# การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม

**วิชญาดา พรหมจันทร์[1], กุญพิชชา ภัทรชยางกูร[1], นันท์นภัส คันธพิกา[1], ทักษอร ไฝทอง[1], สาแลฮ๊ะ ดีซะเอ๊ะ[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[3,4], และ สุธี จุ้งลก[2*]**

*[1]โรงเรียนคณะราษฎรบำรุง จังหวัดยะลา 125 ถนนพิพิธภักดี ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย*
*[2]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" 19 ถนนรวมวิทย์ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย*
*[3]สมาคมนักวิจัยชายแดนใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย*
*[4]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย*
*Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมกากเต้าหู้ โดยมุ่งวิเคราะห์ความทนทานต่อความร้อนและการซึมผ่านของน้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุร่มชนิดโพลีเอสเตอร์และไนลอน และประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของร่มที่มีความทนทานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการทดลองประกอบด้วยการทดสอบความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง และการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำในช่วงเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าวัสดุคอมโพสิตมีการเปลี่ยนรูปอยู่ในช่วง 1–3% และแรงดึงลดลงประมาณ 5–10% ภายใต้ความร้อนสูง ขณะที่โพลีเอสเตอร์คงรูปได้ดีและไนลอนมีการนิ่มตัวเล็กน้อย ส่วนผลการซึมผ่านน้ำพบว่าวัสดุคอมโพสิตมีค่าน้ำซึมผ่านเฉลี่ย 2–5% สูงกว่าโพลีเอสเตอร์ (<1%) แต่ต่ำกว่าไนลอน (≈4.5%) และมีการบวมบริเวณขอบเล็กน้อย ผลลัพธ์สะท้อนว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมกากเต้าหู้มีศักยภาพเป็นวัสดุสำหรับผลิตร่มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แม้ต้องปรับปรุงด้านความเสถียรต่อความร้อนและการดูดซึมน้ำเพิ่มเติม แต่สามารถเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** คุณสมบัติทางกายภาพ / คอมโพสิต / พอลิเมอร์ / กากเต้าหู้ / ร่ม

# Physical property analysis of polymer composite materials reinforced with tofu residue for umbrella production

**Witchayada Phromjan[1], Kulpitcha Phattarayongkul[1], Nannaphat Kantalika[1], Taksaorn Faithong[1], Salaeha Dasa-eh[1], Adulsman Sukkaew[3,4], and Suthee Junglok[2*]**

*[1]Kanarasdornbumroong Yala School, 125 Phiphitphakdi Road, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand*
*[2]Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong, Yala, Thailand*
*[3]Southern Border Researchers Association, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand[4]Faculty of Science, Technology and*
*[4]Agriculture, Yala Rajabhat University, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand*
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

## Abstract

This research aims to study the physical properties of polymer composites reinforced with tofu waste. The study focuses on heat resistance and water permeability. The results are compared with polyester and nylon materials to evaluate their suitability for use in durable and environmentally friendly umbrella components. The experimental methodology involved thermal exposure testing at 100 °C for 96 hours and water absorption analysis at time intervals of 1, 3, and 6 hours. The experimental results indicated that the composite material exhibited deformation in the range of 1-3% and a tensile strength reduction of approximately 5-10% under high heat. In contrast, polyester maintained good dimensional stability, while nylon showed slight softening. Regarding water permeability, the composite material showed an average water permeation rate of 2-5%, which is higher than polyester (<1%) but lower than nylon (≈ 4.5%), and exhibited minor swelling at the edges. The results reflect that the tofu residue-reinforced polymer composite has the potential to be an eco-friendly material for umbrella production. Although further improvements are needed in terms of thermal stability and water absorption resistance, this provides a sustainable pathway for developing products from waste materials in the food industry.

**Keywords**: Physical Properties / Composite / Polymer / Tofu Residue / Umbrella

**1. บทนำ**

ร่มที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมักประสบปัญหาเกี่ยวกับวัสดุผ้า ตัวอย่างเช่น ผ้าร่มฉีกขาดได้ง่ายเมื่อใช้งานต่อเนื่องหรือเมื่อเผชิญกับลมแรง นอกจากนี้ รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ยังทำให้วัสดุเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ความเหนียวและความยืดหยุ่นลดลง อีกทั้งผ้ายังสูญเสียคุณสมบัติการกันน้ำเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน [1] [2] นอกจากนี้ ผ้าร่มส่วนใหญ่มักผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์หรือไนลอน แม้ว่าวัสดุเหล่านี้จะมีน้ำหนักเบา แต่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเมื่อกลายเป็นของเสีย

ในปัจจุบัน วัสดุพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber Reinforced Polymers: NFRP) ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ราคาต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นการใช้เส้นใยพืชทั่วไป เช่น ปอกระเจา ป่าน หรือเส้นใยมะพร้าว สำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ยังมีงานวิจัยค่อนข้างจำกัดเกี่ยวกับการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้กับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่ต้องการทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาน้อยมากเกี่ยวกับการนำของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวัน

กากเต้าหู้ (กากถั่วเหลือง) เป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ ซึ่งมีศักยภาพสูงเนื่องจากประกอบด้วยโปรตีนและเซลลูโลสในปริมาณมาก [3] โดยเซลลูโลสช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกล ในขณะที่โปรตีนช่วยให้วัสดุยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากขึ้นและลดการแตกหักได้ง่าย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับการนำกากเต้าหู้มาใช้ในวัสดุคอมโพสิตยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในโครงสร้างของร่ม [4]

ดังนั้น การนำกากเต้าหู้มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในส่วนประกอบของร่ม เช่น โครงหรือด้ามจับ จึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ วิธีนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทาน แต่ยังช่วยลดการใช้วัสดุสังเคราะห์และลดปริมาณของเสียจากอาหาร อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการพัฒนาอย่างยั่งยืน [5] งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยกากเต้าหู้ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้ในร่มและผลิตภัณฑ์วัสดุชีวภาพอื่น ๆ ในอนาคต

**2. วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้
2. เพื่อเปรียบเทียบความทนทานต่อความร้อนและการซึมผ่านของน้ำของวัสดุคอมโพสิตกับวัสดุร่มชนิดโพลีเอสเตอร์และไนลอน
3. เพื่อประเมินความเหมาะสมของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้สำหรับการนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนของร่ม
4. เพื่อส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารให้เกิดมูลค่าเพิ่มและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

**3. ขอบเขตของการศึกษา**

ตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้

ตัวแปรต้น กากเต้าหู้และพอลิเมอร์

ตัวแปรตาม คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิต

ตัวแปรควบคุม อัตราส่วนกากเต้าหู้ต่อพอลิเมอร์ และกระบวนการขึ้นรูป

**4. วิธีการศึกษา**

ขั้นตอนการทำวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม (รูปที่ 1-5)

**ขั้นตอนที่ 1 :** การเตรียมกากเต้าหู้

- นำกากเต้าหู้สดมาอบในเตาอบจนแห้งสนิทแล้วนำบดให้เป็นผงละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดสม่ำเสมอ

**ขั้นตอนที่ 2 :** การผสมวัสดุคอมโพสิต

- นำผงกากเต้าหู้ผสมกับเรซิ่นชีวะภาพ ตามอัตราส่วยที่กำหนด

**ขั้นตอนที่ 3 :** ขึ้นรูปแผ่นวัสดุ

- เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์แล้วปาดให้มีความหนาสม่ำเสมอ และกดอัดด้วยน้ำหนักหรือแผ่นเรียบเพื่อลดช่องอากาศ

**ขั้นตอนที่ 4 :** ทำให้แข็งตัว

- ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 24–48 ชั่วโมงและวแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**ขั้นตอนที่ 5 :** การตัดแต่งและเตรียมใช้งาน

- ตัดแผ่นคอมโพสิตให้ได้ขนาดเหมาะสมกับการทดสอบหรือการผลิตร่มและตรวจสอบผิวหน้า ความเรียบ และความแข็งแรงเบื้องต้น

**ขั้นตอนที่ 6 :** การทดสอบสมบัติของวัสดุ

- วิธีการทดลองความทนทานต่อความร้อน

นำวัสดุขนาดมาตรฐานไปวางในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สี ความแข็งแรงทางกล รวมถึงการเกิดรอยแตกร้าวหรืออ่อนตัวบริเวณขอบ วัดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายและเปรียบเทียบกับวัสดุร่มในท้องตลาด

- วิธีการทดลองการซึมผ่านของน้ำ

เตรียมตัวอย่างวัสดุขนาดเท่ากัน นำไปแช่น้ำหรือวางในสภาวะความชื้นสูงตามช่วงเวลาที่กำหนด (1, 3, 6 ชั่วโมง) จากนั้นชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทดลองเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำที่ซึมผ่านหรือการเปลี่ยนแปลงของมวล ตรวจสอบการบวมของขอบวัสดุและสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสีหลังทดสอบ เปรียบเทียบกับวัสดุมาตรฐานในท้องตลาด

**รูปที่ 1** ใส่กากเต้าหู้ละเอียด 50 กรัม ลงในน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร

**รูปที่ 2** เติมกากเต้าหู้ลงไปอีก 30 มิลลิลิตร

**รูปที่ 3** เติมกลีเซอรอล 20

**รูปที่ 4** คนให้เข้ากันดี แล้วเทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์

**รูปที่ 5** นำเข้าเตาอบเพื่อทำให้แห้ง

**5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล**

ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลและกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม พบว่าที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง วัสดุคอมโพสิตมีการอ่อนตัวบริเวณขอบเล็กน้อย โดยค่าการเปลี่ยนแปลงรูปทรงอยู่ในช่วง 1-3% ขณะที่วัสดุร่มที่นิยมในท้องตลาด เช่น โพลีเอสเตอร์ สามารถคงรูปได้ดีโดยไม่มีการอ่อนตัวหรือแตกหัก ส่วนไนลอนอาจเกิดนิ่มตัวหรือเสียรูปเล็กน้อยเนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโพลีเอสเตอร์ (โพลีเอสเตอร์มีจุดหลอมเหลวประมาณ 255-265°C ขณะที่ไนลอนมีจุดหลอมเหลวประมาณ 210°C) และโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเอสเตอร์อยู่ที่ 3.2 GPa ซึ่งสูงกว่าไนลอนที่ 1.1 GPa จึงทำให้ทนต่อรูปทรงได้ดีในสภาวะความร้อน ผลวิจัยดังแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ความทนทานต่อความร้อน

| การทดสอบ | พารามิเตอร์การทดสอบ | คอมโพสิตพอลิเมอร์ + กากเต้าหู้ | วัสดุร่มโพลีเอสเตอร์ | วัสดุร่มไนลอน |
|---|---|---|---|---|
| ความทนทานต่อความร้อน | 100°C, 96 ชั่วโมง | ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ อาจมีอ่อนตัวหรือเปลี่ยนรูปเล็กน้อย (1-3%) | ไม่เปลี่ยนรูป ไม่ละลาย | อาจนิ่มตัวหรือเสียรูปเล็กน้อย (Nylon จุดหลอมเหลวต่ำกว่า Polyester) |
| ความเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล | อุณหภูมิสูง | ค่าแรงดึงลดลงเล็กน้อย (ประมาณ 5-10%) | เปลี่ยนแปลงน้อยมาก | เสื่อมสภาพง่ายกว่า |
| การเปลี่ยนแปลงสี | หลังทดสอบความร้อน | อาจซีดบางส่วน < 7% | ไม่เปลี่ยนหรือเปลี่ยนเล็กน้อย <5% | ซีดหรือเหลืองเร็วขึ้นหากโดน UV |

สำหรับการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของวัสดุคอมโพสิตอยู่ที่ประมาณ 2-5% เมื่อแช่ตัวอย่างเป็นเวลา 1 ถึง 6 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าโพลีเอสเตอร์ แต่ต่ำกว่าไนลอนที่มีค่าประมาณ 4.5% โพลีเอสเตอร์มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยน้อยกว่า 1% ใน 24 ชั่วโมง และสามารถรักษาความแข็งแรงได้โดยอัตราการขยายตัวของปริมาตรหลังดูดซึมน้ำต่ำมาก (ร่มยังคงรูปร่างเดิมได้ดี) ขณะที่ไนลอนจะเกิดการขยายตัวถึง 1.8% และความแข็งแรงแรงดึงลดลงได้ถึง 30% หากใช้งานในสภาวะร้อนและชื้น

**ตารางที่ 2** การซึมผ่านของน้ำ

| การทดสอบ | พารามิเตอร์การทดสอบ | คอมโพสิตพอลิเมอร์ + กากเต้าหู้ | วัสดุร่มโพลีเอสเตอร์ | วัสดุร่มไนลอน |
|---|---|---|---|---|
| การซึมผ่านของน้ำ | 1, 3, 6 ชั่วโมง | ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (Water Absorption) อาจ 2-5% | < 1% (โพลีเอสเตอร์กันน้ำดี) | 1-3% (ไนลอนซึมน้ำง่ายกว่า Polyester) |
| การเปลี่ยนแปลงรูปทรง | หลังแช่น้ำ | มีบวมที่ขอบเล็กน้อย | ไม่มีบวม ไม่เสียรูป | อาจมีบวม แต่รูปทรงคงตัวดีขึ้น |
| การเปลี่ยนแปลงสี | หลังแช่น้ำ | เปลี่ยนสีเล็กน้อย < 7% | ไม่เปลี่ยนหรือเปลี่ยนสี < 5% | อาจเปลี่ยนสีชัดเจนกว่าด้วยน้ำ |

**6. สรุปผลการศึกษา**

จากงานวิจัยนี้พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในระดับหนึ่งสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของร่ม โดยผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าวัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อความ

ร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมงได้ โดยมีการเปลี่ยนรูปเพียงเล็กน้อยในช่วงประมาณ 1–3% และค่าแรงดึงลดลงประมาณ 5–10% เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุร่มในท้องตลาด เช่น โพลีเอสเตอร์และไนลอน พบว่าวัสดุคอมโพสิตมีความคงตัวต่ำกว่าโพลีเอสเตอร์ แต่ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานทั่วไป นอกจากนี้ ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำแสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ประมาณ 2–5% ซึ่งสูงกว่าโพลีเอสเตอร์แต่ต่ำกว่าไนลอน และพบการบวมบริเวณขอบเพียงเล็กน้อย การใช้กากเต้าหู้ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารช่วยเพิ่มมูลค่า ลดของเสีย และเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนวัสดุสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตควรมุ่งเน้นการปรับปรุงความทนทานต่อความร้อนและการลดการดูดซึมน้ำของวัสดุคอมโพสิต รวมถึงการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ยั่งยืนในอนาคต

**เอกสารอ้างอิง**

[1] DOSHINE. (2024, July 12). ผ้าที่ทนต่อการฉีกขาดชนิดใดดีที่สุด?

[2] Textile scientist. (2026, January 21). Raincoat no longer waterproof? A textile scientist explains why and how to fix it. The Conversation.

[3] Thwe, M. M., & Liao, K. (2012). Experimental investigation of natural fiber reinforced polymers. Scientific Research, 3(2), 103–108.

[4] United Soybean Board. (2007). Biodegradable soy protein-based compositions (U.S. Patent No. US20080090939A1).

[5] Wang, Y., et al. (2024). Composite hydrogels formed from okara cellulose nanofibers and carrageenan: Fabrication and characterization. International Journal of Biological Macromolecules, 260, 129–140.