

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

พลอยไพลิน น้อยบาท¹, จินตศักดิ์ กาญจนอนันท์², วสันต์ นาคเสนีย์³,

สิรินรัตน์ จันการ⁴, จิรชีพ บุตรเลิศวิเศษฐิธ⁵

^{1,2,3,4,5}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

Email: ployphailinnoi@mcruc.ac.th¹

Received: May 07, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

บทคัดย่อ

จังหวัดราชบุรีมีพื้นที่ทำการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 35.38 เพาะปลูกสับปะรดคิดเป็นร้อยละ 6.74 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดต้องตัดส่วนที่เป็นใบทิ้งทำให้ใบสับปะรดเหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้วิธีเผาทำลายเพื่อเตรียมปลูกรอบต่อไปทำให้เกิดปัญหามลพิษ ในงานวิจัยนี้ได้นำใบสับปะรดมาทำกระดาษและปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษให้มีความเหมาะสมเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองผลิตบรรจุภัณฑ์คือ กระดาษที่มีความยาวเส้นใย 75 มิลลิเมตร ผสมสารให้ความคงตัว 75 กรัม และสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป คือ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 50 bar และเวลา 15 วินาที นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของความยาวเส้นใยกับสารให้ความคงตัว ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบความหนา การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบความชื้น และการทดสอบแรงดึง โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล One Sample t-test พบว่าขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าการทดสอบทุกรายกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่าความแตกต่างระหว่างขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าการทดสอบ โดยผลการคำนวณทางสถิตินี้เป็นไปในแนวเดียวกันกับผลการวิเคราะห์การทดสอบทางกายภาพ นอกจากนี้เมื่อทดสอบระดับความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ ผลการทดสอบบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดมีความสะอาด ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญสามารถนำไปใช้กับอาหารได้ ถึงแม้ว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดจะมีข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำ แต่จากผลการทดสอบค่าทางกายภาพและทางกลมีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อลดข้อจำกัดต่อไปได้ เพื่อนำไปใช้ทดแทนภาชนะพลาสติก

คำสำคัญ: เส้นใยสับปะรด, บรรจุภัณฑ์, กระดาษจากธรรมชาติ, บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้, อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

Development of Packaging from Pineapple Fiber for Environmental Conservation

Ployphailin Noibat¹, Jintasak Kanchana-anotai², Wasan Naksanee³,

Sirinrat Juntakan⁴, Jiracheep Butlertwisettitha⁵

^{1,2,3,4,5}Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University

Email: ployphailinnoi@mcru.ac.th¹

Received: May 07, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

Abstract

Ratchaburi province has an agricultural area accounting for 35.38% of the total area, with pineapple cultivation covering 6.74% of the total area. During the pineapple harvesting process, the leaves must be cut off, leaving a large amount of pineapple leaf waste. Currently, most farmers choose to burn these leaves to prepare for the next planting cycle, causing pollution problems. In this research, pineapple leaves were used to make paper, and the paper properties were improved to be suitable for forming into packaging. The optimal conditions obtained from the packaging production experiment were: paper with a fiber length of 75 mm mixed with 75 grams of stabilizer, and the optimal forming conditions were: temperature of 130°C, pressure of 50 bar, and time of 15 seconds. In addition, the physical and mechanical properties of fiber length and stabilizer were studied, including thickness testing, density testing, water absorption testing, moisture content testing, and tensile strength testing. Statistical analysis using the One Sample t-test revealed that fiber size had a statistically significant influence on all test value ($p < 0.05$), it was concluded that the difference between fiber sizes influences the test values, and these statistical calculation results were consistent with the physical test analysis results. Furthermore, when testing the cleanliness level of the packaging, the test results showed that the pineapple fiber packaging was clean and free from microbial contamination, making it suitable for food contact. Although pineapple fiber packaging still has limitations in water absorption, the physical and mechanical test results indicate potential for further development to reduce limitations for replacing plastic containers.

Keywords: pineapple fiber, packaging, natural paper, biodegradable packaging, environmental conservation

บทนำ

จังหวัดราชบุรีมีพื้นที่ทั้งหมด ประมาณ 3.25 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ทำการเกษตร 1,152,159 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 35.38 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่การเพาะปลูกสับปะรดมีประมาณ 77,653 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.74 อำเภอที่ทำการเพาะปลูกสับปะรดมีทั้งหมด 4 อำเภอ ประกอบไปด้วยอำเภอบ้านโป่ง 1,756 ไร่ สวนผึ้ง 13,120 ไร่ บ้านคา 61,328 ไร่ และปากท่อ 1,449 ไร่ [1] โดยในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดจำเป็นต้องตัดส่วนที่เป็นใบทิ้งทำให้ใบสับปะรดยังคงมีปริมาณเหลือทิ้งจำนวนมาก ในแต่ละรอบการผลิตจะมีใบสับปะรดสดที่ถูกทิ้งมากกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ใบสับปะรดสดนี้ให้เส้นใยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 2.7 ของน้ำหนักใบสับปะรดสด ใบสับปะรดเป็นส่วนที่มีเซลลูโลสหรือสามารถให้เส้นใยได้ โดยทั่วไปนิยมนำมาผลิตเป็นกระดาษและวัสดุเสริมแรง จะเห็นว่าเส้นใยใบสับปะรดมีสมบัติเชิงกลที่ค่อนข้างสูง มีมอดุลัสและความแข็งแรงสูงหากพิจารณาสมบัติเชิงกลจำเพาะ (specific mechanical properties) ซึ่งเทียบกับความหนาแน่น จะพบว่ามีความอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยแก้ว [2] ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด อีกทั้งเส้นใยสับปะรดยังทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย และไม่มีสารพิษอันตรายเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนที่ทำมาจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้ตัวประสานเพิ่มเติมและผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปที่ทำให้บรรจุภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในเรื่องการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการลดการใช้พลาสติกและยังเป็นอีกหนึ่ง

ทางเลือกให้ผู้บริโภคเลือกใช้ ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาจากขยะสังเคราะห์มากเป็นอันดับ 5 ของโลก [3] พบว่าปริมาณขยะพลาสติกในประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตันต่อปี ซึ่งขยะพลาสติกต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเฉลี่ยประมาณ 450 ปี ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และหากนำไปเผาอย่างผิดวิธีก็จะทำให้เกิดมลพิษและโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจกและถุงพลาสติกกลายเป็นตัวเลือกอันดับต้น ๆ ที่ผู้คนให้ความสำคัญในชีวิตประจำวัน ขยะพลาสติกจึงเป็นปัญหารุนแรงที่มีความจำเป็นอย่างเร่งรีบที่จะต้องแก้ไข ถ้าหากใช้บรรจุย่อยสลายได้ที่ผลิตจากกระดาษ จะใช้เวลาในการย่อยสลายเฉลี่ยประมาณ ระหว่าง 2 – 6 เดือน [4] การใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

สารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการดัดแปลงทางเคมี มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นสารที่ได้รับการยอมรับในอุตสาหกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างฟิล์มและเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลให้กับวัสดุเส้นใยได้ดีกว่าสารประสานทั่วไป เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) [5] กลไกการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับ CMC เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยเซลลูโลสในสับปะรดกับหมู่คาร์บอกซีเมทิล (-CH₂COOH) ของ CMC ส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันแน่นขึ้นและเพิ่ม

ความต้านทานแรงดึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ CMC เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรด

ดังนั้นผู้ศึกษาค้นคว้าจึงมีความสนใจศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดโดยใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นสารให้ความคงตัว และกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ร้อนเพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber: PALF) ประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 70–82 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 5–12 และลิกนินร้อยละ 5–12 ตามลำดับ เส้นใยชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม ได้แก่ ความแข็งแรงดึงสูง ค่ามอดุลัสสูง และความหนาแน่นต่ำ ทำให้เส้นใยสับปะรดเป็นที่สนใจในงานวัสดุคอมโพสิตและบรรจุภัณฑ์สีเขียว [6] เส้นใยสับปะรดมีค่าความแข็งแรงดึงจำเพาะที่เทียบได้กับเส้นใยแก้ว โดยเส้นใยที่มีความยาวระดับกลาง 50–100 มิลลิเมตร (mm) ให้ค่าการยึดเกาะและการขึ้นรูปที่ดีที่สุด

กลไกการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับ CMC เกิดผ่านพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันของ CMC กับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลส ส่งผลให้เกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ที่แข็งแรงและยืดหยุ่น การเพิ่มปริมาณ CMC จะช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง แต่หากใช้ปริมาณเกินกว่าระดับที่เหมาะสมจะทำให้วัสดุ

เปราะและสูญเสียความยืดหยุ่น [6] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติพบว่าบรรจุภัณฑ์จากกากอ้อย (Bagasse) และเส้นใยไผ่มีสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์กระดาษเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำสูง ซึ่งสามารถปรับปรุงได้ด้วยการเคลือบผิวหรือการเพิ่มสารให้ความคงตัว ดังเช่นที่ใช้ใน CMC

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด
2. เพื่อศึกษาสมบัติ ทางกายภาพและทางกลของกระดาษจากเส้นใยสับปะรด รวมถึงความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์สำหรับบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร
3. เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งกระบวนการออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด (2) การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษและการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ และ (3) การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด:

- 1.1 นำใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวมาล้างทำความสะอาด คัดเลือกใบที่เสียออก ตัดให้ได้ความยาว 5 ระดับ ได้แก่ 1–2, 3–5, 25, 75 และ 150 มิลลิเมตร (mm) ต้มด้วยสารละลาย NaOH 5% 50 กรัม (g) ต่อใบสับปะรด

1 กิโลกรัม (kg) ใช้น้ำ 6 ลิตร (L) ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 2–3 ชั่วโมง (hr) จากนั้นล้างเยื่อให้สะอาดด้วยน้ำไหลผ่าน หล่อเป็นแผ่นกระดาษขนาด 297×420 มิลลิเมตร (mm) และตากในที่อากาศถ่ายเทประมาณ 4 ชั่วโมง (hr) (ไม่ตากแดดเพราะกระดาษจะหดตัวและหลุดจากตะแกรง)

ตารางที่ 1 แสดงการเตรียมเส้นใยสับปะรด

ส่วนผสม	หน่วย	ความยาวใบสับปะรด (มิลลิเมตร)				
		P1	P2	P3	P4	P5
กระดาษจากเส้นใยสับปะรด		1-2	3-5	25	75	150
น้ำหนักใบ	g	1000	1000	1000	1000	1000
ปริมาณน้ำเปล่า	ml	6000	6000	6000	6000	6000
โซเดียมไฮดรอกไซด์	g	50	50	50	50	50
เวลาที่ใช้ในการต้ม	hr	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
เวลาที่ใช้ในการตาก	hr	14	14	14	14	14

1.2 ต้มใบสับปะรดสด : ใช้อัตราส่วนโซดาไฟร้อยละ 5 ของน้ำหนักใบสับปะรดสดที่ใช้ต้ม คือ โซดาไฟ 50 กรัม (g) ต่อการใช้ใบสับปะรดสด 1 กิโลกรัม (kg) ใช้น้ำในการต้มประมาณ 6 ลิตร (L) ใช้เวลาในการต้ม 2 – 3 ชั่วโมง (hr) นับเวลาจากน้ำที่ใช้ต้มเริ่มเดือด นอกจากนั้นอุณหภูมิของการต้มเป็นสิ่งสำคัญต้องรักษาอุณหภูมิของการต้มให้สม่ำเสมอ ไม่น้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ตลอดระยะเวลาของการต้ม หากอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้การเปื่อยยุ่ยของเยื่อเนิ่นนานออกไปมากกว่าระยะเวลาที่กำหนดได้ ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้ม [7]

1.3 การล้างเยื่อกระดาษ: ได้เยื่อจากใบสับปะรดที่ผ่านการต้มต้องล้างทำความสะอาด นำเยื่อใส่ตาข่ายในลอนบิบบ้าไปล้างด้วยน้ำที่ใช้ล้างควรเป็นการล้างแบบน้ำไหลผ่านเพื่อให้โซดาไฟที่อยู่ในเยื่อตกค้างออกให้หมด

1.4 การหล่อกระดาษ: นำเยื่อที่ผ่านการล้างมาบิบบ้าออกให้หมด ซึ่งให้ได้น้ำหนักตามตัวอย่างทดลอง (ขนาดกระดาษ กว้าง 297 มิลลิเมตร (mm) ยาว 420 มิลลิเมตร (mm) สูง 4 มิลลิเมตร (mm)) จากนั้นตีเยื่อให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 30 วินาที (s) และเทลงบนตะแกรงที่มีน้ำหล่อ แล้วใช้ผ้ามือหรือนิ้วเกลี่ยเยื่อให้ทั่วแผ่นอย่างสม่ำเสมอ ยกตะแกรงขึ้นจากน้ำในลักษณะตั้งตรงแล้ววางลงในแนวราบเพื่อให้น้ำระบายออกจากกระดาษให้หมด [8]

1.5 การตากกระดาษ: ตากกระดาษไว้ในร่มประมาณ 4 ชั่วโมง โดยสถานที่ตากต้องมีการอากาศถ่ายเทอย่างสะดวก เนื่องจากกระดาษจากใบสับปะรดมีการหดตัวสูง ดังนั้นการตากกระดาษในที่แดดจัดจะทำให้กระดาษมีการหดตัวอย่างรวดเร็วและหลุดออกจากตะแกรง



รูปที่ 1 แสดงการตากเยื่อสับปะรด

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคุณสมบัติและการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์: นำกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยขนาด 75 มิลลิเมตร (mm) มาผสมสารให้ความคงตัว (CMC) ในปริมาณ 3 ระดับได้แก่ 50, 75 และ 100 กรัม (g) ดังแสดงในตารางที่ 2 ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100–150 องศาเซลเซียส (°C) ความดัน 50 bar เวลา 15–20 วินาที (s)

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนสภาพแวดล้อมที่ใช้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเคลือบผิวขนาด 75 มิลลิเมตร (mm)

รายการ	องค์ประกอบ	หน่วย	ปริมาณสารให้ความคงตัว		
			50 กรัม (C1)	75 กรัม (C2)	100 กรัม (C3)
1	น้ำหนักใบ	g	1000	1000	1000
2	ปริมาณน้ำเปล่า	ml	6000	6000	6000
3	โซเดียมไฮดรอกไซด์	g	50	50	50
4	เวลาที่ใช้ในการต้ม	hr	2.30	2.30	2.30
5	เวลาที่ใช้ในการตาก	hr	14	14	14

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์: ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ “ISO 535:1991” ความชื้น และ แรงดึง (ASTM D828-97) วิเคราะห์ผลด้วยสถิติ One Sample t-test และทดสอบความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์สำหรับบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร

3.1 การวัดความหนาของชั้นทดสอบ: ชั้นทดสอบจะถูกตรวจสอบด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Digital Caliper) ความละเอียด d = 0.001 มิลลิเมตร (mm) วัดความหนาและหา

ค่าเฉลี่ย ตัวอย่างละ 4 ตำแหน่ง จากชั้นทดสอบในแต่ละสูตร

3.2 การทดสอบหาความหนาแน่น: คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาณ สามารถตรวจสอบน้ำหนักได้จากเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และปริมาณสามารถคำนวณได้จากผลคูณของขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของชั้นทดสอบโดยทำการหาค่าเฉลี่ยจากชั้นทดสอบแต่ละสูตร โดยทำการตัดตัวอย่างขนาด 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³) จากนั้นคำนวณความหนาแน่นดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$$

เมื่อ Density = ความหนาแน่น (g/cm³)

Mass = น้ำหนักชั้นทดสอบ (g)

Volume = ปริมาตรชั้นทดสอบ (cm³)

3.3 การทดสอบค่าความชื้นในวัสดุ: ตัดชั้นทดสอบให้มีขนาด 5 × 5 เซนติเมตร (cm) นำไปชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง เป็นน้ำหนักก่อนอบ อบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ครบเวลานำออกมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณค่าความชื้นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Moisture content} = \frac{W_1}{W_0} \times 100$$

เมื่อ Moisture content = ค่าความชื้นของชิ้นงาน (%)

W₀ = น้ำหนักของชั้นทดสอบก่อนอบ (g)

W₁ = น้ำหนักของชั้นทดสอบหลังอบ (g)

3.4 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ: เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 2.5×5 เซนติเมตร (cm) ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร (mm) ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 60 วินาที (s) โดยให้น้ำท่วมชิ้นทดสอบ หลังจากนั้นซับน้ำส่วนเกินด้วยกระดาษชำระและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำจะคำนวณจากมวลของน้ำที่ชิ้นทดสอบดูดซึมไว้หารด้วยน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำตามมาตรฐาน “ISO 535:1991” ซึ่งใช้สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษและบอร์ดโดยทำการหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร โดยคำนวณสมบัติการดูดซึมน้ำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Water absorption} = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$$

เมื่อ Water absorption = ค่าการดูดซึมน้ำ (gH₂O/g)

W₀ = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)

W₁ = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

3.5 การทดสอบแรงดึง: เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ 125×25.4 มิลลิเมตร (mm) ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร (mm) ขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D828-97 ซึ่งใช้สำหรับทดสอบสมบัติ การดึงของกระดาษและบอร์ดโดยใช้อัตราการยืดตัวที่คงที่ ทำการทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่อง ทดสอบเอนกประสงค์ ภาระกรรมสูงสุด 5 กิโลนิวตัน (kN) กำหนด ความเร็วที่ใช้ใน การดึง ชิ้นทดสอบ (Rate of grip separation) เท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/min) ที่อุณหภูมิห้อง

ทดสอบสมบัติแรงดึง และความยาวของเกจ (Gauge length) 80 มิลลิเมตรจากความยาว ศูนย์กลางเพื่อหาค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสของยัง (Young’s modulus) และค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 ครั้ง โดยทำการ คำนวณหาค่าแรงดึงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_m = \frac{F_m}{W_0}$$

เมื่อ σ_m = ต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm²)

F_m = แรงกระทำสูงสุด (N)

3.6 การทดสอบทางด้านความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหาร: ตรวจสอบด้านความสะอาดของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย โดยใช้ชุดทดสอบความสะอาดของภาชนะที่สัมผัสอาหาร และมือ ตรวจสอบตัวอย่างชิ้นทดสอบ TC2 จำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบ รวมถึงความเป็นกรด ด่างของกระดาษ วิธีการทดสอบใช้วิธีแช่กระดาษ ขนาด 15 x 25 มิลลิเมตร (mm) ในน้ำกลั่นทิ้งไว้ ให้สารจากกระดาษออกมาปะปนในน้ำแล้ววัด เป็นค่าพีเอช (pH) ของสารละลายน้ำที่ได้กระดาษ โดยทดลองตัวอย่างละ 3 ครั้ง [9]

3.7 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ: การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรด ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 5 วัน โดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่ากระดาษจากใบสับปะรดที่มีความยาวเส้นใย 75 มิลลิเมตร (mm) เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูป เนื่องจากผิวกระดาษมีความละเอียดและเรียบ เมื่อปรับปรุง

คุณสมบัติด้วยสารให้ความคงตัว CMC ปริมาณ 75 กรัม (g) พบว่าเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดจากการทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกลและกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเส้นใยสับปะรดที่มีความยาวเส้นใยต่างกัน

ตัวอย่าง	ความยาวเส้นใย (mm)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การดูดซึมน้ำ (gH ₂ O/g)	ความชื้น (%)	หมายเหตุ
A1	25	0.1850	4.12	6.82	เส้นใยสั้น ผิวหยาบ
A2	50	0.2012	3.87	6.45	ผิวค่อนข้างเรียบ
A3	75	0.2245	3.54	6.21	ผิวเรียบ เหมาะสมที่สุด*
A4	100	0.2180	3.71	6.38	ผิวเรียบ แต่เส้นใยาวเกิน
A5	125	0.1990	3.95	6.61	เส้นใยาวมาก ขึ้นรูปยาก

*สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของกระดาษที่ผสมสารให้ความคงตัว (เส้นใย 75 มม.)

ตัวอย่าง	CMC (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การดูดซึมน้ำ (gH ₂ O/g)	ความชื้น (%)	แรงดึง สูงสุด (N)	Tensile (N/mm ²)	หมายเหตุ
C1	50	0.2416	3.24	5.68	43.3	0.01386	ขาดความยืดหยุ่น
C2	75	0.2549	2.83	6.00	123.3	0.03946	เหมาะสมที่สุด*
C3	100	0.2380	2.64	5.76	136.7	0.04374	แข็งเกินไป

*สภาวะที่เหมาะสมที่สุด / ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ: $p < 0.05$ สำหรับทุกรายการทดสอบ

ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปร้อนพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป คือ 130 องศาเซลเซียส (°C) เนื่องจากรูปทรงและรายละเอียดของบรรจุภัณฑ์ชัดเจนและบริเวณผิวเรียบไม่มีเส้นใยชี้ฟู เมื่อทดสอบความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร ผลการทดสอบ 5 ตัวอย่างอยู่ในระดับ C ซึ่งแสดงว่าไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญเหมาะสมสำหรับบรรจุอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พบว่ากระดาษจากเส้นใยสับปะรดที่มีความยาว 75 มิลลิเมตร (mm) ผสมสารให้ความคงตัว CMC 75 กรัม (g) และขึ้นรูปที่

อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ความดัน 50 bar เวลา 15 วินาที (s) เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ความแตกต่างระหว่างขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลการคำนวณทางสถิติสอดคล้องกับผลการทดสอบทางกายภาพ สารให้ความคงตัว CMC ที่ผสมทั้งภายในและเคลือบผิวภายนอกกระดาษช่วยลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีขึ้น แต่หากใช้ปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งและเปราะ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติ พบว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดในงานวิจัยนี้มีค่าความหนาแน่น 0.2549 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และแรงดึง 0.0395 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) ในระดับที่ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์จากกากอ้อย (Bagasse packaging) ซึ่งมีค่าแรงดึงอยู่ในช่วง 0.025–0.050 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) แต่บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดมีข้อได้เปรียบด้านการย่อยสลายตามธรรมชาติและการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสนับสนุนหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำที่ยังสูง ($2.83 \text{ gH}_2\text{O}/\text{g}$) เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ควรได้รับการแก้ไขด้วยการศึกษาสารเคลือบที่มีความต้านทานน้ำสูงขึ้น เช่น ขี้ผึ้งธรรมชาติหรือสารชีวภาพอื่น ๆ

แม้ว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดจะยังมีข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำ แต่มีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาต่อไปโดยการศึกษาวัสดุที่มีค่าต้านทาน

การซึมน้ำสูงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษ และควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลเพิ่มเติม เช่น แรงกระแทก แรงดัดโค้ง แรงกด เพื่อให้ทราบถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์เมื่อมีแรงมากระทำ งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลดปัญหาขยะพลาสติก และช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต อัจฉริยะ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Ratchaburi Province,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2016.
- [2] T. Amornsakchai and N. Kengkhetkit, “Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber,” *Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol 4, no. 2, pp. 1–10, Jan–June, 2014.
- [3] Pollution Control Department, “Plastic Waste Management in Thailand,” Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand, 2018.

- [4] S. Chaithammapakorn, “ Biodegradable Packaging from Agricultural Waste,” *Journal of Packaging Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 12-20, Jan-June, 2015.
- [5] N. Klinpikul and Jantarat Wutthisatwongkul, “*Paper Properties Testing Methods*,” Department of Packaging Technology, 2015.
- [6] A. Suphaporn, “*Polylactic Acid (PLA) Properties and Biodegradation*,” Biopolymer Research Thailand, 2011.
- [7] W. Surawatthanawiset, “ Hemicelluloses and Lignin in Natural Fibers,” *Journal of Bioresource Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 45-60, 2017.
- [8] M. Liwtaisong, “ Biodegradable Plastics: Classification and Properties,” *Polymer Science Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 22-35, 2013.
- [9] C. Sirikasemloet, *Pineapple Fiber: Processing and Applications*. Chiang Rai, Thailand: Agricultural Research Institute, 2011.