สมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยธรรมชาติด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง

IMPACT STRENGTH PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF NATURAL FIBER/POLYETHYLENE COMPOSITES WITH ROTATIONAL MOLDING PROCESS

ศิรประภา ดีประดิษฐ์[1] ณัฏฐพล ศรีช่วงโชติ[2] จักรภพ คงสมแสวง[3] วรายุส ทรัพย์พล[4] และ สุพัฒน์ สารอรรถ[5]

[1]อาจารย์, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000, d_siraprapha@aru.ac.th

[2]นักวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000, nutthapol_tech_006@hotmail.com

[3,4,5]นักศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000, [3]jakkaphopdew@gmail.com, [4]Warayutsapphon10@gmail.com, [5]Earth52231@gmail.com

Siraprapha Deepradit[1] Nutthapol Srichuangchote[2] Jakkaphop Kongsomsawang[3] Warayut Sapphon[4] and Supat Sara-ud[5]

[1]Lecturer, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 96 Pridi Banomyong Road., Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand, d_siraprapha@aru.ac.th

[2]Scientist, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 96 Pridi Banomyong Road., Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand, nutthapol_tech_006@hotmail.com

[3,4,5]Student, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 96 Pridi Banomyong Road., Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand, [3]jakkaphopdew@gmail.com, [4]Warayutsapphon10@gmail.com, [5]Earth52231@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยกาบกล้วยจากกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีนสำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง และทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วย โดยศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยกาบกล้วยที่ 0%, 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยน้ำหนัก และศึกษาส่วนผสมของเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวและเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ผลการวิจัยพบว่าสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวมีค่า 3.96, 5.33, 4.18, 3.74, 2.11, และ 1.03 kJ/m² ตามลำดับ และพอลิเอทิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน มีค่า 3.96, 5.57, 4.87, 3.74, 2.90 และ 1.20 kJ/m² ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 10% โดยน้ำหนัก วัสดุผสมที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนมีค่าการทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าวัสดุผสมที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวในทุกอัตราส่วน สำหรับการทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลนสามารถช่วยปรับปรุงการยึดเกาะบริเวณผิวระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีนให้ดีขึ้น ทำให้วัสดุผสมมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบ, สมบัติการทนต่อแรงกระแทก, สัณฐานวิทยา, กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง

ABSTRACT

Research on impact strength and morphology of natural fiber-reinforced composite materials from the rotational molding process aimed to determine the appropriate ratio of banana fibers to polyethylene for process formation. Additionally, the impact resistance and morphological characteristics of polyethylene products reinforced with banana fibers were examined. The percentage of banana peel fibers by weight at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% was examined, including the combination of untreated banana fibers and treated fibers with a silane coupling agent. The results showed that the impact strength of polyethylene composite reinforced with untreated banana fibers was not modified. The values were as follows: 3.96, 5.33, 4.18, 3.74, 2.11, and 1.03 kJ/m², and the silane coupling agent-modified polyethylene composite reinforced with banana fibers. The values were as follows: 3.96, 5.57, 4.87, 3.74,

2.90, and 1.20 kJ/m², the optimal ratio is 10% by weight. Composites based on fibers modified with silane have higher impact resistance values than composites using unmodified fibers in all ratios. Morphological tests revealed that the beam emission of electrons has demonstrated that adding silane dual agents to the fiber surface can enhance adhesion at the polyethylene-banana leaf fiber interface, improving the mechanical characteristics of the composite material.

KEYWORDS: composites materials, impact strength, morphology, rotational molding Process

1. บทนำ

วัสดุเชิงประกอบประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีคุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วจะให้สมบัติเฉพาะที่แต่ละส่วนเองไม่สามารถทำได้ โดยวัสดุเชิงประกอบมีสององค์ประกอบหลัก คือ เมทริกซ์ (Matrix) และส่วนเสริมแรง (Reinforcement) [1] เมทริกซ์ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนเสริมแรงและช่วยป้องกันจากปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ถ่ายโอนแรงไปยังส่วนเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับวัสดุโดยรวม ส่วนเสริมแรงมีบทบาทเป็นโครงสร้างหลักในการเสริมความแข็งแรง ซึ่งอาจมีรูปแบบเป็นเส้นใยอนุภาคจากเส้นใยธรรมชาติกำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากมีคุณสมบัติเบา แข็งแรง สามารถย่อยสลายได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [2] วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติมีความสำคัญในงานวิจัยและอุตสาหกรรมเนื่องจากความสามารถในการทดแทนวัสดุเสริมแรงสังเคราะห์แบบเดิม ๆ เช่น ไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เส้นใยธรรมชาติมีความเบา สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีต้นทุนต่ำ จึงตอบโจทย์ความต้องการวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน นอกจากนี้ วัสดุเสริมแรงจากเส้นใยธรรมชาติมักมาพร้อมกับสมบัติทางกลที่เหมาะสม โดยเฉพาะในด้านความแข็งแรงและความทนทาน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ก่อสร้าง และการผลิตบรรจุภัณฑ์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวงจรชีวิตของวัสดุ [3]

เส้นใยธรรมชาติจำพวกเส้นใยพืชเป็นเส้นใยเซลลูโลส ประกอบด้วย ไมโครไฟบริล (Microfibrils) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอยู่ในส่วนอสัณฐานที่เป็นพวกลิกนิน (Lignin) และเฮมิ-เซลลูโลส (Hemi-cellulose) โดยไมโครไฟบริลเรียงตัวตามความยาวของเส้นใยมุมที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดเรียงตัวของ Fibril กับแนวแกนเส้นใย เรียกว่า Microfibrillar Angle ซึ่งลักษณะโครงสร้างภายในเส้นใยเซลลูโลส การเกิดพันธะไฮโดรเจนและการพันกันภายในเส้นใยทำให้เกิดความแข็งแรง (Strength) และความแข็งตึง (Stiffness) ของเส้นใย [4] สมบัติเชิงกลของเส้นใย

ธรรมชาติไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยธรรมชาติเท่านั้นสมบัติต่าง ๆ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลลูโลสและปัจจัยอื่น ๆ เช่น จำนวนเซลล์ ขนาดของเซลล์ และขนาดของลูเมน เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า เนื่องจากเมื่อศึกษางานวิจัยของ Khan et al [5] พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้ากับเส้นใยจากใบชนิดอื่นซึ่งมีขนาดเดียวกัน เส้นใยกล้วยมีความต้านแรงดึงดีที่สุด การทดสอบทางกลแสดงให้เห็นว่าความต้านทานแรงดึงของเส้นใยนี้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (590 MPa) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยป่าน (249 MPa) และเส้นใยซิสัล (350 MPa) ความแข็งแรงทางกลที่สูงที่สุดเกิดจากการมีระดับการตกผลึกสูงของเส้นใยนี้ (67%) ซึ่งคำนวณจากสเปกตรัม FTIR และจากรูปทรง องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยกล้วยประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และความชื้น โดยองค์ประกอบที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือเซลลูโลส [6]

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกลวง (Hollow Articles) มีหลายวิธี เช่น การเป่าขึ้นรูป การฉีดขึ้นรูป การขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง เป็นต้น ซึ่งการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยม เนื่องจากช่วยให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะกลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพและความหนาสม่ำเสมอ [7] โดยเฉพาะการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สามารถทำการผลิตโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบอื่นได้ ชิ้นงานที่ผลิตโดยวิธีการหมุนเหวี่ยงมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงถังที่มีขนาดใหญ่ โดยทั่วไปวิธีการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงนิยมใช้ขึ้นรูปพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก แต่ก็มีการนำมาประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปเทอร์โมเซ็ตบางชนิดด้วย ซึ่งลักษณะพิเศษของกระบวนการขึ้นรูปชนิดนี้คือ ในขั้นตอนของกระบวนการผลิตไม่มีการใช้ความดันที่สูง (High Pressure) และอัตราเฉือนที่สูง (High Shear Rate) ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการขึ้นรูปอื่น เช่น การฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์และการอัดรีด ทำให้ต้นทุนในการทำแม่พิมพ์และอุปกรณ์อื่น ๆ ของเครื่องขึ้นรูปแบบหมุนนี้ มีราคาถูก และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการขึ้นรูปด้วยเทคนิควิธีการอื่นเมื่อใช้พอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน [8] สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ กระบวนการหมุนเหวี่ยงมีข้อดีหลายประการ เช่น ในขณะขึ้นรูปช่วยให้เส้นใยสามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในทุกทิศทาง และทำให้วัสดุมีความแข็งแรงในหลายมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เส้นใยธรรมชาติที่มีโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ การกระจายตัวที่ดีจะช่วยเพิ่มสมบัติการรับแรงทำให้โครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงและความทนทานต่อแรงกระแทกที่สูงขึ้น และกระบวนการหมุนเหวี่ยงเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้แม่พิมพ์หลายชิ้นเหมือนวิธีอื่น ๆ จึงประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต [9]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า งานวิจัยวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยธรรมชาติที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยงยังมีอยู่จำนวนน้อย ซึ่งบ่งชี้ถึงโอกาสในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความเข้าใจในด้านคุณสมบัติและการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบเหล่านี้ ดังเช่น งานวิจัยของ Srichuangchote et al [10] ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปด้วย

กระบวนการหมุนเหวี่ยงโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ และงานวิจัยของ Deepradit et al [11] ได้ศึกษาสมบัติการทนต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิทที่เสริมแรงพอลิเอทิลีนด้วยเส้นใยกาบกล้วยโดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง อย่างไรก็ตามยังขาดการวิจัยที่เจาะลึกสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุประเภทนี้และปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวและการยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์พอลิเอทิลีนกับเส้นใยธรรมชาติในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนเสริมเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยไซเลนและไม่ดัดแปลงผิวจึงเป็นเรื่องจำเป็น ทั้งนี้ การวิจัยนี้จะช่วยให้ทราบถึงวิธีการปรับปรุงการยึดเกาะและความทนทานของวัสดุ อีกทั้งยังมีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อใช้งานจริงในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติจากใบกาบกล้วยน้ำว้าในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อช่วยเสริมสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เชิงประกอบ โดยการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยการเคลือบไซเลน 2% โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาความชอบน้ำและความเป็นขั้วของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ นอกจากนี้การใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายตัวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้ทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบกาบกล้วยน้ำว้าซึ่งขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีนสำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง และเพื่อทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมเส้นใย

วิธีการเตรียมเส้นใย เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ คือ เส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า โดยตัดเส้นใยให้อยู่ในรูปของเส้นใยสั้นๆ ให้มีความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 จากนั้นนำมาทำความสะอาดเส้นใยเบื้องต้น เริ่มจากละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ อัตราส่วนสารละลายต่อเส้นใย คือ 10:1 นำเส้นใยกาบกล้วยมาแช่ในสารละลายโซเดียมและกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เสร็จแล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นไปเรื่อย ๆ จนได้ค่า pH ประมาณ 6-7 ตากแดดไว้ให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นจึงนำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมักมีความชื้นสะสมจากสภาพแวดล้อม หากนำเส้นใยที่มีความชื้นสูงไปใช้โดยตรงในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ อาจเกิดปัญหาความไม่เสถียรในโครงสร้าง ความชื้นสามารถ

ส่งผลให้เส้นใยเกิดการหดหรือขยายเมื่อเจอความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จึงต้องอบเส้นใยเพื่อลดความชื้นให้เหลือน้อยที่สุด และปรับปรุงความเสถียรต่อการเปลี่ยนขนาดของเส้นใย โดยการอบที่อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยปรับสภาพของเส้นใย ลดการเปลี่ยนแปลงของขนาดหรือรูปร่างเมื่อเกิดการขึ้นรูปและช่วยให้เส้นใยคงความสม่ำเสมอและแข็งแรง ซึ่งทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ผลิตมีคุณภาพที่ดีขึ้น เรียกขั้นตอนนี้ว่า เส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว

การเตรียมเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ตัวประสานที่ใช้คือ สารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane: VTES) ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักวิธีการเตรียมเริ่มจากละลายสารคู่ควบไซเลนด้วยน้ำกลั่น ปรับ pH ของสารละลายด้วยกรดอะซิติกให้ได้ pH 3.5 นำเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเส้นใยแล้ว มาแช่ในสารละลายไซเลน กวนและแช่ในสารละลายไซเลน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง อัตราส่วนสารละลายไซเลนต่อเส้นใย คือ 10:1 จากนั้นนำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เรียกขั้นตอนนี้ว่า เส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

การเตรียมส่วนผสม งานวิจัยนี้ใช้ผงพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ชื่อทางการค้า M9001 RWP กับเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า โดยชั่งน้ำหนักของผง LLDPE และเส้นใยกาบกล้วยที่อัตราส่วน 0%, 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยน้ำหนัก โดยมีน้ำหนักรวมผง LLDPE และเส้นใยกาบกล้วย 800 กรัม จากนั้นนำผง LLDPE และเส้นใยกาบกล้วยใส่ในแม่พิมพ์ กวนให้เข้ากันและตรวจสอบว่าผง LLDPE และเส้นใยกาบกล้วยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยไม่มีการกระจุกเป็นกลุ่ม ซึ่งการผสมที่ไม่สม่ำเสมออาจทำให้คอมโพสิทที่ได้มีความแข็งแรงไม่เท่ากันในแต่ละส่วนและมีคุณภาพลดลง

รูปที่ 1 เส้นใยกาบกล้วยที่ใช้ในงานวิจัย

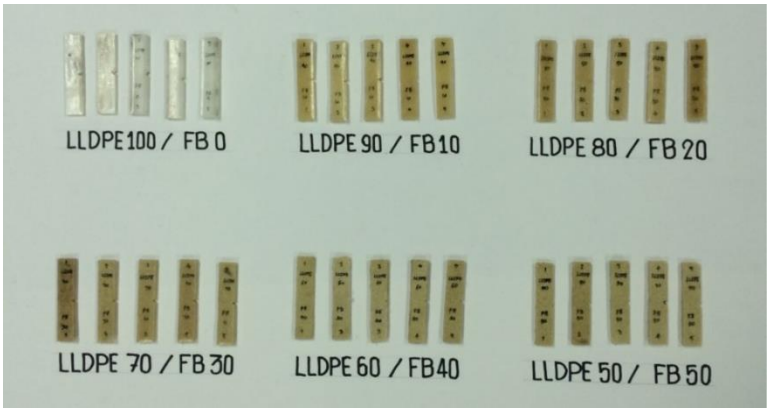
2.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

การขึ้นรูป (Forming Testing) นำพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานในแม่พิมพ์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 200×200×200 มิลลิเมตร โดยใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยงยี่ห้อ BP รุ่น RMM 2012 ดังรูปที่ 2 ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 12 นาที ความเร็วในการหมุนของแกนเพลา 18 รอบต่อนาที [10] ตามอัตราส่วนที่ศึกษา คือเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (น้ำหนักรวมของวัตถุดิบเท่ากับ 800 กรัม) ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 200 × 200 × 200 มิลลิเมตร

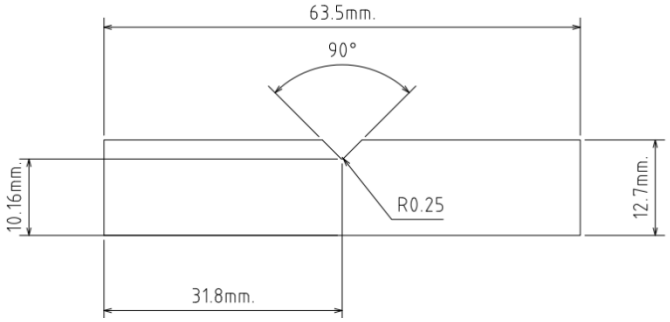
รูปที่ 2 เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ BAIPAI รุ่น RMM2012

2.3 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ในงานวิจัยนี้ทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกซึ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานของวัสดุคอมโพสิตก่อนเกิดการแตกหักเสียหาย แสดงชิ้นงานดังรูปที่ 3 โดยตัดชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง ตามมาตรฐาน ASTM D256-10 จำนวน 5 ชิ้น ด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ทำงานได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) จึงทำให้ชิ้นงานทุกชิ้นถูกผลิตภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน มีความแม่นยำและมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4 และทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก IZOD type GT-7045-I



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4 มาตรฐานชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน **ASTM D256-10**

ผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก พลังงานที่อ่านได้จากเข็มหน้าปัดสามารถนำมาคำนวณเป็น Impact Strength ได้จากสูตรสมการ (1)

$$\text{Impact strength} = \frac{\text{Energy (J)}}{\text{Area } (m^2)} \quad (1)$$

สูตรที่ใช้คำนวณการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

$$E = E' - (E_1 + E_2) \quad (2)$$

$$E_1 = L \times (W/2) \times [(\cos\alpha' - \cos\alpha)(\cos\beta' - \cos\beta)] \quad (3)$$

$$E_2 = L \times W \times (\cos\alpha' - \cos\theta) \quad (4)$$

โดยที่ E = พลังงานที่เหลือหลังจากแรงกระแทก (พลังงานที่ไม่ถูกใช้ไปกับการทำให้ชิ้นทดสอบแตกหัก)

E' = พลังงานทั้งหมดเริ่มต้นจากลูกตุ้ม (พลังงานศักย์เริ่มต้นก่อนการปล่อย)

E_1 = พลังงานที่ใช้กับแรงเสียดทานที่จุดหมุนของลูกตุ้ม

E_2 = พลังงานที่ใช้ในการทำลายชิ้นงาน

L = ความยาวของลูกตุ้ม

W = น้ำหนักของลูกตุ้ม

α = มุมของลูกตุ้มก่อนการกระแทก

α' = มุมของลูกตุ้มหลังการกระแทก

β = มุมในแนวดิ่งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่

β' = มุมสุดท้ายของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

θ = มุมที่ลูกตุ้มตกลงหลังจากชิ้นงานแตก

2.4 วิเคราะห์สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology Analysis)

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยงถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน เพื่อศึกษาถึงการยึดเกาะที่บริเวณอินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น SU3500 โดยชิ้นงานที่นำไปส่อง SEM ต้องนำไปแช่ไนโตรเจนเหลวก่อนทำการหักชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้การยึดเกาะบริเวณอินเทอร์เฟสระหว่างผิวของเส้นใยและพลาสติกยังคงเดิม โดยมีลักษณะดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การเตรียมตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใย

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ผลของสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ผสมเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว แสดงในตารางที่ 1 และสมบัติการทนต่อกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ผสมเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน แสดงในตารางที่ 2 และผลการเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของการเติมเส้นใยกาบกล้วย แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว

อัตราส่วน (%)		การทนต่อแรงกระแทก (kJ/m²)	
LLDPE	FB	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
100	0	3.96	0.0152
90	10	5.33	0.0045
80	20	4.18	0.0114
70	30	3.74	0.0045
60	40	2.11	0.0084
50	50	1.03	0.0055

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว ปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสม 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า วัสดุผสมมีค่าสมบัติการทนต่อแรงกระแทก เท่ากับ 3.96, 5.33, 4.18, 3.74, 2.11, และ 1.03 kJ/m² ตามลำดับ

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน แสดงดังตารางที่ 2 ปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสม 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า วัสดุผสมมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทก เท่ากับ 3.96, 5.57, 4.87, 3.74, 2.90 และ 1.20 kJ/m² ตามลำดับ เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกระหว่างวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวกับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนแสดงดังรูปที่ 6

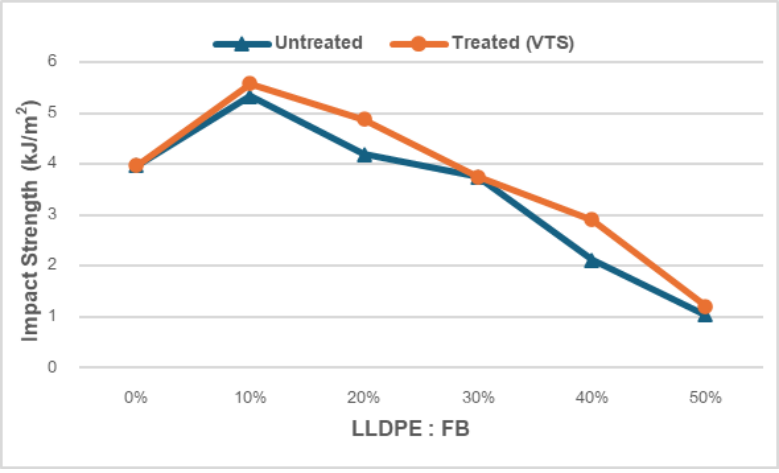
ตารางที่ 2 สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

อัตราส่วน (%)		การทนต่อแรงกระแทก (kJ/m²)	
LLDPE	FB+VTS	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
100	0	3.96	0.0000
90	10	5.57	0.0158
80	20	4.87	0.0055
70	30	3.74	0.0084
60	40	2.90	0.0187
50	50	1.20	0.0114

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วย จากรูปที่ 6 พบว่า วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว ปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสม 0-50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีสมบัติการทนต่อแรงกระแทก เท่ากับ 3.96, 5.33, 4.18, 3.74, 2.11, และ 1.03 kJ/m² ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสม 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีสมบัติการทนต่อแรงกระแทก เท่ากับ 3.96, 5.57, 4.87, 3.74, 2.90 และ 1.20 kJ/m² ตามลำดับ

จากตารางที่ 1 และ 2 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวและผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยในวัสดุที่ผสมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ (พอลิเอทิลีน 100 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากสมบัติเด่นของพอลิเมอร์ที่มีความเหนียวเป็นอย่างมาก เมื่อทำการเติมเส้นใยที่มีความแข็งแรงเข้าไปทำให้วัสดุที่ผสมมีสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป คือ มีความเปราะ (Brittle) และเมื่อได้รับพลังงานจากการกระแทกสามารถรับหรือดูดกลืนพลังงานได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกระหว่างวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวกับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน พบว่าวัสดุผสมที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าวัสดุผสมที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวในทุกอัตราส่วน เนื่องจากสารไซเลนทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบที่ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ผ่านกลไกทางเคมีที่สำคัญ 1) เพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ เส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่

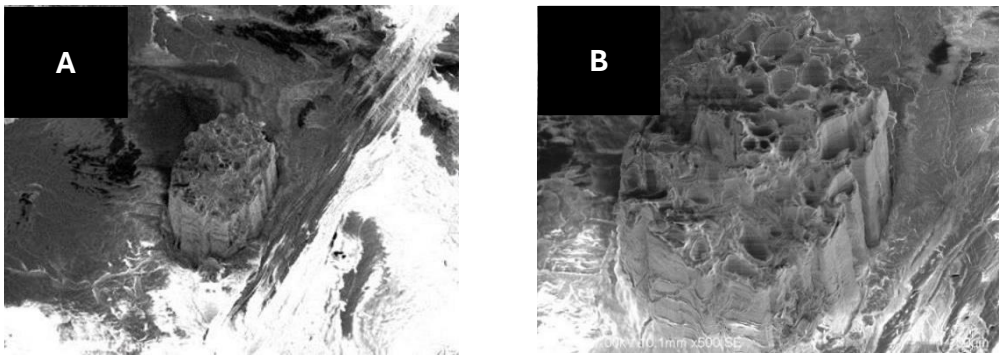
มีคุณสมบัติที่มีขั้วและชอบน้ำ ในขณะที่พอลิเอทิลีนมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำและไม่มีขั้ว ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ไม่ดีระหว่างกัน การดัดแปลงผิวด้วยสารไซเลน (เช่น อัลโคซิลาน) สามารถสร้างสะพานเชื่อมที่ช่วยปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์โดยสร้างพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะโควาเลนต์ระหว่างหมู่ซิลานอล (Si-OH) บนเส้นใยกับหมู่พอลิเมอร์ ซึ่งทำให้เกิดการยึดติดที่แน่นหนามากขึ้น 2) เพิ่มการยึดเกาะทางเคมีและความเสถียรของโครงสร้าง เมื่อสารไซเลนทำปฏิกิริยากับน้ำบนพื้นผิวของเส้นใยเกิดการสร้างพันธะซิลอกเซน (Si-O-Si) ซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นใยและลดการหลุดร่อนจากเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่มักเกิดในเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว การยึดเกาะนี้ช่วยให้วัสดุเชิงประกอบสามารถรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น เนื่องจากมีความแข็งแรงมากขึ้นจากการเสริมด้วยพันธะทางเคมีที่เสถียร 3) การกระจายแรงที่สม่ำเสมอมากขึ้นด้วยการเชื่อมต่อทางเคมีที่แข็งแรงมากขึ้นระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารไซเลนสามารถกระจายพลังงานจากการกระแทกได้ดีขึ้น ทำให้แรงกระแทกที่ตกกระทบถูกกระจายไปทั่วพื้นที่ ทำให้เกิดความเสถียรในการทนแรงกระแทกที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว [12]



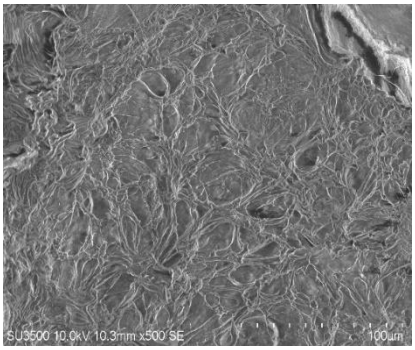
รูปที่ 6 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วย

3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

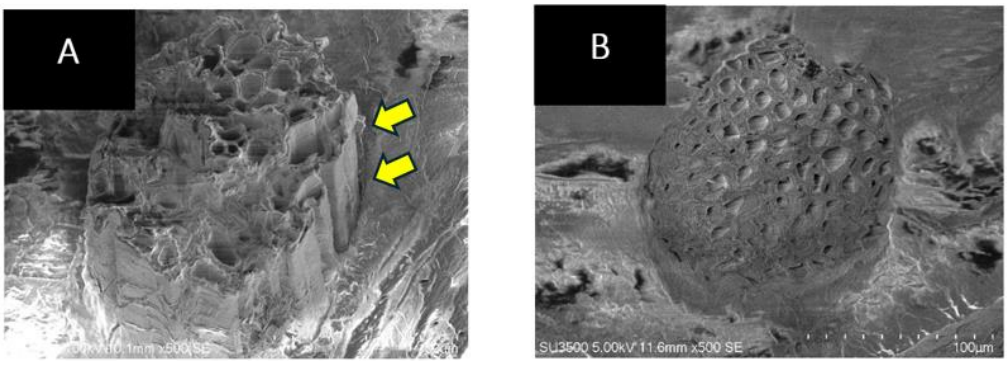
การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิว ดำเนินการทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการยึดเกาะที่บริเวณอินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีน ด้วยกำลังขยาย 200 และ 500 แสดงดังรูปที่ 7 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 13



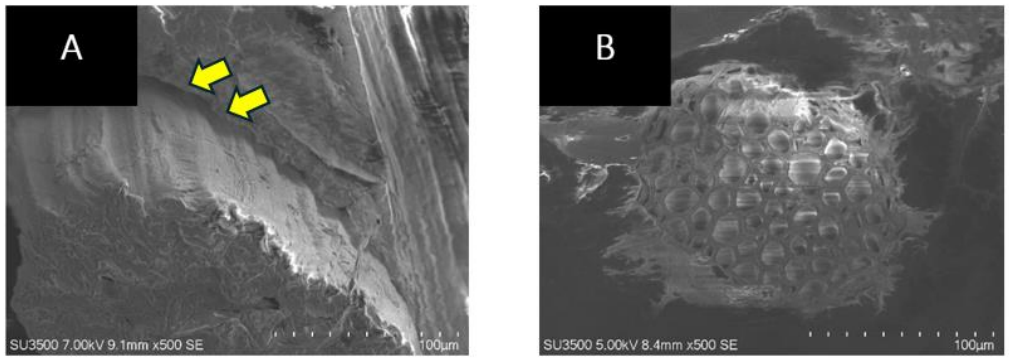
รูปที่ 7 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวที่ LLDPE 90 FB 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200 เท่า (A) และกำลังขยาย 500 เท่า (B)



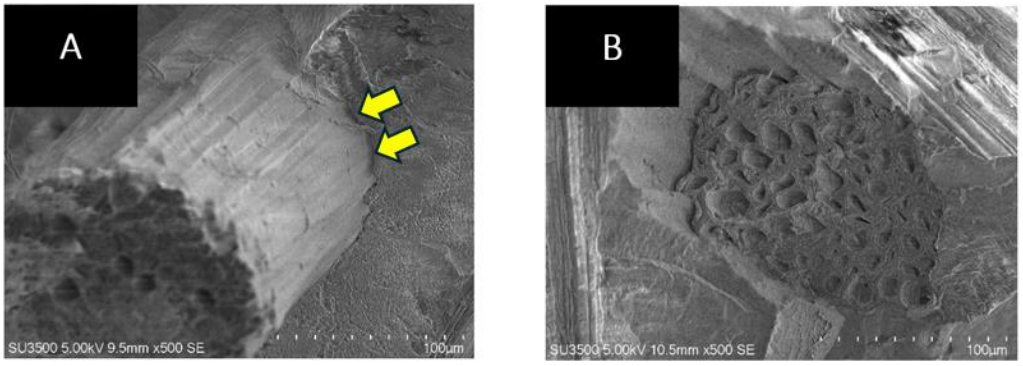
รูปที่ 8 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ LLDPE (100%) ที่ไม่เติมเส้นใยกาบกล้วย



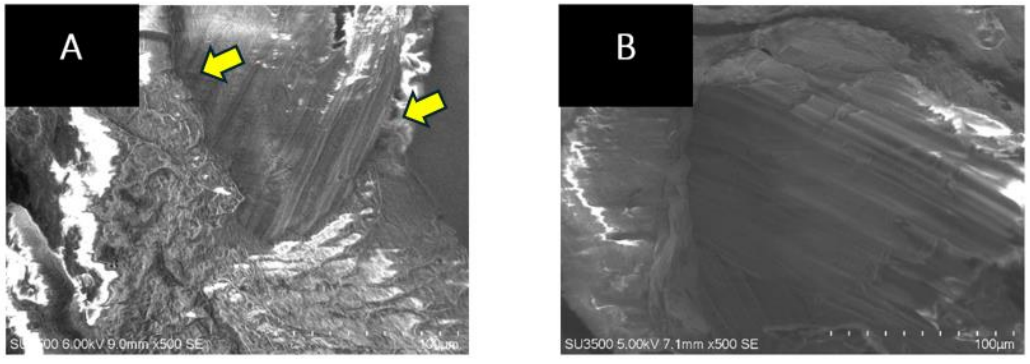
รูปที่ 9 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (A) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิว (B) LLDPE 90% FB 10% wt



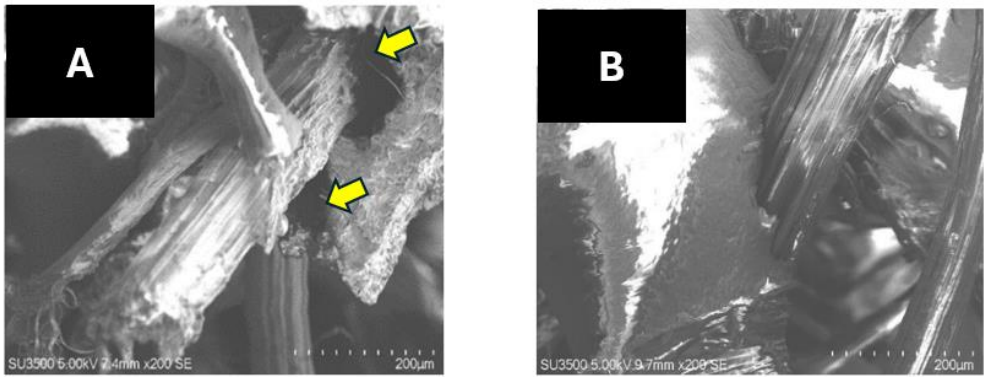
รูปที่ 10 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (A) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิว (B) LLDPE 80% FB 20% wt



รูปที่ 11 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (A) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิว (B) LLDPE 70% FB 30% wt



รูปที่ 12 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (A) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิว (B) LLDPE 60% FB 40% wt



รูปที่ 13 ลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (A) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิว (B) LLDPE 50% FB 50% wt

จากการศึกษาลักษณะการยึดเกาะที่อินเทอร์เฟสระหว่างพอลิเอทิลีนและเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวและผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลนสามารถช่วยปรับปรุงการยึดติดที่บริเวณผิวระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีนให้ดีขึ้นทำให้วัสดุผสมมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว

จากการศึกษาวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติจากกาบกล้วยด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงควรพิจารณาปัจจัยหลายประการที่อาจมีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติสุดท้ายของวัสดุ เช่น ความเร็วการหมุนของแม่พิมพ์สามารถส่งผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบ การหมุนที่เร็วอาจทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกล เช่น ความทนทานต่อแรงกระแทก หรือ ความแข็งแรงโดยรวมของวัสดุ เมื่อเส้นใยธรรมชาติเพิ่มขึ้นในพอลิเอทิลีน ความหนืดของวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการไหลตัวของวัสดุในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป การไหลตัวไม่ดีอาจทำให้วัสดุเกิดการจับตัวไม่สม่ำเสมอและทำให้คุณสมบัติของวัสดุลดลง เช่น ความเหนียวหรือความทนทานต่อแรงกระแทก พื้นผิวติดด้านผนังในและด้านนอกของชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูปอาจได้รับผลกระทบจากการหมุนเหวี่ยง ขึ้นอยู่กับความเร็วและรูปทรงของแม่พิมพ์ พื้นผิวที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอหรือมีการยึดติดของสารเติมแต่งในบางส่วนอาจส่งผลต่อสมบัติทางกล เช่น ความทนทานต่อแรงกระแทก และขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์หลังจากการขึ้นรูปและการเย็นตัวมีผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุ เช่น การบิดตัวหรือการเสียรูป โดยปกติแล้ว ขนาดที่ใหญ่ขึ้นอาจทำให้เกิดการเสียรูปที่มากขึ้นหากไม่ควบคุมการเย็นตัวอย่างเหมาะสม

4. อภิปรายผล

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling Agent) และไม่ผ่านการดัดแปลงผิวแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่ชัดเจน โดยที่วัสดุที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการดัดแปลงผิวมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าวัสดุที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่คล้ายคลึงกันที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบโดยการดัดแปลงผิวของเส้นใยธรรมชาติ เช่น การใช้สารไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเอทิลีน [12] การทดสอบ SEM แสดงให้เห็นถึงการหลุดออกของเส้นใยจากเมทริกซ์พอลิเอทิลีนในวัสดุที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว (ในทุกอัตราส่วนของการเติมเส้นใย) โดยมีช่องว่าง (Voids) ระหว่างเฟส การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ไม่มีการดัดแปลงผิวมีสมบัติความเหนียวต่ำและเปราะ (Brittle) เมื่อได้รับแรงกระแทก ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารไซเลนแสดงการยึดเกาะที่ดีกว่าระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเอทิลีน ทำให้วัสดุมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่สูงขึ้น เนื่องจากช่องว่างระหว่างเฟสลดลงและสามารถกระจายพลังงานจากการกระแทกได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al [12] ปริมาณเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบเมื่อเกิน 20% โดยน้ำหนักยังคงมีผลต่อการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ พอลิเอทิลีน เนื่องจากเส้นใยในปริมาณสูงมีแนวโน้มการรวมกลุ่มกันหรือพันกัน ทำให้การกระจายตัวของเส้นใยในวัสดุไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและแรงดึงลดลง ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่แสดงว่าปริมาณเส้นใยสูงทำให้เกิดการรวมกลุ่มและยึดเกาะระหว่างผิวไม่ดี ทำให้สมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป ดังเช่นงานวิจัยของ Dassanayake et al [13]

ความสัมพันธ์ระหว่างผลการทนต่อแรงกระแทกและลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบสามารถอธิบายได้ผ่านการสังเกตจากผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing) และภาพ SEM ที่แสดงโครงสร้างของวัสดุ การศึกษาความสัมพันธ์นี้ช่วยให้เห็นว่าโครงสร้างภายในของวัสดุมีผลต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทก การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ถ้าการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเอทิลีนไม่ดี (เช่น เมื่อเส้นใยไม่ได้รับการดัดแปลงผิว) ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเฟสในวัสดุ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถถ่ายเทแรงหรือพลังงานได้ดี ส่งผลให้วัสดุมีลักษณะเป็นวัสดุที่เปราะและสามารถดูดซับพลังงานได้ไม่ดีจากการกระแทก [14] ในขณะที่เมื่อเส้นใยผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนช่วยลดช่องว่างระหว่างเฟสเหล่านี้และเพิ่มการยึดเกาะทางเคมี ทำให้โครงสร้างภายในวัสดุมีความแข็งแรงขึ้นและสามารถกระจายพลังงานจากการกระแทกได้ดีขึ้น [12] ผลของช่องว่างระหว่างเฟส ผลลัพธ์จาก SEM สามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะของช่องว่างภายในวัสดุ ซึ่งมีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก หากวัสดุมีช่องว่างระหว่างเฟสมากเกินไป พลังงานจากการกระแทกถูกสูญเสียไปโดย

ไม่สามารถกระจายไปทั่ววัสดุได้ ส่งผลให้วัสดุมีความเปราะมากขึ้น ภาพ SEM ที่แสดงโครงสร้างที่เป็นระเบียบและไม่แสดงช่องว่างระหว่างเฟสมากเกินไปสามารถช่วยอธิบายได้ว่าทำไมวัสดุที่ผ่านการดัดแปลงผิวมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าวัสดุที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิว [15] และความเสถียรของวัสดุ วัสดุที่มีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ดีช่วยให้วัสดุมีความเสถียรและทนทานมากขึ้นเมื่อรับแรงกระแทก ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ดีและดูดซับพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่มีช่องว่างระหว่างเฟสมากจะมีความเปราะมากขึ้นและสามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ไม่ดี [16]

การนำวัสดุวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยมาใช้ทดแทนวัสดุเชิงประกอบที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยคาร์บอน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ได้จากวัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยธรรมชาติในปริมาณต่าง ๆ ตามผลการทดสอบ ถึงแม้ว่าในบางกรณีวัสดุที่เสริมด้วยเส้นใยกาบกล้วยมีค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ดี (เช่น 5.34 kJ/m² ถึง 5.58 kJ/m² เมื่อเส้นใยมีปริมาณ 10%) แต่เมื่อเทียบกับวัสดุที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์เช่น เส้นใยแก้วหรือคาร์บอนซึ่งมักมีความต้านทานแรงกระแทกสูงกว่าในหลายกรณี การทดแทนด้วยวัสดุเส้นใยธรรมชาตินั้นอาจไม่สามารถให้สมบัติที่เทียบเคียงได้หากพิจารณาจากการใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกที่สูงมาก สำหรับการทดแทนวัสดุอื่น ๆ เช่น พลาสติกหรือวัสดุเชิงประกอบที่ต้องการความทนทานในระดับกลางถึงต่ำ เช่น ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องรับแรงกระแทกสูงมากหรือการใช้งานที่ไม่เสี่ยงต่อการรับแรงกระแทกในระดับสูง วัสดุเส้นใยกาบกล้วยสามารถใช้ทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนภายในรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ หรือวัสดุก่อสร้างที่ต้องการวัสดุที่เบาและทนทาน [17]

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวและผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน พบว่าที่ปริมาณเส้นใยกาบกล้วยที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกสูงสุด เท่ากับ 5.34 kJ/m^2 และ 5.58 kJ/m^2 ตามลำดับ เมื่อปริมาณของเส้นใยในวัสดุที่ผสมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีน 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสมบัติเด่นของพอลิเมอร์ที่มีความเหนียวเป็นอย่างมาก เมื่อทำการเติมเส้นใยที่มีความแข็งแรงเข้าไปทำให้วัสดุที่ผสมมีสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป คือ มีความเปราะ

สำหรับการทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิววัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนเหวี่ยง

ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงผิวของเส้นใยกาบกล้วยด้วยสารคู่ควบไซเลนสามารถช่วยในการปรับปรุงการยึดเกาะที่อินเตอร์เฟสระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและพอลิเอทิลีนให้ดีขึ้น การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการดัดแปลงผิวในทุกส่วนผสมพบการหลุดออกจนเกิดเป็นช่องว่างการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกาบกล้วยกับเมทริกซ์ของพอลิเอทิลีน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนที่ผ่านการดัดแปลงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนในทุกส่วนผสมมีลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกาบกล้วยกับเมทริกซ์ของพอลิเอทิลีนได้ดีกว่ามากและมีความสม่ำเสมอกันตลอดแนวอินเทอร์เฟส จะเห็นได้ถึงถึงปริมาณเส้นใยในวัสดุผสมที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อการจับตัวการรวมกลุ่มกันและการพันกันของเส้นใยและทำให้ค่าการทนต่อแรงดึง และค่าต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติและประสิทธิภาพกับเส้นใยกาบกล้วย

5.2.2 ควรพัฒนาเทคนิคการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การปรับปรุงกระบวนการหมุนเหวี่ยง หรือการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการผลิตวัสดุเชิงประกอบ

5.2.3 ควรมีการทดสอบสมบัติของวัสดุในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อประเมินความทนทานและประสิทธิภาพในระยะยาว

5.2.4 ควรนำวัสดุคอมโพสิตที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ หรือวัสดุก่อสร้าง เพื่อเพิ่มมูลค่าและการใช้งาน

5.2.5 ควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการใช้วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการลงทุน

References

[1] Kangishwar S, Radhika N, Sheik AA, Chavali A, Hariharan S. A comprehensive review on polymer matrix composites: material selection, fabrication, and application. Polymer Bulletin 2023;80:47-87. doi: 10.1007/s00289-022-04087-4.

[2] Chairi M, Bahaoui J, Hanafi I, Mata CF, Di BG. Composite materials: A review of polymer and metal matrix composites, their mechanical characterization, and mechanical properties.

In: Li L, Pereira A, Pereira AL, editors. Next Generation Fiber-Reinforced Composites - New Insights. London, UK: IntechOpen; 2023.

[3] Kamarudin SH, Mohd Basri MS, Rayung M, Abu F, Ahmad S, Norizan MN, et al. A review on natural fiber reinforced polymer composites (NFRPC) for sustainable industrial applications. Polymers 2022;14(17):3698. doi: 10.3390/polym14173698.

[4] Thomas S, Paul SA, Pothan LA, Deepa B. Natural fibres: structure, properties and applications. In: Kalia S, Kaith BS, Kaur I, editors. Berlin, German: Springer; 2011. p. 3-42.

[5] Khan MZ, Sarkar MAR, Forhad Ibne Al Imam M, O.Malinen R. Fiber morphology and pulping study of banana pseudo-stem. International Journal of Fiber and Textile Research 2013;3(1):31-5.

[6] Li W, Zhang Y, Li J, Zhou Y, Li R, Zhou W. Characterization of cellulose from banana pseudo-stem by heterogeneous liquefaction. Carbohydrate Polymers 2015;132:513-9. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.06.066.

[7] Hanana FE, Rodrigue D, Rotational molding of polymer composites reinforced with natural fibers. Plastics Engineering 2015;71(7):28-31.

[8] Yadav J, Ramkumar P, Parwani A. A comprehensive review to evaluate the consequences of material, additives, and parameterization in rotational molding. Journal of Polymer Research 2023;30:231. doi: 10.1007/s10965-023-03591-z.

[9] Arribasplata-Seguin A, Quispe-Dominguez R, Tupia-Anticona W, Acosta-Sullcahuaman J. Rotational molding parameters of wood-plastic composite materials made of recycled high density polyethylene and wood particles. Composites Part B: Engineering 2021; 217:108876. doi: 10.1016/j.compositesb.2021.108876.

[10] Srichuangchote N, Surin P, Wong-on J. Effect of fiber content and surface treatment on the mechanical properties of sisal fiber composites produced by rotational molding. In: Proceedings of the 8th National Conference on Industrial Operations Development; 2017 May 19; Bangkok, Thailand. p.144-9. (In Thai)

[11] Deepradit S, Srichuangchote N, Kongsomsawang J, Sapphon W, Sara-ud S. A study of tensile properties of reinforced polyethylene composite with banana fibers by rotational molding process. ARU Journal Science and Technology 2022;4(2):16-28. (In Thai)

[12] Wang Q, Chen T, Wang X, Zheng Y, Zheng J, Song G, et al. Recent progress on moisture absorption aging of plant fiber reinforced polymer composites. Polymers 2023; 15(20):4121. doi: 10.3390/polym15204121.

[13] Dassanayake RS, Acharya S, Abidi N. Biopolymer-based materials from polysaccharides: properties, processing, characterization and sorption applications. In: Edebali S, editor. Advanced Sorption Process Applications. London, UK: IntechOpen; 2019.

[14] Molla A, Moyeen AA, Mashfiqua Mahmud R, Haque MJ. Plant fiber-reinforced green composite: a review on surface modification, properties, fabrications and applications. Materials Open Research 2024;3:6. doi: 10.12688/materialsopenres.17651.1.

[15] Athijayamani, A, Thiruchitrambalam M, Natarajan U, Pazhanivel B. Effect of moisture absorption on the mechanical properties of randomly oriented natural fibers/polyester hybrid composite. Materials Science and Engineering A 2009;517(1):344-53.

[16] Gupta MK, Singh R. PLA-coated sisal fibre-reinforced polyester composite: water absorption, static and dynamic mechanical properties. Journal of Composite Materials 2019;53(1):65-72.

[17] Akil HM, Santulli C, Sarasini F, Tirillo J, Valente T. Environmental effects on the mechanical behaviour of pultruded jute/glass fibre-reinforced polyester hybrid composites. Composites Science and Technology 2014;94:62-70.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรประภา ดีประดิษฐ์ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 E-mail: d_siraprapha@aru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Simulation, Operations Research, Supply Chain Management

นายณัฏฐพล ศรีช่วงโชติ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 E-mail: nutthapol_tech_006@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Polyethylene composite, Natural fiber

นายจักรภพ คงสมแสวง สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 E-mail: jakkaphopdew@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Polyethylene composite, Natural fiber

นายวรายุส ทรัพย์พล สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 E-mail: Earth52231@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Polyethylene composite, Natural fiber

นายสุพัฒก์ สารอรรถ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
E-mail: Warayutsapphon10@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Polyethylene composite, Natural fiber

Article History:

Received: September 23, 2024

Revised: December 11, 2024

Accepted: December 16, 2024