# วัสดุไบโอคอมพอสิตจากเส้นใยป่านศรนารายณ์เพื่อผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์

## Biocomposite Material from Sisal Fiber for Ecological Product

พรทิพย์ ธรรมจริยาพันธุ์[1] เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง[2] และ ต่อศักดิ์ กิตติกรณ์[3]
คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา[1, 2]
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์[3]
E-mail: porntipt@g.swu.ac.th[1], kriangsak_k@yahoo.com[2], thorsak.k@psu.ac.th[3]

**บทคัดย่อ**

วัสดุไบโอคอมพอสิตที่ผลิตในประเทศมักถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ซึ่งยังไม่เป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมการออกแบบผลิตภัณฑ์เท่าที่ควร การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ข้อจำกัดของพลาสติกชีวภาพให้มีความแข็งแรงคงทนสำหรับใช้เป็นวัสดุเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิแลคติกแอซิดในอัตราส่วนปริมาณเส้นใยที่ 10, 20, 30 และ 40 wt% ดัดแปรผิวเส้นใยด้วย Silane A-174 นำไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงดัดงอพบว่าไบโอคอมพอสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 40 wt% ให้ค่ามอดุลัสแรงดึงสูงสุดที่ 2,768.72 MPa และค่ามอดุลัสแรงดัดงอสูงสุดที่ 6,238.44 MPa ในทางกลับกันค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกกลับลดลงต่ำสุดที่ 2.30 kJ/m$^2$ ผลลัพธ์การวิจัยสรุปได้ว่า สูตรผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์บดผ่านการดัดแปรผิวเส้นใยที่ 40 wt% เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์มากที่สุด

*คำสำคัญ:* ไบโอคอมพอสิต, พอลิแลคติกแอซิด, ป่านศรนารายณ์

**Abstract**

In general, domestic biocomposite materials are developed to be suitable for packaging design. However, it is not as widespread in the product design industry. The objective of this research is to apply the limitations of bioplastics to acceptable levels of strength and durability for use as a material to produce products. With analyzing the ratio between sisal fibers and polylactic acid in fiber content ratios at 10, 20, 30 and 40 wt%, fiber substrates were modified with Silane A-174. Tensile strength and flexural strength test showed that a biocomposite with 40 wt% sisal fiber content yielded a maximum tensile modulus of 2,768.72 MPa and a maximum flexural modulus of 6,238.44 MPa. On the other hand, the impact resistance was dropped to a minimum of 2.30 kJ/m$^2$. The results that has led to a blend of polylactic acid with 40 wt% of ground sisal fiber content is most suitable as a product design material.

*Keywords:* Biocomposite, Polylactic acid, Sisal fiber

## 1. บทนำ

การใช้ประโยชน์จากพลาสติกชีวภาพและการนำเส้นใยธรรมชาติเข้ามาใช้ทดแทนเส้นใยสังเคราะห์เป็นทางเลือกให้กับวัสดุคอมพอสิตที่ต้องการรักษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลาสติกชีวภาพประเภทพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) โดยมากถูกใช้ประโยชน์ทางด้านบรรจุภัณฑ์ หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในแง่ต้นทุนการผลิตกับระยะเวลาของการใช้งานจะเห็นว่าไม่คุ้มค่าเนื่องจากวัสดุมีราคาแพงกว่าพลาสติกเมื่อนำมาทำบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ดังนั้นหากเปลี่ยนไปใช้ประโยชน์ทางด้านผลิตภัณฑ์ให้แพร่หลายโดยเน้นความสวยงามคงทนกับอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นประกอบกับสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกว้างให้กับวัสดุ

ไบโอคอมพอสิต (Biocomposite) จำแนกได้ตามการย่อยสลาย โดยแบ่งเป็น คอมพอสิตชีวภาพที่ย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์และย่อยสลายได้บางส่วน ทั้งนี้คอมพอสิตนั้นเป็นส่วนผสมของวัสดุสองอย่างหรือมากกว่า ที่มีสมบัติแตกต่างกันมารวมกัน [1] วัสดุไบโอคอมพอสิตมีความน่าสนใจเพราะรวมคุณสมบัติหลากหลายไว้ในรูปแบบที่ไม่สามารถพบได้ในธรรมชาติ โดยผลของการรวมวัสดุชีวภาพนี้ทำให้ได้วัสดุที่มีโครงสร้างเบา มีความแข็งแรงสูง และมีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับการใช้งานที่เจาะจง [2] ในการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้คอมพอสิตชีวภาพที่มีวัสดุเนื้อหลักเป็นพอลิเมอร์ (Biocomposite polymer matrix) ควรพิจารณาถึงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความงามของวัสดุ (Mechanical and aesthetic properties) โดยทั่วไปวัสดุคอมพอสิตชีวภาพจะมีน้ำหนักเบาเนื่องจากความหนาแน่นต่ำ เมื่อเทียบความแข็งแรงต่อน้ำหนักกับโลหะให้ผลความแข็งแรงที่มากกว่าโลหะและใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าต้นทุนต่ำกว่ารวมไปถึงวิธีการขึ้นรูปที่สามารถทำได้หลากหลายและสะดวกในการนำไปใช้ออกแบบได้ตามที่นักออกแบบต้องการ อีกทั้งวัสดุผสมที่ได้มาสามารถผลิตให้ลักษณะของผิวสัมผัสมีความมันเงาไปจนถึงขรุขระและสามารถเพิ่มเติมสีสันเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการออกแบบได้

เส้นใยเซลลูโลสเป็นเส้นใยที่ได้มาจากพืช แต่ละส่วนมีลักษณะแตกต่างกัน เส้นใยจากผลและก้านปล้องมักมีความยาวเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยที่ได้จากใบและลำต้น โดยเส้นใยที่มาจากลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่นั้นมีความโดดเด่นด้านเส้นใยที่มีความละเอียดและความยืดหยุ่นสูง ส่วนเส้นใยที่ได้มาจากใบจะมีความหยาบและแข็งมากกว่า [3] การนำเซลลูโลสไปใช้เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิตจำเป็นต้องกำจัดองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานตามธรรมชาติออกให้ได้มากที่สุดในการทดลองจึงปรับปรุงผิวเส้นใยและใช้สารเชื่อมประสาน (Silane coupling agent) เซลลูโลสหรือสารประกอบอินทรีย์ประเภทพอลิเซ็กคาไรด์นี้มีคุณสมบัติชอบน้ำ การมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group: -OH) จำนวนมากทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ เหตุนี้เส้นใยเซลลูโลสจากพืชทุกชนิดจึงดูดความชื้นได้ง่าย และการมีหมู่ไฮดรอกซิลหลายแห่งยังทำให้โมเลกุลสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีขึ้น ดังนั้นในการ

ออกแบบที่ต้องการความหลากหลายทางสีสันจึงสามารถทำได้โดยการย้อมสีให้กับเซลลูโลส

การออกแบบเชิงนิเวศน์ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมเป็นหลักหรืออีกนัยหนึ่งคือให้สิ่งแวดล้อมเป็นตัวกำหนดทิศทางในการออกแบบ โดยยึดหลักแห่งการสร้างผลทางบวกต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-effectiveness) ตามการศึกษาแนวคิดคืนสู่แหล่งกำเนิด (Cradle to Cradle design concept: C2C) ที่เป็นเครื่องมือและวิธีการสู่ความยั่งยืนในรูปแบบ Triple Top Line [4] หรืออีกนัยหนึ่งการออกแบบ C2C คือกรอบแนวคิดการออกแบบเพื่อความยั่งยืนที่ใช้วิธีคิดและหลักการตามแบบธรรมชาติที่ทุกอย่างย่อยสลายได้ เช่นเดียวกับวัสดุที่ได้จากการวิจัย ไบโอคอมพอสิตจากเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิแลคติกแอซิดนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ El Haggar [5] กล่าวว่า หากผลิตภัณฑ์ได้รับการออกแบบตามแนวคิดคืนสู่แหล่งกำเนิด วัสดุจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือสามารถย่อยสลายได้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมา งานวิจัยเรื่อง วัสดุไบโอคอมพอสิตจากเส้นใยป่านศรนารายณ์เพื่อผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์เป็นการจุดประกายทางความคิดในการนำองค์ความรู้ด้านการพัฒนาวัสดุที่มีอยู่มาเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกว้างให้ขยายขอบเขตไปใช้กับงานด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นทางเลือกให้กับนักออกแบบที่ต้องการวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกทั้งวัสดุยังสามารถย่อยสลายในธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาอัตราส่วนปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เป็นวัสดุสร้างผลิตภัณฑ์

เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล 3 ประเภท คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงดัดงอ และความต้านทานต่อแรงกระแทก

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองสร้างวัสดุไบโอคอมพอสิตโดยการหาอัตราส่วนผสมจากหลักการ line blend ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ กับ พอลิแลคติกแอซิด จำนวน 4 สูตร และดัดแปรผิวเส้นใยด้วย 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate

2. ทดสอบสมบัติเชิงกล 3 ประเภท ประกอบด้วย ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงดัดงอ และความต้านทานต่อแรงกระแทก

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสาร: ขั้นตอนของการศึกษา ทบทวนวรรณกรรม รวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

1.1 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุ ประกอบด้วย พลาสติกชีวภาพ คอมพอสิต เส้นใยเซลลูโลสจากป่านศรนารายณ์

1.2 ศึกษาการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประเภทพอลิเมอร์คอมพอสิต

1.3 ศึกษาแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศน์

2. ทดลองในห้องปฏิบัติการ: เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ของตัวแปร โดยยึดกฎการใช้ตัวแปรเดียวคือตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาในการวิจัย ซึ่งการวิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองดังนี้

2.1 หาอัตราส่วนผสมจากหลักการ line blend ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ กับ พอลิแลคติกแอซิด จำนวน 4 สูตร

ตัวแปรอิสระ คือ ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสของป่านศรนารายณ์บด ตัวแปรตาม คือ ความแข็งแรงของไบโอคอมพอสิตจากการทดสอบสมบัติเชิงกล 3 ประเภท คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงดัดงอ และความต้านทานต่อแรงกระแทก และตัวแปรควบคุม คือ พอลิแลคติกแอซิด ซีรีย์ Ingeo 3251D โดยกำหนดวิธีในการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นด้วยการเพิ่มปริมาณเส้นใยเซลลูโลสบดที่ผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใยและการใช้สารเชื่อมประสานไซเลน A-174 กับไม่ใช้สารเชื่อมประสานอย่างเป็นระบบที่อัตราส่วน 10, 20, 30 และ 40 wt% และสูตรควบคุมที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใย 0 wt% หรือ พอลิแลคติกแอซิด 100 wt% เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบผลการทดลอง ทำการผสมแต่ละสูตรแล้วนำไปอัดขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล

รูปที่ 1 เม็ดผสม PLA/Sisal ที่อัตราส่วน 10, 20, 30 และ 40 wt%

รูปที่ 2 เม็ดผสม PLA/Sisal ในแม่พิมพ์เพื่อเตรียมอัดขึ้นรูป

รูปที่ 3 PLA/Sisal อัดขึ้นรูปแบบแผ่น ที่อัตราส่วน 10, 20, 30 และ 40 wt% ตามลำดับ

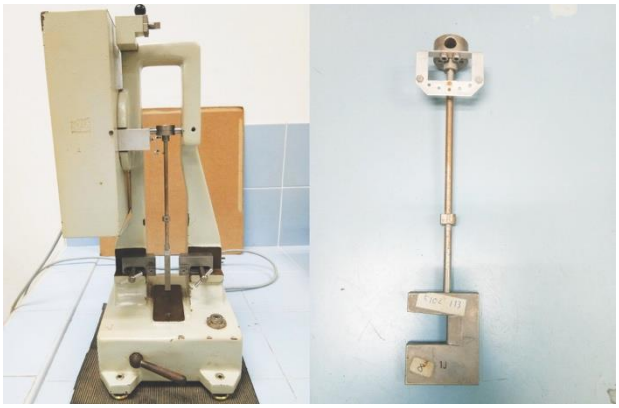
2.2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล 3 ประเภท ประกอบด้วย

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง: ขนาดชิ้นตัวอย่าง 10 x 100 x 0.5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง 3365 Instron tensile testing machine โดยกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีระยะทดสอบ (Gauge length) ที่ 40 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วในการดึง (Load rate) 4 mm/min และใช้ส่วนวัดแรง (Load cell) 1kN ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 23 °C ±2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ±5 %

รูปที่ 4 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง 3365 Instron tensile testing machine

สมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอ: ขนาดชิ้นตัวอย่าง 10 x 80 x 2 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง 3365 Instron tensile testing machine ด้วยวิธีการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอที่ 3 จุด (Three-point flexure) กำหนดให้ชิ้นทดสอบวางอยู่บนแกนพยุง (Support bars) 2 แกน โดยมีระยะห่างแกนพยุง (Support span) ที่ 64 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วในการกด (Speed of testing) 2 mm/min และใช้ส่วนวัดแรง (Load cell) 1kN ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 23 °C ±2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ±5 %

สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก: ขนาดชิ้นตัวอย่าง 13 x 100 x 2 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก 5102.202 Zwick Roell pendulum impact tester ด้วยวิธีการแบบ Charpy impact test method โดยชิ้นทดสอบไม่มีรอยบาก (Unnotched) และตุ้มน้ำหนักกระทบทางด้านข้าง (Charpy flatwise impact) ขนาดน้ำหนักตุ้ม 1 Joule (Pendulum 1 Joule) และระยะแกน (Support span) 60 มิลลิเมตร ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 23 °C ±2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ±10 %

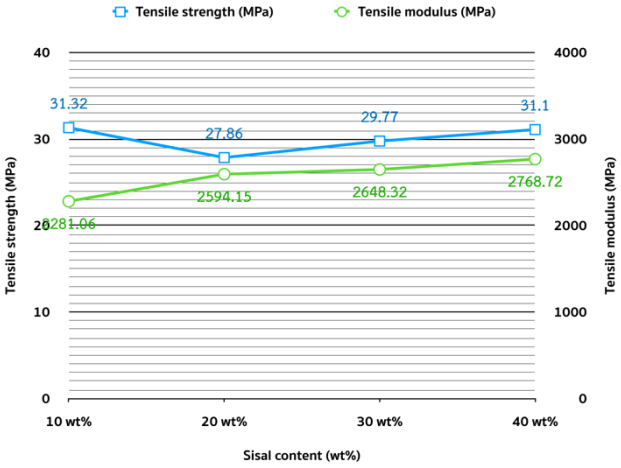


รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก 5102.202 Zwick Roell pendulum impact tester

## 5. ผลการทดลอง

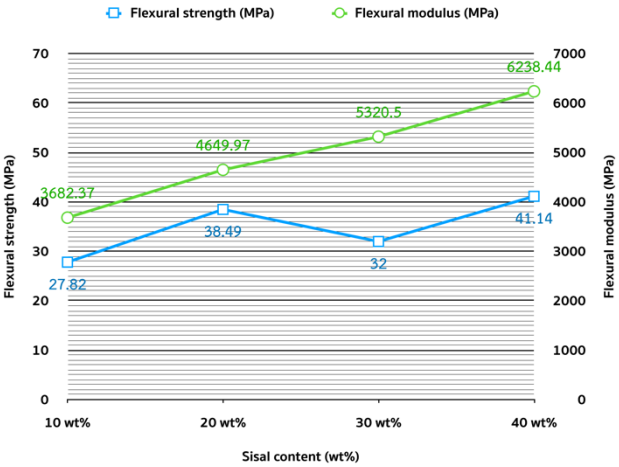
สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล 3 ประเภท ประกอบด้วย

ผลค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงดึง: ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงต่อการดึงของไบโอคอมพอสิตป่านศรนารายณ์ในอัตราส่วนการผสมที่ 20, 30 และ 40 wt% มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 27.86, 29.77 และ 31.10 MPa ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใช้ผสมและเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าเฉลี่ยมอดุลัสแรงดึงที่ 2,594.15, 2,648.32 และ 2,768.72 MPa เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยตามลำดับเช่นเดียวกัน



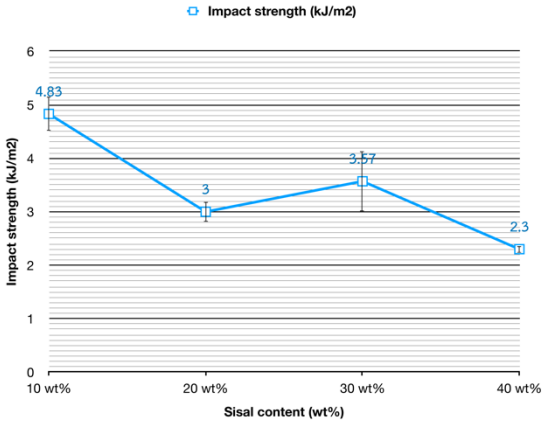

รูปที่ 6 แสดงค่า Tensile strength และ Young's modulus ของคอมพอสิตป่านศรนารายณ์

ผลค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงดัดงอ: ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดงอมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นในอัตราส่วนผสมที่ 30 wt% ค่าความแข็งแรงลดลงและมีความคลาดเคลื่อนสูง ส่วนค่าเฉลี่ยมอดุลัสแรงดัดงอแสดงการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของอัตราส่วนผสม 10, 20, 30, 40 wt% ที่ค่า 3,682.37, 4,649.97, 5,320.50 และ 6,238.44 MPa ตามลำดับ




รูปที่ 7 แสดงค่า Flexural strength และ Flexural modulus ของคอมพอสิตป่านศรนารายณ์

ผลค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงกระแทก: ค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงกระแทกของอัตราส่วนผสมที่ 10, 20, 30 และ 40 wt% เป็นดังนี้ 4.83 kJ/m$^2$, 3.00 kJ/m$^2$, 3.57 kJ/m$^2$ และ 2.30 kJ/m$^2$ ตามลำดับ




รูปที่ 8 แสดงค่า Impact strength ของคอมพอสิตป่านศรนารายณ์

## 6. สรุปผลการวิจัย

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง: ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณเส้นใยประกอบกับเส้นใยที่ผ่านการดัดแปรผิวด้วย Silane A-

174 ให้ค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร ผลสรุปการคัดเลือกสูตรจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุไบโอคอมพอสิตที่ 40 wt% แสดงสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงดีที่สุด

สมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอ: การเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัดงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปรผิวด้วย Silane A-174 ให้ค่ามอดุลัสแรงดัดงอสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร สรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยมีผลทำให้วัสดุแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยที่ปริมาณเส้นใย 40 wt% แสดงสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดงอดีที่สุด

สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก: ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ปริมาณเส้นใย 40 wt% ให้ค่าต่ำที่สุดเนื่องจากไบโอคอมพอสิตที่มาจากเส้นใยธรรมชาติเมื่อความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ค่า Impact strength จะลดต่ำลง ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุไบโอคอมพอสิตมีความเปราะมากขึ้นเมื่อความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ประกอบกันกับ Elongation at break จะแสดงค่าต่ำกว่า 10%

## 7. ข้อเสนอแนะ

การนำวัสดุประเภทคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติไปใช้ออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถปรับเปลี่ยนเส้นใยเซลลูโลสได้หลากหลาย แต่มีข้อคำนึงบางประการในการคัดเลือกเส้นใยควรเลือกเส้นใยที่มาจากลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ เพราะให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง การเพิ่มเติมสีสันสามารถทำได้ในขั้นตอนการย้อมเส้นใย และสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุได้โดยการเพิ่มจำนวนชั้นลามิเนต

## เอกสารอ้างอิง


[1] Tambyrajah, D. 2015. Indulge & Explore Natural Fiber Composites: An invitation to product designers. The Netherlands. NFCDesign Platform.

[2] Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T. 2005. Natural fiber, biopolymers, and biocomposites. USA. Taylor & Francis Group.

[3] Blackburn, R. S. 2005. Biodegradable and Sustainable Fibres. USA. Woodhead Publishing.

[4] McDonough, W. & Braungart, M. 2009. Cradle to Cradle: Remaking the way we make things. London. Vintage.

[5] El Haggar, S. 2007. Sustainable industrial design and waste management: Cradle to Cradle for sustainable development. USA. Academic Press.