

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ผสมเส้นใยธรรมชาติ

**DEVELOPMENT OF COSMETIC PACKAGING FROM
BIOPLASTIC AND NATURAL FIBER**

จุฑามาศ กอดสะอาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ผสมเส้นใยธรรมชาติ

จุฑามาศ กอดสะอาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอ
รับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify that the thesis does
not contain any forms of plagiarism.

จุฑามาศ กอดสะอาด.....
(นางสาวจุฑามาศ กอดสะอาด)



COPYRIGHT © 2020

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
ผสมเส้นใยธรรมชาติ

Development of Cosmetic Packaging from Bioplastics and Natural
Fibers

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวจุฑามาศ กอดสะอาด

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

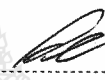
อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ฝิวสะอาด, Ph.D.

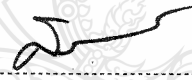
ปีการศึกษา


2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ประกอบ กิจไชยา, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ฝิวสะอาด, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 1 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพผสมเส้นใยธรรมชาติ
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวจุฑามาศ กอดสะอาด
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

บรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางทั่วไป ผลิตจากพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลาย เช่น พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) หรืออะครีโลไนไตรล์-บิตะไดอิน-สไตรีน โคพอลิเมอร์ (ABS) ขยะของพลาสติกเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดปัญหาไมโครพลาสติก ดังนั้น พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีศักยภาพทางการค้า แต่เนื่องจากข้อจำกัดของสมบัติของ PLA ที่แข็งเปราะและความหนืดสูง จึงต้องปรับปรุงสมบัติ PLA โดยการผสมกับ PP แต่การผสมกันจำเป็นต้องอาศัยสารเชื่อมประสานได้แก่ พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) ช่วยให้อิทธิพลระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง จากนั้นศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่าง PLA กับ PP โดยการเติมเส้นใยใฝ่ เป็นสารเสริมแรง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 80/20, 60/40, 40/60 และ 20/80 โดยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือ พอลิเมอร์ผสม PLA/PP เท่ากับ 40/60 โดยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมไปเตรียมเป็นวัสดุคอมโพสิต โดยใช้เส้นใยใฝ่ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเป็นสารเสริมแรง ศึกษาปริมาณเส้นใยใฝ่ที่ 5, 10 และ 20 phr นำไปทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล และลักษณะสัณฐานวิทยา

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าการเติมเส้นใยใฝ่ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมผลึกของ PLA และ PP การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ยืนยันโครงสร้างทางเคมีของวัสดุคอมโพสิต ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงและการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานวิทยา ซึ่งการเติมเส้นใยใฝ่เป็นสารเสริมแรง ปริมาณที่เหมาะสมคือ 5 phr คอมโพสิตจาก PLA/PP/BF สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางด้วยกระบวนการแบบฉีด

คำสำคัญ: วัสดุคอมโพสิต พอลิแลคติกแอซิด เส้นใยใฝ่ สารเสริมแรง

Thesis Title	Development of Cosmetic Packaging from Bioplastic and Natural Fiber
Name-Surname	Miss Jutamas Kord-Sa-Ard
Program	Material Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sommai Pivsa-Art, Ph.D.
Academic Years	2019

Abstract

Cosmetic packaging is commonly made from non-biodegradable plastics such as polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), or acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS). Waste of these polymers causes environmental problems and microplastics. Therefore, biodegradable plastic is a material used to replace conventional plastics. Polylactic acid (PLA) is the biodegradable polymer having the potential to be used for commercial applications. However, due to the limitation of PLA property that is hard, brittle, and high viscosity, the property of PLA must be improved by mixing with PP. The blending of PA with PP can improve the toughness of the polymer blend, but the compatibility of both polymers is a drawback of the blend. In this research, the addition of PP-grafted-maleic anhydride (PP-g-MAH) as a compatibilizer for PLA/PP blends to improve the interaction between the surfaces of both polymers was studied, as well as preparation of composite materials between PLA and PP by adding bamboo fibers as reinforcing substances.

This research studied the preparation of PLA/PP blends at ratios, 80/20, 60/40, 40/60, and 20/80 by weight and adding PP-g-MHA at the amount of 1, 3, and 5 phr (part per hundred of resin). Thermal and mechanical properties, and morphology were studied. It was found that the acceptable condition of the PLA/PP blend ratio was 40/60 by weight with 5 phr of PP-g-MAH. After that, the blended polymer was prepared as a composite material by using bamboo fibers (BF) that had been chemically treated as reinforcing agents. The content of BF in the PLA/PP blend at 5, 10, and 20 phr was examined subject to thermal, chemical, and mechanical properties and morphology.

The characterization results confirmed that the addition of BF did not affect the crystalline melt temperature of PLA and PP. The FT-IR analysis confirmed the chemical structure of the polymer composites. The test results of the tensile strength and impact resistance of the composite materials conformed to the morphology. The most suitable content of reinforcement was 5 phr of BF. The PLA/PP/BF composites are eminent materials for cosmetic packaging applications using an injection molding process.

Keywords: composite material, polylactic acid, bamboo fibers, reinforcement material

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ผิวสอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา
นิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ภายใต้การ
ดำเนินการของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย รหัสทุน MSD5810114 ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ไทยรุ่งเรืองอินโนเวชั่น จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัย และให้คำปรึกษา
แนะนำตลอดทำการวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการทำวิจัย
ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องทดสอบและ
สถานที่ในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจและสนับสนุนจนกระทั่ง
สำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หาก
วิทยานิพนธ์นี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฑามาศ กอดสะอาด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	10
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	10
1.2 วัตถุประสงค์.....	12
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	12
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 เส้นใยไฟ (Bamboo Fiber)	15
2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA).....	18
2.3 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene).....	23
2.4 วัสดุคอมโพสิต (Composites).....	24
2.5 กระบวนการการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding).....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	28
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	28
3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	29
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	30
3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพและสมบัติเชิงกล.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	36
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเฟอร์เรนเซียลสแกน นิงแคลริเมตรีของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิ- โพรพิลีนและเติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	36
4.2 ผลลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด กับพอลิโพรพิลีนและเติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	38
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติก แอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	40
4.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยไฟเบอร์และวัสดุคอมโพสิต.....	43
4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิ แลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ด้วยเทคนิค ดีพีเฟอร์เรนเซียลสแกนนิงแคลริเมตรี.....	45
4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติก แอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี.....	45
4.7 ผลลักษณะพื้นฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด กับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์.....	47
4.8 ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด กับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	77

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์.....	18
ตารางที่ 2.2	สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด สำหรับกระบวนการขึ้นรูป.....	21
ตารางที่ 4.1	สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิคดีเฟอว์เรนเชียลสแกน นิงแคลอริเมตรี.....	37
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติก แอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ และเติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮ ไดรด์เป็นสารเชื่อมประสาน.....	40
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพ อลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ และเติมพีพีกราฟ มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสาน.....	41
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบค่าการทนทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิ แลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ และเติมพีพีกราฟมาเลอิก แอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสาน.....	42
ตารางที่ 4.5	สมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต.....	45
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลค ติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	48
ตารางที่ 4.7	ผลทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิ แลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ	48

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ไฟต์ง..... 15
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของเส้นใยไฟ..... 16
รูปที่ 2.3	ผลิตภัณฑ์จากไฟ..... 18
รูปที่ 2.4	กระบวนการเกิดพอลิแลคติกแอซิดผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน..... 19
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด..... 20
รูปที่ 2.6	อุณหภูมิกลาสทรานสิชันและอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอไรเซชัน..... 21
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด..... 22
รูปที่ 2.8	สูตรโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน..... 23
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอไรสม PLA/PP..... 30
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมวัสดุคอมโพสิต..... 31
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยไฟ..... 32
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการปรับสภาพผิวเส้นใยไฟ..... 32
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการคัดขนาดเส้นใยไฟ..... 33
รูปที่ 3.6	ชิ้นงานดัมเบล..... 34
รูปที่ 3.7	ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงกระแทก..... 35
รูปที่ 4.1	ลักษณะฐานฐานวิทยาของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ พอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ ที่ เติมและไม่เติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์..... 38
รูปที่ 4.2	ลักษณะฐานฐานวิทยาของพอลิเมอไรสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพร พิลีนและเติมพีพีกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณต่าง ๆ..... 39
รูปที่ 4.3	ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใยไฟ..... 44
รูปที่ 4.4	คอมพาวด์ของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและ เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟที่ปริมาณต่าง ๆ..... 44
รูปที่ 4.5	สเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและ เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟที่ปริมาณต่าง ๆ..... 46
รูปที่ 4.6	ลักษณะฐานฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิ โพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟ (กำลังขยาย 2,000 เท่า)..... 47



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ทั้งรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นของใช้และบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากพลาสติกมีน้ำหนักเบา ราคาถูก และนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ได้ ในปัจจุบันอัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมประเภทอื่นมีปริมาณการใช้ที่สูงกว่า บรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่ทำมาจากส่วนประกอบหลักเป็นพลาสติกซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่ผลิตด้วยวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีซึ่งต้องใช้ระยะเวลาการย่อยสลายหลายร้อยปี ปัญหาดังกล่าวส่งผลให้ขยะที่ถูกทิ้งมีปริมาณเพิ่มในแต่ละปี พบว่าทั่วโลกมีขยะถูกทิ้งเป็นปริมาณหลายล้านตัน แนวทางที่ใช้กำจัดขยะโดยทั่วไป คือการฝังกลบ การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการเผาทำลายซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาของภาวะโลกร้อน จากปัญหาดังกล่าวพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีความต้องการมากขึ้น เพื่อทดแทนพลาสติกจากปิโตรเลียม พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาปัญหาสิ่งแวดล้อมรวมถึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีศักยภาพทางการค้า และมีปริมาณการผลิตเพียงพอสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid), PLA)

พอลิแลคติกแอซิด สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติกที่มาจากการนำวัสดุทางการเกษตรที่ปลูกทดแทนได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น มาหมักและทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพอลิเมอร์ที่มีศักยภาพทางการค้า [1-3] มีสมบัติเชิงกลที่ดีสามารถขึ้นรูปได้ง่าย และรวมถึงความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นข้อดีที่นำพอลิแลคติกแอซิดมาประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรม [4] แต่มีความแข็งแรง การทนแรงกระแทกต่ำ ความเสถียรทางความร้อนต่ำ [5] ทำให้การประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นอุปสรรคที่สำคัญ รวมถึงสมบัติบางประการที่ยังไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปได้ เช่น มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงมาก มีความเป็นผลึกสูง จึงแข็งแต่เปราะ ดัชนีการไหลต่ำ ความหนืดสูง เป็นต้น ซึ่งเป็นอุปสรรคในกระบวนการต่าง ๆ ของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของ PLA จึงมุ่งเน้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้

พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดี เช่น ความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงที่ผิวหน้าสูง ความต้านทานการขีดข่วนสูง สมบัติทางไฟฟ้าดี รวมถึงสมบัติเชิงกลที่ดี ราคาที่ต่ำ

ปริมาณในการผลิตมากด้วยกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ระหว่างการผลิตไม่มีการปลดปล่อยสารพิษ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความปลอดภัยและความสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ดังนั้นพอลิโพรพิลีนจึงนำมาใช้ในการผลิตและเตรียมเป็นวัสดุคอมโพสิตหรือพอลิเมอร์ผสมที่หลากหลาย เช่น อุปกรณ์ในบ้าน ชิ้นส่วนรถยนต์ งานอครีค บรรจุก๊าซและโครงสร้างต่าง ๆ เป็นต้น [6, 7] พบว่าอุตสาหกรรมยานยนต์และโครงสร้างในงานก่อสร้างนิยมใช้วัสดุคอมโพสิตระหว่าง PP กับเส้นใยธรรมชาติ เช่น วัสดุทำรั้ว (Fencing) ชั้น (Decking) เฟอร์นิเจอร์กลางแจ้ง ชิ้นส่วนหน้าต่าง ขอบหลังคา ประตู และผนัง เป็นต้น [8] ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานดังกล่าว วัสดุคอมโพสิตนอกจากสมบัติด้านความแข็งแรงแล้วยังต้องการสมบัติความต้านแรงดึง และความเหนียวที่สูงด้วย [9-11]

เส้นใยธรรมชาติ ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากข้อดีหลายอย่าง เช่น ราคาต่ำ ความหนาแน่นต่ำ Specific Strength อยู่ในช่วงยอมรับได้ มีสมบัติความเป็นฉนวนทางความร้อนที่ดี ย่อยสลายได้ และเป็นวัสดุที่ปลูกทดแทนได้ [12] เส้นใยที่นิยมใช้เป็นวัสดุเสริมแรงได้แก่ เส้นใยปอกระเจา (Jute), ป่าน (Flax), ป่านศรนารายณ์ หรือ ป่านไซซอล (Sisal), ปอแก้ว (Kenaf), เส้นใยอากาเว่ (Henequen), เส้นใยมะพร้าว (Coconut) และเส้นใยไผ่ (Bamboo) [13-14]

ไผ่พบมากในทวีปเอเชีย และในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ด้วย ราคาถูกและเป็นพืชที่โตเร็วมาก ใช้เวลาเพียง 6-8 เดือน ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าพืชทั่วไปถึง 5% ไผ่จำนวนมากมากกว่า 1200 ชนิด ปลูกกระจายไปทั่วโลก คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 18 ล้านเฮกตาร์ และหากไผ่เข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นไผ่สำเร็จรูปแล้วใน 1 เฮกตาร์ ได้ผลิตภัณฑ์ประมาณ 10-15 ตัน ไผ่จึงนิยมนำมาใช้งานโครงสร้าง เฟอร์นิเจอร์ [15] เส้นใยไผ่ (Bamboo fiber, BF) เป็นเส้นใย Lingo-cellulosic ที่สำคัญ มีศักยภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในการเสริมแรงให้กับวัสดุ เนื่องจากสมบัติของไผ่นั้น ความหนาแน่นต่ำ ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูง (Tensile Modulus) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดต่ำ (Elongation at Break) รวมถึงค่าความแข็งตึง (Stiffness) และค่าความต้านทาน (Strength) เทียบได้กับเส้นใยแก้ว [16]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ เริ่มจากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ และศึกษาปริมาณการเติมสารเชื่อมประสาน ได้แก่ พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) เนื่องจากปัญหาการแยกเฟส ความเป็นขั้วต่างกันและผสมไม่เข้ากันของพอลิโพรพิลีนและพอลิแลคติกแอซิด เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและลักษณะฐานวิทยาแล้ว การวิจัยส่วนที่สองคือ ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมการเติมเส้นใยไผ่ในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีน สำหรับการเติมเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยไผ่ เพิ่มเป็นสารเพิ่มเนื้อ เพิ่มความแข็งแรง และเพิ่มสีสันลดค่าใช้จ่ายกับผลิต

ภัณฑ์ เนื่องจากปัจจุบันผู้บริ โภค/ลูกค้าให้ความสนใจเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การ
เติมวัสดุจากธรรมชาติ จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นจุดเด่น/ดึงดูดลูกค้า
เพิ่มความแข็งแกร่งของตลาด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติก
แอซิดและพอลิโพรพิลีนที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด

1.2.2 เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของการเติมเส้นใยใฝ่ในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติก
แอซิดและพอลิโพรพิลีนที่มีการเติมสารเชื่อมประสานพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ขึ้นรูป
ด้วยกระบวนการฉีด

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิ
แลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมสารเชื่อมประสานพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์และ
เติมเส้นใยใฝ่เป็นสารเสริมแรง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ตอนที่ 1 หาปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสม

1.3.1 หาอัตราส่วนของสารเชื่อมประสานและปริมาณที่เหมาะสม โดยเตรียมพอลิเมอร์ผสม
ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณ
ต่าง ๆ ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ดังนี้

1) อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีน ได้แก่
100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100

2) ปริมาณของพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่เติมเป็นสารเชื่อม
ประสานเป็น 1, 3 และ 5 phr

1.3.2 ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีน
ที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่

1) ทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) ทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่

- ความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638-84

- ความทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D265-8

ตอนที่ 2 การเตรียมคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยไผ่

1.3.3 เตรียมคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีนที่เชื่อมประสานด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และเติมเส้นใยไผ่ด้วยกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ ดังนี้

1) อัตราส่วนของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีนเชื่อมประสานด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1

2) ปริมาณสารเสริมแรงจากเส้นใยไผ่เป็น ได้แก่ 5, 10 และ 20 phr

1.3.4 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปจากวัสดุคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์และเติมเส้นใยไผ่เป็นสารเสริมแรง

1.3.5 ทดสอบสมบัติต่าง ๆ จากคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์และเติมเส้นใยไผ่เป็นสารเสริมแรง ได้แก่

1) ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) สมบัติทางความร้อน โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) สมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

4) สมบัติเชิงกล ได้แก่

- ความทนทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D265-8

- ความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638-84

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ปริมาณการเติมเส้นใยไฟเบอร์ที่เหมาะสมในคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสานและเติมเส้นใยไฟเบอร์เป็นสารเสริมแรง

1.4.2 ได้คอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสานและเติมเส้นใยไฟเบอร์เป็นสารเสริมแรงที่ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยไผ่ (Bamboo Fiber) [17]

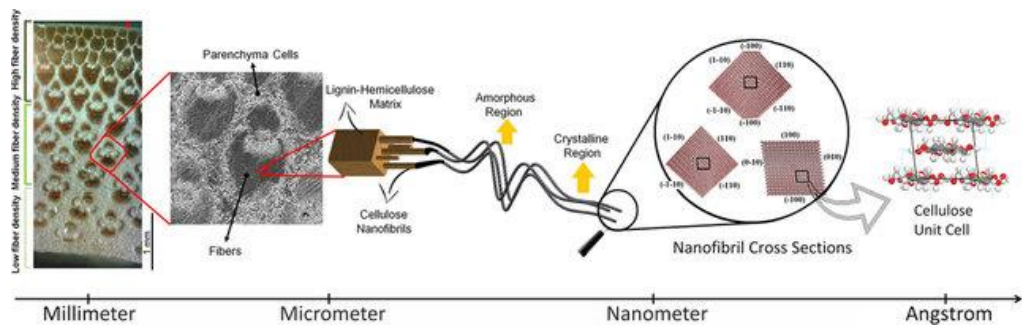
ไผ่ เป็นไม้พุ่มที่มีความหลากหลายชนิดและหลากหลายสกุลใน วงศ์หญ้า วงศ์ย่อย Bambusoideae ลักษณะไผ่ คือ เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ขึ้นเป็นกอ ลำต้นเป็นปล้อง เช่น ไผ่ป่า ไผ่ดำ ไผ่จีน ไผ่สีสุก และ เป็นต้น ถือเป็นพืชเศรษฐกิจอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ การขยายตัวมีปริมาณสูง เนื่องจากไผ่ปลูกง่าย โตเร็ว ใช้เวลาในการเพาะปลูกสั้น



รูปที่ 2.1 ไผ่ตง

2.1.1 โครงสร้างของเส้นใยไผ่

จากรูปที่ 2.2 วิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยไผ่ ประกอบไปด้วย Parenchyma Matrix เป็นส่วนที่ล้อมรอบเส้นใยรองรับเส้นใยให้คงรูปและเสริมความแข็งแรงให้กับเส้นใย ในส่วนของเส้นใยผนังนอกสุดประกอบด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ล้อมรอบนาโนเซลลูโลส (มีส่วนช่วยของออสซิลลูสและส่วนที่เป็นผลึก) ซึ่งเซลลูโลสเป็นการรวมกันของกลูโคสจำนวนมาก (มากกว่า 20,000 หน่วยขึ้นไป)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเส้นใยไฟ [18]

2.1.2 ประโยชน์ของการใช้งานเส้นใยไฟ [19]

1. ใช้ในงานก่อสร้าง ลำต้นไฟขนาดใหญ่เนื้อไม้หนา ปล้องสั้นมักถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างซึ่งต้องใช้ความแข็งแรง คงทน และรับน้ำหนักมาก เช่น เสา ฝาผนัง หลังคา และพื้น มีการนำในมาใช้ก่อสร้างสะพาน และทำนั้งร้าน ใช้เป็นส่วนประกอบของบ้านแบบต่าง ๆ ของชนพื้นเมืองซึ่งรูปแบบและรูปทรงที่ต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศและวัฒนธรรม เช่น บ้านในจีน ไทย อินเดีย และแอฟริกา มีการปลูกสร้างบ้านจากไม้ไฟที่มีรูปทรงต่างกัน มีการใช้ไม้ไฟทั้งลำในการก่อสร้างหรืออาจผ่าครึ่ง หรือผ่าซีกให้เป็นขนาดต่าง ๆ กัน แล้วนำมาจักสานเป็นแผ่น

2. ใช้ทำตะกร้า มีการนำไม้ไฟมาผ่าเป็นชิ้นขนาดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นโครงของตะกร้าหรือกระจาด แล้วนำชิ้นที่แบนบางมาสานเป็นลวดลายต่าง ๆ สำหรับทำภาชนะบรรจุสิ่งของรวมทั้งกระดังที่ใช้สำหรับตากอาหาร หรือฝัดแยกเมล็ดพืช และทำเป็นแข่งใส่ผัก ผลไม้ เป็นต้น

3. ใช้เป็นอาหารจำพวกผัก หน่ออ่อนที่เจริญจากตาข้างของเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ถูกนำมาใช้บริโภคเป็นอาหารจำพวกผักที่เรียกว่า หน่อไม้ สามารถนำไปปรุงเป็นอาหารได้หลายประเภท เช่น หน่อไม้ดอง ผัดกับเนื้อสัตว์ แกงจืด เป็นต้น แต่หน่อไม้มักจะเจริญเติบโตออกมาจากเหง้าใต้ดินในช่วงฤดูฝนจึงมีการถนอมอาหารไว้ในรูปของหน่อไม้ดอง เพื่อที่จะบริโภคได้ตลอดปี ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกหน่อไม้ไฟบง หรือไฟตง (*Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne) รายใหญ่ที่สุดของโลก เนื่องจากเป็นไฟที่รสหวาน กรอบอร่อย ไม้ขม จนกระทั่งมีชื่อเรียกท้องถิ่นว่า ไฟหวาน นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีหน่อไม้จากไฟรวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) ที่ใช้บริโภค และถูกยัดอายุหรือถนอมอาหารเป็นหน่อไม้อัดปีบหรืออัดกระป๋องด้วย

4. ใช้ผลิตกระดาษ เป็นเวลาหลายศตวรรษมาแล้วที่ชาวจีนประดิษฐ์กระดาษจากไม้ไฟ และชาวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ก็ได้รับความรู้ี้มาจากประเทศจีน ไฟที่นิยมนำมาทำกระดาษ คือไฟป่า หรือไฟหนาม ไฟสีสุก และไฟซาง

5. ใช้ทำเครื่องดนตรี การนำไม้ไผ่มาทำเครื่องดนตรีนั้น ถือเป็นศิลปวัฒนธรรมดั้งเดิมของชาติในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเครื่องดนตรีที่ใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้างหลัก หรือเป็นส่วนประกอบได้แก่ เครื่องดีหรือเครื่องเขย่า (Idiophones) เช่น ลูกกระพรวน ลูกกระพรวน จากไผ่ตง หรือไผ่บง (*Dendrocalamus asper*) อังกะลุง ขนาดต่างๆ จากไผ่ดำ (*Gigantochloa artroviolaceae*) และไผ่ชนิดที่อยู่ในสกุลเดียวกัน นอกจากนี้ไผ่ดำที่มีขนาดกลางลำต้นขนาดใหญ่ยังถูกนำมาใช้ประดิษฐ์เป็นกลองด้วย เครื่องเป่าลม (Aerophones) ได้แก่ แตรที่ให้เสียงต่ำซึ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่มาเชื่อมต่อกัน แคนที่ทำขึ้นจากไผ่เอี้ยะหรือไผ่โป (*Schizostachyum*) ขลุ่ยของเอเชียที่ประดิษฐ์จากไม้ไผ่ และยังมีเครื่องสาย (Chordophones) ชนิดต่าง ๆ ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากไม้ และมีไม้ไผ่เป็นส่วนประกอบ เช่น จะเข้ พิณ ซึง และซอ

6. งานศิลปหัตถกรรม ในปัจจุบันนี้งานศิลปหัตถกรรมถือเป็นงานในครัวเรือนที่เป็นที่นิยมชมชอบ และสามารถจำหน่ายได้มากขึ้น งานที่ประดิษฐ์จาก ไม้ไผ่ ได้แก่ เสื้อโป๊โต๊ะกันความร้อนจากชามบรรจุอาหาร กระเป่าถือ หมวก และเครื่องใช้ไม้สอยที่ใช้สำหรับทอผ้า งานส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นจาก ไม้ไผ่ที่ถูกผ่าเป็นซีก หรือผ่าแล้วเหลาเกลาให้เป็นชิ้นบางๆ ก่อนนำมาประกอบเป็นโครงหรือจักสานเป็นลวดลายต่าง ๆ แต่งานบางอย่างอาจใช้ลำต้นและลำต้นใต้ดินทั้งหมดมาประดิษฐ์ตกแต่งแทน เช่น แจกัน ที่เขียนหรี กลองบรรจุของหลากหลายขนาด ไม้ไผ่ที่ถูกนำมาใช้ในงานจักสานได้แก่ *Bambusa atra*, *Gigantochloa apus*, *G. scortechinii*, *Schizostachum latifolium* ซึ่งมีเส้นใยยาวและยืดหยุ่นได้ดี ส่วนการนำมาแกะสลัก ได้แก่ ไผ่งาช้าง (*Bambusa vulgaris*) ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*) และไผ่เกรียบ (*Schizostachum brachycladum*)

7. เครื่องเรือน มีการนำไม้ไผ่มาทำเครื่องเรือนต่าง ๆ ภายในบ้านเรือน ได้แก่ ตู้ เตียง โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นวางของ ต่าง ๆ ซึ่งนิยมใช้ไม้ไผ่ที่มีลำใหญ่ตรง แข็งแรง ได้แก่ ไม้ไผ่ในสกุล *Bambusa* สกุล *Dendrocalamus* และสกุล *Gigantochloa*

8. การปลูกเพื่อใช้เป็นแนวรั้วบ่อเขต แนวป้องกันแนวลมและใช้ตกแต่ง ลักษณะไผ่มีทั้งกอและทรงพุ่มเหมาะสมสำหรับนำมาปลูกเป็นรั้ว ได้แก่ ไผ่รวก (*Thyrsostachys Siamensis*) และ ไผ่เลี้ยง (*Bambusa Multiplex*) หลายชนิดเป็นพุ่มทรงสวยงามโดยนิยมนำมาปลูกประดับ ได้แก่ ไผ่เลี้ยง ไผ่เหลือง ไผ่เกรียบ ที่มีหนามแหลม เช่น ไผ่หนาม (*Bambusa bambos*) นิยมปลูกเป็นแนวรั้วกันขโมยบริเวณรอบบ้าน หมู่บ้าน และสวนผลไม้ รวมทั้งป้องกันสัตว์ป่าเข้ามาทำร้ายหรือทำลายทรัพย์สินด้วย



<https://www.thaitambon.com>

<https://www.lnwmall.com/product>



<https://www.thaitambon.com>



Courtesy of archifest 2018,
Chiang Mai Life Construction Website

รูปที่ 2.3 ผลิตภัณฑ์จากไผ่

นอกจากผลิตภัณฑ์ข้างต้นแล้ว ยังมีการนำเส้นใยไผ่มาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับวัสดุอื่นๆ ด้วย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ [20]

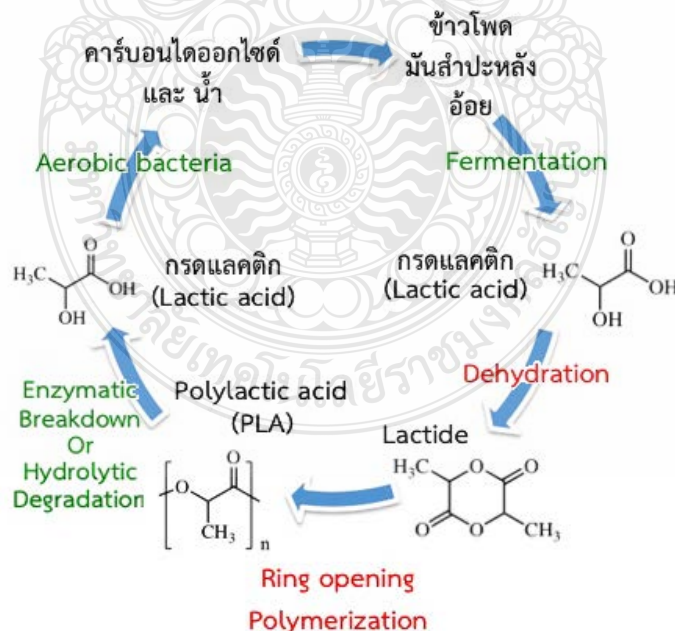
Table 3
Mechanical properties of bamboo fibre based reinforced composites.

Bamboo fibre based biocomposites	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)	Reference
BF (30%) + PP	25.80 ± 60.37	1.357 ± 0.9	45.49 ± 0.88	2077 ± 4	[74]
BF (30%) + MA-g-PP	37.37 ± 0.47	1.37 ± 0.6	56.73 ± 0.49	2929 ± 5	
BF + MA-PP	35.1 ± 2.42	4.69 ± 0.55	-	-	[7]
BF + EP	86.57	-	119.69	11901.11	[53]
BF + EP + NaOH	135.00	-	149.00	9500.00	
BF + PE	126.2	2.48	128.5	3700.00	[52]
BF (30%) + HDPE	25.47	2.674	27.86	2911.70	[80]
BF 30% + HDPE-MA	28.54	2.878	53.76	4313.0	
BF (40%) + IUP	-	-	38.7 ± 4.8	4004.8 ± 216.7	[81]
BF + PE	74	-	107	4373	[56]
BF + EP	86	-	119	11901	[55]
BF + EP/PE	135	-	149	9500	[82]
BF (30%) + PP+	43.96	1240.20	45.42	1920.75	[83]
Bamboo (30%) + PP-MA	46.65	1425.55	52.30	2096.95	
BS (60%) + PP	-	-	19.15 ± 1.4	3.13 ± 0.16	[71]
BF + EP	87	-	107	11901	[53]
BF-EP-NaOH (5%)	135	-	154	9500	

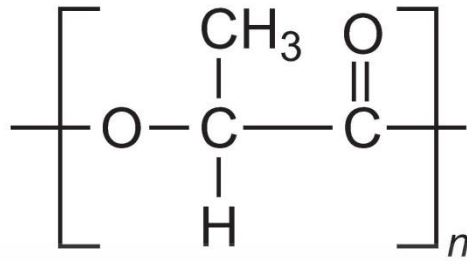
BF = bamboo fibre; BS = bamboo strips; PP = polypropylene; MA-g-PP = maleic anhydride grafted polypropylene; EP = epoxy; PE = polyester; HDPE = high density polyethylene; IUP = isophthalate unsaturated polyester resin.

2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid) [21]

พอลิแลคติกแอซิด เป็นพอลิเอสเทอร์สายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงเป็นวัตถุดิบในผลิต ซึ่งทรัพยากรที่ใช้ไปสามารถสร้างชิ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง รูปที่ 2.5 แสดงสูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด พอลิแลคติกแอซิด ถือเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการอัดกด กระบวนการฉีด กระบวนการอัดรีด และกระบวนการเป่า เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิแลคติกแอซิด ภายหลังการใช้งานสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมี วัฏจักรการสลายตัวของพอลิแลคติกแสดงในรูปที่ 2.4 ในอดีตพอลิแลคติกแอซิดนิยมใช้ทางการแพทย์ เช่น อุปกรณ์การปลูกถ่ายอวัยวะ (Implant Devices) วัสดุค้ำจุนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue Scaffolds) และไหมละลาย (Sutures) เพราะมีต้นทุนในการผลิตสูง หาได้ยากและน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้สมบัติทางกลต่ำ ต่อมามีการพัฒนาช่วยให้สามารถผลิตพอลิแลคติกแอซิดในเชิงพาณิชย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น มีสมบัติเชิงกลที่ดี ย่อยสลายตัวทางชีวภาพและผลิตได้จากวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ได้ พอลิแลคติกแอซิด จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้มีแนวโน้มนำมาใช้ทดแทนพลาสติกจากปิโตรเคมี



รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันพอลิแลคติกแอซิด [21]



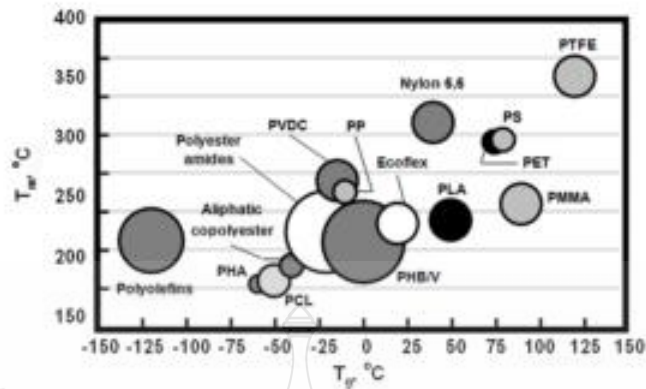
รูปที่ 2.5 โครงสร้างพอลิแลคติกแอซิด [21]

2.2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

1) สมบัติการละลาย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในสายโซ่ของพอลิเมอร์และระดับความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำ แอลกอฮอล์ รวมถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอริเนเตทและฟลูออรีเนเตท ไดออกเซน ไดออกโซเลน ฟูเรน อะซิโตน ไพรดีน เอทิลแลกเตท เอทิลอะซิเตท เตตระไฮโดรฟูแรน ไซลีน และเมทิลเอทิลคีโตน เป็นต้น

2) สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พอลิแลคติกแอซิดมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 มีความเปราะมาก แต่มีความคงรูป (Stiffness) และมีความแข็งแรงสูง (Strength) หากนำพอลิแลคติกแอซิดมาผ่านการดึงยืด (Oriented) จะมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethyleneterephthalate, PET) แต่ดีกว่าพอลิสไตรีนที่ผ่านการดึงยืด (Oriented PS) สำหรับพอลิแลคติกแอซิด มีค่ามอดูลัสของการทนต่อแรงดึงและค่าการดัดโค้ง (Tensile and Flexural Moduli) มากกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) แต่มีค่าความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ

3) สมบัติทางความร้อน ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิการหลอมผลึก (T_m) ของพอลิแลคติกแอซิดมีค่าค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป ดังรูปที่ 2.6 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนระหว่างอีแนนซีโอเมอร์ (L:D ratio) โดยพบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลและการผสมแอลอีแนนซีโอเมอร์เข้ากับดีอีแนนซีโอเมอร์ ทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มลดต่ำลง



รูปที่ 2.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมผลึก

4) สมบัติด้านทานการซึมผ่านของก๊าซ (Barrier Properties) ของพอลิแลคติกแอซิด ใกล้เคียงกับบรรจุก๊าซพอลิเมอร์ทั่วไป เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจนผ่านได้ของ PLA มีค่าน้อยกว่าพอลิสไตรีน (PS) แต่สูงกว่าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) ส่วนการยอมให้น้ำซึมผ่านมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิด เกรดจีดี [22]

สมบัติทางกายภาพ	Ingeo Resin	ASTM Method
Specific Gravity	1.24	D792
MFR, g/10 min (210°C, 2.16kg)	22	D1238
Clarity	Transparent	
สมบัติเชิงกล	Ingeo Resin	ASTM Method
Tensile Yield Strength, psi (MPa)	9,000 (62)	D638
Tensile Elongation, %	3.5	D638
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16.0)	D256

2.2.2 การประยุกต์ใช้งานของพอลิแลคติกแอซิด [21]

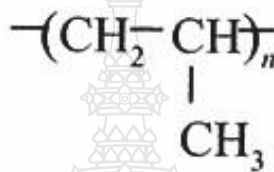
1. ด้านการแพทย์ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures) ตัวสำหรับเย็บแผล (Staples) วัสดุปิดแผล (Wound Dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical Implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic Fixation Devices)
2. ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช แผ่นฟิล์มห่อหุ้ม และวัสดุปลดปล่อยยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ยตามเวลาที่กำหนด
3. ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำ แก้ว ถุงพลาสติก กล่องโฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ
4. ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ Non-Woven เช่น ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เครื่องนอนที่บรรจุเส้นใย
5. ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers) แผ่นรองพื้น (Floor Mats) อุปกรณ์ตกแต่งภายใน



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด (ที่มา:<https://www.sync-innovation.com/>)

2.3 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) [23]

พอลิโพรพิลีน สังเคราะห์จากโพรพิลีนด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโคออร์ดิเนต เพื่อให้ได้โครงสร้างเป็นระเบียบและมีความเป็นผลึกสูง ทำให้มีความแข็งแรง ในทางการค้านิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีเกลอร์เนตตา เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบไอโซแทกติก มีการปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนด้วยการเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่น ๆ เช่น เอทิลีน เพื่อเพิ่มการทนทานต่อการโค้งงอ และการทนต่อแรงกระแทก ทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดี รวมถึงเป็นฉนวนไฟฟ้าด้วย รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน

2.3.1 สมบัติของพอลิโพรพิลีน

- 1) มีความแข็ง เปราะและแตกหักง่ายน้อยกว่า HDPE และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า LDPE มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปง่าย
- 2) มีลักษณะขาวขุ่น ไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน (PE) แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน (PS)
- 3) มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย ในช่วง 0.855 - 0.946 g/cm³ จึงสามารถลอยน้ำได้
- 4) มีจุดหลอมเหลวสูง 130–171 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการใช้งานฆ่าเชื้อ (Sterilization) ที่ 100 องศาเซลเซียสได้
- 5) เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี (ในช่วงการใช้งานที่อุณหภูมิสูง)
- 6) มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- 7) ทนทานต่อสารเคมี ได้แก่ กรด ต่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะพองตัว อ่อนนุ่ม ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนหรือไฮโดรคาร์บอนทั้งชนิดอะโรมาติกและอะลิฟาติก เนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่มีขั้วของพอลิโพรพิลีนทำให้สามารถดูดซึมสารที่ไม่มีขั้วได้ดี แสดง

3. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous polymer composites) เป็นเกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมทริกซ์ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) เส้นใยอินทรีย์ (Organic Fiber) เช่น เส้นใยอะรามิด (Aramid Fiber) เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) เป็นต้น

2.4.1 เมทริกซ์ (Matrix)

เมทริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยหล่อหุ้มและยึดสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมทริกซ์มักจะมีคุณสมบัติความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าสารเสริมแรง เมทริกซ์ควรสามารถมีแรงกระทำต่อสารเสริมแรงได้ หน้าที่ของเมทริกซ์ ได้แก่

- 1) ให้สารตัวเติมหรือสารเสริมแรงกระจายตัวและยึดเกาะตามทิศทางที่ต้องการ
- 2) ป้องกันไม่ให้สารเสริมแรงเกิดความเสียหายอันเนื่องจากสิ่งแวดล้อม
- 3) ทำหน้าที่ถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกไปสู่สารเสริมแรง
- 4) ช่วยกำหนดรูปร่าง

2.4.2 สารเสริมแรง (Fillers and Reinforcement)

สารเสริมแรงเป็นเคมีภัณฑ์ที่ผสมลงในพอลิเมอร์ด้วยเหตุผลเฉพาะบางประการ คือ

- 1) ช่วยผลิตและขึ้นรูป
- 2) ช่วยเสริมพอลิเมอร์ให้มีสมบัติดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลและสมบัติการนำไฟฟ้า
- 3) ช่วยป้องกันพอลิเมอร์จากการเสื่อมสภาพหรือการสลายตัว
- 4) สามารถกำหนดสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะลงมือผลิต

นอกจากนี้ยังใช้เพื่อประโยชน์อื่น ๆ เช่น ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดในขั้นตอนผลิต (ลดปริมาณเมทริกซ์) ปรับปรุงสมบัติบางประการทั้งในด้านสมบัติเชิงกล และสมบัติการนำไฟฟ้า และปรับปรุงสีของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ เป็นต้น

2.5 กระบวนการการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) [26]

หลักของเครื่องฉีดขึ้นรูป คือ เมื่อเม็ดพลาสติกแข็งถูกป้อนเข้าไปในช่องเติมพลาสติก (Hopper) จะถูกทำให้หลอมเหลวด้วยความร้อนที่เข้าไปโดยตรงที่บริเวณต่างๆ ของกระบอกเครื่องฉีด (Barrel) และจากความร้อนจากแรงเสียดทานระหว่างพลาสติกและเกลียวหนอน (Screw) ที่หมุน ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของพลาสติกหลอมเหลวผ่านช่องว่างแคบ ๆ ของฟันเกลียวหนอน (Screw Flight) จะทำให้เกิดการหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้นตลอดจนถึงสู่ระยะของเกลียวหนอน และลักษณะการเคลื่อนที่ของเกลียวหนอนจะทำให้เกิดการสะสมของพลาสติกหลอมเหลวบริเวณส่วน

หน้าของเกลียวหนอน จากนั้นเกลียวหนอนจะหยุดหมุน โดยมีการเลื่อนวงแหวนกั้นการย้อนกลับ (Back-flow stop valve) ลงมาล็อกที่บริเวณด้านหน้าของเกลียวหนอนไว้ แล้วเกลียวหนอนจึงเปลี่ยนลักษณะการทำงานเป็นเหมือนลูกสูบ (Piston-like) เพื่อฉีดพลาสติกหลอมเหลวผ่านหัวฉีด (Nozzle) เข้าไปยังช่องว่าง (Cavity) ที่เจาะไว้เป็นรูปร่างของชิ้นงานในแม่พิมพ์ที่ปิดสนิทด้วยความดันจากระบบไฮดรอลิก และมีระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการแข็งตัวและมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่ การไหลพอลิเมอร์หลอมเหลวขณะที่อยู่อุณหภูมิสูง เรียกรวมการไหลแบบ Fountain Flow ซึ่งพอลิเมอร์เกิดการไหลเข้าแม่พิมพ์ภายใต้แรงเฉือนจึงทำให้ชิ้นงานที่ออกมาพอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่ได้ดี เมื่อหลอมเหลวและถูกเติมจนเต็มช่องว่างแล้วก็จะมีการคงความดันจากแรงฉีดอยู่ระยะเวลาหนึ่งในระหว่างการหล่อเย็นชิ้นงาน (Cooling stage) เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมเหลวแข็งตัวเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามแม่พิมพ์ จากนั้นเกลียวหนอนก็จะเคลื่อนที่กลับ แม่พิมพ์จะเปิดออก ชิ้นงานพลาสติกที่แข็งตัวก็จะถูกกระทุ้งออกมาโดยตัวกระทุ้ง (Ejector pin) จากนั้นก็เป็นการเริ่มต้นทำงานใหม่เมื่อแม่พิมพ์ปิดประกบเข้ากันอีกครั้งหนึ่ง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 2010 Zhang Ying-Chaen และคณะ [26] ศึกษาการเตรียมคอมพอลิติกจากพอลิโพรพิลีนกับพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยไหมเป็นสารเสริมแรง เพื่อให้ได้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก PLA สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและการเติมเส้นใยไหมที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติเช่นเดียวกัน และเติมพอลิโพรพิลีนกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์ช่วยเป็นสารเชื่อมประสานทำให้ผิวหน้าระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใยไหมเข้ากันได้ดี ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ PP/PLA/BF/PP-g-MAH คือ 48.75/13/35/3.25

ปี 2011 Abdullah A. Mamun และคณะ [27] ศึกษาการเตรียมคอมพอลิติกจากพอลิแลคติกแอซิดถูกเสริมแรงจากเส้นใยขนาดไมโครและขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป เส้นใยที่นำมาใช้เสริมแรงถูกปรับสภาพจากกระบวนการทางเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับบัพเฟอร์ฟอสเฟต และมีการใช้เอมไซม์เพื่อปรับสภาพผิวเส้นใยด้วย เติมเส้นใยเสริมแรงถึง 40 wt% ลงในวัสดุคอมพอลิติก ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานวิทยาพื้นผิวของเส้นใยและขนาดของอนุภาคเส้นใยไมโครด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาสมบัติเชิงกลสำหรับวัสดุคอมพอลิติก ได้แก่ การทนทานต่อแรงดึง ความยืดหยุ่น การทนทานต่อแรงกระแทก สมบัติทางความร้อนเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอลิติกจาก PLA กับคอมพอลิติกจาก PP

ปี 2014 Ezequiel Pérez และคณะ [28] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานของเอนไซม์สำหรับเส้นใยที่ต่างกันและตรวจสอบผลกระทบของการปรับเปลี่ยน

การทำงานจากเอนไซม์ กำจัดวัสดุที่ไม่พึงประสงค์บนพื้นผิวเส้นใย การปรับเปลี่ยนการยึดเกาะที่ดีขึ้น รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสและคุณสมบัติความแข็งแรงของ PP และ PLA Composites ในกรณีของ PP Composites คุณสมบัติของเอนไซม์ถูกปรับเปลี่ยน เส้นใยคอมโพสิตสามารถนำมาเปรียบเทียบกับสารประกอบ MA-PP ได้

ปี 2014 Nina Graupner และคณะ [29] ได้ศึกษาผลของลิกนินที่สามารถทำให้การยึดเกาะมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างเส้นใยที่ชอบน้ำและเมทริกซ์ไม่ชอบน้ำมากขึ้น ผลพันธะของลิกนิน ถูกปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดในด้านทรงเดือนสัมผัสของเส้นใยลิกนินที่ได้รับการปรับปรุง ได้รับการยืนยันสำหรับ Lyocell ใน PLA, MAPP และ PP เมทริกซ์ กับการทดสอบเส้นใยเดี่ยว เช่นเดียวกับวัสดุผสมระหว่าง Lyocell / PLA ในการปรับปรุงเส้นใยหรือเมทริกซ์จะขึ้นอยู่กับสามลักษณะดังนี้

1. ในกรณีของ PLA เมทริกซ์ มีความหนืดต่ำจะได้รับโดยการเพิ่ม 2% ของ Eucalyptus Globulus Lignin จะคล้ายกับ PP และ MAPP เมทริกซ์
2. อนุภาคของลิกนินบนเส้นใยพื้นผิวที่มีความเฉพาะเจาะจงที่สูง ซึ่งใช้ได้กับพันธะซึ่งเกิดระหว่างเส้นใย และเมทริกซ์ได้
3. ปรับปรุงปฏิริยาเคมีระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ให้เกิดปฏิริยาได้ง่าย กลุ่ม nonpolar ของลิกนิน ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ PLA และ PP โดยแรง Van-Der-Waals กับเซลล์โลสของกลุ่มเอสเทอร์ และสารประกอบของ MAPP ผ่านแรงไดโพลและพันธะไฮโดรเจน

การใช้งานของลิกนินในงานคอมโพสิตจากงานวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงแรงดึงที่ดีขึ้นของวัสดุผสมระหว่าง Cotton / PLA ผลของมันแสดงให้เห็นว่าลิกนินมีความน่าสนใจสำหรับทำปฏิริยาของวัสดุผสมระหว่างเส้นใยเพื่อใช้เสริมแรง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิโพรพิลีน (PP) ที่มีพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) เป็นสารเชื่อมประสานและเติมเส้นใยไฟเบอร์ (BF) เป็นสารเสริมแรงและขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 รวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน

3.1.3 จัดหาเม็ดพลาสติก สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4 หาอัตราส่วนและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสม โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA และ PP ที่เติม PP-g-MAH ที่ปริมาณต่าง ๆ ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ดังนี้

1) อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PLA และ PP ได้แก่ 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก

2) ปริมาณของ PP-g-MAH ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็น 1, 3 และ 5 phr

3.1.5 ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH ที่ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่

1) ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) สมบัติเชิงกล ได้แก่

- ความทนทานต่อแรงดึงด้วยมาตรฐาน ASTM D638-84

- ความทนทานต่อแรงกระแทกด้วยมาตรฐาน ASTM D265-8

3.1.6 เตรียมคอมโพสิต PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน และเติมเส้นใยไฟเบอร์ในปริมาณต่าง ๆ ด้วยกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ ได้แก่ 0, 5, 10 และ 20 phr

3.1.7 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบคอมโพสิต PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH และเติมเส้นใยไผ่เป็นสารเสริมแรงด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป

3.1.8 ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH และเติมเส้นใยไผ่เป็นสารเสริมแรงได้แก่

1) ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) สมบัติเชิงกล ได้แก่

- ความทนทานต่อแรงดึงด้วยมาตรฐาน ASTM D638-84

- ความทนทานต่อแรงกระแทกด้วยมาตรฐาน ASTM D265-8

3.1.9 รวบรวมผลทดสอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1.10 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 วัตถุดิบ อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 วัตถุดิบ

1) พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เกรด 3052D บริษัท Nature Work

2) พอลิโพรพิลีน (PP) เกรด HP500N (HMC Polymers Company Ltd.)

3) พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) บริษัท Dupont

4) เส้นใยไผ่ (Bamboo fiber) ขนาด 209 Microns

3.2.2 เครื่องมือสำหรับการทดลอง

1) เครื่องฉีดขึ้นรูป บริษัท TOYO MACHINERY & METAL CO.,LTD (TI-30F6)

2) ตู้อบเม็ดพลาสติก

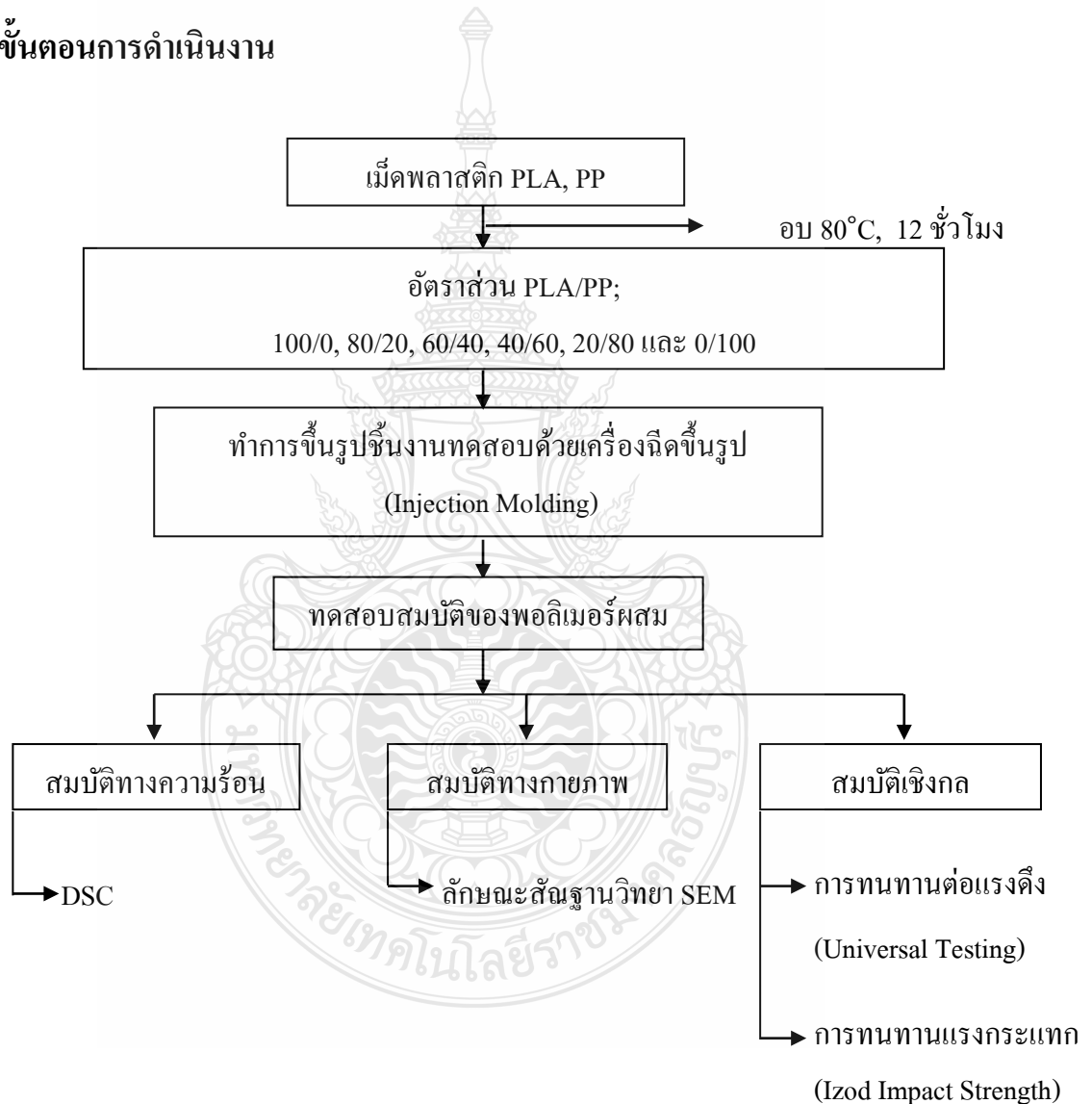
3.2.3 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

1) เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น DSC 800 (ประเทศเยอรมนี)

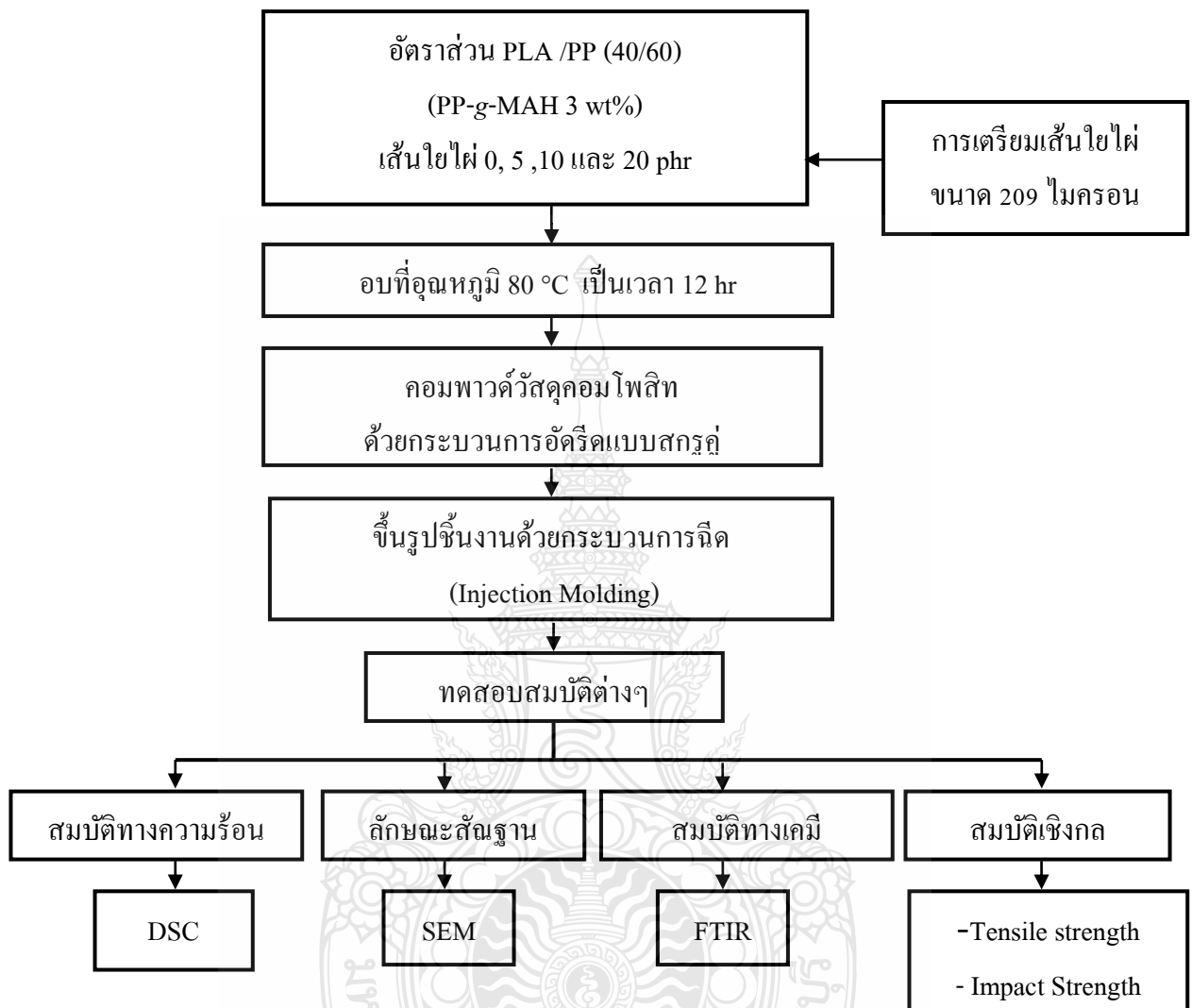
2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM-6510 (ประเทศญี่ปุ่น)

- 3) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Nicolet iS5 FTIR Spectrometer
- 4) เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyd Machine รุ่น T30K
- 5) เครื่องทดสอบการทนแรงกระแทก (Izod Impact Strength) ยี่ห้อ CEAST

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/PP



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุคอม โพลีท

3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีนที่เติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสาน

- 1) ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/PP ตามอัตราส่วน 80/20, 60/40, 40/60, 20/80
- 2) ชั่งพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr

3) นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิด และพอลิพอลิโพรพิลีนมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

4) ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปที่ช่วงอุณหภูมิ $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$

3.3.2 การเตรียมเส้นใยไฟ

1) นำไม้ไผ่ก่อนมาลดขนาดด้วยเครื่องบดหยาบและเครื่องบดละเอียดตามลำดับ เพื่อให้ได้ไฟลักษณะเป็นผงละเอียด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยไฟ

2) การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยไฟ ทำการปรับสภาพผิวเส้นใยไฟด้วยกระบวนการอัลคาไลน์ โดยนำเส้นใยไฟแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 wt\% เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และล้างให้เป็นกลางด้วยน้ำสะอาด ดังรูปที่ 3.4 และทำการคัดขนาดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการปรับสภาพผิวเส้นใยไฟ



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการคัดขนาดเส้นใยไหม

3.3.3 การเตรียมวัสดุคอมพอลิไทต์ PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน และเติมเส้นใยไหมเป็นสารเสริมแรง

- 1) ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/ PP ตามอัตราส่วนจากขั้นตอนที่ 3.4.1
- 2) ชั่งเส้นใยไหมที่ปริมาณ 0, 5, 10 และ 20 phr
- 3) นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิด พอลิโพรพิลีนและเส้นใยไหมมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 4) ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปในช่วงอุณหภูมิ 150– 200 °C

3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

3.4.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมทรี

- 1) ทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 mg บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้
- 2) สภาวะการทดสอบ ได้แก่ จากอุณหภูมิ 20 °C จนถึง 250 °C และอัตราการเพิ่มความร้อนเป็น 10 °C/min แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทกมาตัดแล้วเป็นชิ้นขนาด 0.2 x 0.2 มิลลิเมตร และนำชิ้นงานมาเคลือบตัวนำไฟฟ้า เช่น ทอง แพททินัม เป็นต้น ภายใต้สภาวะสุญญากาศนำไปส่องด้วยกระแสไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ทำการเลือกภาพบริเวณที่ต้องการและถ่ายภาพ

3.4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่

1) การทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

1. นำชิ้นงานคัมเบล ขนาด 19x168x3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6 แต่ละชิ้นงานทดสอบมาวัดความกว้างและความหนาที่แน่นอน บันทึกค่าที่ได้เพื่อใช้ในการคำนวณ

2. ทำการวัดและทำเครื่องหมายแสดงช่วงของ Gauge Length

3. นำชิ้นงานคัมเบลที่เตรียมไว้ไปทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตร/นาที และ Load Cell ขนาด 50 นิวตัน

4. บันทึกข้อมูล Tensile Strength Young's Modulus และ Percent Strain at Break และทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงาน ตัวอย่างละ 15 ชิ้น

5. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวาดกราฟ หาความสัมพันธ์เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน



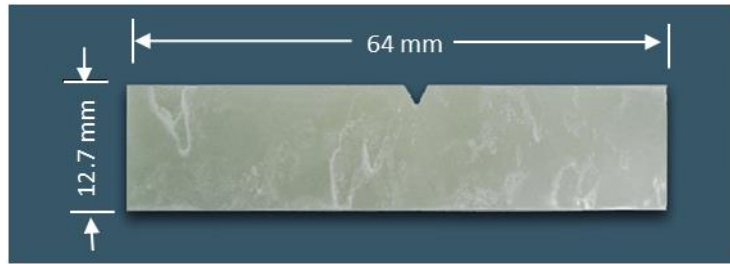
รูปที่ 3.6 ชิ้นงานคัมเบล

2) การทนทานต่อแรงกระแทก

1. นำชิ้นงานสำหรับทดสอบขนาด 64x12.7x3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7 วัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานบริเวณด้านหลังรอยบากของชิ้นงาน บันทึกค่าที่ได้เพื่อใช้ในการคำนวณ

2. นำชิ้นงานยึดกับฐานของเครื่องทดสอบให้แน่นหันด้านที่มีรอยบากเข้าหาค้อนขนาด 2 จูล แล้วทำการปล่อยค้อนตกลงมากระแทกชิ้นงาน

3. บันทึกค่าพลังงานที่ได้จากเครื่อง ในหน่วยจูล และทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับทุกชิ้นงาน



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงกระแทก



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิโพรพิลีน (PP) และใช้พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) เป็นสารเชื่อมประสาน จากนั้นศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิต PLA/PP ที่เติมเส้นใยไผ่ (Bamboo fiber, BF) เป็นสารเสริมแรงโดยขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป แล้วทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิตได้ผลการทดสอบดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/PP/PP-g-MAH

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP/PP-g-MAH

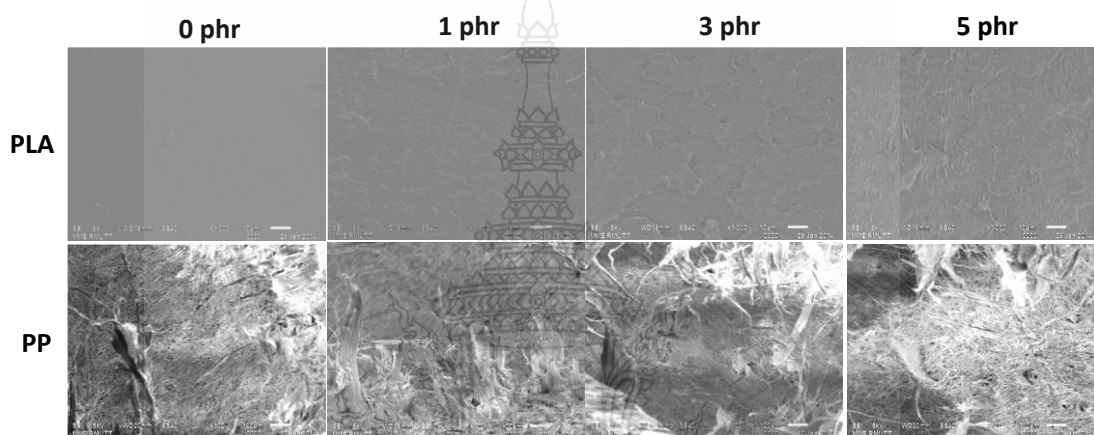
จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 ร้อยละ โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานปริมาณ 1, 3 และ 5 phr โดยขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปจากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางความร้อน แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าเทอร์โมแกรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP แสดงพีคของอุณหภูมิการหลอมผลึกเป็น 2 พีคใกล้เคียงกัน เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมผลึกของ PLA บริสุทธิ์ และ PP บริสุทธิ์ มีค่าใกล้เคียงกัน การเติม PP-g-MAH ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิการหลอมผลึกของ PLA และ PP บริสุทธิ์ และ PLA และ PP ในพอลิเมอร์ผสม และจากเทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนพบพีคของอุณหภูมิการเกิดผลึกเฉพาะ PLA บริสุทธิ์ และพอลิเมอร์ผสม PLA/PP อัตราส่วน 80/20 เท่านั้น เมื่อปริมาณ PP เพิ่มขึ้นไม่พบพีคอุณหภูมิการเกิดผลึก

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย DSC

PLA/PP	PP-g-MAH (phr)	อุณหภูมิ (°C)			
		T _g (PLA)	T _c	T _m (PLA)	T _m (PP)
PLA	-	61.82	125.03	152.47	-
	1	60.96	122.35	151.57	-
	3	61.84	114.58	154.25	-
	5	60.37	110.73	150.58	-
80/20	-	63.57	110.11	152.68	-
	1	61.89	109.15	149.79	-
	3	63.44	108.20	153.22	-
	5	57.60	101.27	151.64	-
60/40	-	63.57	-	-	162.76
	1	61.89	-	-	163.00
	3	63.44	-	-	162.90
	5	57.60	-	-	162.97
40/60	-	60.51	-	-	164.54
	1	59.88	-	-	163.55
	3	60.82	-	-	163.93
	5	56.47	-	-	164.70
20/80	-	54.56	-	-	164.05
	1	56.07	-	-	164.85
	3	54.32	-	-	163.98
	5	55.24	-	-	164.14
PP	-	47.96	-	-	165.41
	1	48.65	-	-	165.68
	3	48.87	-	-	165.30
	5	47.42	-	-	165.35

4.2 ผลลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่เติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน

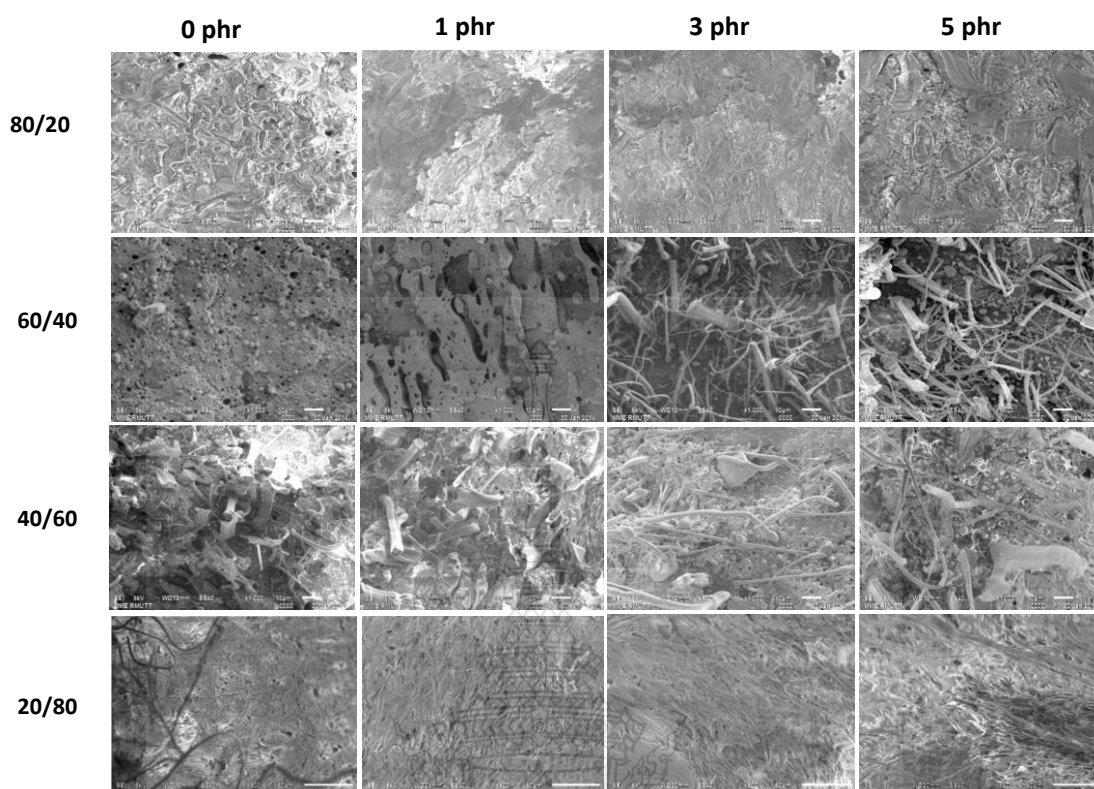
จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr โดยขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป และนำชิ้นงานหลังการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงมาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วย SEM แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA บริสุทธิ์ PP บริสุทธิ์ ที่เติมและไม่เติม PP-g-MAH

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA บริสุทธิ์ และ PP บริสุทธิ์ ทั้งที่เติมและไม่เติม PP-g-MAH ในปริมาณต่าง ๆ พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA บริสุทธิ์ที่ไม่เติม PP-g-MAH นั้นพื้นผิวเรียบบอกถึงลักษณะการแตกหักแบบแข็งเปราะ ส่วน PP บริสุทธิ์ที่ไม่เติม PP-g-MAH พบว่าพื้นผิวขรุขระและมีเส้นใยยืดตัวยาวออกจากพื้นผิว บอกถึงลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile)

เมื่อทำการเติม PP-g-MAH ลงใน PLA บริสุทธิ์ที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าพื้นผิวมีร่องรอยของการแยกส่วน โดยมีรอยแยกมากขึ้นเมื่อปริมาณสารเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น และมีลักษณะการแตกหักแบบแข็งเปราะ ส่วน PP บริสุทธิ์ที่เติม PP-g-MAH พบว่าพื้นผิวขรุขระและมีเส้นใยยืดตัวยาวออกจากพื้นผิวมากขึ้น บอกถึงลักษณะการแตกหักแบบเหนียวเช่นเดิม



รูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP อัตราส่วน 80/20 โดยน้ำหนัก ที่ไม่เติม PP-g-MAH แสดงให้เห็นการแยกเฟสของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเติม PP-g-MAH ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นพบว่าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ที่อัตราส่วน 60/40 เห็นอนุภาคของ PP มีลักษณะกลมเล็ก ๆ กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของ PLA แสดงถึงการแยกเฟสระหว่างพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 และ 5 phr แสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้นระหว่าง PLA กับ PP เนื่องจากเมื่อชิ้นงานทดสอบถูกดึงยืด พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีการยึดตัวของเฟส PP ออกจากเมทริกซ์ PLA โดยไม่เกิดการขาดและหลุดออกจากพื้นผิว กล่าวคือ PP-g-MAH ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานที่ดีในพอลิเมอร์ผสม

สำหรับพอลิเมอร์ผสม PLA/PP อัตราส่วน 40/60 โดยน้ำหนัก ที่ไม่เติม PP-g-MAH นั้น พอลิเมอร์ผสมมีส่วนของ PP มากกว่า PLA ลักษณะเส้นใยที่ยึดตัวออกจากพื้นผิวจำนวนมากแสดงถึงเฟสของ PP เมื่อเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr พบการยึดเกาะกันได้ดีของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีเส้นใยยึดตัวยาวมากออกจากพื้นผิว ไม่มีการขาดของเส้นใย และที่อัตราส่วน PLA/PP เท่ากับ 20/80

โดยน้ำหนัก สัดส่วนของ PP มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะพื้นฐานวิทยาเห็นเพียงการยึดตัวของเฟส PP ที่มาปกคลุมพื้นผิวของ PLA และแสดงการเข้ากันได้ดีที่ปริมาณ PP-g-MAH เท่ากับ 3 phr

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ผสม PLA/PP และเติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน

4.3.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr นั้น แสดงผลการทนทานต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน

ค่าการทนต่อแรงดึง (MPa)				
PLA/PP	ปริมาณ PP-g-MAH (phr)			
	0	1	3	5
PLA	70.15 ± 0.46	67.5 ± 0.48	64.68 ± 0.28	63.13 ± 0.78
80/20	56.89 ± 1.29	45.31 ± 13.84	51.36 ± 3.35	53.45 ± 0.59
60/40	48.8 ± 0.32	47.79 ± 0.44	47.19 ± 0.68	45.86 ± 0.97
40/60	41.21 ± 0.32	42.09 ± 0.68	38.98 ± 3.1	40.77 ± 0.6
20/80	34.69 ± 0.48	33.43 ± 0.62	35.19 ± 0.46	34.04 ± 1.01
PP	31.89 ± 0.1	33.81 ± 0.47	34.59 ± 0.1	34.55 ± 0.08

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr เมื่อเปรียบเทียบกับ PLA บริสุทธิ์และ PP บริสุทธิ์ มีค่าการทนทานต่อ

แรงดึงเป็น 70.15 และ 31.89 MPa ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมสารเชื่อมประสาน มีค่าการทนทานต่อแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณของ PP เพิ่มขึ้น

PLA บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานนั้น มีค่าการทนทานต่อแรงดึงลดลงตามลำดับ ในขณะที่ PP บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานให้ค่าการทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ที่ปริมาณสารเชื่อมประสาน 3 และ 5 phr มีค่าการทนทานต่อแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่เติมสารเชื่อมประสาน พบว่าค่าการทนทานต่อแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณ PP-g-MAH เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจาก PP-g-MAH ทำให้ PLA ที่มีสมบัติแข็งแต่เปราะนั้นมีความยืดหยุ่นมากขึ้น พบว่าปริมาณของ PP เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าการทนทานต่อแรงดึงลดลงตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแยกเฟสระหว่างพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน

ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)				
PLA/PP	ปริมาณ PP-g-MAH (phr)			
	0	1	3	5
PLA	4.22 ± 0.3	3.89 ± 0.4	3.77 ± 0.06	3.94 ± 0.3
80/20	3.25 ± 0.26	3.30 ± 0.23	3.44 ± 0.48	3.49 ± 0.08
60/40	3.17 ± 0.2	3.11 ± 0.3	3.02 ± 0.1	2.90 ± 0.18
40/60	2.70 ± 0.15	2.70 ± 0.07	2.67 ± 0.3	2.78 ± 0.2
20/80	2.41 ± 0.18	2.21 ± 0.05	2.38 ± 0.1	2.26 ± 0.23
PP	1.90 ± 0.06	2.14 ± 0.13	2.26 ± 0.13	2.03 ± 0.06

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วน 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารช่วยเชื่อมประสานที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ PLA และ PP บริสุทธิ์ มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเป็น 4.22 และ 1.90 GPa ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม PLA/PP อัตราส่วนต่าง

ๆ ที่ไม่เติมสารเชื่อมประสาน มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณ PP เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการแยกเฟสระหว่างพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด

PLA บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานนั้น ให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลงตามลำดับ ในขณะที่ PP บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงขึ้น

สำหรับพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่เติมสารเชื่อมประสาน พบว่าค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่อัตราส่วน 80/20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่อัตราส่วนอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สังเกตได้ว่าการเติมสารเชื่อมประสานมากกว่า 3 phr ทำให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลง

4.3.2 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก

ผลการทดสอบการค่าการทนทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr นั้น แสดงค่าการทนทานแรงกระแทกดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการทนทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมประสาน

ค่าการทนทานต่อแรงกระแทก (J/m ²)				
PLA/PP	ปริมาณ PP-g-MAH (phr)			
	0	1	3	5
PLA	16.71 ± 1.74	17.22 ± 1.46	17.36 ± 1.26	17.44 ± 0.35
80/20	22.07 ± 1.37	23.89 ± 1.42	34.09 ± 3.67	23.33 ± 0.15
60/40	28.17 ± 1.64	28.14 ± 1.06	39.95 ± 0.14	26.24 ± 1.54
40/60	42.28 ± 1.79	44.61 ± 0.89	49.59 ± 4.60	43.61 ± 1.49
20/80	28.92 ± 0.99	22.45 ± 1.52	23.37 ± 1.91	21.64 ± 1.35
PP	15.99 ± 0.08	19.34 ± 0.95	21.79 ± 0.26	18.11 ± 0.30

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการทนทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วน 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก และใช้ PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสานที่ ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ PLA และ PP บริสุทธิ์ มีค่าการทนทานแรงกระแทก เป็น 1.6.71 และ 15.99 J/m² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่ อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ไม่เติมสารเชื่อมประสาน พบว่าค่าการทนทานแรงกระแทกทุกอัตราส่วนสูงกว่าพอลิ เมอร์บริสุทธิ์ทั้งหมด อัตราส่วน PLA/PP เป็น 40/60 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการทนทานแรงกระแทกสูงที่สุด ถึง 42.28 J/m²

PLA บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานในปริมาณต่าง ๆ นั้น ให้ค่าการทนทานแรงกระแทก ใกล้เคียงกัน แต่ที่ปริมาณสารเชื่อมประสาน 3 phr ให้ค่าการทนทานแรงกระแทกสูงที่สุด และ PP บริสุทธิ์ที่เติมสารเชื่อมประสานให้ค่าการทนทานแรงกระแทกใกล้เคียงกัน และที่ปริมาณสารเชื่อม ประสาน 3 phr ให้ค่าการทนทานแรงกระแทกสูงที่สุดเช่นกัน

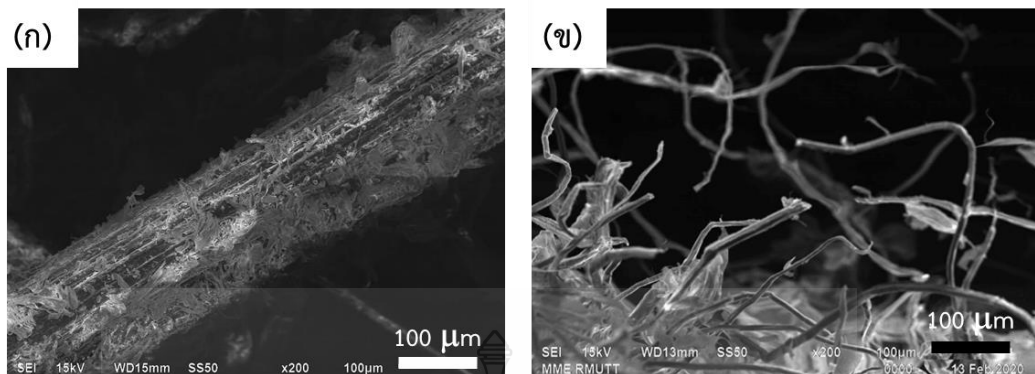
สำหรับพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่เติมสารเชื่อมประสาน พบว่าในทุก อัตราส่วนและปริมาณการเติมที่เท่ากันให้แนวโน้มการทดลองที่เหมือนกันคือ ที่ปริมาณการเติมสาร เชื่อมประสาน 3 phr ให้ค่าการทนทานแรงกระแทกสูงที่สุด โดยที่อัตราส่วนผสมระหว่าง PLA กับ PP ที่ 40/60 และการเติมสารเชื่อมประสานปริมาณ 3 phr ให้ค่าการทนทานแรงกระแทกเท่ากับ 49.59 J/m² ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพื้นฐานวิทยาและเมื่อปริมาณการเติมสารเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นเป็น 5 phr ค่า การทนทานแรงกระแทกจะลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟสขึ้น

ตอนที่ 2 การเตรียมวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่ (BF)

จากผลการทดลองตอนที่ 1 พอลิเมอร์ผสม PLA/PP เติม PP-g-MAH เป็นสารเชื่อมประสาน นั้น อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่เหมาะสมคือ 40/60 โดยน้ำหนัก และปริมาณ PP-g-MAH ที่ เหมาะสมคือ 3 phr ดังนั้น จึงศึกษาในขั้นตอนที่ 2 โดยการเตรียมวัสดุคอมโพสิต PLA/PP และเติม เส้นใยใฝ่เป็นสารเสริมแรง

4.4 ผลลักษณะทางกายภาพของเส้นใยใฝ่และวัสดุคอมโพสิต

นำเส้นใยใฝ่ที่ผ่านการลดขนาดมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยไฟ (ก) ก่อนปรับสภาพผิว (ข) หลังปรับสภาพผิว

เส้นใยไฟ ก่อนนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีน นั้น แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าเส้นใยมีขนาดใหญ่กว่าหลังการปรับสภาพผิวแล้วดังรูปที่ 4.3 (ข) ผิวขรุขระ มีสิ่งสกปรก ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเกาะอยู่ที่ผิว [30-31] เมื่อทำการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี โดยการแช่เส้นใยไฟในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 5 phr เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วทำการปรับสภาพให้เป็นกลาง พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็กลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีการหลุดลอกของสิ่งสกปรก ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 4.4 คอมพาวด์ของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP และ PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟที่ปริมาณต่างๆ

เมื่อเตรียมเส้นใยไฟที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีแล้ว นำมาเติมในพอลิเมอร์ผสม PLA/PP อัตราส่วน 40/60 โดยน้ำหนัก โดยเติมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr ดังรูปที่ 4.4 พบว่าการเติมเส้นใยไฟในพอลิเมอร์ผสม PLAPP ทำให้สีของคอมพาวด์เปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นสีน้ำตาลที่เกิดจากเส้นใยไฟ และสีมีลักษณะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยไฟเพิ่มขึ้น

4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP และเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ด้วยเทคนิค DSC

นำวัสดุคอมโพสิต PLA/PP และเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่างๆ มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีแสดงดังตารางที่ 4.5

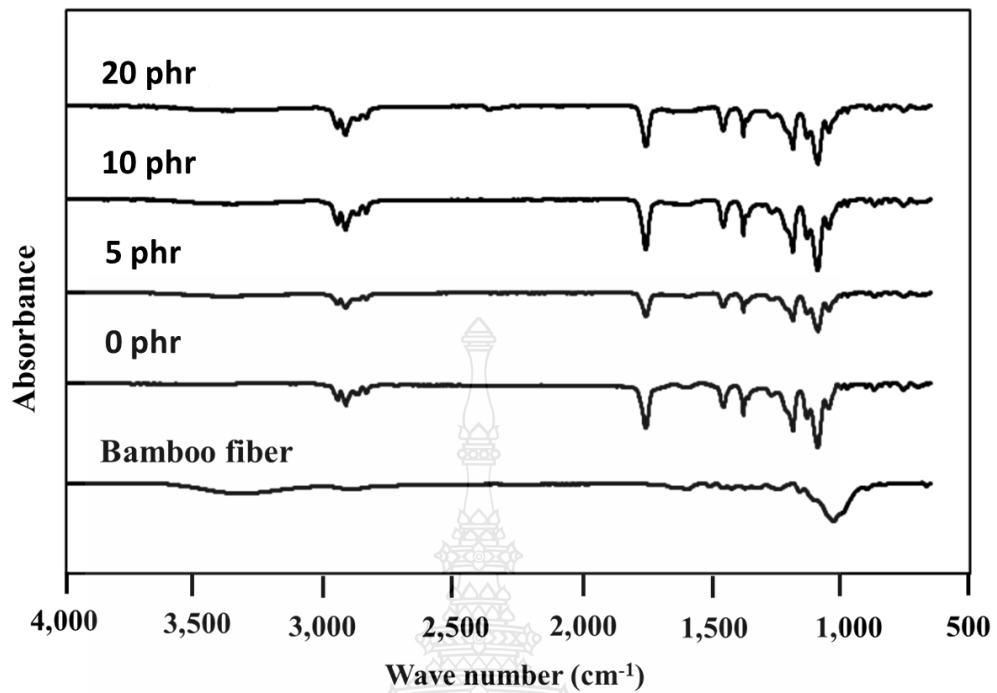
ตารางที่ 4.5 สมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต

BF (phr)	T_g (°C)	T_c (°C)	ΔH_c (g/J)	PLA				PP	
				T_m (°C)	ΔH_m (g/J)	T_m (°C)	ΔH_m (g/J)	T_m (°C)	ΔH_m (g/J)
0	63.29	116.83	6.57	154.46	11.25	160.92	7.59	167.80	109.87
5	64.64	116.74	6.39	153.91	10.33	161.60	13.97	169.43	113.39
10	64.53	114.30	5.02	153.60	8.05	161.92	14.10	168.76	112.18
20	63.91	112.43	3.99	153.33	4.00	161.98	16.17	169.94	85.67

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ พบว่าการเติมเส้นใยไผ่ไม่ส่งผลต่อค่า T_g และค่า T_m ของพอลิแลคติกแอซิด แต่พบว่าค่า T_c มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ การเติมเส้นใยไผ่ในปริมาณมากช่วยให้การเกิดการจัดเรียงตัวของสารโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น ส่วนการเติมเส้นใยไผ่ไม่ส่งผลต่อค่า T_m ของ PP เช่นเดียวกัน

4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP และเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

นำวัสดุคอมโพสิตระหว่าง PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR แสดงดังรูปที่ 4.5



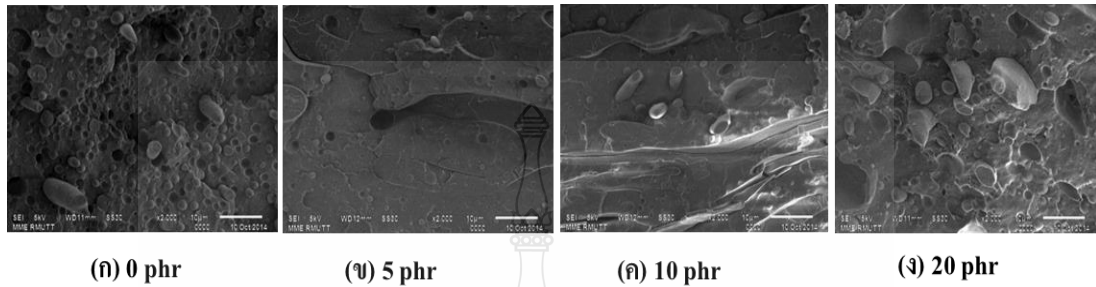
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปริมาณต่าง ๆ

สเปกตรัมของ PP แสดงพีคที่ตำแหน่ง 2956, 2910 และ 2830 cm^{-1} แสดงถึง $-\text{CH}_2-$ และ $-\text{CH}_3$ ตามลำดับและที่ตำแหน่ง 1452 และ 1377 cm^{-1} แสดงถึง $-\text{CH}-$ และ $-\text{CH}_2-$ ตามลำดับ [32] สเปกตรัมของ PLA พบพีคที่ตำแหน่ง 1746, 2995, 2946 และ 1080 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ $\text{C}=\text{O}$, $-\text{CH}_3$ asymmetric, $-\text{CH}_3$ symmetric และ $\text{C}-\text{O}$ ตามลำดับ [33] นั้น

สเปกตรัมของเส้นใยไผ่ พบพีคที่กว้างที่สุดช่วง 3350 - 3250 cm^{-1} บอถึงการสั่นของพันธะ $\text{O}-\text{H}$ แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำ บ่งบอกว่าเซลลูโลสในธรรมชาติสามารถละลายน้ำได้ดี และพีคที่ 1493 cm^{-1} แสดงการสั่นสะเทือนของ $\text{N}-\text{H}$, $\text{C}=\text{C}$ และพีคที่ตำแหน่ง 1249 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นสะเทือนของ COOR และพีคที่ตำแหน่ง 1118 cm^{-1} และ 881 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ของเซลลูโลส [34-35]

4.7 ผลลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่

นำวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่ที่ปริมาณต่าง ๆ มาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่ (กำลังขยาย 2,000 เท่า)

จากรูปที่ 4.6 (ข-ง) พบเห็นเส้นใยใฝ่เพิ่มมากขึ้นในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PP และเส้นใยใฝ่มีการยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดี เนื่องจากเส้นใยใฝ่มีการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการทางเคมีก่อนนำมาใช้เป็นสารเสริมแรง แต่ที่ปริมาณเส้นใยใฝ่มากขึ้นถึง 20 phr พบว่าเส้นใยใฝ่มีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน กระจายตัวไม่ดีในเมทริกซ์

4.8 ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่

4.8.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

ผลทำการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยใฝ่ที่ปริมาณต่าง ๆ แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดและค่ายังสัมมอดูลัส ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนและเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ

PLA/PP	Bamboo Fiber (phr)	การทนทานต่อแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่ายังสัมมอดูลัส (MPa)
40/60 (PP-g-MAH 3 phr)	0	39.15±1.35	4.64±0.48	1,828±114.27
	5	34.94±1.11	4.19±0.56	1,946±99.76
	10	29.84±1.59	3.85±0.65	1,964±180.18
	20	23.57±1.43	1.77±0.24	2,484±156.28

ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6 พบว่าการเติมเส้นใยไผ่ทำให้การทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตลดลงอย่างเห็นได้ชัด จาก 39.15, 34.94, 29.84 และ 23.57 MPa ตามลำดับ รวมถึงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดด้วย เนื่องจากปริมาณเส้นใยไผ่ค่อนข้างมากถึง 20 phr ทำให้เกิดการแยกเฟสของวัสดุคอมโพสิต และการกระจายตัวไม่ดีของเส้นใยไผ่ที่ใช้สารเสริมแรงด้วย แต่พบว่าค่ายังสัมมอดูลัสของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น จาก 1828, 1946, 1964 และ 2484 MPa ตามลำดับ

4.8.2 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก

ผลทำการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ

PLA/PP	Bamboo Fiber (phr)	ค่าการทนทานต่อแรงกระแทก (J/m)
40/60 (PP-g-MAH 3 phr)	0	18.45 ± 0.43
	5	23.58 ± 1.83
	10	19.84 ± 1.37
	20	16.55 ± 1.95

ผลทำการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.7 พบว่าการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูงที่สุดที่การเติมเส้นใยไผ่ปริมาณ 5 phr เมื่อปริมาณเส้นใยไผ่เพิ่มเป็น 10 และ 20 phr พบว่าการทนทานต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยไผ่ค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการแยกเฟสของวัสดุคอมโพสิต และการกระจายตัวไม่ดีของเส้นใยไผ่ที่ใช้สารเสริมแรงด้วย



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิโพรพิลีน (PP) เชื่อมประสานด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) และจากนั้นเตรียมวัสดุคอมโพสิต PLA/PP ที่เติมเส้นใยไผ่ (BF) เป็นสารเสริมแรงโดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 80/20, 60/40, 40/60 และ 20/80 โดยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr แล้วทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อน ลักษณะพื้นฐานวิทยาและสมบัติเชิงกล เพื่อหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมและปริมาณสารเชื่อมประสานที่เหมาะสม พบว่าการเติม PP-g-MAH ไม่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิการหลอมผลึกของพอลิเมอร์ผสม การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาบ่งชี้ว่าการเติม PP-g-MAH ช่วยทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทนทานต่อแรงดึงรวมถึงการทนทานต่อแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วน 40/60 โยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH ปริมาณ 3 phr ให้ผลที่เหมาะสมสำหรับวัสดุคอมโพสิตที่จะเตรียมในขั้นต่อไป

5.1.2 ศึกษาวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม PLA/PP ที่อัตราส่วน 40/60 และเติม PP-g-MAH ปริมาณ 3 phr และเติมเส้นใยไผ่ที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเป็นสารเสริมแรงที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของวัสดุ พบว่า

5.1.2.1 การปรับสภาพผิวของเส้นใยไผ่ด้วยกระบวนการทางเคมีก่อนนำมาเติมเป็นสารเสริมแรงนั้น จากผลลักษณะพื้นฐานวิทยาบ่งชี้ว่าเส้นใยมีขนาดเล็กกลองอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเส้นใยไผ่ถูกกำจัดสิ่งสกปรก ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกไป ช่วยให้เกิดการยึดเกาะพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น

5.1.2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต PLA/PP เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ พบว่าการเติมเส้นใยไผ่ไม่ส่งผลต่อค่า T_g และค่า T_m ของพอลิเมอร์ผสม แต่ส่งผลต่อค่า T_c มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ ปริมาณการเติมเส้นใยไผ่ยิ่งมากยิ่งช่วยให้เกิดการจัดเรียงตัวของสารโพลีเมอร์มากขึ้น

5.1.2.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ของ PLA, PP และเส้นใยไผ่ สามารถยืนยันโครงสร้างทางเคมีปรากฏที่คอบนวัสดุคอมโพสิต

5.1.2.4 ผลวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เส้นใยไผ่ยึดเกาะบนพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น และการเติมเส้นใยไผ่มากกว่า 10 phr จะเกิดการเกาะเป็นกลุ่มก้อน และมีการกระจายตัวไม่ดีในเมทริกซ์พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PP

5.1.2.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต เมื่อเติมค่าการทนทานต่อแรงดึงและแรงกระแทกระหว่าง PLA กับ PP สูงที่สุดที่การเติมเส้นใยไผ่ปริมาณ 5 phr เมื่อเติมเส้นใยไผ่มากกว่า 10 phr ทำให้เกิดการแยกเฟสของวัสดุคอมโพสิต และในเมทริกซ์กระจายตัวได้ไม่ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการดูดซึมน้ำของวัสดุคอมโพสิตที่ปริมาณของสารเสริมแรงต่าง ๆ กัน เนื่องจากเส้นใยไผ่ที่เป็นเส้นใยธรรมชาติมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

5.2.2 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุคอมโพสิต เนื่องจาก PLA เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และวัสดุคอมโพสิตเติมเส้นใยไผ่ที่เป็นเส้นใยธรรมชาติด้วย

บรรณานุกรม

- [1] Park, J.M., Quang, S.T., Hwang, B.S., & Devries, K.L.(2006). Interfacial evaluation of modified jute and hemp fibers/polypropylene (PP)–maleic anhydride polypropylene copolymers (PP-MAPP) composites using micromechanical technique and nondestructive acoustic emission. *Composites Science and Technology*, 66, 2686-2699.
- [2] Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. (2003). *Composites Science and Technology*, 63, 1259–1264.
- [3] Albuquerque, AC., Joseph, K., Carvalho, LH., & Almeida, JRM. (2000). Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute-roving-reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, 60, 833–844.
- [4] Ray, D., Sarkar, BK., & Bose, NR. (2002). Impact fatigue behavior of vinyl ester resin matrix composites reinforced with alkali treated jute fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33, 233–241.
- [5] Gowda, TM., Naidu, ACB., & Chhaya, R. (1999). Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30, 277–284.
- [6] Lee, SH., Wang, S. (2006). Biodegradable polymers–bamboo fibre biocomposite with bio-based coupling agent. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37, 80–91.
- [7] Oksman, K., Skrifvars, M., & Selin, JF. (2003). Natural fibres as reinforcement in Polyactic (PLA) composites. *Composites Science and Technology*, 63,1317–1324.
- [8] Mishra, S., Mohanty, AK., Drzal, LT. (2004). A review on pineapple leaf fibres, sisal fibres and their biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 289, 955–974.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] Kuan, CF., M, CC., & Kuan, HS. (2006). Preparation and characterization of the novel water crosslinked cellulose reinforced poly(butylene succinate) composites. *Composites Science and Technology*, 66, 2231–2241.
- [10] Mohanty, AK., Mubarak, AK., & Hinrichsen, G. (2000). Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/biopol composites. *Composites Science and Technology*, 60, 1115–1124.
- [11] Qu, P., Gao, Y., Wu, GF., & Zhang, LP. (2010). Nanocomposites of poly(lactic acid) reinforced with cellulose nanofibrils. *Bioresource Technology*, 5(1), 1811–1123.
- [12] Duhovic, M., Horbach, S., & Bhattacharyya, D. (2009). Improving the interface strength in flax fibre poly(lactic) acid composites. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 3(1), 188–198.
- [13] Rohlmann, CO., Failla, MD., & Quinzani, LM. (2006). Linear viscoelasticity and structure of polypropylene–montmorillonite nanocomposites. *Polymer*, 47, 7795–7804.
- [14] Zhang, QX., Yu, ZZ., Xie, XL., & Mai, YW. (2004). Crystallization and impact energy of polypropylene/CaCO₃ nanocomposites with nonionic modifier. *Polymer*, 45, 5985–5994.
- [15] Gensler, R., Plummer, CJG., Grein, C., & Kausch, HH. (2000). Influence of the loading rate on the fracture resistance of isotactic polypropylene and impact modified isotactic polypropylene. *Polymer*, 41, 3809–3819.
- [16] Nuez, AJ., Sturn, PC., Kenny, JM., Aranguren, MI., Marcovich, NE., & Reboredo, MM. (2003). Mechanical characterization of polypropylene–wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 88, 1420–1428.
- [17] ไม้ตง (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/ไม้ตง> สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2563,
- [18] Sina, Youssefian., Nima, Rahbar. Molecular Origin of Strength and Stiffness in Bamboo Fibrils. *SCIENTIFIC Reports* | 5:11116 | DOI: 10.1038/srep11116

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] ไม้ตงลิ่มแฉ่ง และการปลูกไม้ตงลิ่มแฉ่งพืชเกษตร.คอม.สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2563, เข้าถึงได้จาก <https://puechkaset.com/ไม้ตง/>
- [20] Abdul Khalil, H.P.S., Bhat, I.U.H., Jawaid, M., Zaidon, A., Hermawan, D., Hadi, Y.S. (2012). Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review. *Materials and Design*, 42, 353–368.
- [21] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล.พอลิแลคติกแอซิด:พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้ (ออนไลน์), 2554. เข้าถึงได้จาก:<http://www.eng.ku.ac.th> (7 ตุลาคม 2559)
- [22] Nature work, Biopolymer 3052D (Online), 2002. Available: <http://www.natureworksllc.com> (7 ตุลาคม 2559).
- [23] พอลิโพรพิลีน หรือ พีพี Polypropylene (ออนไลน์), 2555. เข้าถึงได้จาก: <http://arceehechanfreedom.blogspot.com/2012/10/polypropylene.html> (8 ตุลาคม 2559)
- [24] พลาสติกเสริมแรงและคอมโพสิต (ออนไลน์), มปป.เข้าถึงได้จาก: <http://archive.lib.cmu.ac.th> (7 ตุลาคม 2559)
- [25] ปาเจรา พัฒนถาบุตร, กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ Injection Molding (ออนไลน์), มปป.เข้าถึงได้จาก: <http://webcache.googleusercontent.com> (8 ตุลาคม 2559)
- [26] Zhang, Ying-Chen., Wu, Hong-Yan., Qiu, Ti-Ping. (2010). Morphology and properties of hybrid composites based on polypropylene/polylactic acid blend and bamboo fiber. *Bioresource Technology*, 101, 7944–7950.
- [27] Abdullah, A., Mamun, Andrzej K. Bledzki. (2013). Micro fibre reinforced PLA and PP composites: Enzyme modification, mechanical and thermal properties. *Composites Science and Technology*, 78, 10–17.
- [28] Ezequiel, Pérez., Lucía Famá, S.G. Pardo., M.J. Abad., Celina, Bernal. (2012). Tensile and fracture behaviour of PP/wood flour composites. *Composites Part B: Engineering*, 43, 2795–2800.

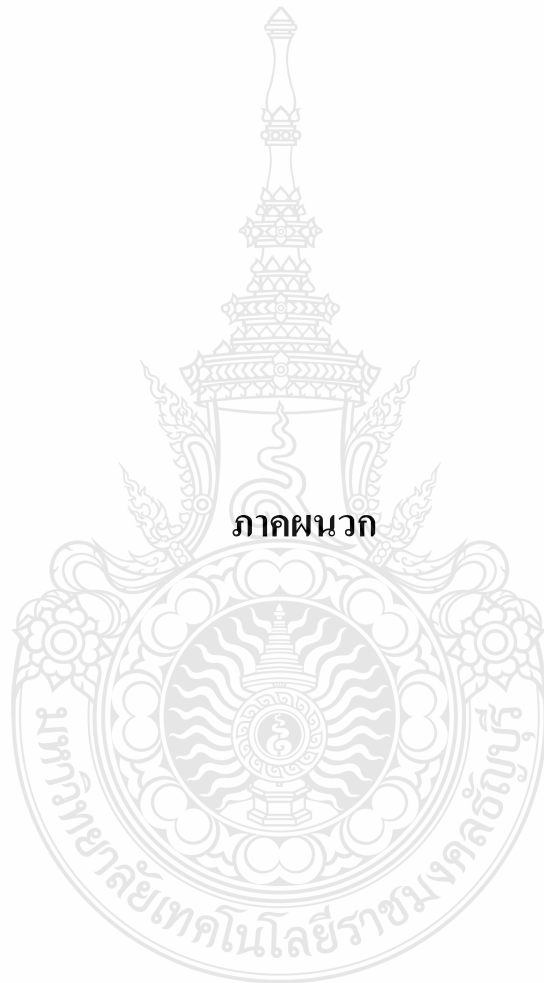
บรรณานุกรม (ต่อ)

- [29] Nina, Graupner, Holger, Fischer., Gerhard, Ziegmann., Jörg, Müssig. (2014). Improvement and analysis of fibre/matrix adhesion of regenerated cellulose fibre reinforced PP-, MAPP- and PLA-composites by the use of Eucalyptus globulus lignin. *Composites Part B: Engineering*, 66, 117–125.
- [30] J. Xie, C. Y. Hse, C. F. De Hoop, T. Hu, J. Qi, and T. F. Shupe. (2016). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment and ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*, 151, 725–734.
- [31] S. Qian, H. Zhang, W. Yao, and K. Sheng. (2018). Effects of bamboo cellulose nanowhisker content on the morphology, crystallization, mechanical, and thermal properties of PLA matrix biocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 133, 203–209.
- [32] Ren, H., Liu, Z., Zhai, H. M., Cao, Y., and Omori, S. (2015). Effects of lignophenols on mechanical performance of biocomposites based on polyhydroxybutyrate (PHB) and polypropylene (PP) reinforced with pulp fibers. *Journal of Biological Research*, 10(1), 432-447.
- [33] Buong Woei Chieng., Nor Azowa Ibrahim., Wan Md Zin Wan Yunus., & Mohd Zobir Hussein. (2014). Poly(lactic acid)/Poly(ethylene glycol) Polymer Nanocomposites: Effects of Graphene Nanoplatelets. *Polymers*, 6, 93-104. doi:10.3390/polym 6010093.
- [34] Y. W. Chen., H. V. Lee., J. C. Juan., & S. M. Phang. (2016). Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1210–1219.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [35] Y. James oyeniyi and O. A. Itiola. The physicochemical characteristic of microcrystalline cellulose, derived from sawdust, agricultural waste products. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4, 197–200.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลงานการเผยแพร่บทความวิจัยเรื่อง “ผลของเส้นใยธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลของ
วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีน”



เรื่อง ขอเชิญเข้าร่วมประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ประจำปี 2563
เรียน คุณจุฑามาศ กอตสะอาด, คุณวีราภรณ์ มีวสอาด และคุณสมหมาย มีวสอาด

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง “ผลของเส้นใยธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิโพรพิลีน” เข้าร่วมกรประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ประจำปี 2563 ครั้งที่ 5 (The 5th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2020)

บัดนี้ทางคณะกรรมการจัดงานฯ ขอแจ้งให้ท่านทราบว่าบทความวิจัยของท่าน “ได้ผ่านการพิจารณา” จากผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewers) ให้สามารถเข้าร่วมนำเสนอในการประชุมวิชาการฯ ในระหว่างวันที่ 28 – 29 พฤษภาคม 2563 แต่เนื่องจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 จึงขอเลื่อนงานประชุมไปเป็นวันที่ 3 – 4 กันยายน 2563 ณ โรงแรมเคทีแกรนด์ (K.P. Grand Hotel) ถนนศรีรัตน อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี เพื่อเป็นเวทีแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์จากอาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง อันจะนำไปสู่การยกระดับงานวิจัยของประเทศต่อไป โดยบทความของท่านจะได้รับการตีพิมพ์ในวารสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการประจำปี 2563 ครั้งที่ 5 (Proceeding of RMTC 2020)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธุ์เดช นนท์แสงโรจน์)
รองอธิการบดี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตจันทบุรี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทอดศักดิ์ ประมงกล)
ประธานดำเนินงานประชุมวิชาการ RMTC 2020
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตจันทบุรี



การประชุมวิชาการราชภัฏนครราชสีมาเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

ผลของเส้นใยธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด
และพอลิโพรพิลีน

Effect of Natural Fibers on Mechanical Property of
Poly(lactic acid) and Polypropylene Composite

จุฑามาศ กอดสะอาด¹, วีราภรณ์ ผิวสอาด² และสมหมาย ผิวสอาด^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: sommai.p@en.rmutt.ac.th *

Jutamas Kord-Sa-Ard¹, Weraporn Pivsa-Art² and Sommai Pivsa-Art^{1*}

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

² Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: sommai.p@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 โดยน้ำหนัก และเติมพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณ 3 phr เป็นสารเชื่อมประสาน และเติมเส้นใยไม้เป็นสารเสริมแรงที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr จากนั้นนำไปทดสอบอุณหภูมิการเสียรูปและสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ได้แก่ การทนทานต่อแรงดึง การทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง พบว่าผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมี จุดขาดลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยไม้เพิ่มขึ้น แต่ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งและอุณหภูมิการเสียรูปของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้เพิ่มขึ้น สำหรับค่าการทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุดที่ปริมาณเส้นใยไม้ 5 phr เมื่อเติมเส้นใยไม้มากขึ้นเป็น 10 และ 20 phr ส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นใยไม้ไม่ดี ก่อให้เกิดการแยกเฟส ซึ่งส่งผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต

คำหลัก พอลิเมอร์คอมโพสิต พอลิแลคติกแอซิด เส้นใยไม้ สารเสริมแรง

Abstract

This research studies the manufacturing of polymer composites from polymer blend of poly(lactic acid) (PLA) and polypropylene (PP) reinforced with bamboo fibers (BF) using an injection molding process. The ratio of PLA/PP was 40/60 by weight with addition of polypropylene-grafted-maleic anhydride (PP-g-MAH) for 3 phr as a compatibilizer. The contents of BF reinforced in the PLA/PP blend were varied from 5, 10 and 20 phr (part per hundreds of resins). The composites were subjected to heat deflection temperature (HDT) and mechanical property analysis including tensile, impact, and hardness tests. The tensile and percent elongation at break of the composites decreased with



increasing the BF contents whereas the modulus and hardness were increased. The impact strength of composite was highest with 5 phr BF while high BF content contributed to polymer and reinforcement phase separation which resulted in decreasing of mechanical property. The HDT of composites increased with high BF contents. The appearances and mechanical property of the PLA/PP/BF composites are in agreement with the requirement for cosmetic packaging.

Keywords: polymer composite, poly(lactic acid), bamboo fiber, reinforcement materials

1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์เครื่องสำอางทั่วไป ผลิตจากพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลาย เช่น พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอธิลีน เทเรฟทาเรต (PET) หรืออะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดเอิน-สไตรีน โคพอลิเมอร์ (ABS) ขยะของพลาสติกเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดปัญหาไมโครพลาสติก ดังนั้น พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจ ทดแทนพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) เป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์จากแลคติกแอซิดที่มาจากแหล่งชีวมวลทางการเกษตร เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีศักยภาพทางการค้า [1-2] แต่เนื่องจากข้อจำกัดของสมบัติของ PLA ที่แข็งเปราะ และความทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความร้อนต่ำ [3] จึงต้องปรับปรุงสมบัติ PLA โดยการผสมกับ PP แต่การผสมกันจำเป็นต้องอาศัยสารเชื่อมประสานได้แก่ พอลิพรอพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) ช่วยให้ผิวหน้าระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง [4] ไม้ ถือเป็นพืชเศรษฐกิจอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ และมีปริมาณการขยายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม้ปลูกง่าย โตเร็ว ใช้เวลาในการเพาะปลูกสั้น [5] ไม้มีสมบัติที่ดี มีการนำไปใช้ประโยชน์มากมาย ทั้งวัสดุก่อสร้าง เครื่องจักรสาน เครื่องดนตรี ใช้ผลิตกระดาษ เป็นต้น ซึ่งงานทางวิศวกรรมทางด้านยานยนต์และวัสดุคอมโพสิต เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ [6] จากนั้นศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่าง PLA กับ PP โดยการเติมเส้นใยไม้ เป็นสารเสริมแรงที่ปริมาณต่าง ๆ และศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมได้

2. วิธีการทดลอง

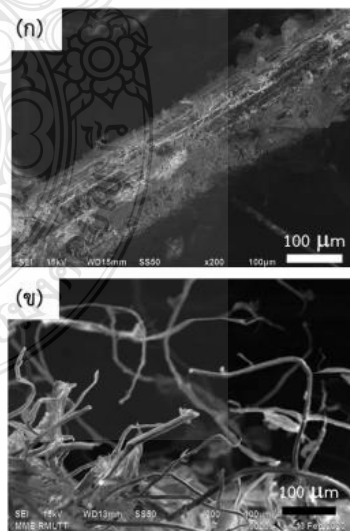
2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เกรด 3052D

(NatureWorks, LLC, USA.) พอลิพรอพิลีน (PP) เกรด HP500N (HMC Polymers Company Ltd.) พอลิพรอพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) และเส้นใยไม้ (BF) จากอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

2.2 การเตรียมเส้นใยไม้

นำเส้นใยไม้ ดังรูปที่ 1 (ก) มาปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการอัลคาไลน์ โดยนำเส้นใยไม้แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 wt% เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำสะอาดปรับให้ pH เป็นกลาง อบให้แห้งแล้วนำไปคัดขนาดได้เส้นใยไม้ขนาด 209 ไมครอน ดังรูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยไม้

(ก) ก่อนปรับสภาพผิว (ข) หลังปรับสภาพผิว

2.3 กระบวนการคอมพาวด์และขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด



การประชุมวิชาการราชชมภพด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิด พอลิโพรพิลีนและเส้นใยไมมา
อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้น
ทำการผสมพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน
40/60 และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr สำหรับเส้นใย
ไม้เติมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่
ที่อุณหภูมิ 180 - 200 °C ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คอมพาวด์ของวัสดุคอมโพสิต

ทำการอบเม็ดคอมพาวด์ PLA/PP/BF ที่ปริมาณต่างๆ
อีกครั้งก่อนขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็น
เวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นกำหนดอุณหภูมิในการขึ้นรูปจาก
Hopper ถึง Die เป็น 200/180/180/180/170°C

2.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

2.4.1 การทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-
84 โดยเตรียมชิ้นงานตามขนาด 168×19×3 มิลลิเมตร
ใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที

2.4.2 การทนทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D
256 แบบ Izod Impact test โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบ
ขนาด 64×12.7×3 มิลลิเมตร เลือกค้อนทดสอบขนาด 2
จูล

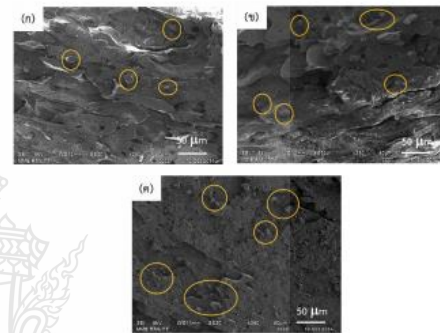
2.4.3 ทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 785 แบบ
Rockwell Hardness Test (สเกล R) ทำการตัดชิ้นงาน
ขนาดมาตรฐานที่มีความหนา 6.4 มม. (0.25 นิ้ว)

2.4.4 ทดสอบอุณหภูมิการเสียรูป ตามมาตรฐาน ASTM D

648 โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด 127×13×12
มิลลิเมตร และใช้ standard flexural load 455 kPa

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยา

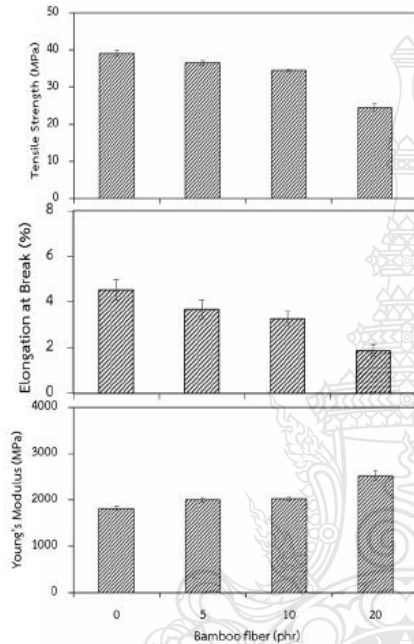


รูปที่ 3 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของคอมโพสิตที่เติมเส้นใยไม้ที่ปริมาณ
ต่างๆ (ก) BF 5 phr (ข) BF 10 phr (ค) BF 20 phr

จากรูปที่ 3 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของคอมโพสิตของพอลิ
แลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และ
เติมเส้นใยไม้ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าที่ปริมาณของเส้นใยไม้ 5
phr มีการกระจายตัวที่ดี เมื่อปริมาณเส้นใยไม้เพิ่มเป็น 10
phr เริ่มมีการเกาะกันและการกระจายไม่สม่ำเสมอ และ
ปริมาณเส้นใยไม้ 20 phr จากรูปพื้นฐานวิทยาพบว่าเส้นใย
ไม้มีการเกาะกันเป็นกลุ่ม ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ
คอมโพสิต

3.2 ผลทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

นำวัสดุคอมโพสิตของพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิ
ลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติมเส้นใยไม้ที่ปริมาณ 5, 10
และ 20 phr มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638-84
ได้ผลดังรูปที่ 4

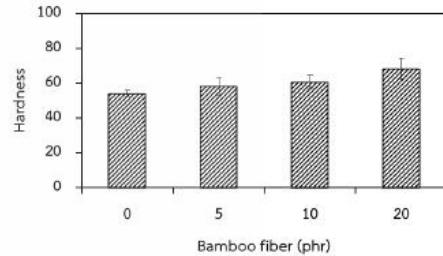


รูปที่ 4 ผลการทดสอบค่าการทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต

จากรูปที่ 4 ผลการทดสอบค่าการทนทานต่อแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต พบว่าค่าการทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยไฟเบอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไฟเบอร์เข้าไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ และลดการเปลี่ยนแปลงรูป (Deformation capacity) ของแมทริกซ์ในโซนอีลาสติก (Elastic zone) [7] แต่ค่ามอดูลัสของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไฟเบอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไฟเบอร์มีความแข็งสูง (High stiffness) จึงไปเสริมให้พอลิเมอร์ผสมมีค่ามอดูลัสที่สูงขึ้นด้วย [1]

3.3 ผลทดสอบความแข็ง

นำวัสดุคอมโพสิตของพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติมเส้นใยไผ่ที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 785 ได้ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิต

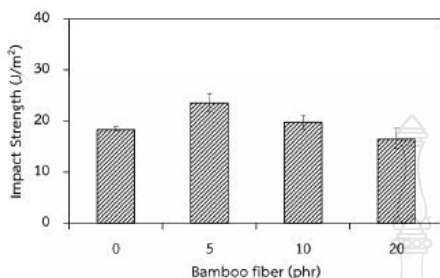
จากรูปที่ 5 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr มีความแข็งเป็น 54.13 เมื่อเติมเส้นใยไผ่ในวัสดุคอมโพสิตที่ 5, 10 และ 20 phr ส่งผลให้ค่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้น จาก 58.30, 60.65 และ 68.50 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยไผ่มีความแข็งสูง (High stiffness) [1] จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งเพิ่มขึ้น

3.4 ผลทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก

นำวัสดุคอมโพสิตของพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติมเส้นใยไผ่ที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256 ได้ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตดังรูปที่ 6 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr มีค่าการทนทานต่อแรงกระแทกเป็น 18.45 J/m² เมื่อเติมเส้นใยไผ่ในวัสดุคอมโพสิตที่ 5, 10 และ 20 phr ให้ค่าการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตเป็น 23.59, 19.84 และ 16.55 J/m² ตามลำดับ ซึ่งการเติมเส้นใยไผ่ที่ปริมาณ 5 phr ให้ค่าสูงสุด และเมื่อปริมาณเส้นใยไฟเบอร์เพิ่มขึ้นที่ 10 และ 20 phr ค่าการทนทานต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยไฟเบอร์เข้าไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ และลดความเหนียวของวัสดุคอมโพสิต [7] นอกจากนี้การเติมเส้นใยไผ่ปริมาณทำให้การกระจายตัวในแมทริกซ์ไม่ดี เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้เกิดการแยกเฟสขึ้น [8]



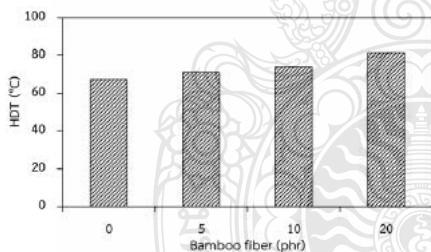
การประชุมวิชาการราชชมกค้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 6 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต

3.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิการเสีรูปของวัสดุคอมโพสิต

นำวัสดุคอมโพสิตของพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติมเส้นใยที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 phr มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 648 ได้ผลการทดสอบอุณหภูมิการเสีรูปของวัสดุคอมโพสิต ดังรูปที่ 6



รูปที่ 7 ผลการทดสอบอุณหภูมิการเสีรูปของวัสดุคอมโพสิต

จากรูปที่ 7 พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 40/60 และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr มีค่าอุณหภูมิการเสีรูปเป็น 67.47 °C เมื่อเติมเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตที่ 5, 10 และ 20 phr ให้ค่าอุณหภูมิการเสีรูปของวัสดุคอมโพสิตเป็น 71.17, 74.10 และ 81.47 °C ตามลำดับ กล่าวคือการเติมเส้นใยลงในวัสดุคอมโพสิต ทำให้อุณหภูมิการเสีรูปสูงขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

การเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน

40/60 โดยน้ำหนัก และเติม PP-g-MAH ที่ปริมาณ 3 phr เป็นสารเชื่อมประสาน และเติมเส้นใยเป็นสารเสริมแรงที่ปริมาณเส้นใย 5, 10 และ 20 phr จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิการเสีรูปสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม่เพิ่มขึ้น ค่าการทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไม่เข้าไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ และลดการเปลี่ยนแปลงรูปของแมทริกซ์ในโซโนลิสติก แต่ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไม่มีความแข็งสูงจึงไปเสริมแรงให้วัสดุคอมโพสิต ค่าการทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 5 phr และเมื่อปริมาณเส้นใยไม่เพิ่มขึ้น ค่าการทนทานต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยไม่เข้าไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ และลดความเหนียวของวัสดุคอมโพสิต และการเติมเส้นใยไม่ปริมาณทำให้การกระจายตัวในแมทริกซ์ไม่ดี เกะกันเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้เกิดการแยกเฟสขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ภายใต้การดำเนินการของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย รหัสทุน MSD5810114 และบริษัท ไทยรุ่งเรืองอินโนเวชั่น จำกัด

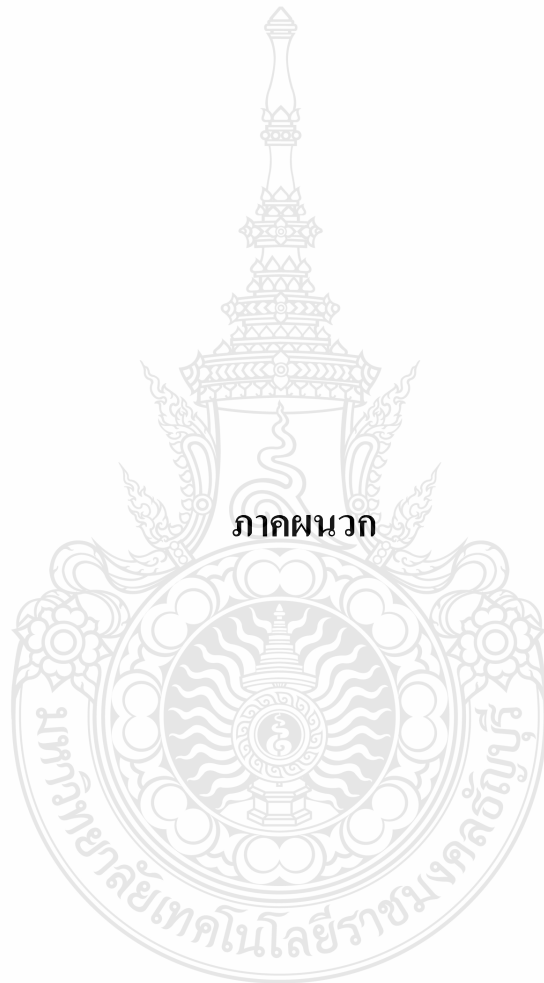
6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tingju, Lu., Shimeng, Liu., Man, Jiang., Xiaoling, Xu., Yong, Wang., Zeyong, Wang., Jan, Gou., David, Hui., Zuowan, Zhou., "Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composites", Composites: Part B 62, (2014), pp. 191-197.
- [2] Qu, P., Gao, Y., Wu, GF., Zhang, LP., "Nanocomposites of poly(lactic acid) reinforced with cellulose nanofibrils", Bioresources 5(1):



การประชุมวิชาการราชมนต์ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

- (2010), pp. 1811–1823.
- [3] Shukor, F., Hassan, A., “Effect of ammonium polyphosphate on flame retardancy, thermal stability and mechanical properties of alkali treated kenaf fiber filled PLA biocomposites”, *Mater Des* 54, (2014), pp. 425–429.
- [4] Ya-nan, Wang., Yun-xuan, Weng., Lei, Wang., “Characterization of interfacial compatibility of polylactic acid and bamboo flour (PLA/BF) in biocomposites”, *Polymer Testing* 36, (2014), pp. 119–125.
- [5] ใฝ่ตง (เทคโนโลยีชาวบ้านออนไลน์), ข้อมูลจาก https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_96311 (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2563)
- [6] Shah, Huda., Narendra, Reddy., Yiqi Yang., “Ultra-light-weight composites from bamboo strips and polypropylene web with exceptional flexural properties”, *Composites: Part B* 43, (2012), pp. 1658–1664.
- [7] Xiang Li, Bingrong Lei, Zhidan Lin, Langhuan Huang, Shaozao Tan, Xiang Cai., “The utilization of bamboo charcoal enhances wood plastic composites with excellent mechanical and thermal properties”, *Materials and Design* 53, (2014), pp. 419–424.
- [8] Heidi, Peltola., Elina Pääkkönen., Petri, Jetsu., Sabine, Heinemann., “Wood based PLA and PP composites: Effect of fibre type and matrix polymer on fibre morphology, dispersion and composite properties”, *Composites: Part A* 61, (2014), pp. 13–22.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ข

ผลงานการเผยแพร่บทความวิจัยเรื่อง "Thermal Property of
Poly(lactic acid)/Polypropylene/Bamboo Fiber Composite
for Injection Molding Application"

Dear Sommai Pivsa-Art, Jutamas Kordsaart, and Weraporn Pivsa-Art,

Congratulations, your paper abstract entitle "Thermal Property of Poly(lactic acid)/Polypropylene/Bamboo Fiber Composite for Injection Molding application" has been accepted for presentation at ICEAST 2020 THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY which will be held virtually on 1-4 July 2020.

As the format of presentations will be changed, we also adjusted the registration fee detailed in

<http://iceast2020.org/attending/>

Important remarks for authors

At least one author of each accepted paper must register and pay the fee by June 10, 2020 for including the paper in the proceedings and IEEE Xplore or IoP. We must receive the payment – it must be booked on conference account – on the latest by June 10, 2020. Only paid and registered papers will appear in the ICEAST 2020 proceedings and will be submitted for inclusion into IEEE Xplore or IoP. One registration fee applies only to one author and/or one paper.

Thank you and looking forward to your presentation in this event.

Technical Program Chair, ICEAST 2020
THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY
Email: iceasttpc@gmail.com

Reviewer comment:

Reviewer A:

Title and Authors: Are the title and authors in the paper the same as listed in the submission system?*

Yes

Timeliness/Relevance: Appropriateness, Hot topic*:

Good

Novelty/Originality: Technical contribution and significance*:

Good

Presentation/Readability: Structure, grammar, graphics and figures*:

Good

Impact: Importance and advancement of knowledge in the related field*:

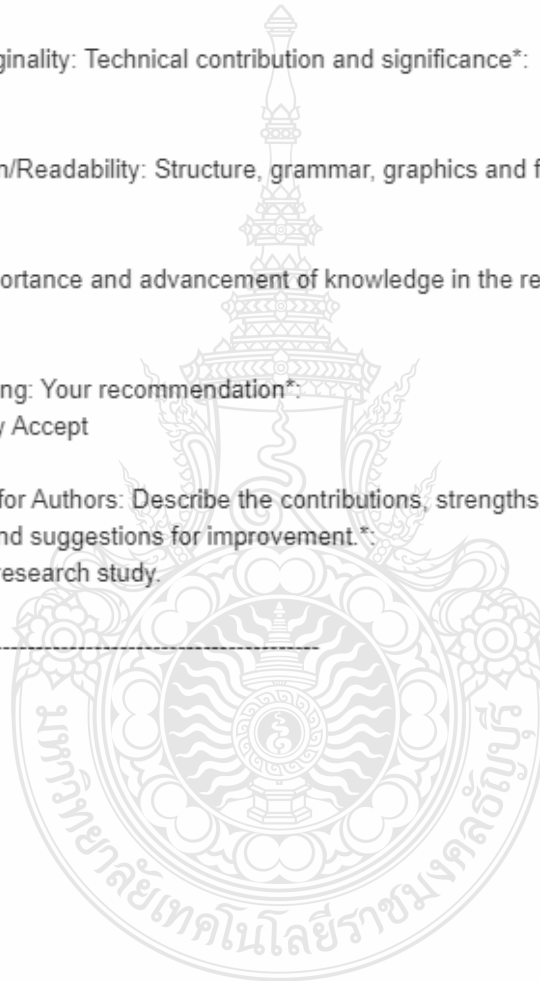
Good

Overall Rating: Your recommendation*:

Weakly Accept

Comments for Authors: Describe the contributions, strengths, weaknesses of the paper and suggestions for improvement.*:

Good research study.



Reviewer B:

Title and Authors: Are the title and authors in the paper the same as listed in the submission system?*

Yes

Timeliness/Relevance: Appropriateness, Hot topic*:

Very Good

Novelty/Originality: Technical contribution and significance*:

Very Good

Presentation/Readability: Structure, grammar, graphics and figures*:

Very Good

Impact: Importance and advancement of knowledge in the related field*:

Very Good

Overall Rating: Your recommendation*:

Strongly Accept

Comments for Authors: Describe the contributions, strengths, weaknesses of the paper and suggestions for improvement.*:

This article is very useful and can apply in the modern world. These technics can integrate with new technology such as digital computer , AI , IoT , 5G telecommunications etc.



Reviewer C:

Title and Authors: Are the title and authors in the paper the same as listed in the submission system?*

Yes

Timeliness/Relevance: Appropriateness, Hot topic*:

Very Good

Novelty/Originality: Technical contribution and significance*:

Good

Presentation/Readability: Structure, grammar, graphics and figures*:

Very Good

Impact: Importance and advancement of knowledge in the related field*:

Good

Overall Rating: Your recommendation*:

Strongly Accept

Comments for Authors: Describe the contributions, strengths, weaknesses of the paper and suggestions for improvement.*:

- Good research study.
- This paper contribution is useful for injection molding applications.
- Paper presentation is good.
- The paper quality is good enough for present in ICEAST2020.

Thermal Property of Poly(lactic acid)/Polypropylene/Bamboo Fiber Composite for Injection Molding application

Jutamas Kordsaart¹, Weraporn Pivsa-Art² and Sommai Pivsa-Art^{1*}

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, THAILAND

²Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, THAILAND

corresponding author's e-mail: sommai.p@en.rmutt.ac.th

Abstract. Polymer composites of poly(lactic acid)/polypropylene/bamboo fibers (PLA/PP/BF) were prepared using polypropylene-graft-maleic anhydride (PP-g-MAH) as a compatibilizer. The ratio of PLA/PP was 40/60 by weight with 3 phr of PP-g-MAH. The content of BF in the composite was varied for 5, 10 and 20 phr (part per hundreds of resins). To improve the surface contact of BF and the polymer matrix, treatment of BF with alkali solution to remove lignin and hemicellulose was studied. The thermal analysis of composite was carried out using a differential scanning calorimetry (DSC) method to verify the property for injection molding application. Morphology of surface area was investigated by a scanning electron microscope (SEM). Chemical property of composite was measured to verify the functional groups by FT-IR. Crystallinity of composite was calculated from XRD analysis. Morphology of fracture structure of PLA/PP blend showed smooth surface area with clear and no phase separation between fiber and polymer matrix. The BF content of 10 phr composite showed satisfied thermal property. The interactions between BF and polymer matrix was confirmed their functional groups of PLA/PP/BF composite by FT-IR spectroscopy. The crystallinity of the composites decreased while the crystallization temperature (T_c) shifts to lower values with increasing BF content which indicated nucleating effect of BF.

1. Introduction

Natura fibers have been used as reinforcement materials in polymers from their advantages of low specific gravity, non-abrasive and their abundant available from renewable resource. Polymer composites reinforced with natural fibers exhibit high stiffness properties, high specific properties, easily recyclable. Unlike brittle fibers the natural fibers are not fractured during processing, low energy consumption and low cost. Wide variety of fibers are available throughout the world.

Currently bamboo is considered as an important plant natural fiber and has a great potential to be used as reinforcement materials in polymer composites. Mechanically grounded bamboo present its structure as fibers rather than particles. On the basis of BF characterization, bamboo has 60% cellulose and high lignin content. The microfibrillar angle of BF is 2–10°, which is comparatively small. According to bamboo fiber (BF) structural variation, treatment of BF including extraction of fibers, chemical modification had made it versatile for the use in polymer composites which resulted in improvement of their mechanical and thermal properties [1-2]. The composites can be effectively applied in the automotive, building, appliance and other applications [3].

The limitation of application of natural fibers as reinforcements for polymers is their property inconsistency which depend on high moisture absorption and incompatibility with polymer matrices [4]. To overcome the above limitations, treatment the fibers surface, addition of compatibilizers and coupling agents such as maleic anhydride, acetic anhydride, and silanes have been reported to facilitate better fiber-polymer interfacial interactions and efficient load transfer [5].

Recently, biodegradable polymers have been used as composite polymer matrices with the purpose to replace the non-degradable polymers. Poly(lactic acid) (PLA) have become a topic of great interest in research and development of biobased and biodegradable polymers. PLA exhibits excellent mechanical properties such as high modulus, and biodegradability. However, PLA has disadvantages on low toughness and gas barrier properties [6].

Polypropylene (PP) is widely used for injection molding products. PP possesses applicable properties for packaging such as high heat distortion temperature, transparency, dimensional stability and outstanding flow ability. PP shows excellent characters for composite fabrication as a matrix material because PP is suitable for filling, reinforcing and blending. The study on PP reinforced with natural fibers composites was reported [7]. Zhang Ying-Chen, *et al* studied the blending of PLA/PP using PP-g-MAH as a compatibilizer. Block or graft copolymers were produced from reaction of maleic anhydride and the side chain of PLA by melt free radical copolymerization. The copolymers acted as a compatibilizer for the PLA/PP blend [8]. However, the reinforcement of PLA/PP with natural fiber has not been reported.

The previous study reported the study of polymer blend of PLA/PP using PP-g-MAH as a compatibilizer. The appropriate ratio between PP and PLA is 40/60 by weight and PP-g-MAH content is 3 phr. In this research, we studied the thermal property of polymer composite of PLA/PP reinforced with bamboo fibers using PP-g-MAH as a compatibilizer. The effect of alkali treatment of bamboo fiber to the PLA/PP polymer matrix was investigated. The thermal and physical properties of composites were reported.

2. Experimental Procedure

2.1. Experimental Materials

Poly(lactic acid) (grade: 3052D, Mn 1.39 x 10⁵, Mw 2.07 x 10⁵, polydispersity 1.48) was purchased from NatureWorks LLC. Polypropylene (grade: HP500N) produce by HMC Polymers Company Ltd. PP-g-MAH was produced from Dupont with maleic anhydride functionalized. Bamboo fiber (BF) was purchased from Kanchanaburi province, Thailand.

2.2. Preparation of compound process

PP, PLA, PP-g-MAH, and bamboo fiber were first vacuum-dried at 80 °C for 8 h prior to mixing. The PLA/PP blending ratio was 40/60 w/w, PP-g-MAH compatibilizer was 3 phr, and bamboo fiber content was varied between 5, 10, and 20 phr. The blending was carried out using a twin screw extruder (CTE-D20L800) at 200 °C.

2.3. Preparation of injection molding process

PLA/PP/Bamboo compounds were oven-dried at 80 °C for 8 h before injection molding (Toyo Machinery & Metal Co., Ltd (TI-30F6). The configuration of injection temperature zones was 200/180/180/180/170 °C. The samples were subjected to mechanical property analysis.

2.4. Morphology analysis

Samples for morphology analysis are from tensile test specimens. The morphology of polymer blends was examined by scanning electron microscopy (SEM) (JEOL, JSM-S410LV), operating at 15 kV. The samples were fixed on supports and coated with gold.

2.5. Thermal analysis

DSC scans were recorded on a differential scanning calorimeter Perkin Elmer, DSC 800 in inert atmosphere (nitrogen), with a heating rate of 10 °C/min. The samples (~10 mg) were placed into alumina crucibles. After the first heating 20 °C to 250 °C at a rate of 10 °C/min, held at that temperature for 5 min, then cooled to 20 °C with cooling rate of 10 °C/min before second step where the samples were heated again and thermograms for second heating were recorded. Glass transition temperature (T_g), cold crystallization temperature (T_c), melting temperature (T_m).

2.6. Fourier Transform Infrared Spectroscopy

FTIR spectra were recorded Nicolet iS5 FTIR Spectrometer equipped with a universal attenuated total reflectance. The spectra were recorded between 4000 and 500 cm^{-1} frequency ranges.

2.7. X-Ray Diffractometry (XRD) measurement

XRD analysis of PBS and its blend was performed on Panalytical X'Pert Pro (model-PW 3040/60) diffractometer with Cu $K\alpha$ radiation ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) generated at voltage of 40 kV and current of 30 mA. Scanning was done in the 2θ angle of 5–80° with a scan step size and time per step of 0.01° and 0.5 s, respectively.

3. Results and Discussion

3.1. Morphology (SEM)

Figure 1 shows an SEM image of fracture surface of PLA/PP (40/60 by weight) composites. PLA/PP without BF in (a) shows no phase separation which may due to the effect of a compatibilizer, PP-g-MAH (3 phr), addition. In Figure 1 (9-11) the yellow circles indicate the bamboo fiber in matrix. With 5 and 10 phr the bamboo fibers were found to distribute on the PLA/PP matrix. However high BF content of 20 phr, the fillers were agglomerate and phased separation of polymer matrix and BF was clearly observed.

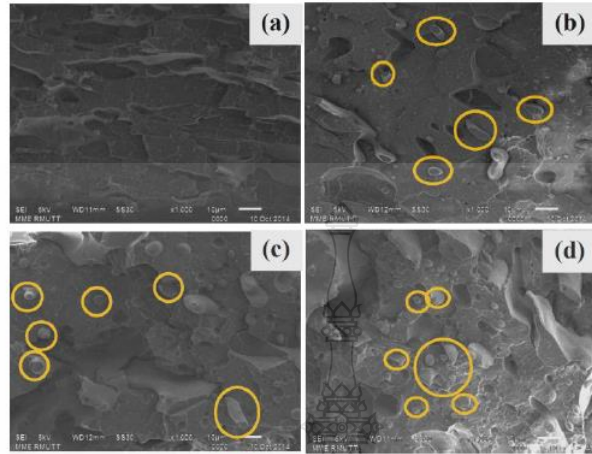


Figure 1. Morphology of PLA/PP/BF composites (3 phr PP-g-MAH) at different BF contents (a) without BF (b) 5 phr (c) 10 phr and (d) 20 phr

3.2. Chemical properties (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

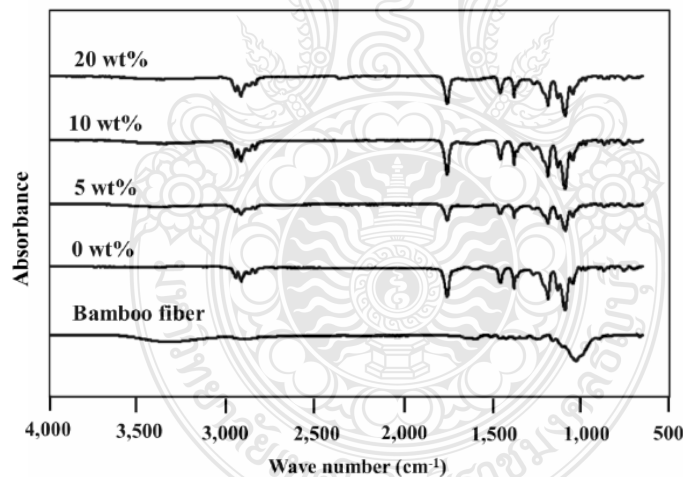


Figure 2. FT-IR spectrum of PLA/PP/BF composite at different BF content

Figure 2 exhibits the FT-IR absorptions bands of PLA/PP/BF composites. The absorbance peak at 3330 cm^{-1} of bamboo fibers represented the stretching vibration of OH and the intensity peak at 2890 cm^{-1} was attributed to the asymmetric stretching vibration of CH_2 in cellulose, hemicellulose, and lignin. The spectrum of hemicellulose (ester linkage of the carboxylic group of ferulic and *p*-coumaric acid of hemicellulose, $\text{C}=\text{O}$ in hemicelluloses) of the bamboo fibers showed peak at 1735 , 1596 and 1506 cm^{-1} (aromatic skeletal vibration of lignin), 1456 cm^{-1} (C-H deformation combined with aromatic ring vibration), and 1230 cm^{-1} (methoxyl groups of lignin) [10, 11]. The peak at 1735 cm^{-1} , attributed to hemicellulose, disappeared for the alkali treated BF. This disappearance of spectrum indicated that the removal of hemicellulose was successful. [10] The peak area within the region

3200–3500 cm^{-1} of the OH stretching vibration was found to be intensified after NaOH treatment. The peak located in 2922 cm^{-1} is attributed to a hydrocarbon (C–H) stretching vibration. The typical absorption peaks of cellulose are observed at 1422 and 1159 cm^{-1} . It could be highlighted that the peak was shifted to the lower value of 1032 cm^{-1} which derived from C–O and C–C stretching vibration, which may be expected as a result of alkaline treatment for the change in molecular orientation [12–13].

The FT-IR spectrum of PP observed at 2956, 2910, and 2830 cm^{-1} are attributed to $-\text{CH}_2-$ and $-\text{CH}_3$ groups. The absorption bands at 1452 and 1377 cm^{-1} are attributed to $-\text{CH}-$ and $-\text{CH}_2-$ groups [14]. PLA shows characteristic frequencies at 1746, 2995, 2946 and 1080 cm^{-1} for C=O, $-\text{CH}_3$ asymmetric, $-\text{CH}_3$ symmetric, and C–O stretching, respectively [15–17].

For the composites, after addition of BF into PLA/PP, the O-H stretching vibration at 3657 cm^{-1} was shifted to 3650 cm^{-1} , which indicated the interactions between the BFs and polymer matrix. Treatment of BF surface by NaOH resulted in removals of the impurities which led to smaller sized and higher crystallinity of the cellulosic fibers and increased the fiber surface area [18].

3.3. Crystallinity of composites (XRD)

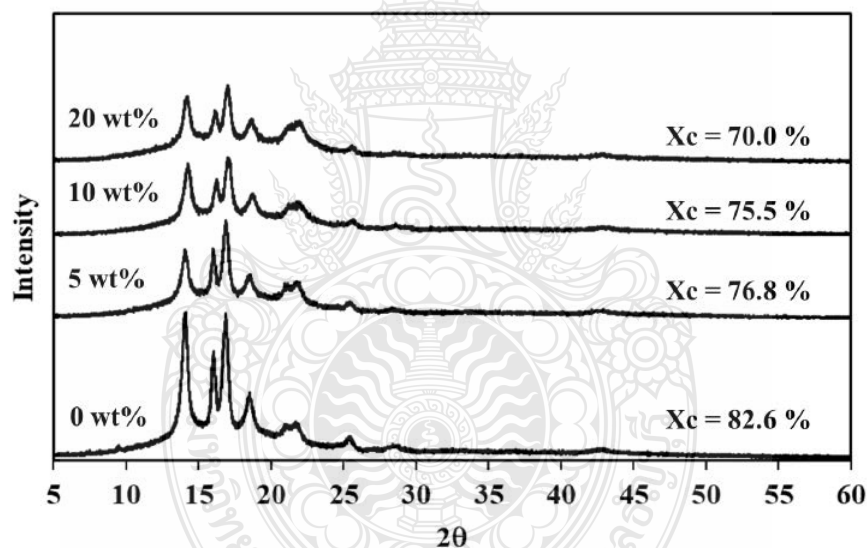


Figure 3. XRD pattern of of PLA/PP/BF composite at different BF content

Figure 3. XRD pattern of of PLA/PP/BF composite at different BF content

Figure 3 shows the XRD pattern of PLA/PP/BF composites at difference BF contents. Bamboo fiber displayed XRD peaks at 2θ 14.9°, 16.1°, 22.1°, and 34.5°, are corresponding to the (101), (110), (200), and (004) crystallographic planes, respectively [19–21]. The intensity of reflections at the angular positions 14.2°, 16.8°, 18.6° of 2θ are in agreement with the (110), (040) and (130) planes of PP [8, 22–24]. The peaks at 16.7°, 19.1° of 2θ are corresponding to the (110) and (020) plane of PLA [24]. The XRD patterns of PLA/PP/BF composites with difference bamboo fiber content was not change but the reduction of peak intensity was observed, The crystallinity of the composite was found to decreased when the amount of bamboo fibers increased. The results may arise from restriction to deformation capacity of the matrix in the elastic zone [25].

3.4. Thermal property analysis

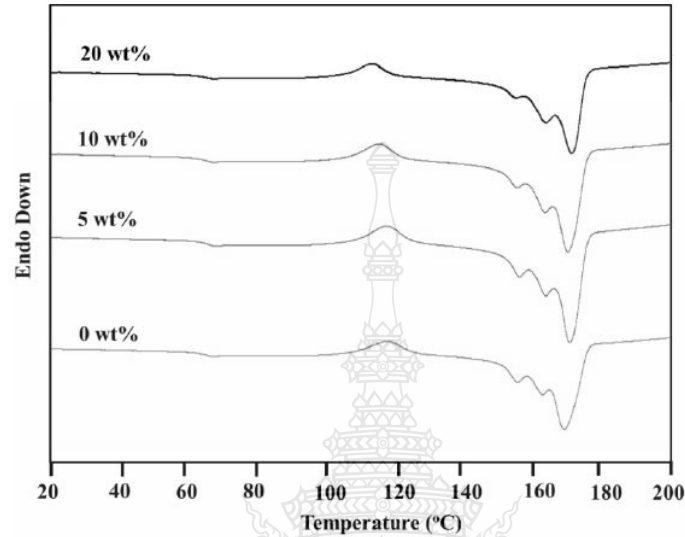


Figure 4. DSC thermogram of PLA/PP/BF composite at different BF content

Table 1. Thermal property of PLA/PP/Bamboo fiber composites

BF (wt%)	T_g (°C)	T_c (°C)	ΔH_c (g/J)	PLA				PP	
				T_{m1} (°C)	ΔH_m (g/J)	T_{m2} (°C)	ΔH_m (g/J)	T_m (°C)	ΔH_m (g/J)
0	63.29	116.83	6.57	154.46	11.25	160.92	7.59	167.80	109.87
5	64.64	116.74	6.39	153.91	10.33	161.60	13.97	169.43	113.39
10	64.53	114.30	5.02	153.60	8.05	161.92	14.10	168.76	112.18
20	63.91	112.43	3.99	153.33	4.00	161.98	16.17	169.94	85.67

Figure 4 and Table 1 depict the DSC thermogram of composites of PLA/PP (40/60 by weight) at difference BF contents. The melting temperature (T_m) of PP and PLA of all samples are not significantly changed. Two melting peaks of PLA in the composites are observed which are attributed to size distribution of crystalline lamella if the melting points are not produced due to the matrix polymorphism [26-27]. The peak of crystallization temperature (T_c) of composite was shifted to lower values with increasing the bamboo fiber contents. The results indicated the nucleating effect of BF [5] and the presence of a transcrystalline zone form at the BF-PP interface [26]. The enthalpy of melting (ΔH_m) of main crystalline parts of PLA is in agreement with the nucleating effect of BF.

4. Conclusion

This research study the production of green composites from poly(lactic acid) (PLA) and polypropylene (PP) blend reinforced with bamboo fibers using an injection molding process. The polymer blend ratio of PLA/PP was 40/60 by weight with addition of polypropylene-*grafted*-maleic anhydride (PP-g-MAH) for 3 phr as a compatibilizer. The contents of BF reinforced in the PLA/PP blend were varied from 5, 10 and 20 phr. The composites were subjected to morphology of surface area by SEM, chemical property as a functional group by FT-IR, crystallinity of composite calculated from XRD and thermal property was analyzed by DSC. Morphology of fracture structure of PLA/PP blend showed smooth surface area with clear and no phase separation between fiber and polymer matrix which may due to addition of polypropylene-*grafted*-maleic anhydride (PP-g-MAH) for 3 phr as a compatibilizer. However, increasing the BF content to 20 phr the agglomeration of fiber and phased separation were occurred. FTIR spectrum confirmed functional group of PLA/PP/BF composite which indicated the interactions between the BFs and matrix. The XRD patterns of PLA/PP/BF composite with difference bamboo fiber contents were not changed but the intensity of peak was reduced. The crystallinity of the composite decreased with increasing BF content which may due to restriction to deformation capacity of the matrix in the elastic zone. Addition of bamboo fiber has no effect to melting temperature (T_m) of composites but the crystallization temperature (T_c) shifts to lower values with increasing the bamboo fiber contents. The results indicated nucleating effect and the presence of a transcrystalline zone form at the BF-PP interface.

- [1] Khalil A HPS, Bhat IUH, Jawaid M, Zaidon A, Hermawan D, Hadi YS 2012 Mater. Des. **42** 353
- [2] Amada S, Ichikawa Y, Munekata T, Nagase Y, Shimuzu H 1997 Compos. B. Eng. **28** 13
- [3] Quim T, Fabiola V, Pedro J H-F, F Xavier E, Marc D-A, Pere M 2019 Ind Crops Prod **132** 319
- [4] Riccier JE, Carvalho LHD, V´azquez A 1999 Polym. Compos. **20** 29
- [5] Han SO, Karevan M, Sim IN, Bhuiyan MA, Jang YH, Ghaffar J, Kalaitzidou K 2012 Int. J. Polym. Sci **679252** 1
- [6] Wang YN, Weng YX, Wang L 2014 Polym. Test **36** 119
- [7] Shubhra QT, Alam A, Quaiyyum MA 2013 J. Thermoplast. Compos. Mater. **26(3)** 362
- [8] Chen ZY, Yan WH, Ping QY 2010 Bioresour. Technol. **101** 7944
- [9] Peltola H, Pääkkönen E, Jetsu P, Heinemann S 2014 Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. **61** 13
- [10] Xie J, Hse CY, Hoop CFD, Hu T, Qi J, Shupe TF 2016 Carbohydr. Polym. **151** 725
- [11] Li G, Lao W, Qin T, Huang L 2015 Holzforschung **69(4)** 399
- [12] Zhang K, Wang F, Liang W, Wang Z, Duan Z, Yang B 2018 Polym. **10** 608
- [13] Zhang X, Wang F, Orc ID, Keer LM 2015 Materials **8(10)** 6597
- [14] Ren H, Liu Z, Zhai HM, Cao Y, Omori S 2015 BioRes. **10(1)** 432
- [15] Chieng BW, Ibrahim NA, Yunus WMZW, Hussein M Z 2014 Polym. **6** 93
- [16] Hoidy WH, Ahmad MB, Al-Mulla EAJ, Ibrahim NAB 2010 Res. J. Appl. Sci. **10(2)** 97
- [17] Zhang L, LvID S, Sun C, Wan L, Tan H, Zhang Y 2017 Polym. **9** 591
- [18] Lu T, Liu S, Jiang M, Xu X, Wang Y, Wang Z, Gou J, Hui D, Zhou Z 2014 Compos. B. Eng. **62** 191
- [19] French AD 2014 Cellulose **21** 885
- [20] Xie J, Hse CY, Hoop CFD, Hu T, Qi J, Shupe TF 2016 Carbohydr. Polym. **151** 725
- [21] Li Y, Jiang L, Xiong C, Peng W 2015 Comp. **54** 12017
- [22] Ummartyotin S, Pechyen C 2016 Carbohydr. Polym. **142** 133
- [23] Ren H, Liu Z, Zhai HM, Cao Y, Omori S 2015 BioRes. **10(1)** 432
- [24] Bouza R, Marco C, Martin Z, Gomez MA, Ellis G, Barral A 2006 J. Appl. Polym. Sci. **102 (6)** 6028
- [25] Li X, Lei B, Lin Z, HuangL, Tan S, Cai X 2014 Mater. Des. **53** 419
- [26] Sanadi AR, Caulfield DF 2000 Compos Interface **7(1)** 31
- [27] Pivsa-Art W, Fujii K, Nomura K, Aso Y, Ohara H, Yamane H 2016 J. Appl. Polym. Sci **43044**

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุฑามาศ กอดสะอาด
วัน เดือน ปีเกิด	2 กุมภาพันธ์ 2538
ที่อยู่	82 หมู่ 1 ตำบลคอนมะเกลือ อำเภออุทุมพร จังหวัดสุพรรณบุรี 72160
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	สหกิจศึกษา ณ บริษัทซูมิโตโม รีบเบอร์ ไทยแลนด์ จำกัด (4 เดือน)
เบอร์โทรศัพท์	080-6798668
อีเมล	jutamas.ksa@hotmail.com

