. 2023, Art. no. 325085, doi: 10.1155/2013/325085.
- [12] R. Singh, S. Nayak, S. Hegde, and P. NH, “Influence of fiber length and moisture content on sound and vibration characteristics of hemp/epoxy composites,” *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 21, pp. 957–962, Sep. 2023, doi: 10.5937/jaes0-44872.
- [13] W. Hwanseang and S. Chaowakarnkool, “Development of appropriate dryer for hemp fiber drying process,” in *Proceedings of the Conference on Research, Creativity and Innovation (CRCI2024)*, 2024, pp. 76–86 (in Thai).
- [14] ASTM D2654-22, *Standard Test Method for Moisture in Textiles*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2023.
- [15] J. G. Montalvo, and T.M. Hoven, “Review of standard test methods for moisture in lint cotton,” *The Journal of Cotton Science*, vol. 12, no. 1, pp 33-47, 2008.
- [16] V. Rungsardthong, *Food Processing Technology*. in 2nd ed. Bangkok: KMUTNB Textbook Publishing Center, 2002 (in Thai).
- [17] M. Benarioua, S. Amrounelcon, H. Alshahrani, A. Belaadilcon, A. Hachaichi, I. M. H. Alshaikh, M. Barhm and K. Saada, “Statistical normalization of mechanical properties of natural date palm biofibers using the box-cox transformation,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 22, no. 1,

- Aug. 2025, Art. no. 2544176, doi: 10.1080/15440478.2025.2544176.
- [18] J. Ribeiro, G. Bueno, M. R. Martín, and J. Rocha, “Experimental study on mechanical properties of hemp fibers influenced by various parameters,” *Sustainability*, vol. 15, no. 12, Jan. 2023, Art. no. 9610, doi: 10.3390/su15129610.
- [19] T. Ounjaijom, K. Kornsinkitti, S. Sanguansat, M. Bhudtiyatane, and T. Mahawan, “The mechanical properties of bamboo used to make ancient umbrellas,” *Journal of Engineering and Innovation*, vol. 16, no. 3, pp. 162–170, Jul. 2023 (in Thai).
- [20] J. Vogl and M. Ostermann, “On the measurement of the moisture content in different matrix materials,” *Accreditation and Quality Assurance*, vol. 11, pp. 356–362, Jul. 2006, doi: 10.1007/s00769-006-0159-z.
- [21] V. K. Chasiotis, D. A. Tzempelikos, and A. E. Filios, “Assessment of constant and time-varying temperature schemes on the convective drying characteristics of hemp leaves,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, Aug. 2021, Art. no. 101098, doi: 10.1016/j.csite.2021.101098.
- [22] A. Shahzad, “A study in physical and mechanical properties of hemp fibres,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2013, no. 1, 2013, Art. no. 325085, doi: 10.1155/2013/325085.
- [23] P. Sadeghi, Q. Cao, R. Abouzeid, M. Shayan, M. Koo, and Q. Wu, “Experimental and statistical investigations for tensile properties of hemp fibers,” *Fibers*, vol. 12, no. 11, Nov. 2024, Art. no. 94, doi: 10.3390/fib12110094.
- [24] J. Müssig and J. Beaugrand, “Decortication and separation of wet or dry hemp stems- What difference does it make?,” *Industrial Crops and Products*, vol. 223, Jan. 2025, Art. no. 119965, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.119965.
- [25] S. Islam, Md. B. Hasan, M. Kodrić, K. Z. M. A. Motaleb, F.-E. Karim, and Md. R. Islam, “Mechanical properties of hemp fiber-reinforced thermoset and thermoplastic polymer composites: A comprehensive review,” *SPE Polymers*, vol. 6, Jan. 2025, Art. no. e10173, doi: 10.1002/pls2.10173.
- [26] S. Ahmed and C. A. Ulven, “Dynamic In-situ observation on the failure mechanism of flax fiber through scanning electron microscopy,” *Fibers*, vol. 6, no. 1, Mar. 2018, Art. no. 17, doi: 10.3390/fib6010017.