บทความวิจัย

สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว และผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสงในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

พงศธร กองแก้ว[1*] วิจิตร เชาว์วันกลาง[2] และ ไพฑูรย์ สุขศรีงาม[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมชีวภาพ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว (C1) และเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสง (C2) และ 2) ศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง มอดูลัสแรงดึง ความทนแรงดัดโค้ง มอดูลัสแรงดัดโค้ง และความทนแรงกระแทก โดยวางแผนการทดลองแบบ 2 × 5 Factorial ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเปลือกถั่วลิสง (C2) ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าความทนแรงดึง มอดูลัสแรงดึง ความทนแรงดัดโค้ง และมอดูลัสแรงดัดโค้งสูงสุด เท่ากับ 28.72 MPa 918.00 MPa 30.38 MPa และ 911.16 MPa ตามลำดับ ส่วนสมบัติความทนแรงกระแทกสูงสุด เท่ากับ 8.51 kJ/m^2 ของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว (C1) ที่อัตราส่วน 5:5 และจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค พบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะภายในที่ยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เกิดขึ้นได้ดี และความเครียดแรงดึงสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับและกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของวัสดุผสม นอกจากนี้ การเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมีค่าลดลง

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกล วัสดุผสมชีวภาพ เส้นใยรากหญ้าแฝก เส้นใยมะพร้าว เส้นใยเปลือกถั่วลิสง อัตราส่วนที่แตกต่างกัน

[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[3] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: ch_ko29@hotmail.com

Mechanical Properties of Biocomposites Reinforced by Vetiver Root Fiber Mixed with Coconut Fiber and Peanut Shell Fiber at Different Ratios

Pongsathorn Kongkaew[1*], Wijit Choawanklang[2], and Paitoon Suksri-ngam[3]

ABSTRACT

This research aimed to study mechanical properties of biocomposites with 2 specific objectives: 1) to study of optimal ratio of vetiver root fiber mixed with coconut fiber (C1) and vetiver root fiber mixed with peanut shell fiber (C2) and 2) to study of mechanical properties such as tensile strength, tensile modulus, flexural strength, flexural modulus and impact strength. The experimental design was 2 × 5 factorial in completely randomized design (CRD) with 3 replications. The findings of experiment showed that the composites reinforced with vetiver root fiber mixed with peanut shell fiber (C2) at ratio 1:1 showed the most values of tensile strength, tensile modulus, flexural strength and flexural modulus had their maximum values which are 28.72 MPa, 918.00 MPa, 30.38 MPa, and 911.16 MPa respectively. For the impact strength, the highest value of 8.51 kJ/m^2 was of the composites reinforced with vetiver root fiber mixed with coconut fiber (C1) at ratio 5:5. The analysis of the microstructure found that mechanical properties of the composites increased because internal bond adhesion between fiber and matrix was well formed and tensile strain associated with the ability to absorb and distribute the force evenly across the surface of the composites. Moreover, the void between the fiber and matrix, which decreased the mechanical properties of the composite.

Keywords: Mechanical properties, Bio composites, Vetiver root fiber, Coconut fiber, Peanut shell fiber, Different ratios

[1]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajaphat Maha Sarakham University

[2]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajaphat Maha Sarakham University

[3]Faculty of Environment and Resource studies, Maha Sarakham University

[*]Corresponding author, email: ch_ko29@hotmail.com

บทนำ

ความแข็งแรงของวัสดุขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุที่จะรั้งด้วยแรงกระทำโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือการแตกหัก สมบัติของวัสดุนั้นจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด และสามารถทดสอบได้โดยการดึงหรือการอัด (tension or compression test) การทดสอบตัวอย่างของวัสดุไม่ว่าจะเป็น โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์ และวัสดุผสมชนิดต่างๆ จะต้องทำเป็นรูปทรง และขนาดตามมาตรฐานก่อนที่จะทำการทดสอบ เช่น มาตรฐานสมาคมอเมริกันสำหรับการทดสอบวัสดุ (American Society for Testing and Materials Standard ASTM) มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard; JIS) หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่ยอมรับกันทั่วโลก ซึ่งมาตรฐานเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ และสามารถเป็นแนวทางในการทดสอบวัสดุได้ [1]

วัสดุผสมชีวภาพ (biocomposites) เป็นวัสดุผสมอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจในงานวัสดุศาสตร์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น กันชน คอนโซลรถยนต์ นอกจากนี้ยังใช้ทำประตู หน้าต่าง หลังคา สะพาน เรือขนาดเล็ก เป็นต้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือนำมาเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อใช้ทดแทนวัสดุสิ้นเปลืองแบบดั้งเดิม โดยสามารถแบ่งกลุ่มวัสดุผสมชีวภาพออกเป็นวัสดุผสมชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้บางส่วน (partial biodegradable) และวัสดุผสมชีวภาพที่ย่อยสลายได้หมด (completely biodegradable) [2, 3] วัสดุผสมชีวภาพเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (matrix) ซึ่งจะเป็นสารพวกพอลิเมอร์ และส่วนเสริมแรง (reinforcement) ซึ่งจะเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส (cellulose) หรือวัสดุที่เหลือจากการเกษตรกรรม

การพัฒนาวัสดุผสมในปัจจุบัน นอกจากจะมุ่งเน้นไปในเรื่องการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของวัสดุให้ดีขึ้นแล้ว ยังต้องคำนึงถึงราคาและผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเส้นใยธรรมชาติหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ โดยใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุผสมทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งข้อดีอื่นๆ ของการใช้เส้นใยธรรมชาติ คือ แหล่งวัตถุดิบสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) ย่อยสลายและพบมากในธรรมชาติ และลดการสึกหรอที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต [4] เส้นใยธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์มีอยู่หลายชนิด แต่ส่วนใหญ่มักนิยมใช้เส้นใยจากพืช เช่น ฝ้าย ปอ ป่าน กัญชง ไผ่ มะพร้าว และลินิน เป็นต้น [1] ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการศึกษาสมบัติเชิงกลจากเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่ามีเส้นใยหลายชนิดที่นำมาทดสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีเส้นใยอีกชนิดที่น่าสนใจสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ เส้นใยรากหญ้าแฝก เส้นใยมะพร้าว และเส้นใยเปลือกถั่วลิสง

หญ้าแฝก (vetiver grass) ซึ่งจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ กระจัดกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด จากการศึกษาพบว่าในระยะเวลา 1 ปีรากของหญ้าแฝกเกือบทุกสายพันธุ์จะมีรากยาวประมาณ 2-2.5 เมตร หยั่งลึกได้มากกว่า 1 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน หญ้าแฝกจัดเป็นพืชที่มีระบบรากที่ลึก และมีจำนวนมากซึ่งสามารถใช้อนุรักษ์ดินและน้ำได้ [5] ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะนำรากหญ้าแฝกนี้มาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับวัสดุผสมได้

มะพร้าว (coconut) เป็นพืชที่คนไทยคุ้นเคยมาเป็นเวลานาน และใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของมะพร้าว เช่น ผลอ่อนใช้รับประทานสด (น้ำและเนื้อ) เนื้อมะพร้าวจากผลแก่นำไปปรุงอาหารและขนมหลายชนิด เปลือกมะพร้าวนำไปแยกเอาเส้นใยใช้ทำเชือก วัสดุทำเบาะและที่นอน ซึ่งเส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนที่เป็นเปลือกชั้นในที่อยู่ระหว่างผลและเปลือกชั้นนอก อีกทั้งยังเป็นเส้นใยที่มีการนำมาผสมใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมากที่สุด [6] เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่มีสารพิษ มีปริมาณมาก ราคาต่ำ และสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรง และรับแรงได้ดี เนื่องจากมีลิกนินในองค์ประกอบเป็นปริมาณมาก [7]

ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่ว (legume crops) อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารของมนุษย์และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีเมล็ดค่อนข้างใหญ่ (course grainmcrops) กว่าพืชตระกูลถั่วชนิดอื่น เช่น ถั่วเหลืองและถั่วเขียว อย่างไรก็ตาม ในการบริโภคแต่ละครั้ง ผู้บริโภคจะรับประทานเฉพาะเมล็ดถั่วเท่านั้น ทำให้เหลือส่วนที่เป็นเปลือกถั่วเป็นจำนวนมากและกลายเป็นขยะที่ไม่ก่อประโยชน์ในที่สุด [8, 9] ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยจากเปลือกถั่วลิสงมาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับวัสดุผสมเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้

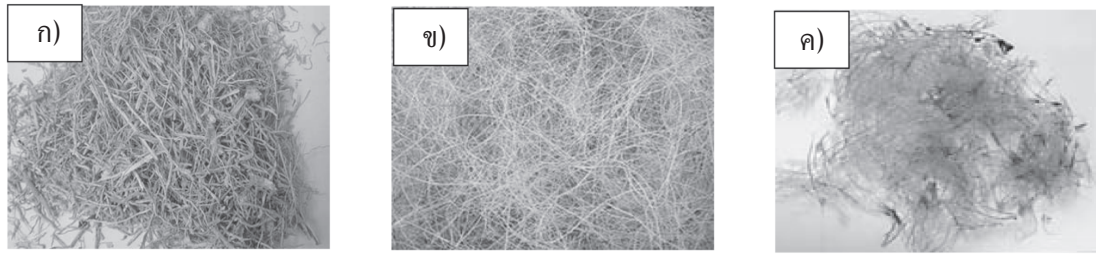
ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยของสารเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม โดยใช้เส้นใยจากพืชที่สามารถพบได้ตามท้องถิ่น ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นใยรากหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) เส้นใยมะพร้าวสายพันธุ์สวีลูกผสม 1 (Sawi Hybrid No. 1) และเส้นใยเปลือกถั่วลิสงสายพันธุ์กาฬสินธุ์ 2 (*Arachis hypogaea* L. (Kalasin 2)) โดยเปรียบเทียบชนิดวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยดังกล่าว ในปริมาณอัตราส่วนเส้นใยที่แตกต่างกัน จากการศึกษาข้างต้นสามารถขยายผลการศึกษาไปสู่เส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ มาเป็นตัวเสริมแรงในวัสดุผสม รวมทั้งเป็นการศึกษาแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมด้วย

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

1. วัสดุอุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเตรียมเส้นใยจากรากหญ้าแฝก มะพร้าว และเปลือกถั่วลิสง โดยได้เก็บรวบรวมเส้นใยจากพืชทั้ง 3 ชนิด จากบ้านโนนที อ.เมือง จ.มหาสารคาม จากบ้านดงเค็ง อ.จังหาร จ.ร้อยเอ็ด และตลาดสด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 เส้นใยทั้งหมดจะมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 200-300 μm ส่วนสมบัติต่างๆ ของเส้นใย ดังตารางที่ 1

อีพ็อกซี่เรซิน (Epoxy resin) ความหนาแน่น 1.176 g/cm^3 ผสมกับตัวทำแข็ง (hardener) ความหนาแน่น 0.97-0.99 g/cm^3 จากบริษัท Ajoxfinechem กรุงเทพฯ ประเทศไทย ใช้เป็นเมทริกซ์ในการเตรียมวัสดุผสม



รูปที่ 1 เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง (ก) เส้นใยรากหญ้าแฝก (ข) เส้นใยมะพร้าว (ค) เส้นใยเปลือกถั่วลิสง

2. การเตรียมวัสดุผสมและทดสอบสมบัติต่างๆ

ขั้นแรกของการเตรียมวัสดุผสม คือ นำเส้นใยทั้ง 3 ชนิด ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขั้นที่สองตัดเส้นใยให้มีขนาดความยาวประมาณ 10-13 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนัก เพื่อดัดแปรเส้นใยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำมีค่า pH 7 นำเส้นใยอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อรอขึ้นรูป ขั้นที่สามขึ้นรูปวัสดุผสมด้วยมือ (hand lay-up) โดยการผสมเส้นใยกับเมทริกซ์ (เมทริกซ์ ประกอบด้วยอีพ็อกซี่เรซินกับตัวทำแข็งในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 10:1 [13]) ภายใต้เงื่อนไขวัสดุผสมที่เตรียมจากเส้นใยแตกต่างกัน 2 กลุ่ม คือ เส้นใยกลุ่มแรก (C1) เส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว และ เส้นใยกลุ่มที่สอง (C2) เส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเปลือกถั่วลิสง โดยในแต่ละกลุ่มใช้อัตราส่วนเส้นใยโดยน้ำหนักเหมือนกัน คือ 1:1 2:2 3:3 4:4 และ 5:5 (อัตราส่วนตัวแรก คือ เส้นใยชนิดที่ 1 และอัตราส่วนตัวที่สอง คือ เส้นใยชนิดที่ 2) ขั้นที่สี่เทวัสดุที่เตรียมลงในแม่แบบยางพาราตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ดังนี้ 1) การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (tensile strength) และมอดูลัสแรงดึง (tensile modulus) ขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 2) ความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) และมอดูลัสแรงดัดโค้ง (flexural modulus) ขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D790 และ 3) ความทนแรงกระแทก (impact strength) ขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E23 เกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแม่แบบ โดยจัดเรียงเส้นใยเป็นแบบอิสระ ขั้นสุดท้ายปิดทับด้วยแผ่นไมลาร์ แล้วทิ้งให้ชิ้นงานแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงนำชิ้นงานออกจากแม่แบบ ในขั้นนี้จะผลิตชิ้นงานทั้งหมด 5 ชิ้นต่อการทดสอบ 1 การทดสอบทุกกลุ่มตัวอย่าง โดยเลือกชิ้นงาน 3 ชิ้นที่ให้ผลใกล้เคียงกันที่สุดมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 1 สมบัติต่างๆ ของเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	หญ้าแฝก[10]	มะพร้าว[11]	เปลือกถั่วลิสง[12]
เซลลูโลส (wt%)	72.6	32-43	35.7
เฮมิเซลลูโลส (wt%)	-	0.15-0.25	18.7
ลิกนิน (wt%)	17	40-45	30.2
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.5	1.1	-
ความทนแรงดึง (MPa)	247-723	131-175	-
มอดูลัสของยัง (GPa)	12.0-49.8	4.0-6.0	-
เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	1.6-2.4	15.0-40.0	-

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบ 2 × 5 Factorial ตามแผนการทดลองแบบสุ่ม แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design (CRD)) อิทธิพลแบบคงที่ (Fixed effect model) มี 2 ปัจจัย คือ 1) เส้นใยกลุ่มแรก (C1) เส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว และ เส้นใยกลุ่มที่สอง (C2) เส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเปลือกถั่วลิสง 2) อัตราส่วนเส้นใย คือ 1:1 2:2 3:3 4:4 และ 5:5 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ Two-way Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

นำตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติเชิงกล มาตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

ผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมโดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ 1) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยกลุ่มเส้นใย C1 และ C2 และ 2) อัตราส่วนเส้นใยที่แตกต่างกัน (1:1 2:2 3:3 4:4 และ 5:5) ผลการทดลองดังตารางที่ 2 โดยแบ่งผลการทดลองตามการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

กลุ่มเส้นใย	อัตราส่วนของเส้นใย	ความทนแรงดึง (MPa)	มอดูลัสแรงดึง (MPa)	ความทนแรงดัดโค้ง (MPa)	มอดูลัสแรงดัดโค้ง (MPa)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)
เส้นใยรากหญ้าแฝก	1:1	15.93±3.28	331.50±38.97	18.40±1.21	74.03±18.01	3.58±0.25
+	2:2	14.30±0.78[b]	320.17±36.69[b]	20.16±1.67	110.50±15.60	3.82±0.78
เส้นใยมะพร้าว	3:3	19.74±2.58	625.50±68.41	19.51±1.98	90.32±11.29	7.13±1.39
(C1)	4:4	21.65±1.38	684.33±35.06	16.95±1.99	98.65±29.60	6.50±0.88
	5:5	16.06±1.50	466.17±18.94	15.67±1.24[b]	64.07±3.90[b]	8.51±0.25[a]
เส้นใยรากหญ้าแฝก	1:1	28.72±1.85[a]	918.00±31.05[a]	30.38±2.11[a]	911.16±15.66[a]	5.07±0.38
+	2:2	24.83±5.64	615.33±24.34	30.18±3.88	883.17±27.73	4.08±0.67
เส้นใยเปลือกถั่วลิสง	3:3	25.66±2.23	682.11±53.24	18.66±2.31	796.62±23.28	2.89±0.29[b]
(C2)	4:4	27.61±2.96	886.67±43.00	24.18±2.75	884.73±47.36	3.46±0.50
	5:5	26.72±1.10	842.50±44.25	25.09±7.20	896.10±63.15	2.98±0.18
ค่าเฉลี่ยรวม		26.71±3.03	788.92±127.69	25.70±5.68	874.36±53.27	4.78±1.88

หมายเหตุ a คือ ค่ามากที่สุด
b คือ ค่าน้อยที่สุด

1. สมบัติแรงดึง (Tensile Properties)

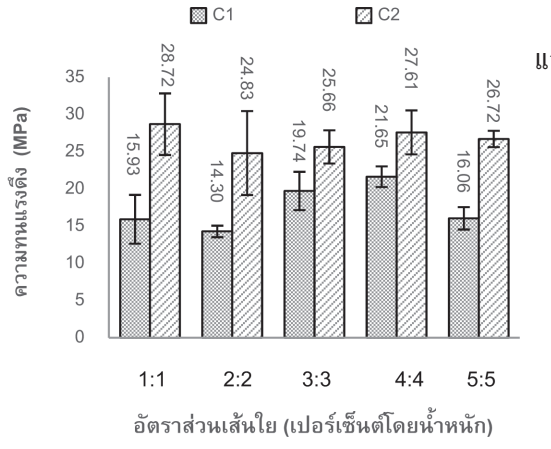
ผลการวิเคราะห์ค่าความทนแรงดึงและมอดูลัสแรงดึง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองต่อความทนแรงดึง แต่ปัจจัยที่ 1 ส่งผลให้ค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกัน ($P < .05$) และปัจจัยที่ 2 ไม่แตกต่างกัน ($P > .05$) โดย C2 ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าความทนแรงดึงมากที่สุด คือ 28.72 MPa สำหรับการวิเคราะห์ค่ามอดูลัสแรงดึง พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($p < .05$) โดย C2 ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่ามากที่สุด คือ 918.00 MPa ดังตารางที่ 3 ซึ่งมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ และไม่แตกต่างจาก C2 ที่อัตราส่วน 4:4

จากรูปที่ 2 และ 3 สามารถอธิบายเหตุผลเพิ่มเติมว่า C2 ที่อัตราส่วน 1:1 มีสมบัติความทนแรงดึง และมอดูลัสแรงดึงที่ดี เนื่องจากมีพันธะภายในและการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่แข็งแรง ซึ่งส่งผลให้มีการถ่ายเทแรงดึงกระจายทั่วทั้งพื้นผิวของวัสดุ [10, 14] แต่ในทางตรงกันข้ามที่อัตราส่วน 2:2 ของ C1 จะมีค่าความทนแรงดึงและมอดูลัสแรงดึงน้อยที่สุด คือ 14.30 MPa และ 320.17 MPa ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลหลักได้ 2 ประการ คือ 1) เกิดข้อบกพร่องหรือความผิดปกติภายใน เช่น เกิดช่องว่างและความอ่อนแอของพันธะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ 2) ลักษณะเฉพาะของเส้นใยที่ไม่เหมาะกับการเสริมแรงในวัสดุผสม [15] และจากการศึกษาของ Sandhyarani และคณะ [16] พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดสั้นขึ้นอยู่กับ 1) สมบัติเฉพาะของเส้นใยและเมทริกซ์ 2) อัตราส่วน (aspect ratio) ของเส้นใยและเมทริกซ์ และการจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุผสม 3) อิทธิพลของการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ซึ่งส่งผลต่อการกระจายแรงในวัสดุผสม

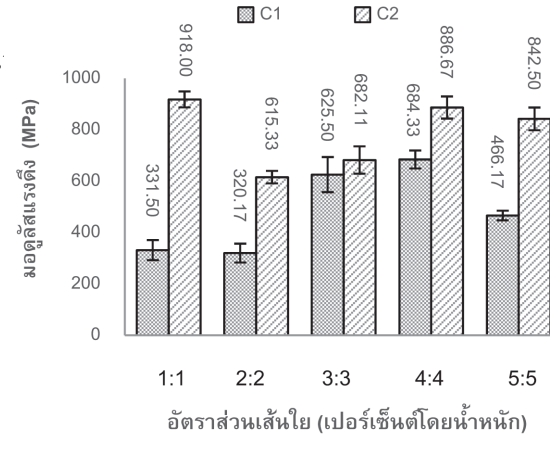
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเชิงสถิติสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างกลุ่มเส้นใย (C1 และ C2) กับอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

สมบัติเชิงกล	แหล่งข้อมูล	Df	SS	Ms	F	P
ความทนแรงดึง	C1 และ C2	1	631.309	631.309	87.183	.000*
(Tensile Strength)	อัตราส่วน	4	82.483	20.621	2.848	.051
	อัตราส่วนร่วม	4	56.958	14.239	1.966	.139
มอดูลัสแรงดึง	C1 และ C2	1	690338.157	690338.157	398.298	.000*
(Tensile Modulus)	อัตราส่วน	4	308583.141	77145.785	44.510	.000*
	อัตราส่วนร่วม	4	234976.197	58744.049	33.893	.000*
ความทนแรงดัดโค้ง	C1 และ C2	1	428.879	428.879	43.756	.000*
(Flexural Strength)	อัตราส่วน	4	173.514	43.379	4.426	.010*
	อัตราส่วนร่วม	4	149.745	37.436	3.819	.018*
มอดูลัสแรงดัดโค้ง	C1 และ C2	1	4643433.971	4643433.971	4953.661	.000*
(Flexural Modulus)	อัตราส่วน	4	11452.611	2863.153	3.054	.041*
	อัตราส่วนร่วม	4	16887.719	4221.930	4.504	.009*
ความทนแรงกระแทก	C1 และ C2	1	34.326	34.326	77.869	.000*
(Impact Strength)	อัตราส่วน	4	9.661	2.415	5.479	.004*
	อัตราส่วนร่วม	4	50.052	12.513	28.386	.000*

หมายเหตุ * คือ $P < 0.5$

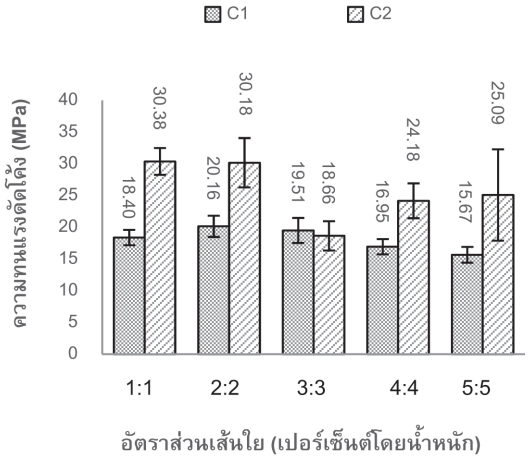


รูปที่ 2 สมบัติความทนแรงดึงของวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน

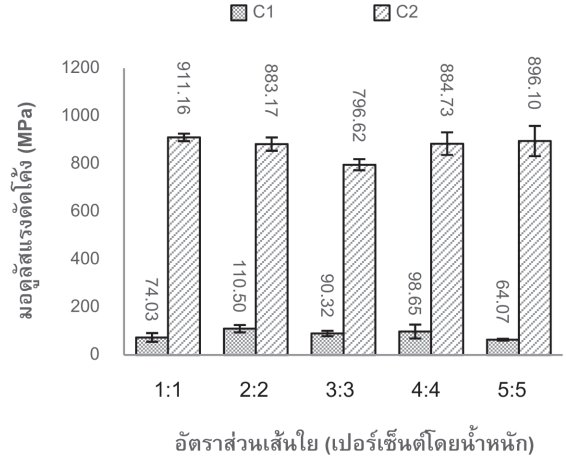


รูปที่ 3 สมบัติความทนแรงดึงของวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน

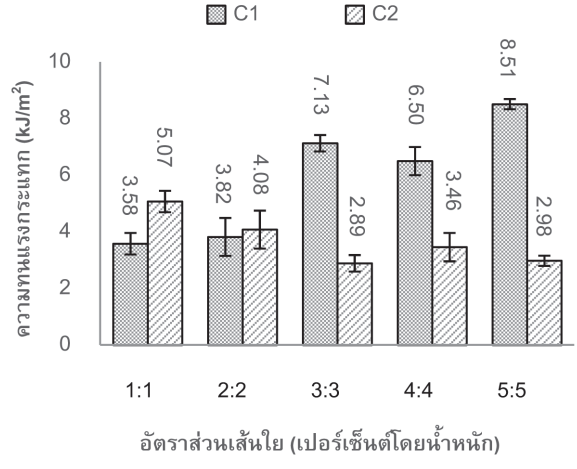
และมอดูลัสแรงดัดโค้งของ C2 ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าสูงสุด คือ 30.38 MPa และ 911.16 MPa ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์หาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 พบว่า มีความแตกต่างกันที่ $P < .05$ แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วมดังกล่าว ส่งผลให้ค่าความทนแรงดัดโค้งและมอดูลัสแรงดัดโค้งแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2 และ 3 ส่วนรูปที่ 4 และ 5 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่าส่วนใหญ่ C1 มีค่าความทนแรงดัดโค้งและมอดูลัสแรงดัดโค้งน้อยกว่า C2 เนื่องจากเกิดช่องว่างหรือรูพรุนบริเวณเนื้อของวัสดุผสม ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalil และคณะ [17] กล่าวว่า การเพิ่มพื้นที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์นั้น จะส่งผลให้เกิดความอ่อนแอของพันธะที่เชื่อมระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ทำให้สมบัติแรงดัดโค้งและการส่งผ่านความเค้นระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ลดลง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อพันธะภายในขึ้นอยู่กับเมทริกซ์และชนิดของเส้นใย อัตราส่วน (aspect ratio) ของเส้นใย วิธีการผสมในการเตรียมตัวอย่าง เงื่อนไขกระบวนการผลิต และชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการดัดแปรเส้นใย



รูปที่ 4 สมบัติความทนแรงดัดโค้งของวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 5 สมบัติมอดูลัสแรงดัดโค้งของวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 6 สมบัติความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

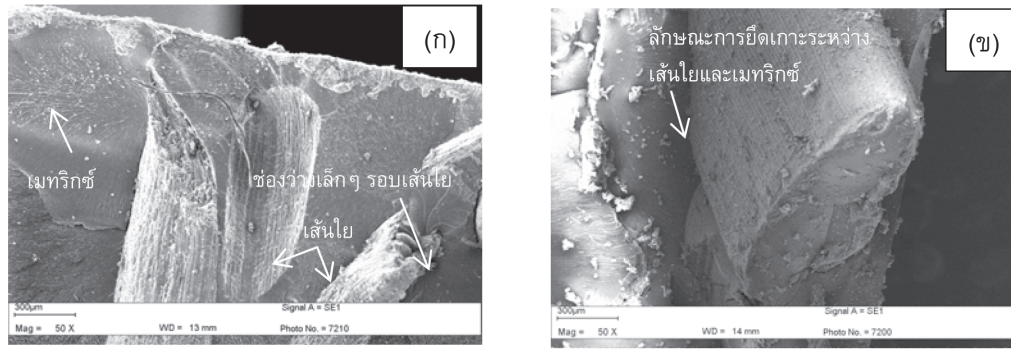
3. สมบัติแรงกระแทก (Impact Properties)

ผลการวิเคราะห์ค่าความทนแรงกระแทก ดังรูปที่ 6 พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($p < .05$) ดังตารางที่ 3 โดยค่าความทนแรงกระแทกของ C1 ที่อัตราส่วนเส้นใย 5.5 มีค่ามากที่สุด คือ 8.51 kj/m^2 และมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างจาก C1 ที่อัตราส่วน 3:3 เนื่องจากมีสมบัติและพันธะภายในที่ส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ได้ดี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติความทนแรงกระแทกของวัสดุ [18] นอกจากนี้ ประสิทธิภาพค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น คุณภาพของเมทริกซ์ การแตกหักและลักษณะการหลุดออกของเส้นใย (fiber pull out) ซึ่งมีผลต่อการดูดซับพลังงานแรงกระแทกขณะทดสอบชิ้นงาน [19]

4. โครงสร้างทางจุลภาคหลังการทดสอบสมบัติเชิงกล

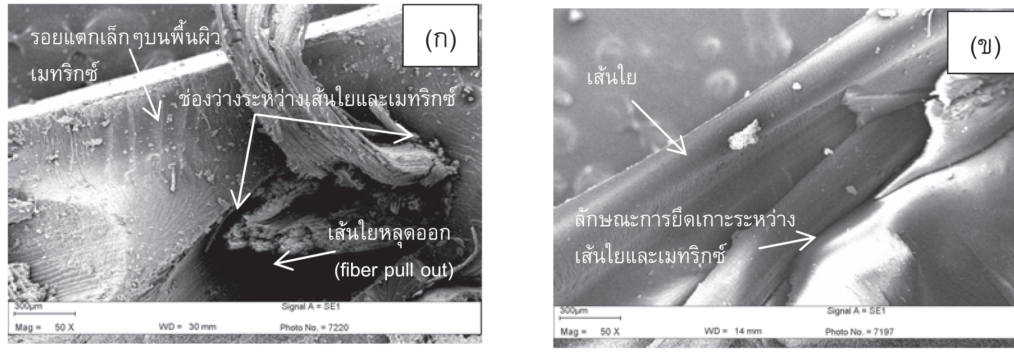
การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมหลังการทดสอบสมบัติเชิงกล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) ซึ่งจะแสดงจุดบกพร่องหลังการแตกหัก และลักษณะเส้นใยหลุดออก ดังรูปที่ 7 8 และ 9

จากรูปที่ 7 (ก และ ข) เป็นภาพของวัสดุผสมหลังการทดสอบสมบัติความทนแรงดึง โดยรูปที่ 7(ก) แสดงช่องว่างเล็กๆ รอบเส้นใยของ C1 ที่อัตราส่วน 2:2 ส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ และทำให้วัสดุผสมมีสมบัติความทนแรงดึงลดลง ทั้งนี้เป็นผลจากขั้นตอนระหว่างการเตรียมวัสดุผสม [15] และขั้นตอนของการดัดแปรเส้นใยที่เกิดข้อบกพร่อง ทำให้ความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ลดลง [21] เนื่องจากความล้มเหลวของแรงดึง (tensile failure) ขึ้นอยู่กับความเครียดขณะเกิดการแตกหักและมอดูลัสเฉพาะของเส้นใยเสริมแรงวัสดุผสม [22, 23] ส่วนรูปที่ 7(ข) แสดง C2 ที่อัตราส่วน 1:1 พบว่าเมทริกซ์ที่อยู่รอบๆ เส้นใยยึดเกาะกันได้ดี และมีช่องว่างน้อย เป็นสาเหตุทำให้ความเครียดแรงดึง (tensile strain) สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับและกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิววัสดุผสม สำหรับพฤติกรรมการกระจายแรงระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์หลังการทดสอบความทนแรงดัดโค้ง แสดงดังรูปที่ 8 (ก และ ข) จากรูปที่ 8(ก) พบว่า C1 ที่อัตราส่วน 5:5 ปรากฏรอยแตกเล็กๆ บนพื้นผิว รวมทั้งเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ส่งผลให้สมบัติความทนแรงดัดโค้งลดลง เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์หลุดออกของเส้นใย (fiber pull out phenomena) บ่งบอกถึงการแตกหักจำนวนมากของเส้นใย [24]

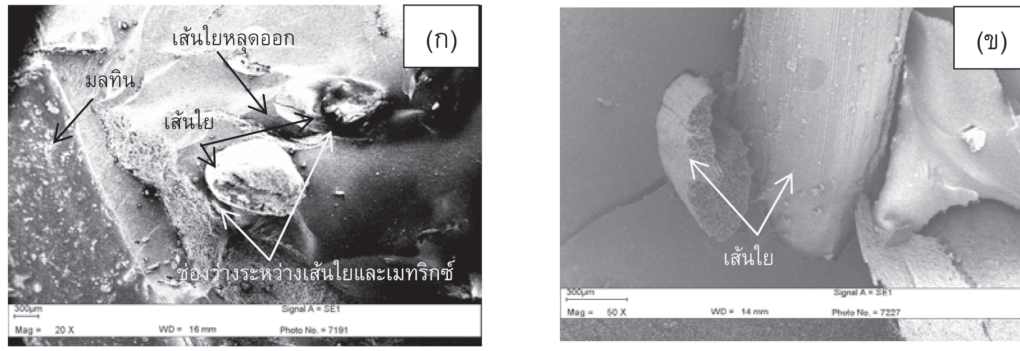


รูปที่ 7 โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างชิ้นงานวัสดุผสมหลังการทดสอบความทนแรงดึง (ก) วัสดุผสม C1 ที่อัตราส่วนเส้นใย 2:2 (ข) วัสดุผสม C2 ที่อัตราส่วนเส้นใย 1:1

ส่วนรูปที่ 8 (ข) แสดงการยึดเกาะที่ดีระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ของ C2 ที่อัตราส่วน 1:1 ส่งผลให้วัสดุผสมมีความแข็งแรง และความแข็งตึงสูง (stiffness) [20] และรูปที่ 9 (ก และ ข) แสดงความเสียหายของวัสดุผสมหลังการทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทก จากรูปที่ 9 (ก) พบว่า C2 ที่อัตราส่วน 3:3 ปรากฏช่องว่างเล็กๆ บนพื้นผิวเมทริกซ์รอบๆ เส้นใย รวมทั้งลักษณะเส้นใยหลุดออกที่เกิดขึ้น ทำให้การดูดซับพลังงานการแตกหัก และพันธะภายในที่เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ลดลง เกิดรอยแตกแนวยาวแพร่กระจายระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ [25] ในทางตรงกันข้าม รูปที่ 9 (ข) แสดงเส้นใยที่มีความเสียหายน้อยและสามารถยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดี ส่งผลให้ C1 ที่อัตราส่วน 5:5 สามารถดูดซับพลังงานหลังจากการแตกหักได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 8 โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างชิ้นงานวัสดุผสมหลังการทดสอบความทนแรงดัดโค้ง (ก) วัสดุผสม C1 ที่อัตราส่วนเส้นใย 5:5 (ข) วัสดุผสม C2 ที่อัตราส่วนเส้นใย 1:1



รูปที่ 9 โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างชิ้นงานวัสดุผสมหลังการทดสอบความทนแรงกระแทก (ก) วัสดุผสม C2 ที่อัตราส่วนเส้นใย 3:3 (ข) วัสดุผสม C1 ที่อัตราส่วนเส้นใย 5:5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว และเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเปลือกถั่วลิสงที่อัตราส่วนแตกต่างกัน สรุปผลได้ ดังนี้ 1) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสง (C2) ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าความทนแรงดึง มอดูลัสแรงดึง ความทนแรงดัดโค้ง และมอดูลัสแรงดัดโค้งสูงสุด เท่ากับ 28.72 MPa 918.00 MPa 30.38 MPa และ 911.16 MPa ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างจาก C2 ที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าความทนแรงกระแทกสูงสุด เท่ากัน 8.51 kj/m^2 และมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างจาก C1 ที่อัตราส่วน 3:3 ชนิดและการกระจายตัวตามแนวอิสระ พันธะภายในที่ยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ รวมทั้งอัตราส่วนของเส้นใย มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม ดังนั้น วัสดุที่เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสง (C2) ที่อัตราส่วน 1:1 เนื่องจากเมื่อนำมาผสมกับเมทริกซ์ พบว่าเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์น้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงและแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น 2) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว (C1) ที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าความทนแรงกระแทกสูงสุด เท่ากับ 8.51 kJ/m^2

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมหลังการทดสอบสมบัติเชิงกล สรุปผลได้ดังนี้ 1) สาเหตุที่ทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เกิดขึ้นได้ดี ทำให้เกิดช่องว่างน้อย และความเครียดแรงดึงสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับและกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของวัสดุผสม 2) สาเหตุที่ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมีค่าลดลง เนื่องจากพบช่องว่างระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ เป็นผลของปรากฏการณ์หลุดออกของเส้นใย (fiber pull out phenomena) และทำให้การดูดซับพลังงานการแตกหักลดลง ในกรณีของการทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูลย์ สุขศรีงาม และรองศาสตราจารย์ ดร. ประสพสุข ฤทธิเดช ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนปรับแก้งานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ นางสาวสวรรยา นามศักดิ์ และ นางสาวสุชาวดี พลพุทธา ที่ได้ช่วยงานวิจัยให้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากเงินรายได้ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2559 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. Savana Bavan, D., and Mohan Kumak, G. C. 2014. Tensile and Thermal Degradation Properties of Vetiver Fiber Composites. *Procedia Materials Science.* 5: 605-611.
2. Sapuan, S. M., Leenie, A., Harimi, M., and Beng, Y. K. 2006. Mechanical Properties of Woven Banana Fibre Reinforced Epoxy Composite. *Materials & Design.* 27(8): 689-693.
3. Mukhopadhy, S., and Srikanta, S. 2008. Effect of Ageing of Sisal Fibres on Properties of Sisal Polypropylene Composites. *Polymer Degradation and Stability.* 93(11): 2048-2051.
4. Justiz-Smith, N. G., Junior Virgo, G., and Buchana, V. E. 2008. Potential of Jamaican Banana, Coconut Coir and Bagasse Fibres as Composite Materials. *Materials Characterization.* 59(9): 1273-1278.
5. Assarar, M., Scida, D., El Mahi, A., Poilane, C., and Ayad, R. 2011. Influence of Water Aging on Mechanical Properties and Damage Events of Two Reinforced Composite Materials : Flax-fibers and Glass-fibres. *Materials and Design.* 32(2): 788-795.
6. Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B., and Shin, U. C. 2007. Development of Coconut Coir-based Lightweight Cement Board. *Construction and Building Materials.* 21(2): 277-288.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2009. Natural Fibers: Coir, International Year of Natural Fibers 2009. Available from URL:http://www.naturalfibres2009.org, 3 July 2016.
8. Allan Manalo, C., Evans, W., Noor Azwa, Z., Warna, K., and Kin-tak, L. 2015. Effects of Alkali Treatment and Elevated Temperature on the Mechanical Properties of Bamboo Fibre-polyester Composites. *Composites Part B : Engineering.* 80: 73-83.
9. Batalla, L., Nunez, A. J., and Marcovich, N. E. 2005. Particleboards from Peanut-shell Flour. *Journal of Applied Polymer Science.* 97(3): 916-923.
10. Bledzki, Ak., and Gassan, J. 1999. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibers.

Progress in Polymer Science. 24(2): 221-274.

11. Pragatheeswaran, R., and Senthil Kumaran, S. 2015. Mechanical Behavior of Groundnut Shell Powder/Calcium Carbonate/Vinyl Estercomposite. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research.* 2: 28-31.
12. Yupaporn, R., Nitinat, S., Wimonlak, S., and Wandee, T. 2007. Vetiver-polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties. *Composites: Paret A.* 38: 590-601.
13. Bhoopathi, R., RaMesh, M., and Deepa, C. 2014. Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber Reinforced Composites. *Procrdia Engineering.* 97: 2032-2041.
14. Amuthakkannan, P., Manikandan, V., Winowlin Jappes, J. T., and Uthayakumar, M. 2013. Effect of Fibre Length and Fibre Content on Mechanical Properties of Shirt Basalt Fibre Reinforced Polymer Matrix Composites. *Materials Physics and Mechanics.* 16: 107-117.
15. Raghavendra, S., Balachandrashetty, P., Mukunda, P. G., and Sathyanarayana, K. G. 2012. The Effect of Fiber Length on Tensile Properties of Epoxy Resin Composites Reinforced by the Fibers of Banana. *International Journal of Engineering Research & Technology.* 1(6): 2278-0181.
16. Sandhyarani, B., Sanjay, K., and Amar, P. 2011. Effect of Fiber Length on Mechanical Behavior of Coir Fiber Reinforced Epoxy Composite. *Fibers and Polymers.* 12(1): 73-78.
17. Khalil, H. P. S. A., Issam, A. M., Ahmad Shakri, M. T., Suriani, R., and Awang, A. Y. 2007. Conventional Agro-composites from Chemically Modified Fibres. *Industrial Crops and Products.* 26(3): 315-323.
18. Alamri, A., and Low, A. M. 2012. Mechanical Properties and Water Absorption Behavior of Recycled Cellulose Fibre Reinforced Epoxy Composites. *Polymer Testing.* 31(5): 620-628.
19. Wambua, P., Lvens, J., and Verpoest, I. 2003. Natural Fibres: Can They Replace Glass in Fibre Reinforced Plastic?. *Composites Science and Technology.* 63(9): 1259-1264.
20. Mathews, F. L., and Rawlings, R. D. 1999. Composites Materials Engineering and Science. London. Chapman and Hall. p. 260.
21. Samia, S. M., Nazia, N., Mahbub, H., Najib, H., and Azman, H. 2013. Improvement of Physic-mechanical Properties of Coir-polypropylene Biocomposites by Fiber Chemical Treatment. *Materials and Design.* 52: 251-257.
22. Sreekala, M. S., George, J., Kumaran, M. G., and Thomas, S. 2002. The Mechanical Performance of Hybrid Phenol-formaldehyde Based Composites Reinforced with Glass and Oil Palm Fibres. *Composites Science and Technology.* 62(3): 339-353.
23. Zweben, C. 1977. Tensile Strength of Hybrid Composites. *Journal of Materials Science.* 12(7): 1325-1337.

24. Boopalan, M., Niranjanaa, M., and Umapathy M. J. 2013. Study on the Mechanical Properties and Thermalproperties of Jute and Banana Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Compsites. *Composites Part B: Engineering.* 51: 54-57.
25. Oksman, K. 2000. Mechanical Properties of Natural Fibre Mat Reinforced Thermoplastic. *Applied Composite Materials.* 7(5): 403-414.

ได้รับบทความวันที่ 16 สิงหาคม 2559
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 20 ตุลาคม 2559