

การศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว กับผงเปลือกมะม่วง

อรรถพล สิมประดิษฐ์พันธุ์^{1*} กวิตา นัตรตระกูล¹ โอนทัย ผลสุวรรณ¹ วิเชียร ไชยลาต¹ และ ณรงค์ชัย โอเจริญ¹
athapon.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, kawita.c@en.rmutt.ac.th¹, anothai.p@en.rmutt.ac.th¹,
wichain_c@rmutt.ac.th¹, narongchai.o@en.rmutt.ac.th¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: February 26, 2025 Revised: July 29, 2025 Accepted: August 4, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อแรงดึง และความแข็งแรงของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วง ซึ่งได้รับการผสมด้วยกระบวนการแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงแบบบร็อคเวลล์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้น โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 50 pph (Parts Per Hundred) มีค่าความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 68.29 อาจเนื่องมาจากการเข้าไปแทรกกระจายตัวใน HDPE ของผงเปลือกมะม่วงทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด และค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้น โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ที่ 0.08 J/mm และ 25.47 MPa ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูงเกินไป เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี รวมไปถึงการที่อนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวใน HDPE มากเกินไปอาจทำให้มีการจับตัวเป็นกลุ่ม ส่งผลให้สมบัติด้านความเหนียวลดลงและความแข็งแรงเปราะ ดังนั้นวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 pph มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติด้านแรงดึงที่ดี ในขณะที่วัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 50 pph มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโดดเด่นในสมบัติด้านความแข็งแรง

คำสำคัญ: พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ผงเปลือกมะม่วง วัสดุผสม สมบัติเชิงกล

The feasibility study of used high density polyethylene-mango peel powder composite material

Athapon Simpraditpan^{1*}, Kawita Chattrakul¹, Anothai Polsuwan¹, Wichain Chailad¹
and Narongchai O-Charoen¹
athapon.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, kawita.c@en.rmutt.ac.th¹, anothai.p@en.rmutt.ac.th¹,
wichain_c@rmutt.ac.th¹, narongchai.o@en.rmutt.ac.th¹

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: February 26, 2025 Revised: July 29, 2025 Accepted: August 4, 2025

Abstract

This study focuses on the investigation of the selected mechanical properties including izod impact strength, tensile strength, and hardness of composite materials made from the used high-density polyethylene (UHDPE) reinforced with mango peel (MP) powder. The UHDPE/MP composites were prepared using a two-roll mill process, followed by compression molding to form the rectangular sheet specimens. Experimental results revealed that the hardness of HDPE was increased with higher mango peel powder content. The UHDPE/MP composite with 50 pph of MP powder exhibited the highest hardness value of 68.29, likely due to the dispersed mango peel particles enhancing the rigidity of the HDPE matrix. Conversely, both Izod impact strength and tensile strength decreased as the mango peel powder content increased. The UHDPE/MP composite containing 10 pph of mango peel powder showed an Izod impact strength of 0.08 J/mm and a tensile strength of 25.47 MPa. This reduction in toughness and strength at higher filler loadings (30, 40, and 50 pph) may be attributed to poor interfacial adhesion between HDPE and the MP powder, and excessive filler agglomeration, which could compromise the structural integrity and increase brittleness of the UHDPE/MP composites. Therefore, the UHDPE/MP composite containing 10 pph of MP powder is considered most suitable for applications requiring good tensile properties, whereas the composite with 50 pph is more appropriate for products that demand enhanced hardness.

Keywords: Used high density polyethylene, Mango peel powder, Composite, Mechanical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำพลาสติกมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และใช้งานกันในหลายรูปแบบ เพราะว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ขึ้นรูปง่าย และราคาถูก นอกจากนี้การที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้ในระยะเวลายาวนาน จึงต้องมีสมบัติที่ดีในด้านต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางเคมี เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาปรับปรุงสมบัติในด้านต่างๆ อาจทำได้ตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์ การใส่สารใช้แต่ง ตลอดจนการนำพลาสติกหลายชนิดมาผสมกัน [1]

ซึ่งจากการที่พลาสติกมีความนิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [2] จึงส่งผลทำให้หลังจากการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติกแล้วพลาสติกดังกล่าวก็จะกลายเป็นสิ่งที่เหลือใช้และกลายเป็นขยะถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าขยะพลาสติกดังกล่าวถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับพลาสติกที่ใช้งานแล้วก็คือ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำมาขึ้นรูปซ้ำอีกครั้งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และนำไปใช้งานอีกครั้ง รวมไปถึงการนำมาใช้เป็นส่วเชื่อมประสาน (Matrix) สำหรับวัสดุผสม [3] โดยทำหน้าที่เป็นส่วนที่คอยรับแรงที่มากระทำและส่งผ่านแรงที่มากระทำไปยังส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการนำส่วนต่างๆ ของพืชหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น กากกาแฟ ขุยมะพร้าว ใบสับปะรด ชี้อ้อย และขานอ้อยมาขึ้นรูปโดยใช้พลาสติกเป็นส่วนเชื่อมประสาน [2,3,4,5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำผงเปลือกมะม่วงมาขึ้นรูปเป็นแผ่นอัดโดยใช้พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ที่ใช้งานแล้วเป็นส่วนเชื่อมประสาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงกระแทก และความต้านทานต่อแรงดึง ซึ่งมีเป้าหมายในการนำเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากพืชและ HDPE ที่ใช้งานแล้วซึ่งเป็นขยะพลาสติกมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือใช้ รวมไปถึงลดการใช้งานพลาสติกโดยใช้วัสดุจากพืชที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ทดแทน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุผสมคือขวด HDPE ที่ใช้งานแล้วและผงเปลือกมะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ขวดพลาสติก HDPE ที่ใช้งานแล้ว



รูปที่ 2 ผงเปลือกมะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น

2.2 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผสม

นำขวด HDPE ที่ใช้งานแล้วไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก และนำผง HDPE ที่ผ่านการบดแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C ในส่วนของผงเปลือกมะม่วงนำไปกำจัดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดและทำการคัดขนาดให้ได้ขนาดไม่เกิน 300 µm จากนั้นนำผง HDPE ที่ใช้งานแล้วและผงเปลือกมะม่วงที่บดแล้วมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 pph ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้กระบวนการแบบสองลูกกลิ้ง โดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ใช้เป็นของยี่ห้อ Lab Tech อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 190 °C ในการผสมจะนำผง HDPE เทลงไป

บนลูกกลิ้งเพื่อบดให้ نرم ก่อนเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นค่อยๆ เทผงเปลือกมะม่วงลงไป ทำการผสมกันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำวัสดุผสมที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 190 °C นำชิ้นงานที่ได้ไปทำเป็นชิ้นงานทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength, ASTM D 638) ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Strength, ASTM D 256) และความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness, ASTM D 785) นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 250 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วง

อัตราส่วน (pph)	สัดส่วน	
	HDPE	ผงเปลือก มะม่วง
0	100	0
10	100	10
20	100	20
30	100	30
40	100	40
50	100	50

2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลและวิเคราะห์ สัณฐานวิทยา

2.3.1 การทดสอบความต้านทาน ต่อแรงกระแทกแบบไอซอด

การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดมาตรฐาน ASTM D 256 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากนั้นนำมาตัดให้ได้ขนาด 3.17 x 12.7 x 64.5 mm พร้อมทั้งทำการบากเป็นรูปตัววี 45° แล้วทำการทดสอบด้วยเครื่อง Izod Impact Tester รุ่น CEAST โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักให้ตกกระทบชิ้นงานและบันทึกค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักเพื่อนำไปคำนวณค่าความต้านต่อแรงกระแทก

2.3.2 การทดสอบความต้านทาน

ต่อแรงดึง

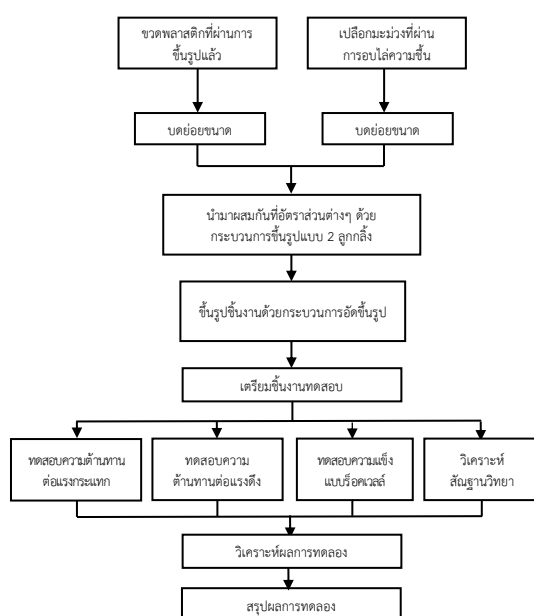
การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงมาตรฐาน ASTM D 638 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นรูปดรัมเบล Type I จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield Serial 120 รุ่น Model H50 KS บันทึกค่าการทดสอบต่างๆ ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at Break)

2.3.3 การทดสอบความแข็ง แบบร็อคเวลล์

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์มาตรฐาน ASTM D 785 โดยทำการทดสอบแบบ Scale M ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป มีความหนา 6 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์และบันทึกค่าความแข็งที่ทดสอบได้

2.3.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL เตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยการนำไปวางบนแผ่นรองตัวอย่างที่ทำจากกระดาษฟอยล์และทาเคลือบกาวคาร์บอนที่ผิวขอบของชิ้นงานจนถึงแผ่นรอง จากนั้นนำไปเคลือบทองคำขาว (Platinum Sputtering) แล้วเริ่มทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 kV ที่กำลังขยาย 250 เท่า

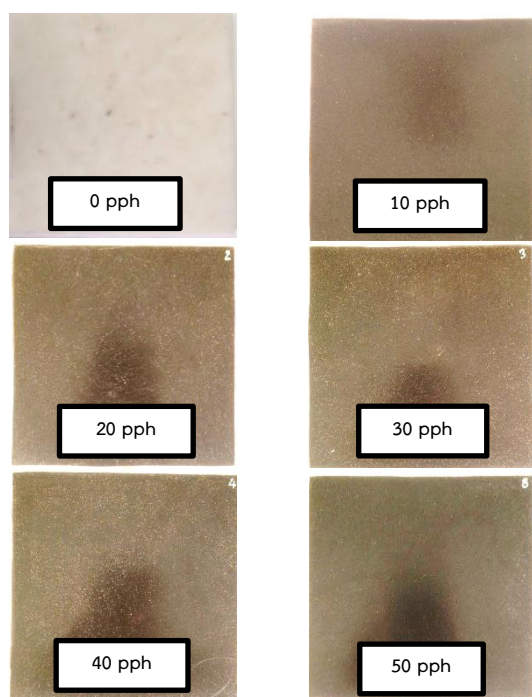


รูปที่ 3 ขั้นตอนในการทดลอง

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากการทดลองผสมและขึ้นรูปชิ้นงานของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งทำการผสมด้วยกระบวนการผสมแบบสองลูกกลิ้งและขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด โดยชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 30 cm และความหนาอยู่ที่ 0.3 cm โดยชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมที่ 0 pph มีสีขาวขุ่นซึ่งเป็นสมบัติกายภาพของ HDPE ในส่วนของชิ้นงานวัสดุผสมที่อัตราส่วน 10-50 pph มีสีน้ำตาลเนื่องจากมีผงเปลือกมะม่วงปะปนอยู่กับเนื้อพลาสติก โดยสีน้ำตาลมีความเข้มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะแผ่นที่อัดขึ้นรูปของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก

จากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนที่ 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดสูงที่สุดอยู่ที่ 0.08 J/mm

ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5 ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูงเกินไป เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี เนื่องจากมีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกมากเกินไป รวมไปถึงอาจมีการจับตัวเป็นกลุ่มส่งผลทำให้วัสดุผสมมีสมบัติความเหนียวลดลงและมีความแข็งเปราะ [2] สอดคล้องกับงานวิจัยของธนกร วิรุฬมงคล และคณะ [3] การนำกากกาแฟมาผสมกับ HDPE พบว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกต่ำลงตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนที่ต่ำ ซึ่งมีอัตราส่วนของ HDPE ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงที่มากกว่าชิ้นงานมากกว่า จึงส่งผลทำให้มีการยึดเกาะของผงเปลือกมะม่วงอย่างต่อเนื่องและมีการกระจายแรงที่มากกระทำกับชิ้นงานได้ดี [3,6] ดังนั้นถ้าต้องการผลิตวัสดุผสมจากผงเปลือกมะม่วงที่ไม่ใช่แล้วซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีส่วนช่วยลดต้นทุนจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตที่ใช้พลาสติกเพียงอย่างเดียวที่มีความสามารถในการรับแรงกระแทกก็ควรเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่มีผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ต่ำ

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลบางประการของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

Ratio (pph)	IS (J/mm)	TS (MPa)	MY (MPa)	EB (mm)	HN
0	0.24 ±0.059	26.63 ±0.660	1552 ±115	8.28 ±0.509	54.67 ±1.848
10	0.08 ±0.031	25.47 ±0.597	1496 ±58	8.65 ±0.578	57.33 ±1.509
20	0.07 ±0.025	22.55 ±0.679	1495 ±166	6.60 ±0.298	61.56 ±2.920
30	0.05 ±0.025	20.55 ±0.592	1492 ±131	6.12 ±0.416	63.54 ±2.133
40	0.05 ±0.002	19.78 ±1.716	2004 ±183	4.02 ±0.358	65.45 ±2.139
50	0.05 ±0.002	19.75 ±0.575	1974 ±134	3.49 ±0.370	68.29 ±0.955

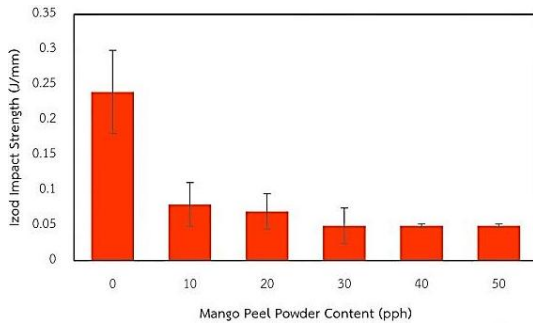
IS = Impact Strength

TS = Tensile Strength

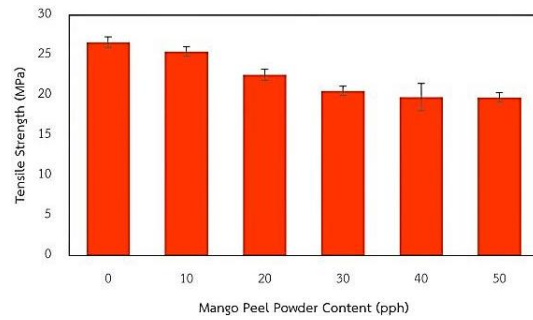
MY = Modulus of Young

EB = Elongation at Break

HN = Hardness



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

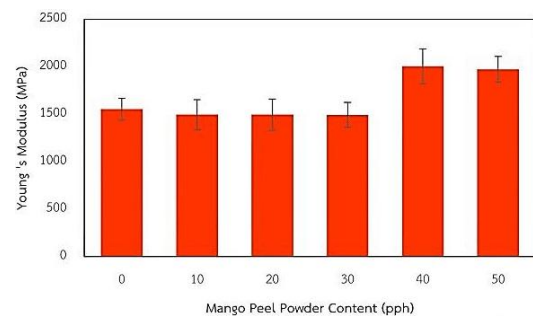


รูปที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.3 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

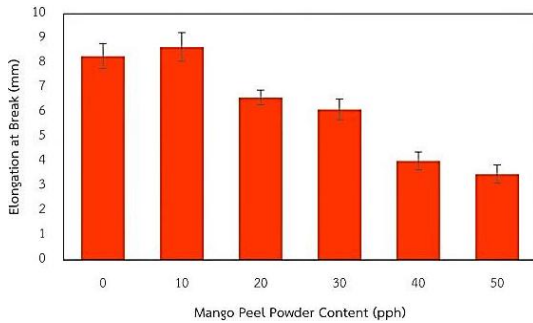
จากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงแปรผกผันตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วง โดยเมื่อใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยที่อัตราส่วนที่ 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่ 25.47 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างทดสอบที่ขึ้นรูปจาก HDPE ที่ใช้งานแล้วที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วง ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 6 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกมากเกินไป ส่งผลทำให้วัสดุผสมมีสมบัติความเหนียวลดลงและมีความแข็งแรง [2,7] นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีทิศทางที่ไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่แบบและรูปร่างของผงเปลือกมะม่วงที่นำมาผสมมีลักษณะเป็นอนุภาคซึ่งไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเหมือนกับสารเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวก็มีส่วนทำให้วัสดุมีความต้านทานต่อแรงดึงลดลงได้อีกทางหนึ่ง [3,8,9] ดังนั้นการที่จะนำผงเปลือกมะม่วงมาทำเป็นวัสดุผสมที่มี HDPE เป็นส่วนเชื่อมประสานมาประยุกต์ใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานที่ต้องการความทนทานต่อแรงดึงก็ควรใช้อัตราส่วนที่มีผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ต่ำ

ในส่วนของค่ามอดูลัสของยังพบว่ามีความใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน โดยค่ามอดูลัสของยังแปรผันตามปริมาณผงเปลือกมะม่วงที่ใช้ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวขัดขวางอยู่ใน HDPE ที่เป็นส่วนเชื่อมประสานและการผสมผงเปลือกมะม่วงลงไปอาจทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันแบบเชื่อมขวางระหว่างพันธะของผงเปลือกมะม่วงกับพันธะของ HDPE จึงทำให้วัสดุมีความเหนียวลดลงแต่มีความต้านทานต่อการเสียรูปเพิ่มขึ้น [2,3,10,11]



รูปที่ 7 ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

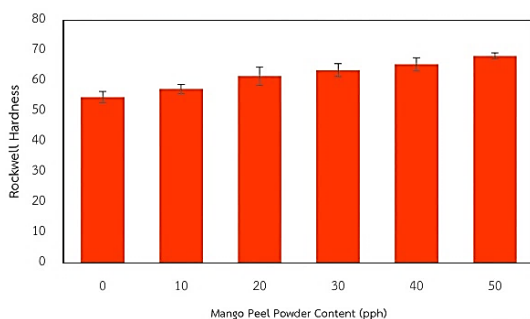
ในส่วนของการยึดตัว ณ จุดขาดพบว่ามีความโน้มถ่วงลดลงเมื่อปริมาณผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2 และรูปที่ 8 ทั้งนี้อาจเกิดจากการผสมผงเปลือกมะม่วงลงไปปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดการเข้าไปแทรกตัวขัดขวางของผงเปลือกมะม่วงในโครงสร้างของ HDPE จึงส่งผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของ HDPE เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความเหนียวลดลง แต่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อมีแรงดึงมากกระทำจึงทำให้มีการยึดตัวออกในปริมาณที่ต่ำ [11,12]



รูปที่ 8 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.4 ผลการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

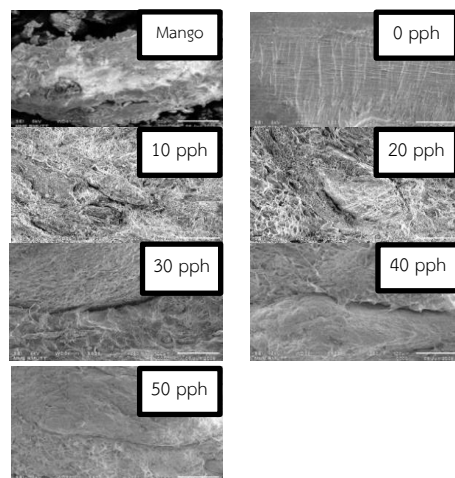
จากการทดสอบพบว่าค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์ของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงมีค่าความแข็งแปรผันตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2 และรูปที่ 9 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงเปลือกมะม่วงที่เป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นของแข็งเกิดการเข้าไปแทรกกระจายตัวในเนื้อพลาสติก HDPE จึงทำให้วัสดุผสมดังกล่าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 50 pph มีค่าความแข็งสูงที่สุดอยู่ที่ 68.29 ส่วนที่อัตราส่วน 10 pph มีค่าความแข็งต่ำที่สุดอยู่ที่ 57.33 ซึ่งผลการทดลองนี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของณัฐชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล และคณะ [10] ที่ได้ทำการศึกษานำผงไม้ปาล์มมาผสมกับ HDPE และจากการทดลองพบว่าค่าความแข็งของวัสดุผสมดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น [12,13] ดังนั้นวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่มี HDPE เป็นส่วนเชื่อมประสานมีความเป็นไปได้กับการนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานที่ต้องการสมบัติที่ดีในด้านความแข็ง



รูปที่ 9 ค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์ของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ขึ้นรูปจาก HDPE ที่ใช้งานแล้วที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงพบว่าชิ้นงาน HDPE ที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและมีสีขาวขุ่น ในขณะที่พื้นผิวของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ มีการแทรกตัวของอนุภาคผงเปลือกมะม่วงอยู่ในส่วนของ HDPE ที่เป็นส่วนเชื่อมประสานดังรูปที่ 10 โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 และ 20 pph มีการแทรกตัวและความหนาแน่นของการกระจายตัวของผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ไม่มากนัก ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าววัสดุผสมยังคงมีความสามารถในการกระจายแรงที่มากระทำจากส่วนของ HDPE ไปสู่ผงเปลือกมะม่วงที่เป็นส่วนเสริมแรงได้ดีกว่าที่อัตราส่วนที่มีปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่สูง จึงทำให้มีความต้านทานต่อแรงกระแทกและความต้านทานต่อแรงดึงที่สูงกว่าวัสดุผสมที่เติมผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูง ในขณะที่วัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph มีการแทรกกระจายตัวอย่างหนาแน่นของผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากกว่า และมีการเกาะกลุ่มกันของผงเปลือกมะม่วงในโครงสร้างของ HDPE ซึ่งการที่มีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงแทรกกระจายตัวอยู่ในส่วนของ HDPE ในปริมาณที่สูงและเกิดการเกาะกลุ่มกันโดยเฉพาะที่อัตราส่วน 50 pph อาจมีส่วนช่วยทำให้วัสดุผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลทำให้วัสดุผสมมีความเหนียวลดลงและมีลักษณะที่เปราะ [3,14]



รูปที่ 10 ภาพถ่าย SEM ของผงเปลือกมะม่วงและวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าสมบัติเชิงกลบางประการได้แก่ ค่าความแข็งแรงแบบรีดเวลล์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกของผงเปลือกมะม่วง โดยที่อัตราส่วนผสม 50 pph มีค่าสูงที่สุดอยู่ 68.29 ส่วนค่าความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อมีการใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่อัตราส่วนผสม 10 pph มีค่าสูงที่สุดอยู่ 0.08 J/mm และ 25.47 MPa ตามลำดับ ซึ่งการใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูง เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph มีการแทรกตัวของผงเปลือกมะม่วงอยู่ในส่วนของ HDPE มากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลทำให้การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี นอกจากนี้การใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากอาจก่อให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มส่งผลทำให้วัสดุผสมมีความเหนียวลดลง มีความแข็งเปราะ มีความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและความต้านทานต่อแรงดึงลดลง โดยวัสดุผสมดังกล่าวนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับทดแทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกเพียงอย่างเดียวได้ในอนาคต เช่น ถังหูหิ้ว ถังใส่ขยะ ถังขยะ กรอบรูป แผ่นรองชั้นวางของ และถาดรอง เป็นต้น และงานวิจัยนี้ก็สามารถนำไปเป็นแนวทางหนึ่งในการนำวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรและขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสร้างมูลค่ารวมไปถึงเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ในขณะนี้ได้อีกทางหนึ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มทร.ธัญบุรี สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2561 และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบต่างๆ งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Sornnil B. Plastic Technology. 19th ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan); 2003.

[2] Junsiri S, Hirunlabh J, Sathibunanan S, Suphahitanukool C, Khedari J. Development of bio-composite material from polylactic acid blended with thermoplastic from sago starch and reinforced with pineapple leaf fiber. *Frontiers in Engineering Innovation Research*. 2024;22(2):71-82.

[3] Wirunmomkol T. Preparation and some mechanical properties of compression plate from recycled materials (HDPE drinking water bottle and coffee powder) [master's thesis]. Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2001. (in Thai)

[4] Horta J, Simões F, Mateus A. Study of wood-plastic composites with reused high density polyethylene and wood sawdust. *Procedia Manufacturing*. 2017;12:221-9.

[5] Ezzahrae MF, Nacer A, Latifa E, Abdellah Z, Mohamed I, Mustapha J. Thermal and mechanical properties of a high-density polyethylene (HDPE) composite reinforced with wood flour. *Materials Today: Proceedings*. 2023;72:3602-8.

[6] Khamthita P. Biodegradable polymer composites from polyolefin and water hyacinth. *RSU National Research Conference*; 2013 Apr 4; Rangsit University. Pathum Thani; 2013. p. 190-7.

[7] Homkhiew C, Rawangwong S, Boonchouytan W, Noochaikaew P. Effects of wooden-toy flour contents and sizes on mechanical and physical properties of polypropylene composites. *The 39th Conference of Industrial Engineering Network*; 2021 May 5-7; The Bed Vacation Rajamangala. Songkhla; 2021. p. 43-7.

[8] Kerprasit P, Weeranukul P, Weeranukul I, Suweero K, Muangprab K. Development of particleboard from northern black wattle tree bark for using as decorative materials. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2021;19(1):125-35.

[9] Boontositrakul K, Plitsiri I, Thepjunthra W, Suweero K. Producing artificial wood from pallet wood powder mixed with high-density polyethylene from recycled water bottles.

Frontiers in Engineering Innovation Research.
2024;22(1):1-8.

[10] Thanawattanasirikul N. The strength improvement of wood plastic composites from oil palm wood [master's thesis]. Songkla: Prince of Songkla University; 2011. (in Thai)

[11] Nadali E, Layeghi M, Ebrahimi G, Naghdi R, Jonoobi M, Khorasani MM, et al. Effects of multiple extrusions on structure-property performance of natural fiber high-density polyethylene biocomposites. *Materials Research*. 2018;21(2):e20170301.

[12] Homkhiew C, Ratanawilai T, Thongruang W. Composites from recycled polypropylene and rubberwood flour: effects of composition on mechanical properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2015;28(2):179-94.

[13] Wirunmomkol T. Natural fiber composite for packaging applications [dissertation]. Chiang Mai: Maejo University; 2014. (in Thai)

[14] Ratanawilai T, Nakawirok K, Deachsrijan A, Homkhiew C. Influence of wood species and particle size on mechanical and thermal properties of wood polypropylene composites. *Fibers and Polymers*. 2014;15(10):2160-8.