

ความเป็นไปได้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษเพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้นใยกระวานเหลือทิ้ง ของวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลอง จังหวัดจันทบุรี

วิทวัส สิงห์สังข์^{1*}, พอพันธ์ สุทธิวิวัฒน์¹, เบญจมาศ เนติวรรักษา¹, อนุรักษ์ รอดบำรุง¹, นฤมล เลิศคำฟู²
และ กานต์ นักรวรายุทธ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการคุณภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

*witawat.s@rbu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำลำต้นและใบกระวานที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปของวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลอง จังหวัดจันทบุรี มาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาการเผาทำลายโดยอิทธิพลของขนาดของเส้นใยกระวาน (ขนาดสั้นและขนาดยาว) และแรงอัดขึ้นรูป (1000, 1500 และ 2000 psi) จะถูกศึกษา เส้นใยกระวานที่ถูกกำจัดลิกนินออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกบดย่อยและคัดแยกขนาด จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน แผ่นตัวอย่างที่เตรียมถูกนำไปวัดค่าน้ำหนักมาตรฐานตามวิธีในมาตรฐาน ISO 536 และวิเคราะห์การดูดซึมน้ำด้วยวิธีตามมาตรฐาน ISO 8787 นอกจากนี้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่เตรียมได้จะถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D828 ผลการทดสอบพบว่าขนาดของเส้นใยและแรงอัดขึ้นรูปมีผลต่อสมบัติของกระดาษอย่างมีนัยสำคัญ โดยแผ่นกระดาษจากเส้นใยขนาดยาวที่ผ่านแรงอัดสูงมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยถึง 347.33 kPa ซึ่งสูงกว่าเส้นใยขนาดสั้นอย่างชัดเจนเนื่องจากการเกี่ยวพันกันของเส้นใยที่ดีกว่า ในขณะที่แผ่นกระดาษจากเส้นใยขนาดสั้นจะมีค่าน้ำหนักมาตรฐานและการดูดซึมน้ำที่สูงกว่า นอกจากนี้ แรงอัดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าน้ำหนักมาตรฐาน การดูดซึมน้ำ และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นกระดาษเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าเส้นใยกระวานมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดการของเสียในชุมชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: เส้นใยกระวาน บรรจุภัณฑ์กระดาษ วิสาหกิจชุมชน



Feasibility of Developing Eco-Friendly Paper Packaging from Cardamom Waste Fiber: A Case Study of Ban Plai Khlong Community Enterprise, Chanthaburi

Witawat Singsang^{1*}, Porphan Suttiwattana¹, Benjamas Netiworaruksa¹, Anurak Rodbumrung¹,
Narumon Lertcumfu² and Karn Nakaravarayut¹

¹Department of Production Engineering and Quality Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

²Department of Industrial arts, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University

*witawat.s@rbru.ac.th

Abstract

This research aims to investigate the feasibility of utilizing waste stems and leaves of cardamom, a byproduct from the food processing of Ban Plai Khlong Community Enterprise in Chanthaburi, for paper packaging development. This approach serves to add value to agricultural waste and mitigate air pollution from open burning. The effects of two primary factors, namely fiber length (short and long) and molding pressure (1000, 1500, and 2000 psi), were investigated. The cardamom fibers were pre-treated with sodium hydroxide solution for delignification before being crushed and sorted by size. Subsequently, the paper sheets were formed using a hot press machine. The prepared samples were evaluated for grammage according to ISO 536 and water absorption according to ISO 8787. Additionally, the tensile strength was tested following the ASTM D828 standard. The results revealed that both fiber size and molding pressure significantly influenced the paper's properties. Specifically, paper sheets made from long fibers under high molding pressure exhibited the highest average tensile strength of 347.33 kPa, which was markedly higher than those of short fibers due to superior fiber interlocking. Conversely, short fibers resulted in higher grammage and water absorption. Furthermore, increasing the molding pressure led to an increase in grammage, water absorption, and maximum tensile strength. This study demonstrates that cardamom fibers possess high potential for cardboard production, offering a sustainable and effective approach for community waste management.

Keywords: Cardamom Fiber, Paper Packaging, Community Enterprise

1. บทนำ

วิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง ตั้งอยู่ที่ตำบลบาง อำเภอมือง จังหวัดจันทบุรี เป็นวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตอาหารแปรรูปจากพืชและผลไม้ในพื้นที่ เช่น ขอส้มขี้ผึ้ง มังคุดหวาน ไข่ส้มขี้ผึ้ง น้ำส้มขี้ผึ้งพร้อมดื่ม และแกงกระวาน เป็นต้น ในการผลิตแต่ละครั้งจะเกิดของเสียอินทรีย์จากเศษพืชและผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบจำนวนมาก หนึ่งในปัญหาของเสียอินทรีย์ที่เกิดขึ้นคือเศษใบและลำต้นของกระวาน โดยทั่วไปแล้ววิสาหกิจชุมชนต้องใช้ต้นกระวานเป็นจำนวนมากในการเตรียมเป็นวัตถุดิบหลักของแกงกระวาน อย่างไรก็ตาม แกงกระวานจะใช้เฉพาะบริเวณหัวของต้นกระวานเท่านั้น จึงจำเป็นต้องตัดส่วนลำต้นและใบของกระวานทิ้งไปจำนวนมาก ซึ่งทางชุมชนนิยมกำจัดทิ้งด้วยการเผาทำลาย เป็นที่ทราบกันดีว่าการกำจัดของเสียด้วยการเผาทำลายก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศและเป็นต้นตอของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งสร้างปัญหาสุขภาพให้กับคนในพื้นที่ด้วย นอกจากนี้ ในปฏิกิริยาการเผาไหม้จะผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นตัวการสำคัญในการเกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย ในความเป็นจริงแล้วการกำจัดของเสียอินทรีย์หรือวัตถุดิบอาหารด้วยการเผาทำลายเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูงเนื่องจากต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการกำจัดความชื้นที่อยู่ในของเสีย โดยส่วนใหญ่แล้วแนวทางการจัดการของเสียจากการผลิตวัสดุอินทรีย์จะนิยมทำการฝังกลบ หรือหมักของเสียเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้พื้นที่และระยะเวลาดำเนินการค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีเพิ่มมูลค่าของเสียในแนวทางอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาส่วนของลำต้นและใบกระวานที่เป็นของเสียจากการผลิตของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นใยธรรมชาติ ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส โดยมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนประกอบร่วม จากการศึกษาพบว่าวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมากในการนำมาพัฒนาเป็นเส้นใยสำหรับผลิตเยื่อกระดาษหรือผลิตภัณฑ์กระดาษ เพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้งานบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างของเส้นใยธรรมชาติที่ได้รับการศึกษาจากคณะวิจัยต่าง ๆ ได้แก่ กาบกล้วยน้ำว้า [1], ใบสนประดิพัทธ์ [2], เศษฝ้าย [3], ฟางข้าว [4], ป่านศรนารายณ์ [5], ฟางข้าวและขานอ้อย [6], ใบตะไคร้ [7], ไส้กก [8], หญ้าขจร [9] และอ้อย [10] เป็นต้น จากข้อมูลจะสังเกตได้ว่าวัสดุเซลลูโลสที่นิยมนำมาศึกษาจะเป็นวัสดุที่มาจากพืชในท้องถิ่นหรือเศษวัสดุเซลลูโลสเหลือทิ้งจากการผลิตเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีต้นทุนต่ำและช่วยลดของเสียจากการผลิตได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ยังไม่ปรากฏข้อมูลหรืองานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตกระดาษจากเส้นใยกระวาน ดังนั้น การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากเส้นใยกระวานจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของเสียจากการแปรรูปอาหารได้

เมื่อพิจารณารายละเอียดการศึกษาการแปรรูปเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ ให้เป็นผลิตภัณฑ์กระดาษจะพบว่าขั้นตอนการผลิตกระดาษ ประกอบไปด้วยการเตรียมวัตถุดิบเส้นใยให้มีขนาดเหมาะสม การกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น ลิกนิน การเตรียมเยื่อกระดาษ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กระดาษตามรูปแบบการใช้งาน อย่างไรก็ตาม สภาพที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจะแปรผันตามชนิดของเส้นใยที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น และปัจจัยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กระดาษ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นใย และแรงอัดในการขึ้นรูปกระดาษที่มีต่อสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์กระดาษจากเส้นใยกระวาน เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากเส้นใยกระวานต่อไป

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมเส้นใยกระวานและการผลิตกระดาษจากเส้นใยกระวาน

ใบและลำต้นของกระวานที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปอาหารของวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลองถูกนำมาทำความสะอาดและตากให้แห้งก่อนนำไปต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, QReC) เข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดลิกนินออกจากเส้นใย หลังจากนั้น เส้นใยที่ต้มแล้วจะถูกนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดแล้วทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจนมีสภาพเป็นกลาง (pH 7.0) ก่อนนำไปตากแห้ง ต่อมาเส้นใยกระวานแห้งจะถูกนำมาตัดเพื่อลดขนาดลงด้วยเครื่องบดย่อยที่มีใบมีดหมุนด้วยความเร็วสูง (Huangcheng, รุ่น 2500Y)

หลังจากนั้น เส้นใยกระวานที่ผ่านการลดขนาดแล้วจะถูกนำไปคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนคัดแยกขนาด แบ่งกลุ่มขนาดของเส้นใยกระวานเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ เส้นใยขนาดสั้น (595-4760 ไมโครเมตร) และเส้นใยขนาดยาว (4760 ไมโครเมตรขึ้นไป)

เส้นใยกระวานขนาดสั้นและเส้นใยกระวานขนาดยาวจะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ โดยขั้นตอนเตรียมแผ่นกระดาษเริ่มต้นจากการนำเส้นใยปริมาณ 200 กรัมไปแช่น้ำและแผ่กระจายในแม่พิมพ์แบบตะแกรงขนาด 20 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร หลังจากนั้นทิ้งเส้นใยให้แห้ง แล้วนำแผ่นเส้นใยออกจากแม่พิมพ์ แผ่นเส้นใยที่ได้ถูกนำไปทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (บริษัทเจริญทัศน์จำกัด) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้แรงอัดขึ้นรูปแตกต่างกัน 3 ค่า ได้แก่ 1000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

2.2 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Grammage) ถูกทดสอบด้วยวิธีตามมาตรฐาน ISO 536 โดยตัดชิ้นงานทดสอบขนาด 10 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร จำนวน 20 ตัวอย่างต่อสภาวะการทดสอบ นำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาด แล้วคำนวณค่าน้ำหนักมาตรฐานตามสมการที่ 1

$$G = \frac{m}{A} \quad (1)$$

เมื่อ G คือน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (กรัมต่อตารางเมตร), m คือมวลของตัวอย่างทดสอบ (กรัม), A คือพื้นที่ของตัวอย่างทดสอบ (ตารางเมตร)

2.3 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 8787 โดยชิ้นงานทดสอบขนาดยาว 200 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร จำนวน 10 ตัวอย่างต่อสภาวะการทดสอบ จะถูกนำมาติดตั้งในภาชนะบรรจุน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที บันทึกค่าระยะที่น้ำเดินทางตามแนวยาวของชิ้นงาน (Capillary rise)

2.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

สมบัติเชิงกลของกระดาษจากเส้นใยกระวานจะถูกพิจารณาจากความต้านทานแรงดึงสูงสุดซึ่งได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828 ด้วยเครื่องทดสอบเชิงกลเอนกประสงค์ (LLOYD) โดยชิ้นงานทดสอบขนาดกว้าง 25.4 มิลลิเมตร ยาว 254 มิลลิเมตร จำนวน 10 ตัวอย่างต่อสภาวะการทดสอบถูกนำมาทดสอบที่อัตราความเร็วการดึง 25.4 มิลลิเมตรต่อนาที จนถึงจุดขาด ค่าความเค้นและความเครียดของชิ้นงานจะถูกบันทึก

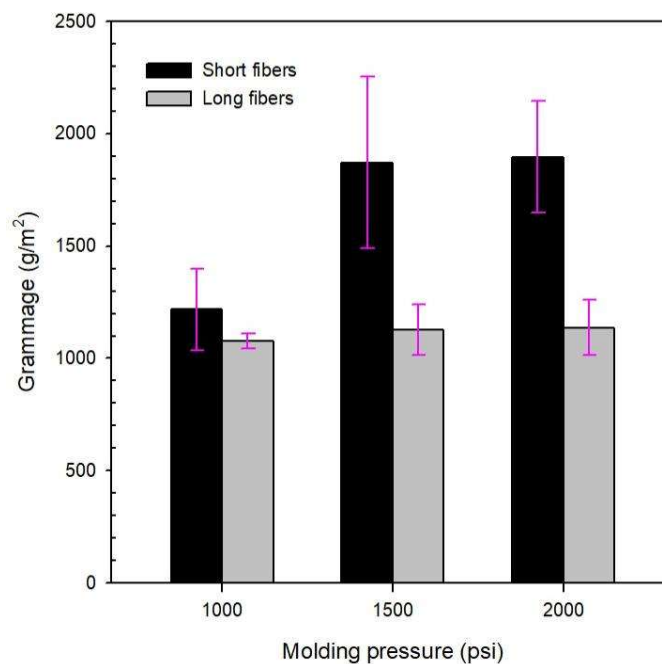
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เส้นใยกระวานที่ผ่านการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำมาอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนสามารถเตรียมเป็นแผ่นกระดาษแบบหนาได้ โดยลักษณะของแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานจะมีสีน้ำตาลดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้นและขนาดยาว ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

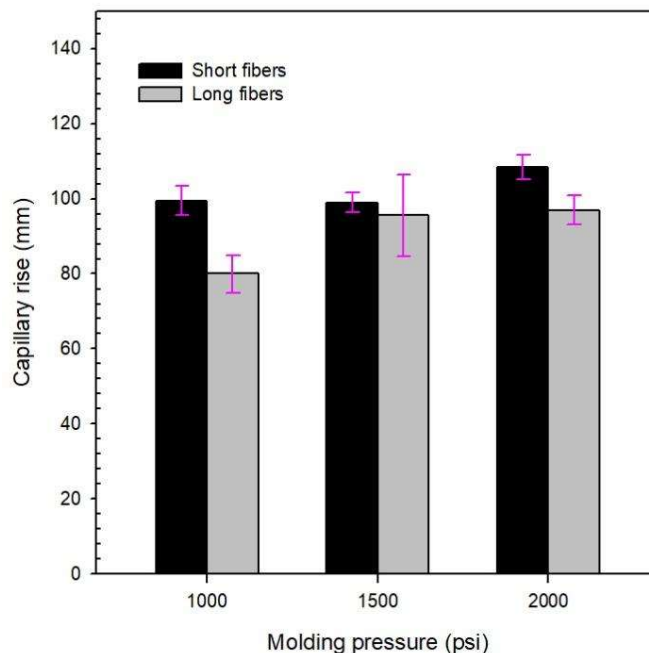
ในกรณีที่แผ่นกระดาษถูกเตรียมจากเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันพบว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้นจะมีความละเอียดและเรียบเนียนมากกว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยขนาดยาว อย่างไรก็ตาม เมื่อสัมผัสด้วยมือจะพบว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยยาวจะมีความแข็งและคงตัวมากกว่า นอกจากนี้ เมื่อทำการตัดชิ้นงานแผ่นกระดาษจะพบว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยยาวสามารถตัดออกจากกันได้ง่ายและมีขอบเรียบ ในขณะที่แผ่นกระดาษจากเส้นใยสั้นจะมีการหลุดของเส้นใยและทำให้ขอบชิ้นงานกระดาษที่ถูกตัดไม่เรียบ



ภาพที่ 2 คำนวณน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานขนาดสั้นและขนาดยาว ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เมื่อนำแผ่นกระดาษเส้นใยกระวานไปทดสอบเพื่อหาค่าน้ำหนักมาตรฐานตามมาตรฐาน ISO 536 พบว่ากระดาษจากเส้นใยที่มีขนาดต่างกัน และการเตรียมด้วยแรงอัดที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 2 จากภาพจะสังเกตได้ว่าแผ่นกระดาษที่เตรียมจากเส้นใยกระวานขนาดยาวจะมีค่าน้ำหนักมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ 1077 – 1136 กรัมต่อตารางเมตร และแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานขนาดสั้นจะมีค่าน้ำหนักมาตรฐานอยู่ในช่วง 1217 – 1896 กรัมต่อตารางเมตร นอกจากนี้ค่าน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงอัดขึ้นรูปด้วย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองปัจจัย (Two-way ANOVA) ของน้ำหนักมาตรฐาน พบว่าทั้งชนิดของเส้นใยและแรงอัดขึ้นรูปส่งผลต่อน้ำหนักมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$ ทั้งสองปัจจัย) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดเส้นใยและแรงอัดขึ้นรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.012$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแรงอัดขึ้นรูปส่งผลให้เกิดการอัดแน่นของน้ำหนักมาตรฐานในเส้นใยสั้นมากกว่าเส้นใยยาวอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามการที่ช่วงขนาดของเส้นใยที่เตรียมได้จากกระบวนการบดย่อยด้วยใบมีดความเร็วสูงมีค่าค่อนข้างกว้างส่งผลต่อความแปรปรวนในกรณีเส้นใยสั้นค่อนข้างมาก

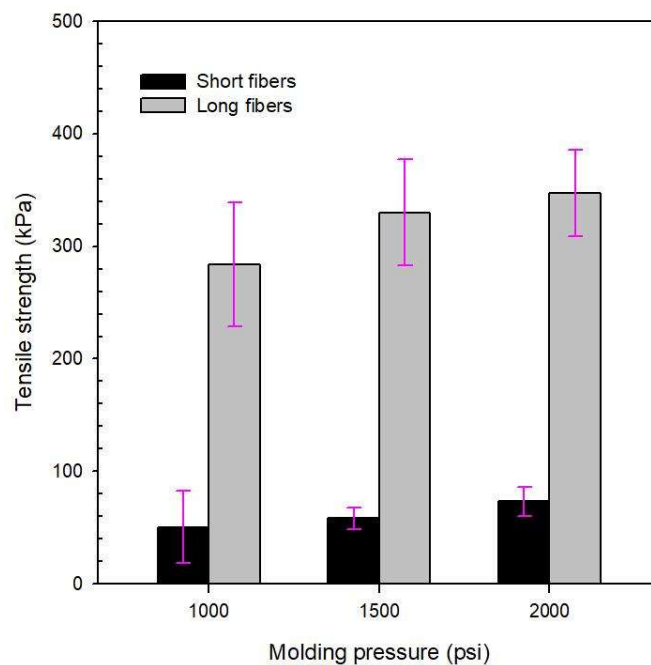
เมื่อนำแผ่นกระดาษไปทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำด้วยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO 8787 จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3 จากการพิจารณาระยะทางที่น้ำสามารถเคลื่อนที่แพร่ไปในแผ่นกระดาษที่เวลาเท่ากันแล้วจะพบว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยขนาดยาวจะมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นกระดาษจากเส้นใยขนาดสั้น และแผ่นกระดาษที่ถูกอัดขึ้นรูปด้วยแรงอัดที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มจะมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ ความสามารถในการดูดซึมน้ำจากการทดสอบด้วยวิธีทดสอบดังกล่าวจะสัมพันธ์กับขนาดของช่องว่างหรือรูพรุนในวัสดุที่ทดสอบ ถ้าวัสดุมีรูพรุนขนาดเล็กจะทำให้มีแรงดันพาน้ำซึมเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเส้นใยได้มาก น้ำจึงเดินทางขึ้นไประยะทางสูงกว่าวัสดุที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ดังนั้น ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นกระดาษจากเส้นใยกระวานที่ได้จึงให้ผลสอดคล้องกับค่าน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นกระดาษที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้



ภาพที่ 3 ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำของแผ่นกระดาษเส้นใยกระวานที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้นและขนาดยาว ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระดาษเส้นใยกระวานที่เตรียมได้ปรากฏผลดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดระหว่างแผ่นกระดาษเส้นใยกระวานที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้นและขนาดยาวได้อย่างชัดเจน โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นกระดาษที่เตรียมจากเส้นใยกระวานขนาดสั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.48 ± 31.81 , 58.33 ± 9.72 และ 73.15 ± 13.26 กิโลปาสกาล (kPa) ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 psi ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยของแผ่นกระดาษที่เตรียมจากเส้นใยกระวานขนาดยาวจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 283.71 ± 54.94 , 329.83 ± 47.21 และ 347.33 ± 38.64 kPa ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 psi ตามลำดับ ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบสองปัจจัย (Two-way ANOVA) พบว่าชนิดของเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยกระดาษจากเส้นใยยาวให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่ากระดาษจากเส้นใยสั้นในทุกสภาวะเนื่องจากเส้นใยยาวมีแนวโน้มเกิดการเกี่ยวพันกันของเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้น ทำให้เมื่อได้รับแรงดึงจะต้านทานการเสียรูปได้มากกว่าเส้นใยสั้น นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดเส้นใยและแรงอัดขึ้นรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.008$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อแรงอัดขึ้นอยู่กับประเภทของเส้นใย

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษเส้นใยกระวานกับกระดาษที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ จะพบว่ากระดาษจากเส้นใยกระวานจะมีน้ำหนักมาตรฐานสูงกว่ากระดาษฟางข้าว (87-268 กรัมต่อตารางเมตร) [11] ทำให้เหมาะกับการใช้งานในลักษณะของกระดาษหนาหรือกระดาษในงานเชิงโครงสร้างมากกว่าบรรจุภัณฑ์ทั่วไป อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของกระดาษจากเส้นใยกระวานมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษฟางข้าว และสูงกว่ากระดาษจากเศษป่านศรนารายณ์ [5] จากการวิเคราะห์พบว่า การเติมสารประสานหรือสารเติมแต่งสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษได้ [4,7] ซึ่งเป็นแนวทางจะพัฒนากระดาษจากเส้นใยกระวานต่อไป



ภาพที่ 4 ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นกระดาษเส้นใยกระวานที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้นและขนาดยาว ที่แรงอัดขึ้นรูป 1000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4. สรุปผล

เส้นใยกระวานเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปอาหารของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง จันทบุรี ถูกนำมาเตรียมเป็นแผ่นกระดาษ โดยอิทธิพลของขนาดเส้นใยและแรงอัดขึ้นรูปได้ถูกศึกษา จากการศึกษาพบว่ากระดาษกระวานที่เตรียมจากเส้นใยยาวจะมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่ากระดาษที่เตรียมจากเส้นใยสั้น แต่น้ำหนักมาตรฐานและการดูดซึมน้ำจะน้อยกว่า นอกจากนี้ กระดาษที่ถูกขึ้นรูปด้วยแรงอัดสูงมีแนวโน้มจะมีค่าน้ำหนักมาตรฐาน การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงดึงสูงกว่ากระดาษที่ถูกอัดด้วยแรงอัดน้อย ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษจากเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ พบว่ากระดาษจากเส้นใยกระวานมีน้ำหนักมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรงเชิงกลในระดับที่ใกล้เคียงกับกระดาษอื่น ๆ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาต่อเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์แบบหนา หรือกระดาษในงานเชิงโครงสร้างต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ปีงบประมาณ 2568 และความอนุเคราะห์ในการดำเนินงานวิจัยจากวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง จังหวัดจันทบุรี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Ritthisorn, S. (2013). Biopulping from Banana Pseudo - Stem of Num-Wa. *Burapha Science Journal*, 18(2), 161-171. (In Thai)
- [2] Dechboon, S., Taravet, V., Boonyobhas, S., & Wisansakkul, S. (2026). Effects of Pulp use on the Papermaking Process from Casuarina Junghuhniana Mig. *Journal of Sustainable Home Economics and Culture*, 8(1), 81-93. <https://so09.tci-thaijo.org/index.php/hecrmutp/article/view/7721> (In Thai)
- [3] Suropan, T. (2019). Production of handicraft paper from cotton rags. *Bulletin of Applied Sciences*, 8(8), 25-33. <https://doi.org/10.60136/bas.v8.2019.251> (In Thai)
- [4] Khampan, O., Loonjaroen, Y., & Saiphanya, C. (2025). Development of Paper from Rice Straw for Producing Artificial Flower of Ban Kham Soom Vieng, Amphur Phrao, Chiang Mai. *Journal of Industrial Technology : Suan Sunandha Rajabhat University*, 5(2), 49-58. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru/article/view/252108> (In Thai)
- [5] Polyium, U. & Panya, N. (2023). Paper from sisal waste for handicrafts. *Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University*, 3(1), 1-12. (In Thai)
- [6] Chungsiriporn, J., Pongyeela, P., & Chairerk N. (2022). Production of Molded Pulp Packaging from Rice Straw and Bagasse Coating by Chitosan. *Burapha Science Journal*, 27(1), 20-30. (In Thai)
- [7] Pramoonmak, S., Memon, A., & Poolkrajang, A. (2018). Study on the Properties of Natural Paper from Lemongrass's Leave Mixed Polylactic-acid Fiber. *Vocational Education Central Region Journal*, 2(2), 29-36. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/IVCJournal/article/view/246498> (In Thai)
- [8] 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)
- [9] Singoenyuan, S. (2021). Development of Packaging Paper from Cellulose of Desho Grass and Bio-cellulose. *Institute of Vocational Education Southern Region 3 Journal (KRIS Journal)*, 1(2), 51-60. <https://so08.tci-thaijo.org/index.php/KRIS/article/view/3202> (In Thai)



- [10] Hadthamard, N., Opamawutthikul, M., Phattarakunamorn, K., Thongpan, N., Champa, L., & Siriphonkun, P. (2024). Development of Eco-friendly Paper Boxes from Sugarcane Waste. *Journal of Sciences and Technology, Ubon Ratchathani University*, 26(2), 25-38. (In Thai)
- [11] Leulee Nortoualee. (2021). *Increasing the value of rice straw by producing packaging paper*. [Master of Science in Environmental Technology]. Maejo University. (In Thai)