

การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และ
พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นหลอมเหลว

**POLY LACTIC ACID (PLA) AND
POLY BUTYLENE SUCCINATE (PBS) BLEND FIBERS
PREPARED BY MELT SPINNING TECHNIQUE**

ลลิตา จอมแปง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และ
พอลิবিวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นหลอมเหลว

อลิตา จอมแปง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิบิวทีลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว Polylactic Acid (PLA) and Polybutylene Succinate (PBS) Blend Fibers Prepared by Melt Spinning Technique
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวลลิตา จอมแปง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีช์, Ph.D.)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์จूरรัตน์ ประสาร, Ph.D.)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์กุลวดี สังข์สนธิ, Ph.D.)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, ปร.ด.)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)

วันที่ 6 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวลลิตา จอมแปง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ ใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ในการใช้งานทางด้านสิ่งทอยังมีข้อจำกัด เนื่องจาก PLA มีสมบัติแข็งเปราะ และยืดตัวได้น้อย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมเส้นใยผสมระหว่าง PLA และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ซึ่งมีความเหนียว และยืดตัวได้มากกว่า PLA เส้นใยผสมเตรียมด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวให้กับเส้นใย และสามารถนำไปใช้งานเชิงอุตสาหกรรมด้านสิ่งทอได้

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ที่ อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละ โดยน้ำหนัก จากนั้นเตรียมเส้นใยผสม ประเภทเส้นใยยาวด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส และศึกษาสมบัติการไหล สมบัติความเหนียว สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม

ผลการทดสอบ พบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่อัตราส่วน มากกว่า 70/30 ร้อยละ โดย น้ำหนัก สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมแยกเฟสกันอย่างชัดเจนและค่า Young's Modulus ลดลง ที่อัตราส่วน 80/20 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ค่าความทนต่อแรงกระแทกมีค่าสูงสุด และความเป็นผลึกของ PLA ใน เส้นใยผสมลดลง ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงของเส้นใยสูงสุด ที่อัตราส่วนผสมของ PBS ที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว เส้นใยต่อเนื่อง

Thesis Title	Polylactic Acid (PLA) and Polybutylene Succinate (PBS) Blend Fibers Prepared by Melt Spinning Technique
Name - Surname	Miss Lalita Jompang
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Mr. Narongchai O-charoen, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Mr. Natee Srisawat, Ph.D.
Academic Year	2013

ABSTRACT

Polylactic acid (PLA) is a biodegradable polymer having high potential on industrial applications and widely used. PLA has some limited properties such as brittleness and low elongation, these are effect on the preparation of continues and fiber blended and product applications. This research aims to study the preparation of continuous fiber blended and its properties between PLA and Polybutylene succinate (PBS), which having higher toughness and elongation than PLA. The continuous fibers blends are prepared by melt spinning technique to increase stiffness and toughness of the fiber for textile industry applications.

Polymer blends of PLA/PBS were prepared by twin-screw extruder at blend ratios of 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 and 50/50 %wt. The preparation of continuous fiber blends used melt spinning technique temperature at 230°C. The Rheology, thermal, physical and mechanical properties were studied.

The blend ratios of PLA/PBS more than 70/30 %wt clearly showed the phase separation. Modulus is also reduced. Impact strength showed that the highest at the blend ratios of PLA/PBS 80/20 %wt. The crystallinity of PLA in the fiber were decreased but the fiber elongation was increased. Maximum tenacity of the PLA/PBS blend fiber was found at PBS contents of 30 %wt.

Keywords : polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS), melt spinning, continuous fiber

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง จากบุคคล และหน่วยงานต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร. ณรงค์ชัย โอเจริญ ดร. นที ศรีสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาวสุปรีย์ ดร. กุลวดี สังข์สนิท กรรมการสอบ ดร. จุริรัตน์ ประสาร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสมาชิก ในห้องปฏิบัติการและวิจัย เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา วิศวกรรม สิ่งทอ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเตรียมการทดลอง ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมีสิ่งทอ (การผลิตเส้นใย สังกะราห์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบคุณ ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี กระบวนการปิโตรเลียม บริษัท การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน) ผู้สนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาการต่างๆ ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

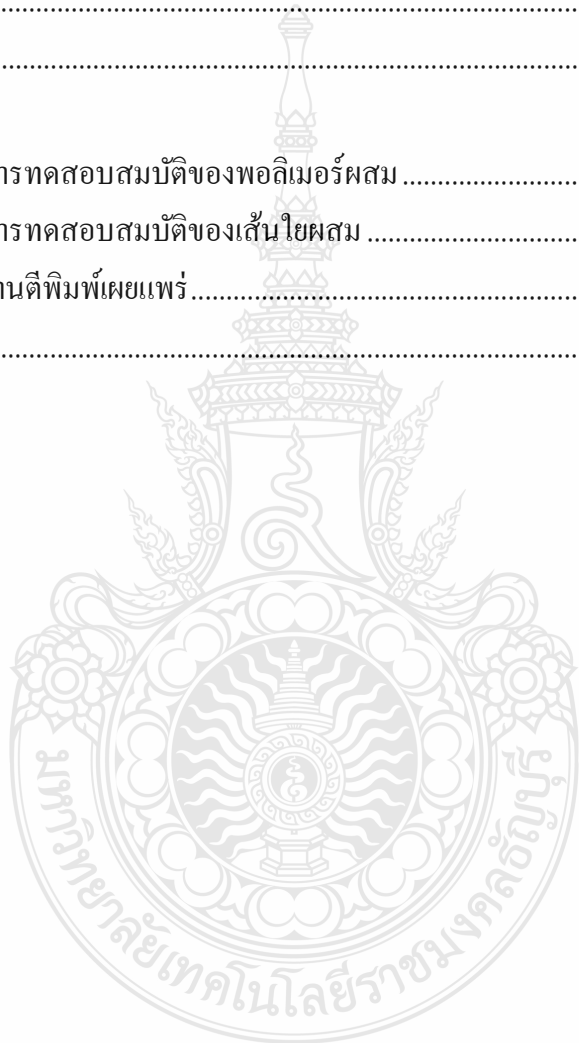
ลลิตา จอมแปง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	13
1.3 สมมติฐานการวิจัย	13
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	47
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	47
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	49
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	50
3.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	52
3.5 การขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/ PBS.....	54
3.6 การทดสอบ	57
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	69
4.1 ผลการทดสอบสมบัติของเม็ดพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS.....	69
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของเส้นใยผสม PLA/PBS.....	78

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS	82
5.2 สมบัติของเส้นใยผสม PLA/PBS	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
รายการอ้างอิง	85
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม	89
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติของเส้นใยผสม	96
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	100
ประวัติผู้เขียน	130



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของ PLA ที่ผลิตเพื่อการค้า	20
ตารางที่ 2.2 สมบัติของ PLA สำหรับกระบวนการขึ้นรูป	21
ตารางที่ 2.3 สมบัติของ PBS ที่ผลิตเพื่อการค้า	25
ตารางที่ 2.4 Spinning Techniques	35
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	54
ตารางที่ 3.2 สภาวะการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	54
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	56
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	69
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	71
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของ % Crystallinity PLA ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ..	78



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพอลิแลคติกแอซิด (PLA).....	17
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ PLA	18
รูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์ PLA แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์	19
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของแลคติกแอซิด	19
รูปที่ 2.5 ลักษณะการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่เกิดขึ้น	22
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ PBS	24
รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิต PBS	24
รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพชนิด PBS	26
รูปที่ 2.9 Classification of Textile Fibers.....	34
รูปที่ 2.10 การขึ้นรูปเส้นใยแบบกระบวนการปั่นแห้ง (Dry Spinning)	36
รูปที่ 2.11 การขึ้นรูปเส้นใยแบบการปั่นแบบเปียก (Wet Spinning)	37
รูปที่ 2.12 การขึ้นรูปเส้นใยแบบการปั่นแบบปั่นหลอม (Melt Spinning)	38
รูปที่ 2.13 Schematic Diagram of Twin-Screw Extruder	42
รูปที่ 2.14 เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder).....	42
รูปที่ 2.15 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine	43
รูปที่ 2.16 ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)	44
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	50
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	52
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	53
รูปที่ 3.4 Spinneret: \varnothing 0.5 mm, L/D: 2	55
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว Single Screw Extruder: ThermoHaake® PolyDrive	55
รูปที่ 3.6 เครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine	57
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ Melt Flow Index รุ่น XRL-400A	58
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความหนืด Rheometer : Gemini 200HR nano(Malvern Instruments)	59

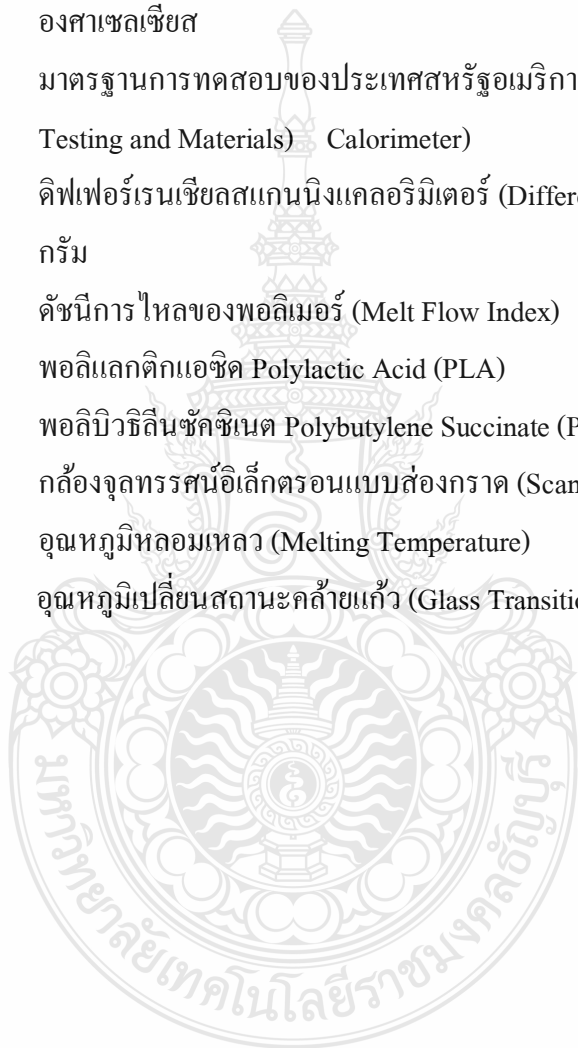
สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH	60
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างชิ้นงานที่บรรจุในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan)	61
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL จำกัด	62
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyd Machine	63
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และความเครียด	64
รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบ Instron บริษัท Instron Preventive Maintenance	67
รูปที่ 3.16 ทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing)	68
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ต่ออัตราเนื้อที่อนุภาค 230 องศาเซลเซียส	70
รูปที่ 4.2 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	72
รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาจากรอยแตกหักของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS (กำลังขยาย 250 เท่า)	73
รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาจากรอยแตกหักของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS (กำลังขยาย 1000 เท่า)	74
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) กับปริมาณ PBS ที่ เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	75
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นกับปริมาณ PBS ที่เติมใน พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS	76
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงกระแทกกับปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBS	77
รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS	79
รูปที่ 4.9 ค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation) ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS	80
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ของเส้นใยผสม ระหว่าง PLA/PBS	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ΔH_f	เอนทาลปีของการหลอมเหลว (Enthalpy for Melting)
ΔH_{f100}	เอนทาลปีของการหลอมเหลว PLA ที่มีความเป็นผลึก 100% (Enthalpy of Melting for a 100% Crystalline PLA)
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
ASTM	มาตรฐานการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society of Testing and Materials) Calorimeter)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning
g	กรัม
MFI	ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index)
PLA	พอลิแลคติกแอซิด Polylactic Acid (PLA)
PBS	พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต Polybutylene Succinate (PBS)
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
T_m	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature)
T_g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบัน การใช้งานพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มพลาสติกมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ และบางชนิดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ พอลิเมอร์สังเคราะห์จึงเป็นที่นิยมในการนำไปใช้เพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์หรือ เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ มากมาย แต่สิ่งที่ตามมา คือ ปัญหาขยะพลาสติกและการกำจัดขยะพลาสติก การกำจัดขยะพลาสติกทำได้ยากการทิ้งให้ย่อยสลายก็ใช้เวลานานหลายสิบปี หรือบางชนิดก็ไม่สามารถย่อยสลายได้ การกำจัดทิ้งโดยวิธีการเผาให้ความร้อนทำให้เกิดก๊าซพิษและส่งผลกระทบต่อปัญหาภาวะเพิ่มมากขึ้น

แนวทางการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่เป็นไปได้มากที่สุดในปัจจุบันคือ การลดการใช้ (Reduce) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) ซึ่งทั้ง 3 แนวทางนี้จะส่งผลให้มีการยืดอายุการใช้งานของพอลิเมอร์ให้ยาวนานขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น และอีกแนวทางหนึ่งคือการใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Degradable Polymers) ซึ่งเป็นการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัดของเสีย อีกทั้งในปัจจุบันพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งจากนักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนนักอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วโลก โดยพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable Resource) ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ มีการพัฒนาสำหรับบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาขยะลดลงได้ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ตระหนักความสำคัญและความต้องการของพลาสติกชีวภาพในตลาดการค้าโลก ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม และได้เริ่มพัฒนาโครงการนวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพชนิดย่อยสลายได้ในประเทศไทยขึ้น เพื่อสนับสนุน และส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ ซึ่งสอดคล้องกับแผนปฏิบัติการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (New Wave Industries) ในอนาคตอันใกล้ประเทศไทยจะ ได้สัมผัสกับวัสดุอัจฉริยะซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตั้งแต่วัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการผลิต จนถึงการจัดภายหลังการใช้งานที่เรียกว่า “พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้” [1]

จากข้อมูลและปัญหาที่ตั้งกล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าพลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างสำหรับการนำไปใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม พอลิแลคติกแอซิด Poly(lactic acid) (PLA) เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ขึ้นรูปได้ง่ายโดยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดเป็นแผ่น การเป่าฟิล์ม การเทอร์โมฟอร์ม ด้านสิ่งทอ เส้นใย และผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) สำหรับการปั่นหลอมขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการปั่นหลอม (Melt Spinning) ลักษณะเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง พบว่าพอลิเมอร์ PLA มีศักยภาพต่ำในการนำมาใช้งาน เนื่องจากสมบัติบางประการ เช่น มีสมบัติความแข็งแรงแต่เปราะ และพบค่าดัชนีการไหลสูง มีความหนืดต่ำ จึงไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง (Continuous Filament) จึงได้มีการศึกษาการเตรียมเส้นใยผสมระหว่าง PLA และพอลิบิวทิลินซัคซิเนต Polybutylene Succinate (PBS) เนื่องจาก PBS เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถเตรียมได้จากวัตถุดิบตั้งต้นที่มาจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาลดิบ และมันสำปะหลัง PBS มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า พอลิแลคติกแอซิดมาก มีสมบัติเชิงกลสูง ทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เสียสภาพ สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี มีความเหนียวและทนต่อกระแทกสูง เพื่อศึกษาสภาวะการขึ้นรูป และสมบัติของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS สำหรับกระบวนการปั่นหลอมขึ้นรูปเส้นใยชนิดเส้นใยยาวต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการ การขึ้นรูปเส้นใย ผสมด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ระหว่าง PLA/PBS
- 1.2.4 เพื่อศึกษา สมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติทางกลของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สามารถเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาสมบัติ ทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล และสามารถกำหนดอัตราส่วนของ พอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยผสมประเภทเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบปั่นหลอมเหลว (Melt Spinning)

และขึ้นรูปเส้นใยผสม ระหว่าง PLA และ PBS ที่มีสมบัติด้านความแข็งแรง เพิ่มขึ้นเพื่อเป็นแนวทาง
สำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอและในงานที่เกี่ยวข้อง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 กำหนดอัตราส่วนและสภาวะการขึ้นรูประหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่องอัดรีดแบบ
สกรูคู่ (Twin Screw Extruder)

1.4.2 ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

1. ทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ของ PLA/PBS ด้วยเครื่อง
(Rheometer : Gemini 200HR Nano Malvern Instruments)

2. ทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Melt Flow Index

3. สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกน
นิงแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

4. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ต้นฐานวิทยา ด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM)

5. ทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

1) ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

2) ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact)

1.4.3 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอม
(Melt Spinning) ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake®

1.4.4 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS โดยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว
(Melt Spinning) ด้วยเครื่อง ขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent
Extruder Fed Spinning Machine

1.4.5 ศึกษาสมบัติของเส้นใยผสม

1. ทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิง
แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) การหดตัวของเส้นใย
(Fiber Shrinkage Testing) ด้วยเทคนิค Boiling Shrinkage

3. ทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ด้วยเครื่อง Instron บริษัท
Instron Preventive Maintenance

1.4.6 รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ห่อภิปรายผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

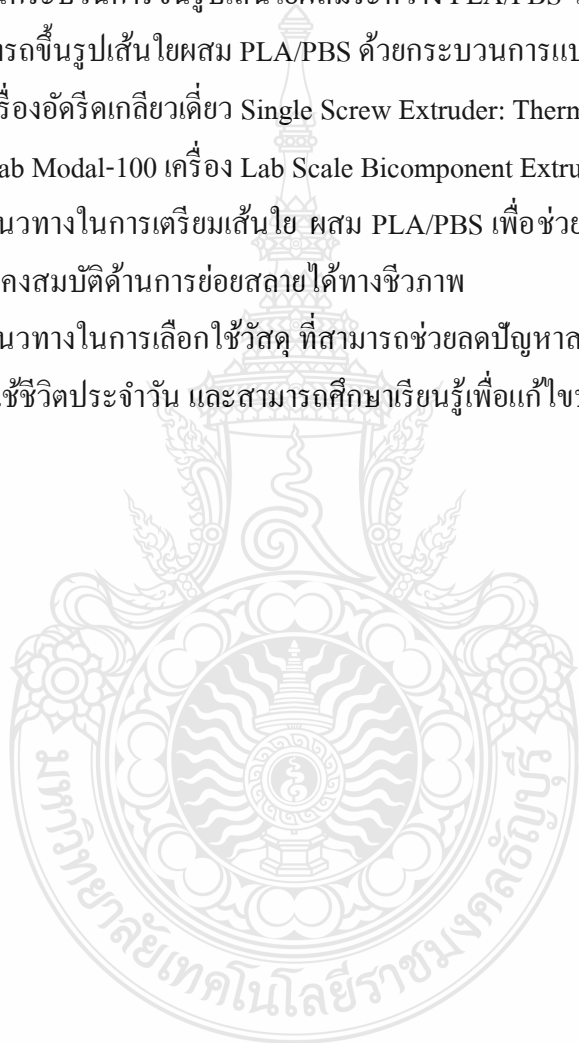
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 จากสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม สามารถกำหนดอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม สำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ได้

1.5.2 สามารถขึ้นรูปเส้นใยผสม PLA/PBS ด้วยกระบวนการแบบปั่นหลอมเหลว (Melt Spining) ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® และเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine

1.5.3 ได้แนวทางในการเตรียมเส้นใย ผสม PLA/PBS เพื่อช่วยลดปัญหาด้านความเปราะ ของเส้นใย PLA แต่ยังคงสมบัติด้านการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.5.4 ได้แนวทางในการเลือกใช้วัสดุ ที่สามารถช่วยลดปัญหาสภาพแวดล้อมที่มาจาก ขยะพลาสติกจากการใช้ชีวิตประจำวัน และสามารถศึกษาเรียนรู้เพื่อแก้ไขปัญหาจากการทำงานวิจัย



บทที่ 2

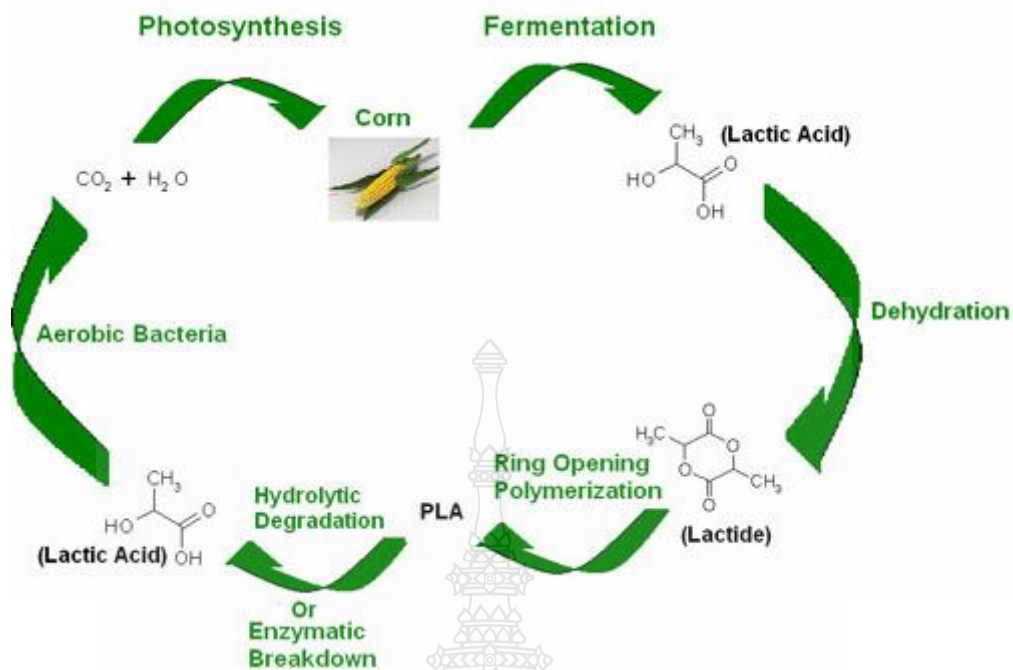
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสม และเตรียมเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ขึ้นรูปเส้นใยผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® และเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine ศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล เพื่อหาแนวทางความเป็นไปได้ในการใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ได้ในชีวิตประจำวันเพื่อช่วยลดปัญหาขยะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากพอลิเมอร์ โดยอ้างอิงจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พอลิแลคติกแอซิด Polylactic Acid (PLA) [2]

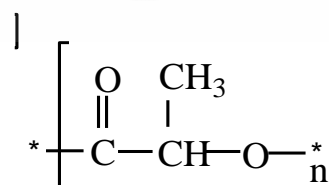
พอลิแลคติกแอซิด Polylactic Acid (PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic Polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic Acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง พอลิแลคติกแอซิด จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermo Plastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermo Forming) การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow Molding) เป็นต้น การใช้งานผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี วัฏจักรของ PLA แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) [3]

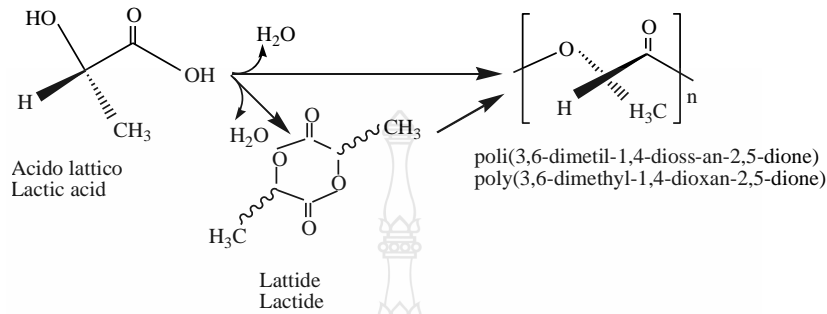
PLA เป็นพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการหมักพืชจำพวกแป้ง (ข้าวโพด) ซึ่งกำลังกลายเป็นทางเลือกใหม่มาแทนที่พลาสติกจากปิโตรเลียม PLA เป็นแหล่งคาร์บอนที่ได้จากวัตถุดิบที่สร้างขึ้นทดแทนได้ โดยคาร์บอนที่ดูดซับโดยพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการแพร่ของปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น และ PLA ยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกเผาเป็นถ้ำ กระบวนการสังเคราะห์ PLA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดยนักวิจัยของบริษัท DuPont ประเทศสหรัฐอเมริกา คือ W.H. Carothers ในปี 1932 โดยการให้ความร้อนแก่กรดแลคติกภายใต้สุญญากาศ และได้ผลิตภัณฑ์เป็น PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และได้จดสิทธิบัตรไว้ในปี ค.ศ.1954 หลังจากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากราคาที่สูงของ PLA ทำให้การนำไปใช้งานมุ่งเน้นไปทางด้านการศึกษาและเภสัชกรรม บริษัท Cargill, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิต PLA ต่อมาในปี ค.ศ.1987 ได้เริ่มทำการวิจัยเพื่อผลิตกรดแลคติกแลคไทด์ และในปี ค.ศ.1992 ได้เริ่มการผลิตในระดับโรงงานต้นแบบ จากนั้น ในปี ค.ศ.1997 ได้ร่วมลงทุนกับบริษัท Dow Chemical Company, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกาแล้วสร้างบริษัท Cargill Dow LLC ขึ้นมา เพื่อทำการพัฒนาเทคโนโลยี และผลิตภัณฑ์ PLA เพื่อการค้าอย่างเต็มรูปแบบ

และในปี ค.ศ.2001 ได้ส่งผลิตภัณฑ์ มีชื่อทางการค้าว่า Nature Works® ออกมาสู่ตลาด ในปี ค.ศ.2005 บริษัท Dow Chemical Company, Inc. ได้ถอนตัวออก จึงมีการเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท Nature Works® แทน พอลิแลคติกแอซิดที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีแนวทางหนึ่งที่ได้พัฒนาจนประสบความสำเร็จและได้พอลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมแก่การลงทุน คือ การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด โดยการแยกส่วนของแป้ง และน้ำตาลที่หลงเหลือในเศษข้าวโพด น้ำตาลที่สกัดได้จะนำไปเข้ากระบวนการหมักจนกระทั่งได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก (Lactic) (Flieger, M., et al., 2003) แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการอื่นๆ ต่อไป ความปลอดภัยของ PLA ถูกจัดให้เป็น GRAS (Generally Recognized as Safe) โดยสำนักงานอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา กระบวนการผลิต PLA เริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการปลูกข้าวโพดซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำเป็นวัตถุดิบ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ได้ผลผลิตเป็นแป้ง จากนั้นจึงนำเอาแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะเพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลเป็นกรดแลคติก (Lactic, C₃H₆O₃) ซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการควบแน่น (Polycondensation) และกระบวนการ (Ring-Opening Polymerization) ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากทั้งสองกระบวนการนี้จะมีโครงสร้างและสมบัติต่างๆ เหมือนกันทุกประการ ดังรูปที่ 2.2 แต่ก็มีรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ที่ต่างกัน จึงเป็นที่มาของการเรียกชื่อพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการแรกมักจะเรียกว่า “ พอลิแลคติกแอซิด ” ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรงจนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ในกระบวนการที่สองจะมีการเปลี่ยนกรดแลคติกโดยปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุล แล้วเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่า แลคไทด์ (Lactide) ก่อน จากนั้นจึงนำเอาวงแหวนแลคไทด์นี้มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จากกระบวนการนี้ว่า “ พอลิแลคไทด์ ” พอลิเมอร์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการก็คือสารชนิดเดียวกันซึ่งเมื่อสังเคราะห์ได้แล้วก็สามารถนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป



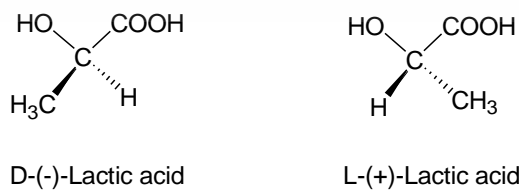
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ PLA [4]

กระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือ กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์ (Lactide) แสดงดังโครงสร้างในรูปที่ 2.3 โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาได้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100,000 และมีสมบัติที่ดี สามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้



รูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์ PLA แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์ [5]

เนื่องจากอะตอมของคาร์บอนบน โมเลกุลของแลกติกแอซิดมีสมบัติไครล (Chiral) แลกติกแอซิดจึงมีการจัดโมเลกุล 2 แบบ คือ L-lactic acid และ D-lactic acid เมื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์ PLA ทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ (1) Poly (L-lactic acid), PLLA (2) Poly (D-lactic acid), PDLA และ (3) Poly (LD-lactic acid), PLDLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์แบบ L แบบ D และแบบผสมตามลำดับ แสดงดังโครงสร้าง ในรูปที่ 2.4 พอลิเมอร์สองแบบมีสมบัติทางเคมีและกายภาพเหมือนกันคือ เป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึกมีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว 50 – 80 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวผลึก 173 – 278 องศาเซลเซียส ในขณะที่พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ผสมมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน โดยอัตราส่วนระหว่าง L/D ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย กรณีที่อัตราส่วน L:D เท่ากับ 1 พอลิเมอร์จึงมีสมบัติเชิงกลต่ำ และเมื่อ L:D เพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกและจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของแลกติกแอซิด [5]

1. สมบัติของ PLA

1) สมบัติทางกายภาพและทางกล PLA

PLA มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 พอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อผ่านการดึงยืดจะมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethylene Terephthalate, PET) แต่ดีกว่าพอลิสไตรีนที่ผ่านการดึงยืดมอดูลัสแรงดึงและแรงคด (Tensile and Flexural Moduli) ของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรตมีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) และการยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at Break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ [6] PLA มีลักษณะใสขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่ง PLA มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถกักกันกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูงในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี มีความคงทนต่อการกระแทกต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PVC ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง ความแข็งแรงความทนทานต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ PET นอกจากนี้ PLA ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับ PS และสามารถนำไปดัดแปลงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ PE หรือ PP ดังนั้น PLA จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี สมบัติของ PLA เพื่อการค้า และสำหรับกระบวนการขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ PLA ที่ผลิตเพื่อการค้า [4]

สมบัติ	NatureWork® PLA	Biomer® L9000
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.24	1.25
Tg (°C)	56.7 - 57.9	n/a
Tm (°C)	140 - 152	n/a
HDT (°C)	40 - 45 (Amorphous) 135 (Crystalline)	n/a
Tensile strength (MPa)	53	70
Elongation (%)	6	2.4
Flexural Modulus (MPa)	350 - 450	3,600

ตารางที่ 2.2 สมบัติของ PLA สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป [7]

Physical Properties	Ingeo Resin	ASTM Method
Specific Gravity	1.24	D792
MFR, g/10 min (210°C, 2.16kg)	22	D1238
Clarity	Transparent	
Mechanical Properties	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
Mechanical Properties	Ingeo Resin	ASTM Method
Flexural Strength (MPa)	15,700 (108)	D790
Flexural Modulus (MPa)	515,000 (3600)	D790
Heat Distortion Temperature (°C)	55	E2092

2) สมบัติการละลายของ PLA [8]

การละลายของ PLA ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหน่วยที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิเมอร์ และระดับความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) พอลิแลคติกแอซิดไม่ละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เฮกเซน (Hexane) และเฮปแทน (Heptane) ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิแลคติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง Poly (L-lactic acid), (PLLA) ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มคลอรีนเตทและฟลูออรีนเตท (Chlorinated or Fluorinated Organic Solvents) ไดออกเซน (Dioxane) ไดออกโซเลน (Dioxolane) และฟูเรน (Furane) PLA นอกจากละลายได้ในตัวทำละลายสำหรับพอลิแลคติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูงที่ได้กล่าวแล้ว ยังละลายได้ใน อะซิโตน (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอทิลแลค-เตท (Ethyl lactate) เอทิลอะซิเตท (Ethyl Acetate) เตตระไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran) ไชลีน (Xylene) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide) เอ็น,เอ็นไดเมทิลฟอร์มามิด (N,N-Dimethylformamide) และเมทิล เอทิล คีโตน (Methyl Ethyl ketone)

3) การเสื่อมสภาพและการย่อยสลายของ PLA [9-14]

การเสื่อมสภาพของ PLA ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุล ในธรรมชาติการเสื่อมสภาพเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อนปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือกิจกรรมทางชีวภาพ (เช่น เอนไซม์) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกสลายด้วยแสง (Photolysis) และการแตกสลายด้วยรังสี (Radiolysis) [10] เนื่องจากการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพกลไกการเสื่อมสภาพจึงมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Degradation) การเสื่อมสภาพของ PLA ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น น้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ (Salinity) การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ในระบบในการทดสอบการเสื่อมสภาพของ PLA จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย การเสื่อมสภาพยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพ เช่น อัตราการแพร่ (Diffusivity) ความเป็นรูพรุน (Porosity) สัณฐาน (Morphology) และความแข็งแรงทางกล (Mechanical Strength) เป็นต้น PLA สลายตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในสภาวะปุ๋ยหมักที่ถูกควบคุมภายใน 90 วัน [11] การเติม PLA ปริมาณเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) ในของเสียจากการทำสวนที่ยังไม่ผ่านการหมัก (Pre-Composted Yard Waste) ทำให้การหมักมีประสิทธิภาพ PLA ถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำเดือดหรือน้ำให้กรดแลคติกซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เป็นมอนอเมอร์สำหรับสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นใหม่ พอลิ(แลค-แลคติกแอซิด) ถูกไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 180-350 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาที ได้กรดแลคติก การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) ของพอลิแลคติกแอซิด และโคพอลิเมอร์เกิดขึ้นได้จากเอนไซม์ประเภท เอสเทอร์เอส โปรติเอส และไลเปส ที่จับออกมาจากจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการแตกสลายด้วยน้ำของพอลิแลคติกแอซิดสามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เห็ดราและแบคทีเรีย [12-14]



รูปที่ 2.5 ลักษณะการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่เกิดขึ้น [7]

4) การใช้งาน PLA [5]

PLA เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่มีสมบัติทางความร้อนและเชิงกลสูงกว่า PHB และ PCL โดยมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate, PET) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ง่าย โดยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดเป็นแผ่น การเป่าเป็นฟิล์ม การเทอร์โมฟอร์ม และการปั่นหลอมเส้นใย PLA มีศักยภาพในการนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ และผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) มีสมบัติจับจีบและคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันด้วยความร้อน มีความทนทานต่อแสงยูวี มีสมบัติติดไฟ และการเกิด กวั่นดำ เหมาะสำหรับการใช้ทำเสื้อผ้าและงานตกแต่ง ผ้าคลุมพื้น ผ้าใบ นอกจากนี้ PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆหลายด้าน ได้แก่

(1) ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ (Bioimpatible) และสามารถถูกดูดซึม (Bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (Biological System) ในร่างกาย จึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures) ตัวเย็บแผล (Staples) วัสดุปิดแผล (Wound Dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical Implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic Fixation Devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2) ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตามเวลาที่กำหนด

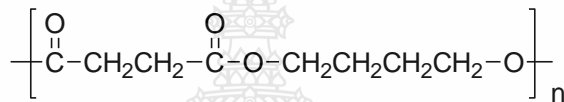
(3) ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ถุงพลาสติก กล่องโฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ

(4) ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ Nonwoven เช่น ผลิตภัณฑ์อานามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน

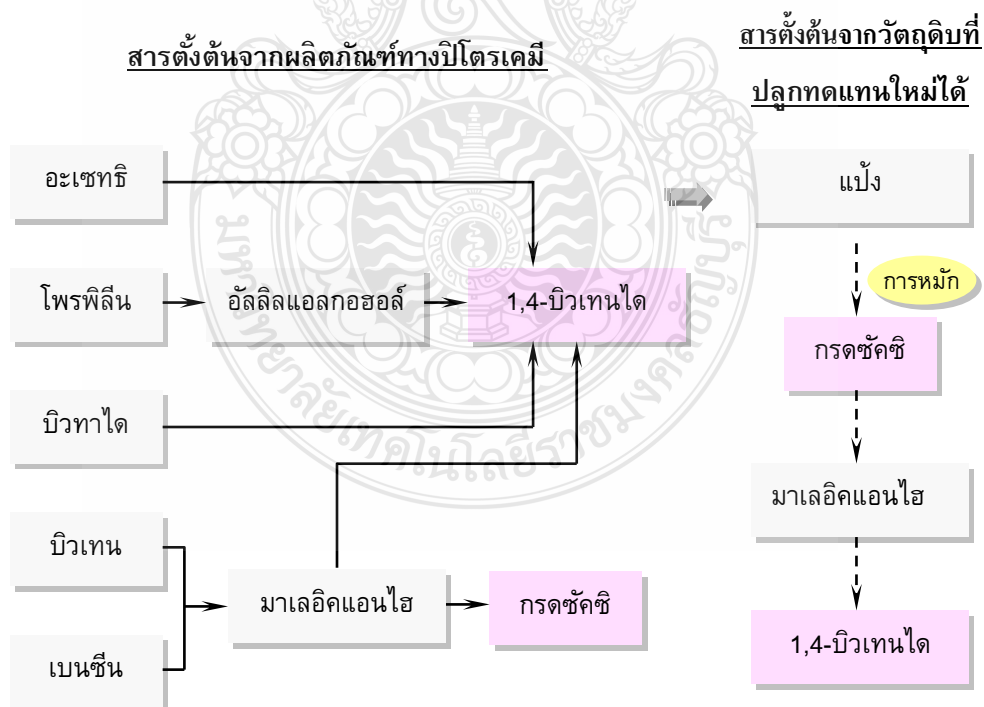
(5) ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers) แผ่นรองพื้น (Floor Mats) และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน

2.1.2 พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต Polybutylene Succinate (PBS) [5]

พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต Polybutylene Succinate (PBS) เป็นพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วจัดอยู่ในกลุ่ม Aliphatic Copolyesters ซึ่งเป็น Biodegradable Copolymers ที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียม มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.6 กรดซัคซินิก และ 1,4 บิวเทนไดออลเป็นมอนอเมอร์ตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต PBS โดยในปัจจุบันมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี อย่างไรก็ตามกรดซัคซินิกยังสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้จากกระบวนการทางชีวภาพโดยการหมัก และยังสามารถต่อไปเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิต 1,4 บิวเทนไดออล โดยผ่านกเตรียมเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์ก่อน และทางการค้ามีชื่อว่า Bionolle กระบวนการผลิตแสดงรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ PBS [5]



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิต PBS [5]

1. สมบัติของ PBS [15]

1) สมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ของ PBS มีสมบัติคล้าย พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) มีลักษณะขุ่น สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลาย กระบวนการ โดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการ เป่าขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่ง PBS สามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 80-200 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.23 g/cm^3 ใกล้เคียงกับ PLA และมีความยืดหยุ่นที่ดี อีกทั้งยังสามารถนำไปผสมกับ PLA เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หลายประเภทได้

ตารางที่ 2.3 สมบัติของ PBS ที่ผลิตเพื่อการค้า

สมบัติ	PBS	
	Film grade	Injection grade
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.26	1.26
Tg ($^{\circ}\text{C}$)	-32	-32
Tm ($^{\circ}\text{C}$)	114	115
Heat Distortion Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	97	97
Tensile Break (kgf/cm^2)	580	210
Tensile Elongation (%)	700	320
Flexural Modulus (kgf/cm^2)	6,700	7,000

2) การเสื่อมสภาพและการย่อยสลายของ PBS [15]

PBS เกิดการย่อยสลายโดยผ่านกระบวนการ Hydro-Biodegradable โดยเริ่มการย่อยสลายทางชีวภาพโดยผ่านกลไกของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดขึ้นที่พันธะเอสเทอร์ ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ซึ่งสามารถเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ต่อไป โดยมีงานวิจัยระบุว่าแผ่นฟิล์ม PBS ที่หนา $40 \mu\text{m}$ สามารถถูกย่อยสลายถึงร้อยละ 50 ภายในเวลา 1 เดือนในดินที่ใช้เพาะปลูกทั่วไป

3) การใช้งาน PBS

PBS สามารถนำไปใช้แทนที่ PET และ PP และยังสามารถนำไปใช้แทนที่พอลิโอเลฟิน โดยเฉพาะ LDPE, HDPE, PS และ PLA ในการใช้งานบางประเภท PBS ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น หลอดฉีดยา ผลิตภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ฟิล์มบรรจุภัณฑ์และอาหาร ขวดน้ำ ผลิตภัณฑ์อนามัย เบาะโฟม สารเสริมสร้างพลาสติก แบบ Non-Migrating สำหรับ PVC และ

พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพประเภทอื่นๆ พลาสติกคลุมดินสำหรับการเกษตร กระจาดต้นไม้ วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ย รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่น ส่วนประกอบและชิ้นส่วนตกแต่งภายในยานยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพชนิด PBS [16]

2.1.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [17]

1. พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตจากการใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล กลูโคส แล้วจึงผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) จะได้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ หรือที่รู้จักคือ PLA ซึ่งมีสมบัติพิเศษที่สามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อนำไปฝังกลบในดินหลังจากเลิกใช้งาน การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) มักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวี จะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งไม่เสถียรจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือ

แม้กระทั่งชิ้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro Peroxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing Additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนดโดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro Peroxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดราไซด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทนผ่านปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic Hydrolysis) และประเภทที่ไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal Catalytic Degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-Enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkaline Metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่

เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-Enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-Enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ และแร่ธาตุต่างๆ

2.1.4 การใช้งานผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้

1. การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวน้ำเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยด้วยอย่างช้าๆ ภายในร่างกาย ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. สารเคลือบกระดาษ หรือ โฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแฮมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3. फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อย

สารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4. ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping Bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมมากนักมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไป เพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

5. ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food Waste Film and Bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใช้ใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆทำให้เกิดความสะดวกไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้ สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ต้นต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

6. บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer Packaging Materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

7. โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose Fill)

โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose Fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้ามีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่น สามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้า

เป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิงแต่ปัญหาคือ พอลิस्टาไทรินเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำรีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.1.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [18]

พอลิเมอร์ผสม เป็นการ ปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมากโดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้นโดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous Matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์และส่งผลให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy Factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือพลังงานที่ใช้ในการผสมผสาน โมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

1. กลไกสภาพเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะสมบัติทางกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและความเค้นสะสม (Stress Concentration) จากดิสเพอร์ส (Disperse) ในเมทริกซ์ (Matrix) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสมจึงนิยมใช้สารช่วยผสมหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (In-Situ Chemical Reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2. วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญเทคนิคเหล่านี้คือ

1) การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์

Addition of Block or Graft Copolymers เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์ (Block Copolymers) จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ (Graft Copolymers) โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมจากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม (Compatibilizer)

2) การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

Addition of Functional/Reactive Polymers การเติมพอลิเมอร์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (Functional Group) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) บ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปลงให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาโดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถ เกิดปฏิกิริยาหรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไอออนิก (Ionic Bond) กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ กระบวนการดัดแปลง พอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน สามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอฟีนีส โดยหมู่คาร์บอกซิลิก ของมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโน (Amino Group) ของพอลิเอไมด์ (Polyamide) ได้ ทั้งนี้พอลิโอฟีนีสกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

3) การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม

(In-Situ Grafting Polymerization) การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสมหรือ Reactive Blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือองค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปลงเพื่อให้สามารถ

เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) กับพอลิเอสเทอร์ (Polyester) แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ Reactive Blending ได้แต่ การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง เช่น การอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) และการอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twins-Screw Extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกันเพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิและสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่ากลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม

2.1.6 การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ [19]

เส้นใยเป็นพอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นบาง มีความยาว เหนียวและโค้งงอได้ เมื่อนำมาปั่นให้เป็นเส้นจะสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น เสื้อผ้า ผ้าห่ม ผ้าปูที่นอน เป็นต้น มีโครงสร้างโมเลกุลเหมาะสมต่อการรีดและปั่นเป็นเส้นด้าย พอลิเมอร์เหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

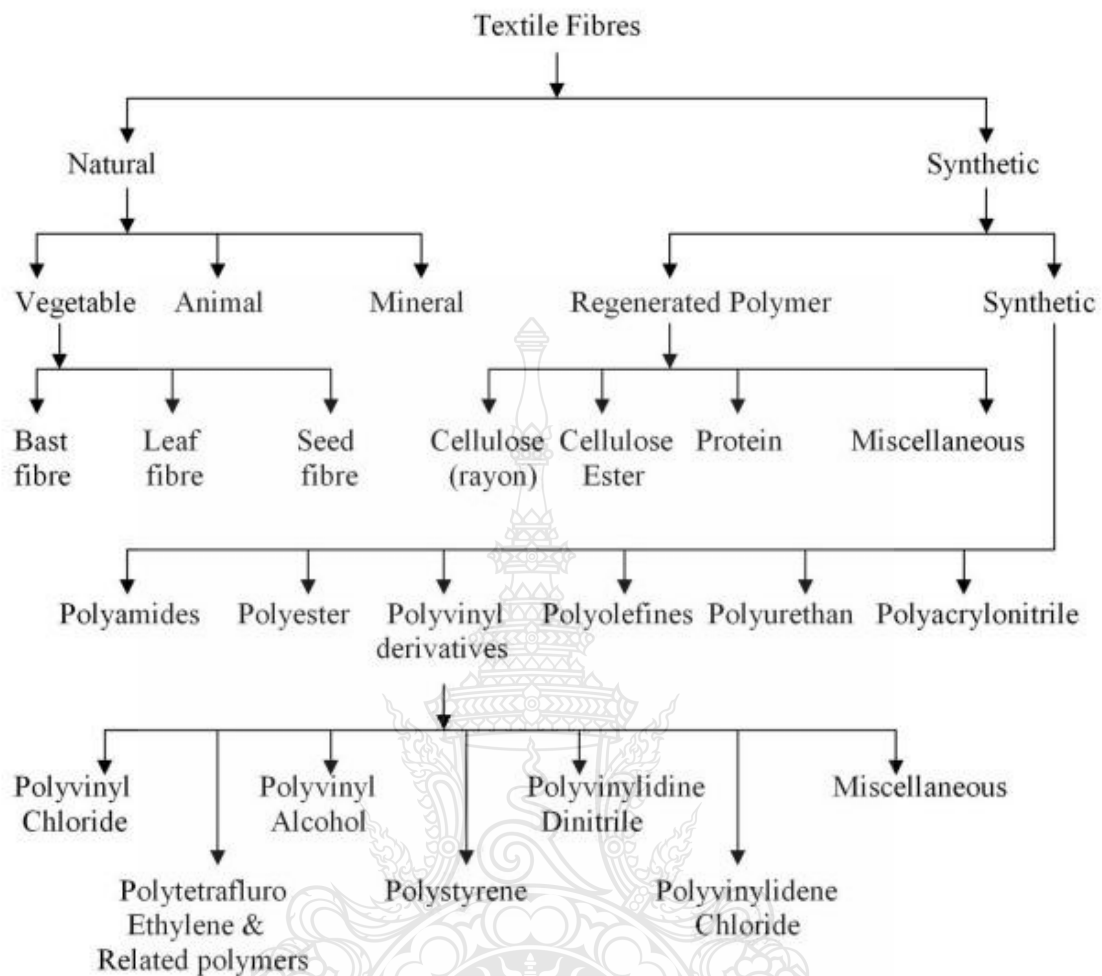
1. เส้นใยธรรมชาติ ที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย คือ เส้นใยเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของพืช นอกจากนี้ยังมีเส้นใยที่ได้จากสัตว์ซึ่งเป็นสารประเภทโปรตีน เช่น ขนแกะ และเส้นใยจากรังไหม เส้นใยเหล่านี้มีสมบัติทั่วไปคล้ายโปรตีนอื่นๆ คือเมื่อเปียกน้ำจะมีความเหนียวและความแข็งแรงลดลง ถ้าถูกแสงแดดเป็นเวลานานๆ จะสลายหรือกรอบ

2. เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เส้นใยธรรมชาติ ถ้าผลิตด้วยเครื่องจักรจะได้เส้นใยที่มีคุณภาพไม่ดี และมีการสูญเสียมาก จึงมีผู้พยายามผลิตเส้นใยสังเคราะห์เพื่อทดแทนเส้นใยธรรมชาติ เช่น เซลลูโลสแอซิเตต เซลลูโลสแอซิเตต (Cellulose acetate fiber) ซึ่งเป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ชนิดแรก ที่เตรียมได้จากการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีสมบัติที่ต่างไปจากเซลลูโลสเดิมและมีสมบัติเหมือนเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไตรอซิเตต และ ไตรอซิเตต

3. เส้นใยสังเคราะห์ คือเส้นใยที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบ และโมเลกุลส่วนใหญ่ต้องเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย โดยทั่วไปความยาวของเส้นใยต้องไม่น้อยกว่า 100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนั้น เส้นใยสังเคราะห์บางชนิดมีสมบัติดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ เช่น มีความทนทานต่อจุลินทรีย์ เชื้อรา แบคทีเรีย ไม่ยับง่าย ไม่ดูดน้ำ ทนทานต่อสารเคมี ซักง่าย และแห้งเร็ว ตัวอย่างเส้นใยสังเคราะห์ที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น ไนลอน

1) เส้นใยสังเคราะห์ [20]

การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber Forming) เป็นกระบวนการที่มีการพัฒนาตั้งแต่ ค.ศ. 1930 ในห้องปฏิบัติการของ DuPont จนทำให้มีการผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงสงครามโลก เนื่องจากสมบัติที่เด่นของเส้นใยสังเคราะห์ และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทดแทนการใช้เส้นใยธรรมชาติเดิมๆ เช่น ขนสัตว์ ฝ้าย ป่าน และไหม เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fibers) เป็นส่วนหนึ่งของเส้นใยประดิษฐ์ (Man-Made Fibers) โดยเส้นใยประเภทอื่น จะเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติที่ได้จากแหล่งจากธรรมชาติ เช่น เศษฝ้ายหรือเยื่อไม้ (เยื่อกระดาษ) เส้นใยสังเคราะห์ได้จากการปรับเปลี่ยนจากสสารที่จากการสังเคราะห์ ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยสังเคราะห์ก็แตกต่างกันไปแต่ละเส้นใย เช่น เส้นใยไนลอน (Polyamides), พอลิเอสเทอร์ (Polyester), และพอลิโอเลฟิน (Polyolefin) ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่สำคัญและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางและมักมีการทำเท็กซ์เจอร์ด้วยเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด ได้ผลิตเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Filament) จากการผลิตแบบหลอมเหลวแล้วดันผ่านรูเล็กๆที่เรียกว่าสปินเนอร์เร็ท (Spinnerets) อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด ก็ถูกใช้เส้นใยสั้นและเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยสิ่งทอที่ใช้ในงานเส้นใยสั้นทั่วไป เส้นใยสังเคราะห์เส้นด้ายตรง (Flat yarn) และเส้นด้ายยาวต่อเนื่องเท็กซ์เจอร์ (Textured Continuous Filament Yarn) และเส้นด้ายใยสังเคราะห์หลายเส้นที่ยาวต่อเนื่อง (Synthetic Continuous Multifilament Yarn) ลักษณะจะเป็นเส้นตรงเรียงตัวตามยาวของความยาวของเส้นด้ายเกือบทั้งหมดโดยมีเกลียวเล็กน้อยหรือมีการทำปมบ้าง (Twist and Intermingling) ซึ่งจะมีลักษณะที่แน่นและมันลื่น อย่างไรก็ตามก็มีหลายวิธีการที่ทำให้เส้นด้ายเกิดมีลักษณะที่เป็นเท็กซ์เจอร์ มีความฟูและยืดตัวได้ (Bulk and Stretch) ด้วยวิธีการเหล่านี้ทำลายการเรียงตัวของเส้นใยและลักษณะที่ตรง ทำให้มีลักษณะเหมือนกับที่ช่วยการปั่นเส้นใยสั้น



รูปที่ 2.9 Classification of Textile Fibers [20]

การใช้งานเส้นด้ายใยสังเคราะห์ (Synthetic Filament Yarn) มีหลากหลาย โดยครอบคลุมทั้ง เสื้อผ้า (Clothing) ผ้าสำหรับเครื่องตกแต่งบ้าน (Furnishing Fabrics) และผ้าเชิงเทคนิค (Technical Fabrics) เส้นใยสังเคราะห์ มีลักษณะเฉพาะตัวในการใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์นั้นเหมาะในงานสิ่งทอในขณะที่ไนลอนนั้นเหมาะในงานเชิงเทคนิคและการใช้งานเชิงอุตสาหกรรมจากสมบัติความแข็งแรงและการให้ตัวที่สูง (High Tenacity and Resilience)

2) กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

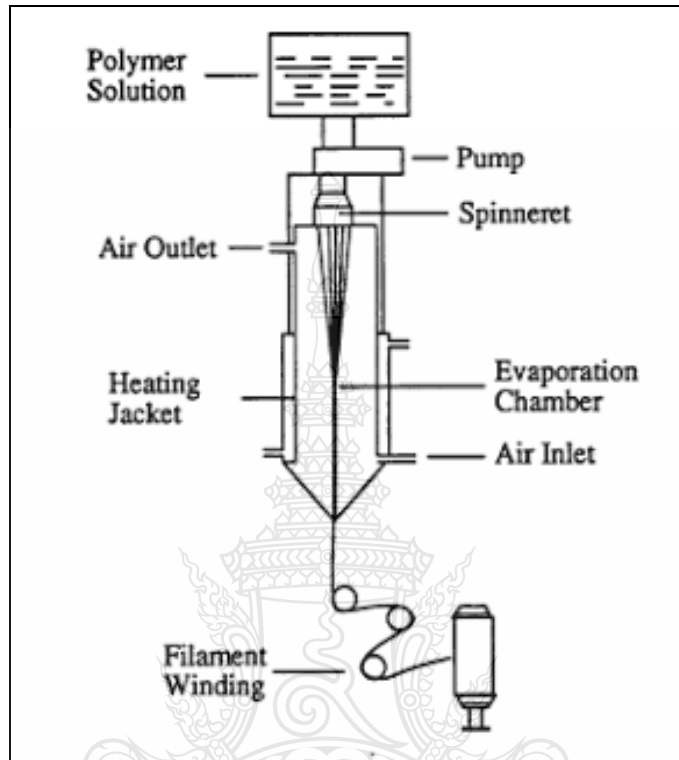
การผลิตเส้นใยสังเคราะห์การปั่นเส้นใยจะรวมทั้งการอัดรีด (Extrusion) และการขึ้นรูปเส้นใย (Fiber Formation) ด้วยเหตุที่พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติจะเกิดการเสถียรภาพได้ง่ายในสภาวะความร้อนสูงที่จุดหลอมเหลว ซึ่งทำให้สภาวะที่เหมาะสมในการปั่นเส้นใยต้องเปลี่ยนสภาพเป็นสารละลายเท่านั้น ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 วิธีคือ การปั่นเส้นใยแบบเปียก (Wet Spinning) และการปั่นเส้นใยแบบแห้ง (Dry Spinning) ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ก่อนที่จะมีการพัฒนาเป็นวิธีการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ดังนั้นสามารถแยกการปั่นเส้นใยได้เป็น 2 กลุ่มคือการปั่นแบบหลอมเหลว และการปั่นแบบสารละลาย (การปั่นแบบเปียก และแบบแห้ง) ซึ่งเส้นใยแต่ละประเภทจะมีการปั่นเส้นใยที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยการปั่นแบบหลอมเหลวเป็นการปั่นที่เป็นที่นิยม และเชิงเศรษฐศาสตร์จะคุ้มค่ามากที่สุด แต่ก็สามารถใช้ได้กับพอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวหลอมตัวได้ที่อุณหภูมิซึ่งไม่ทำให้โครงสร้างหรือสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการปั่นแบบแห้ง สารละลายพอลิเมอร์ที่มีตัวทำละลายกับพอลิเมอร์จะถูกอัดรีดผ่านสปินเนอร์เร็ทแล้วผ่านไปยังส่วนที่ทำให้ตัวทำละลาย เกิดการระเหยออกจากรอบเส้นใยขณะปั่น แล้วก่อตัวเป็นของแข็งเป็นเส้นใย ส่วนการปั่นแบบเปียกนั้นสารละลายพอลิเมอร์ จะถูกอัดรีดผ่านสปินเนอร์เร็ทผ่านไปยังของเหลวที่ไม่สามารถละลายได้ (Non-Solvent) เส้นใยก็จะเกิดการตกตะกอน โดยอาจจะเป็นได้ทั้งที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี และเกิดปฏิกิริยาเกิดการกลับสู่สภาพเดิม (Regenerate) ดังเช่นการเกิดเป็นเกลือ

ตารางที่ 2.4 Spinning Techniques [21]

Melt Spinning	Dry Spinning	Wet Spinning
Nylon	Acetate	Viscose
Polyester	Triacetate	Cupro
Polypropylene	Acrylic	Acrylic
Polyethylene	Spandex	Spandex

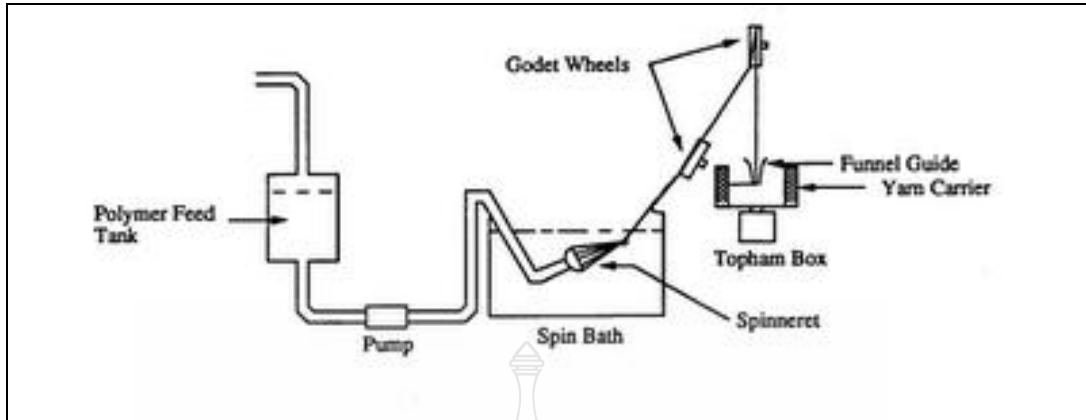
(1) การขึ้นรูปเส้นใยแบบ ปั่นแบบแห้ง (Dry Spinning) เริ่มต้นโดยการเตรียมพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปสารละลาย แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ทำการระเหยตัวทำละลายส่วนที่เหลือในเส้นใยที่ฉีดออกมาโดยการใช้ลมร้อน (Hot Air) เป่า จากนั้นทำการดึงยืดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย ตัวอย่างเส้นใยที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้ได้แก่ โพลีอะซิเตด และโพลีไทรอะซิเตด โดยการ

นำเอาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นใย มาทำละลาย และจะต้องเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย เมื่อฉีดเส้นใยออกมาผ่านลมร้อนจะทำให้ เส้นใยแข็งตัว ตัวทำละลายสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



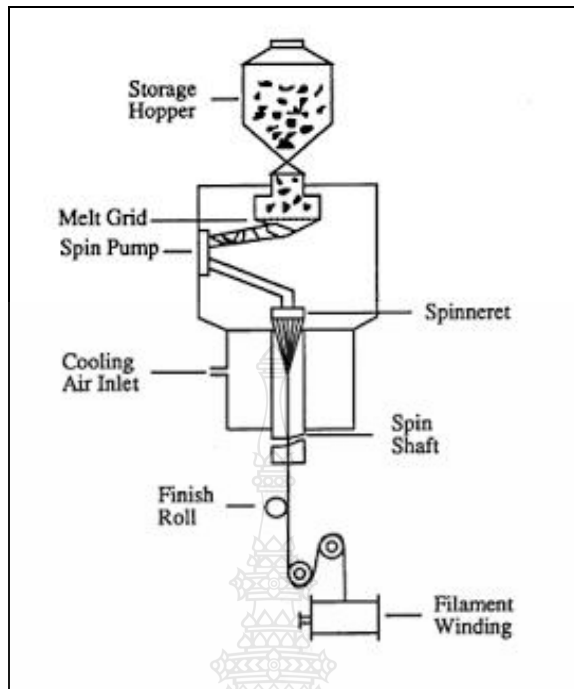
รูปที่ 2.10 การขึ้นรูปเส้นใยแบบกระบวนการปั่นแห้ง (Dry Spinning) [22]

(2) การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นแบบเปียก (Wet Spinning) เป็นวิธีการเก่าแก่ที่สุด เริ่มจากการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ที่จุ่มอยู่ในอ่างของสารละลายตกตะกอน (Coagulation Bath) เส้นใยที่ตกตะกอนออกมาจากสารละลาย เมื่อฉีดเส้นใยออกจากแวนกวดเส้นใยและทำให้เย็น โดยการผ่านลงในน้ำหรือสารละลายที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้งานจะต้องล้างสารเคมีที่มีอยู่ออกก่อนใช้กับการผลิตเส้นใยเรยอน อะคริลิก และยางยืด เมื่อสารละลายโพลิเมอร์ไหลผ่าน สปินเนอร์ทลงไปสู่ของเหลวซึ่งโพลิเมอร์สามารถแข็งตัวได้ หรือตกตะกอนได้ วิธีการนี้จะใช้เมื่อตัวทำละลายโพลิเมอร์นั้นระเหยยาก หรืออาจมีปัญหาในการระเหยตัวทำละลายออก ซึ่งอาจมีปัญหาในการปั่นแบบหลอมเหลวหรือปั่นแห้ง



รูปที่ 2.11 การขึ้นรูปเส้นใยแบบการปั่นแบบเปียก (Wet Spinning) [22]

(3) การขึ้นรูปเส้นใยแบบ ปั่นหลอม (Melt Spinning) [23] กระบวนการปั่นแบบหลอมเหลวเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ในโรงงานผลิตเส้นใยส่วนใหญ่ เพราะไม่ต้องแก้ ปัญหาเหมือนกับการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากกว่า เริ่มจากการหลอมโพลิเมอร์ในเครื่อง ปั่นหลอม (Melt Extruder) แล้วทำการฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) เส้นใยที่ได้ที่เริ่มแข็งตัว จะถูกดึงยืดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงเส้นใยสังเคราะห์ ส่วนใหญ่ผลิตโดยวิธีนี้ เช่น ไนลอน โพลีเอสเตอร์ โพลีเอทิลีน เป็นต้น การขึ้นรูปสามารถใช้ความร้อนในการหลอมพอลิเมอร์ได้โดยตรงเลย สำหรับการปั่นแบบหลอมเหลวเม็ดพอลิเมอร์หรือเม็ดชิพจากวัตถุดิบตั้งต้นผ่านการอบแห้ง จากนั้นถูกหลอมใน Extruder จนเป็นเนื้อเดียวกัน และถูกกรองจากนั้นไหลผ่านช่องแคบๆหลายๆช่องไปยังส่วนของการหล่อเย็น ซึ่งพอลิเมอร์เหลวจะเกิดการแข็งตัวและถูกรวบเป็นมัดของฟิลาเมนต์ มัดฟิลาเมนต์ก็จะผ่านช่วง Spin Finish (น้ำมัน) ก่อนเข้าสู่ลูกกลิ้งเพื่อม้วนเก็บ เป็นกระบวนการขนาดใหญ่และใช้ผลิตเส้นใยที่ความต่อเนื่อง และยูนิตของกระบวนการสังเคราะห์สามารถส่งผ่านมายังส่วนหลอมเหลวได้โดยตรงในกรณีของพอลิพรอพิลีนตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์จนถึงผลิตภัณฑ์ของแข็งจะแยกจากกระบวนการปั่น



รูปที่ 2.12 การขึ้นรูปเส้นใยแบบการปั่นแบบปั่นหลอม (Melt Spinning) [22]

3) สมบัติของเส้นใยสังเคราะห์ [24]

สมบัติของเส้นใยมีผลโดยตรงต่อสมบัติของผ้าที่ทำขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่แข็งแรงก็จะมีความแข็งแรงทนทานด้วย หรือเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำและความชื้นได้ดีเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในส่วนที่มีการสัมผัสกับผิวและดูดซับน้ำ เช่น ผ้าเช็ดตัว ผ้าอ้อม เป็นต้น ดังนั้น การที่เราเข้าใจสมบัติของเส้นใยจะช่วยทำให้สามารถทำนายสมบัติของผ้า ที่มีเส้นใยนั้นๆ เป็นองค์ประกอบ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้น ได้ถูกต้องตามความต้องการของการนำไปใช้งาน โดยการคาดเดาจากองค์ประกอบที่แจ้งไว้ในป้ายสินค้าความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจัยทั้งสามนี้ ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติของเส้นใยก็จะมีผลต่อสมบัติของผ้าหรือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยนั้น ทั้งในส่วนที่เป็นที่ต้องการ และไม่ต้องการต่อการนำไปใช้งาน

(1) โครงสร้างทางกายภาพ โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางสัณฐาน (Morphology) ของเส้นใย สามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ที่มีกำลังขยาย

250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึงความยาว ขนาดหรือเส้นผ่าศูนย์กลาง รูปร่าง ภาคตัดขวาง (Cross-Sectional Shape) รูปร่างของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใย

(2) ความยาวเส้นใย (Fiber Length) เส้นใยมีทั้งชนิดสั้นและยาว ซึ่งความยาวของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติและการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

เส้นใยสั้น (Staple Fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวอยู่ในช่วง 2 ถึง 46 เซนติเมตร (หรือ 1 ถึง 18 นิ้ว) เส้นใยธรรมชาติทั้งหมดยกเว้นไหมเป็นเส้นใยสั้น ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยฝ้าย หนุ่น ขนสัตว์ เส้นใยสั้นที่มาจากเส้นใยประดิษฐ์มักทำเป็นเส้นยาวก่อนแล้วตัด (Chop) เป็นเส้นใยสั้นตามความยาวที่กำหนด

เส้นใยยาว (Filament Fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องไม่สิ้นสุด มีหน่วยวัดเป็นเมตรหรือหลา เส้นใยยาวส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยยาวที่มาจากธรรมชาติ เส้นใยยาวอาจเป็นชนิดเส้นยาวเดี่ยว (Monofilament) ที่มีเส้นใยเพียงเส้นเดียว หรือเส้นใยยาวกลุ่ม (Multifilament) ซึ่งจะมีเส้นใยมากกว่า 1 เส้นรวมอยู่ด้วยกันตลอดความยาว เส้นยาวที่ออกมาจากหัวฉีด (Spinnerets) จะมีลักษณะเรียบ ซึ่งมีลักษณะเรียบคล้ายเส้นใยไหม หากต้องการลักษณะเส้นใยที่หยักก็จะต้องนำไปผ่านกระบวนการทำหยัก (Crimp) ซึ่งเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะคล้ายเส้นใยฝ้าย หรือขนสัตว์ ซึ่งส่วนมากเส้นใยที่ทำหยักมักจะนำไปตัดเพื่อทำเป็นเส้นใยสั้น

(3) ขนาดเส้นใย ขนาดของเส้นใยมีผลต่อสมรรถนะการใช้งานและสมบัติทางผิวสัมผัส (Hand Properties) เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะให้ความรู้สึกที่ หยิบและแข็งของเนื้อผ้า แต่ในขณะที่เดียวกันก็ให้ความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดก็จะให้ความนุ่มต่อสัมผัส และจัดเข้ารูป (Rape) ได้ง่ายกว่า เส้นใยธรรมชาตินั้นมักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาติมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียดมาก (ขนาดเล็ก) จะมีคุณรูปที่ดีกว่า การวัดความละเอียดมักวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย (ภายใต้กล้องจุลทรรศน์) ในหน่วยของไมโครเมตร (1 ไมโครเมตรเท่ากับ 1/1000 มิลลิเมตร) ซึ่งโดยทั่วไปขนาดของเส้น สำหรับเส้นใยประดิษฐ์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม ขนาดของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดของรูในหัวฉีด (Spinneret Holes) การดึงยึดขณะที่ปั่นเส้นใยและหลังการปั่นเส้นใย รวมไปถึงปริมาณและความเร็วของการอัดน้ำพลาสติกผ่านหัวฉีดในกระบวนการปั่นเส้นใย เส้นใยประดิษฐ์ที่ได้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ แต่ก็ยังมีส่วนที่ไม่สม่ำเสมอบ้างเนื่องจากความไม่คงที่ (Irregularity) ของกระบวนการผลิต หน่วยที่มักใช้วัดความละเอียดของเส้นใยประดิษฐ์คือดีนิเยร์ และ เท็กซ์

ดีเนียร์ (Denier) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใย โดยเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 9,000 เมตร เส้นใยที่มีค่าดีเนียร์ต่ำจึงมีความละเอียดมากกว่า เส้นใยที่มีค่าดีเนียร์สูงเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าในความยาวที่เท่ากัน

เท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใยคล้ายกับดีเนียร์ แต่เป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 1,000 เมตร

ดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์ (Denier per Filament, DPF) เป็นค่าที่วัดความละเอียดของเส้นใยที่อยู่ในเส้นด้ายซึ่งมีจำนวนเส้นใยตั้งแต่ 2 ขึ้นไป ดังนั้นค่าดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์จึงเท่ากับดีเนียร์ของฟิลาเมนต์นั้นหารด้วยจำนวนฟิลาเมนต์ (หรือจำนวนเส้นใย) ทั้งหมด โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้สำหรับเสื้อผ้ามีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 ดีเนียร์ เส้นใยสำหรับทำพรมมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 15 ถึง 24 ดีเนียร์ เส้นใยขนาดเท่ากันไม่ได้หมายความว่า จะมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานชนิดเดียวกันได้ เส้นใยที่ใช้สำหรับเสื้อผ้ามักจะนิ่มและละเอียดเกินกว่าที่จะทนต่อแรงกดได้ดีเหมือนเส้นใยที่ใช้ทำพรม ในทางกลับกันเส้นใยที่ใช้ทำพรมก็ให้ความรู้สึกต่อผิวสัมผัสที่ละเอียดน้อยกว่าเส้นใยที่ใช้ทำเสื้อผ้า

(4) ลักษณะผิวภายนอกของเส้นใย ลักษณะผิวของเส้นใยมี ทั้งแบบเรียบเป็นแล็ก หรือขรุขระ ซึ่งลักษณะผิวนี้มีผลต่อความเป็นมันวาว สมบัติต่อผิวสัมผัส เนื้อผ้า และการเปื้อนง่ายหรือยาก

(5) ความหยัก (Crimp) ความหยักในเส้นใยช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ (Cohesiveness) ระหว่างเส้นใย ทำให้สามารถคืนตัวจากแรงอัด (Resilience) ได้ดี ทนต่อแรงเสียดสี (Resistance to Abrasion) มีความยืดหยุ่น มีเนื้อเต็ม (Bulk) และให้ความอบอุ่น (Warmth)

(6) องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) ที่เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆคือมอนอเมอร์ (Monomer) และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า โพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) ขนาดของโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลบอกได้จากจำนวนของมอนอเมอร์ในโพลีเมอร์นั้น (Degree of Polymerization) โพลีเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุล มากกว่าโพลีเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้นเนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่านั่นเอง ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่โพลีเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่ โมเลกุลหรือโพลีเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยจะมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (Random) ก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบก็จะมีความเป็นผลึก (Crystalline)

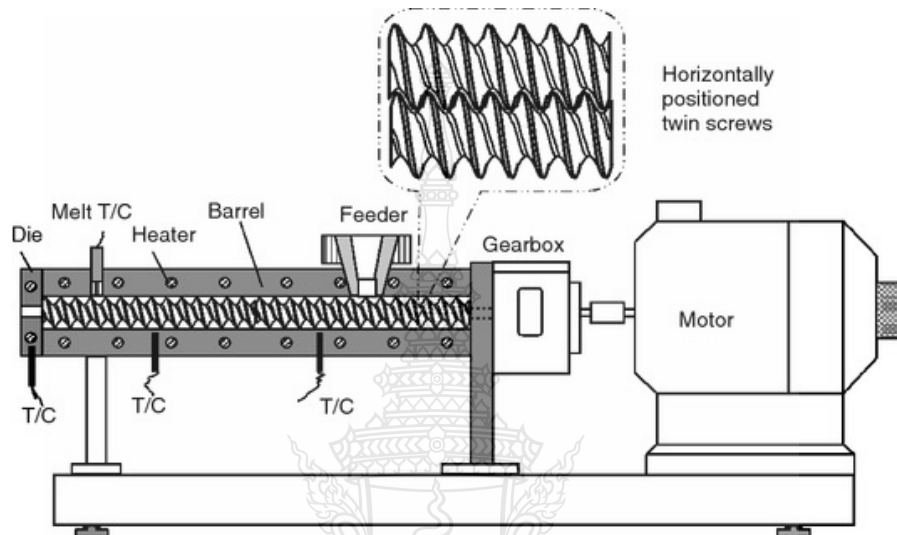
เกิดขึ้น เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมี ความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเป็นผลึกไม่ใช่ปัจจัยที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใย หากรวมไปถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ด้วย ถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ก็จะ ช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย(ตามความยาว) ทำให้สามารถมีส่วนช่วยในการรับแรงเต็มที่ เรียกว่าเส้นใยนั้นมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ดี (Oriented Fiber) ในอีกกรณีหนึ่งแม้เส้นใยจะมีบริเวณที่เป็นผลึกมาก แต่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลก็ไม่สามารถรับแรงในทิศทางการดึงเส้นใยได้เต็มที่ ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าในกรณีแรก ดังนั้นในกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ จึงต้องมีการดึงยืดเส้นใยที่ออกมาจากหัวฉีด เพื่อเพิ่มความเป็ นผลึก โดยการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ และทำการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ให้อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนตามยาวของเส้นใย กระบวนการนี้เรียกว่าการดึงยืด (Stretching หรือ Drawing)

2.1.7 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมและเส้นใยผสม

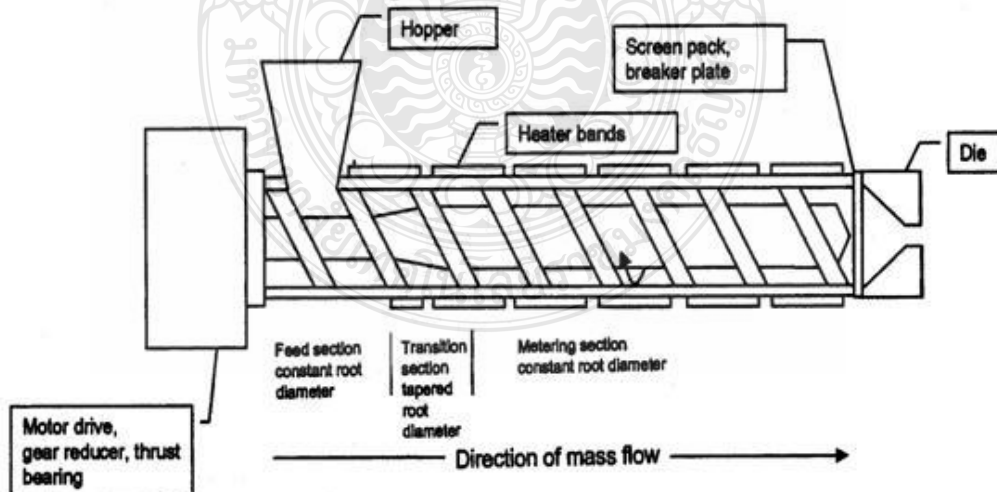
1. เครื่องอัดรีดเกลียวหอนคู่ (Twin Screw Extruder) [25] เครื่องอัดรีดเกลียวหอนคู่ เป็นเครื่องมือที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตการผสม และการควบคุมความร้อนแก่วัตถุดิบที่ผ่านเครื่องอัดรีดได้มากกว่าการใช้เครื่องอัดรีด เกลียวหอนเดี่ยว เครื่องอัดรีด เกลียวหอนคู่ หมายถึง เครื่องอัดรีดใดๆ ที่มีสองสกรูอยู่ในกระบอกความร้อนอันเดียวกัน เครื่องอัดรีด เกลียวหอนคู่นี้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ 1) แบบเกลียวสกรูหมุนตามกัน (Co-Rotating Screw) 2) แบบเกลียวสกรูหมุนสวนกัน (Counter Rotating Screw) เครื่องอัดรีดทั้งสองแบบนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ลักษณะคือ สกรูที่มีลักษณะเกลียวสอดเข้าหากัน (Intermeshing) และสกรูที่มีลักษณะเกลียวไม่สอดเข้าหากัน (Non-Intermeshing)

2. เครื่องอัดรีดเกลียวหอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) เกลียวหอนของเครื่องรีดจะถูกยึดอยู่ในกระบอกซึ่งเกลียวหอนมักจะแบ่งหน้าที่ของส่วนต่างๆเป็น 3 ส่วนคือ นับจากด้านท้ายของเครื่องที่ติดกับกรวยเติมคือ Feed, Compression และ Metering ซึ่ง Feed Section มีหน้าที่หลักคือ การดึงเม็ดหรือผงพลาสติก จากกรวยเติม พลาสติกลงในกระบอก เริ่มให้ความร้อนแก่ พลาสติก และทำให้เกิด การผสมของ พลาสติก กับวัสดุชนิดต่างๆ นอกจากนี้ส่วนป้อนยังทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรูส่วนใน Compression Zone ความลึกของร่องเกลียวหอนจะค่อยๆ ลดลงเพื่อให้เกิดแรงดันของพอลิเมอร์หลอมเหลว และทำให้ความหนาของชั้น พลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้ พลาสติก หลอมผสมกันเป็นเนื้อเดียว ส่วนสุดท้ายของ สกรูคือ

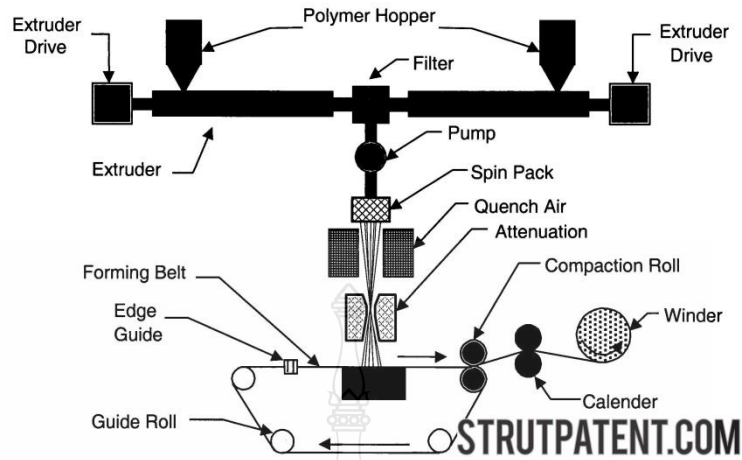
Metering จะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อนพลาสติกหลอมในส่วนนี้ จะมีความดัน เพิ่มขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.13 Schematic Diagram of Twin-Screw Extruder [26]



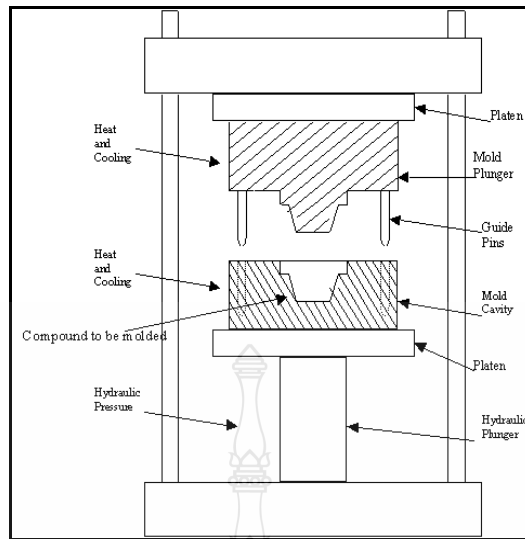
รูปที่ 2.14 เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) [26]



รูปที่ 2.15 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine [27]

3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) [28]

กระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์เทคนิคหนึ่ง แต่ยังมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคนี้ในการอัดเบ้าพลาสติก กลุ่มเทอร์โมเซต (Thermoset) และยาง (Rubbers) นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคนี้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก ที่ทำการแปรรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่มีการผสมไฟเบอร์ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Fiber Glass) และเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เป็นต้น นอกจากนี้การแปรรูปพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers) นิยมใช้การอัดในการแปรรูปในเทคนิคการอัดใช้เครื่องอัดที่ไม่มีความซับซ้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือแผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ ขึ้นลงได้ อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการปิดและเปิดเบ้าได้เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อนระบบไฮดรอลิกและอาจเป็นอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องที่ใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัด แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) [28]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิ แลคติกแอซิด และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ มีดังนี้

Ajay M. Gajria และคณะ [29] ได้ศึกษาสมบัติพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง Poly(lactic Acid (PLA) และ Poly (Vinyl Acetate), (PVA) เตรียมขึ้นรูป ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Single-Screw Extruder ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) สมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ และลักษณะพื้นฐานวิทยา จากการศึกษาทางความร้อนโดยใช้ เทคนิค Differential Scanning Calorimetry พบว่าฟิล์มผสมมีลักษณะ เป็น Amorphous และเป็นพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ เนื่องจากอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, (T_g)) เกิดขึ้นมีเพียงค่าเดียว จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพแสดงปริมาณการเติม PVA ที่สามารถผสมเข้ากันได้ อยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก การทดสอบการ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ แสดงให้เห็นถึง ความแตกต่างของ น้ำหนักระหว่าง PLA และ 95/5 PLA/PVA ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของ 95/5 PLA/PVA มีค่ามากที่สุด ซึ่งมีผลมาจาก ปริมาณการผสมพอลิเมอร์ตัวเติม เทคนิค Scanning Electron Microscopy แสดงค่าความแตกต่างของ อายุการใช้งานและอัตราการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสม พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยจัดวางแบบอิสระ (Deaged Free) แสดงอัตราการย่อยสลายสูงสุด

Sangmook Lee และคณะ [30] ศึกษาสมบัติทางความร้อน การไหล ลักษณะพื้นฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBSA ที่เตรียมโดยการฉีดขึ้นรูป ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย DSC แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางความร้อนของ PLA ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณ PBSA ที่ผสม แต่จากการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ เมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) แสดงให้เห็นว่าความเสถียรต่อ ความร้อนของพอลิเมอร์ผสมน้อยกว่า PLA และ PBSA บริสุทธิ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมขึ้นย่นการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ทั้งสอง (Rheological Properties) สมบัติการไหล ของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณขององค์ประกอบ ค่าความทนทานต่อแรงดึงและมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณของ PBSA ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความทนทาน ต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ของ PLA/PBSA ที่อัตราส่วน 80/20 ร้อยละ โดยน้ำหนัก เพิ่มขึ้นอย่างมากกว่ากฎของการผสม (Rule of Mixture) พอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณ PBSA 80 ร้อยละ โดยน้ำหนักพบว่ามอดูลัสของแข็งของการย่อยสลายสูงสุดสำหรับ

Amita Bhatia และคณะ [31] ศึกษาความสามารถในการเข้ากันได้ ระหว่าง PLA และ PBS ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การไหล และสมบัติเชิงกล พอลิเมอร์ผสมเตรียมที่อัตราส่วน PLA/PBS เท่ากับ 90/10, 80/20, 50/50, 20/80 และ 10/90 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ทำการอบเม็ดพลาสติกก่อนการผสมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสุญญากาศ 80 KPa เป็นเวลา 2 วัน เพื่อป้องกันพอลิเมอร์สลายตัว โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองแยกเฟสอย่างชัดเจน จากสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PLA ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อผสม PBS แต่ที่อัตราส่วน PLA/PBS เท่ากับ 80/20 แสดงให้เห็นการผสมกันบางส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง ค่าความทนต่อแรงดึง มอดูลัสและเปอร์เซ็นต์การยืดจน จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่ 80/20 เป็นไปตามกฎการผสม ลักษณะพื้นฐานวิทยาแสดงให้เห็นการผสมกันของพอลิเมอร์ที่ปริมาณ PBS น้อยกว่า 20 ร้อยละ โดยน้ำหนัก และ PBS เป็นตัวเพิ่มความเหนียวให้กับ PLA แสดงให้เห็นแนวโน้มในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

Yaming Wang และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLLA และ PBSA ด้วยวิธี Solvent Casting ที่อัตราส่วนต่างๆ และศึกษาการผสมเข้ากัน (Miscibility) ลักษณะพื้นฐานวิทยาและสมบัติทางความร้อนพบว่า PLLA ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกับ PBSA โดยจะเห็น T_g ที่แยกออกจากกันและ T_m 2 ค่า และศึกษาการตกผลึกและ ลักษณะพื้นฐานวิทยา ของพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อ PLLA เป็นเมทริกซ์ ปริมาณของ PBSA ที่แตกต่างกันไม่ทำให้กลไกและ อัตราเร็วของการตกผลึก

แตกต่างกัน สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มี PBSA เป็นเมทริกซ์ อัตราเร็วของการตกผลึก ของ PBSA ลดลง
เมื่อปริมาณของ PLLA เพิ่มขึ้น ในขณะที่กลไกของการตกผลึกไม่เปลี่ยนแปลง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม และเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS เพื่อศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสม สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสม และศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยผสมด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ด้วยเครื่อง อัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® PolyDrive และเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย จะกล่าวถึงรายละเอียด ขั้นตอนการดำเนินงาน แผนการดำเนินงาน ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการทดสอบ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล วิธีการดำเนินงานมีขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 วางแผนการดำเนินงาน

3.1.3 เตรียมวัสดุคืบ จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.4 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ Twin Screw Extruder : CTE-D20L800 บริษัท CHAREON TUT CO, TLD อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ได้แก่อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก

3.1.5 ทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

1. ทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH

2. ทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Melt Flow Index รุ่น XRL-400A ตราอักษรประเทศไทย

3. ทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง ทดสอบความหนืด Rheometer : Gemini รุ่น 200HR nano บริษัท Malvern Instruments

4. ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

1) ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 6382)

2) ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 256

5. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) สันฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL จำกัด

3.1.6 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® PolyDrive

3.1.7 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt spinning) ด้วยเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine

3.1.8 ทดสอบสมบัติของเส้นใยผสม

1. ทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH

2. ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ด้วยเครื่อง Instron บริษัท Instron Preventive Maintenance มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3822-01

1) ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity)

2) ค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation)

3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ด้วยเทคนิค Boiling Shrinkage มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5104-02 ใช้อุณหภูมิ 98 ± 1 องศาเซลเซียส

3.1.9 รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ห่อภิปรายผลการทดลอง

3.1.10 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุ

1. เม็ด พอลิเมอร์ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) Grade 3052D MFR 14 g/10 min (210 องศาเซลเซียส, 2.16 กิโลกรัม) Test Method ASTM D1238

2. เม็ดพอลิเมอร์ พอลิবিທີਲින්ซັക്ซีเนต (PBS) Grade FZ91PD MFR 6 g/10 min (190 องศาเซลเซียส 21.18 นิวตัน) Test Method ISO 1133

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดเกลียวหอนคู่ Twin Screw Extruder ตรายักษ์ Brabender รุ่น D-47005 บริษัท Duibury ประเทศเยอรมัน

2. เครื่องอัดรีดเกลียวหอนเดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® Poly Drive

3. เครื่องขึ้นรูปเส้นใย Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine รุ่น Model#LBS 100 บริษัท Hills, INC [W. Melbourne, FL-USA]

4. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) บริษัท Lab Tech Engineering

5. ตู้อบเม็ดพลาสติก

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่อง Melt Flow Index รุ่น XRL-400A ตรายักษ์ประเทศจีน

2. เครื่องทดสอบความหนืด Rheometer: Gemini รุ่น 200HR Nano บริษัท Malvern Instruments

3. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH

4. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyd Machine รุ่น T30K

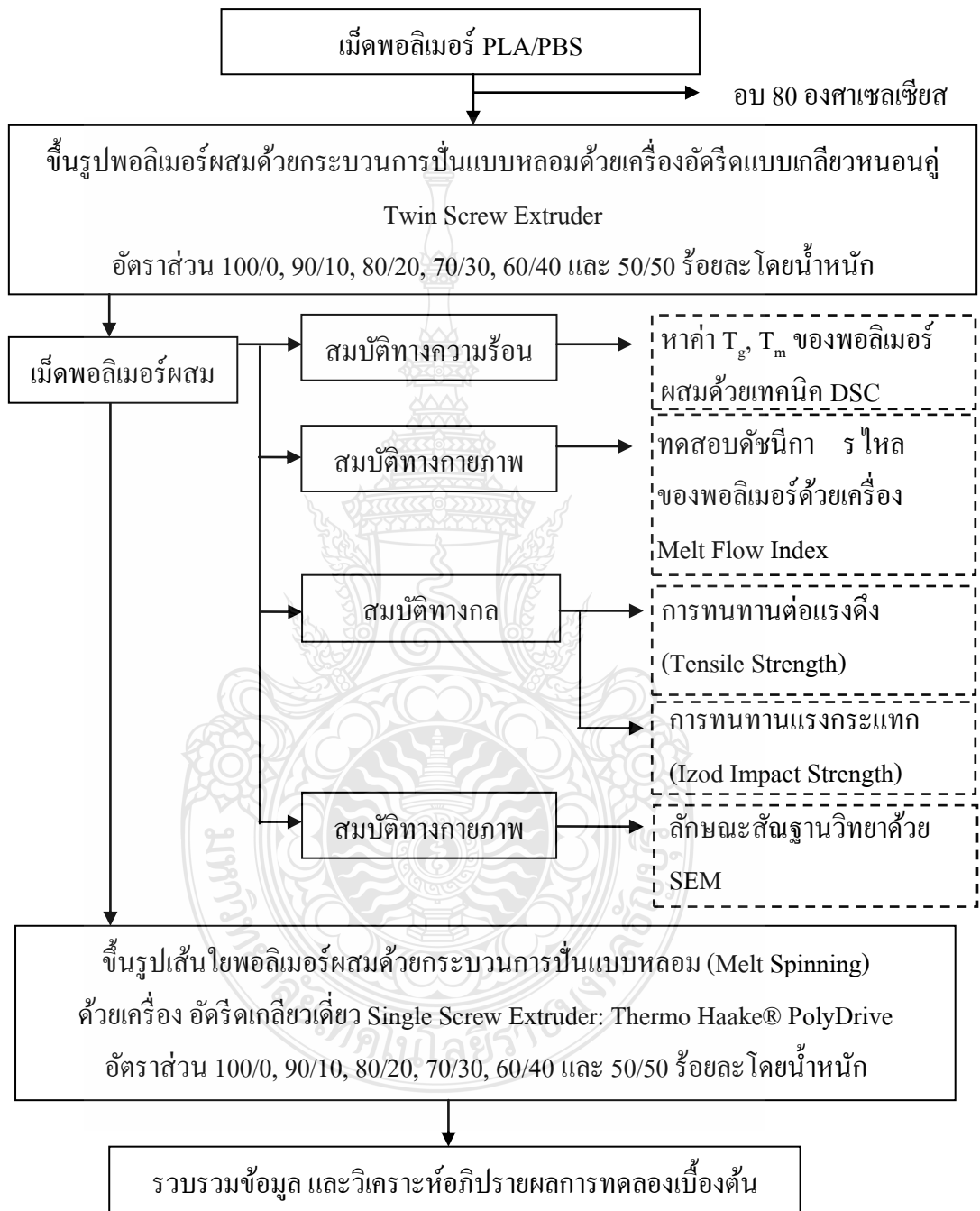
5. เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกแบบไอซอดิมแพค (Izod Impact Strength) ยี่ห้อ HOUSE FIELD

6. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล Instron บริษัท Instron Preventive Maintenance

7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM-6510 (ประเทศญี่ปุ่น)

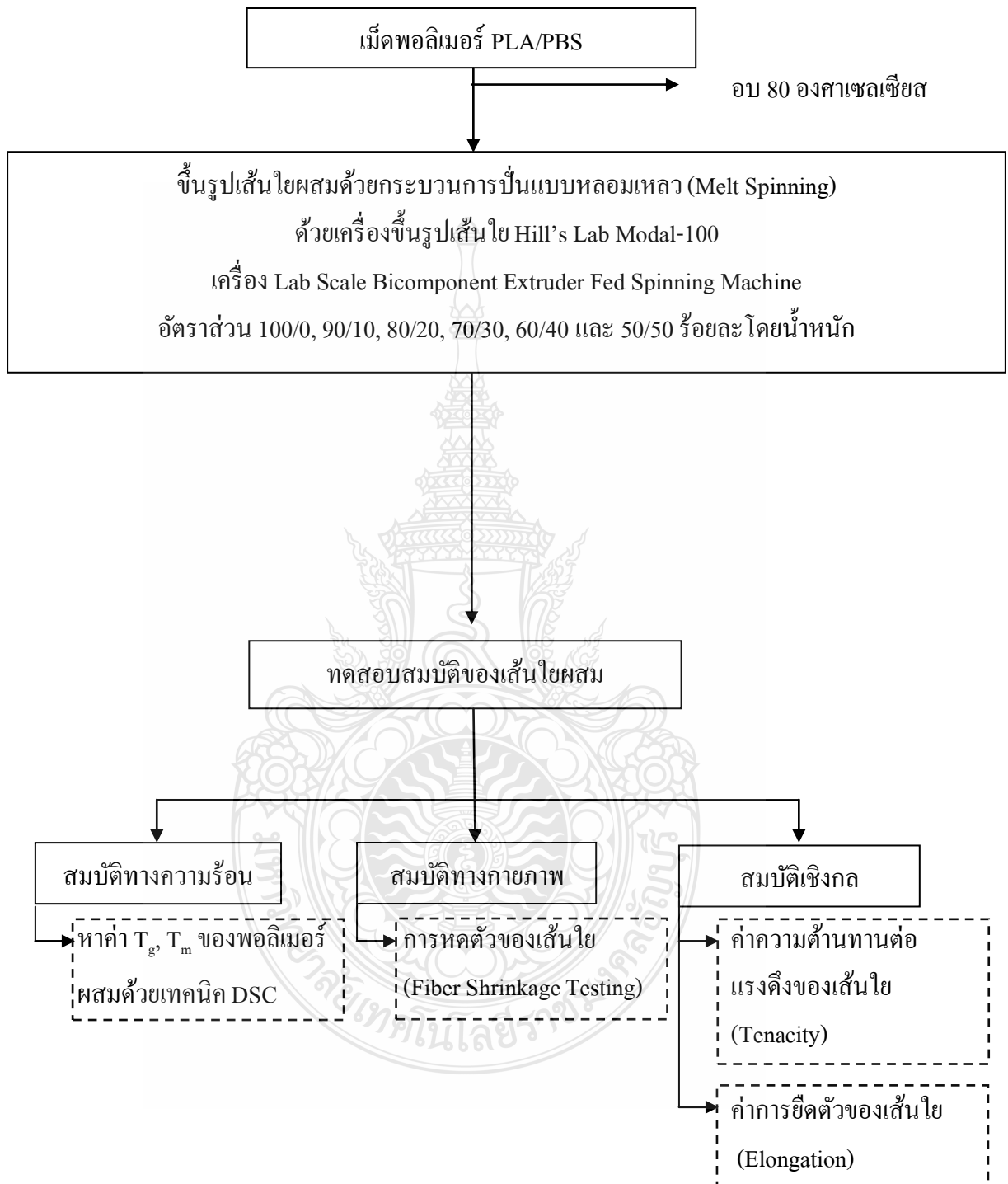
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

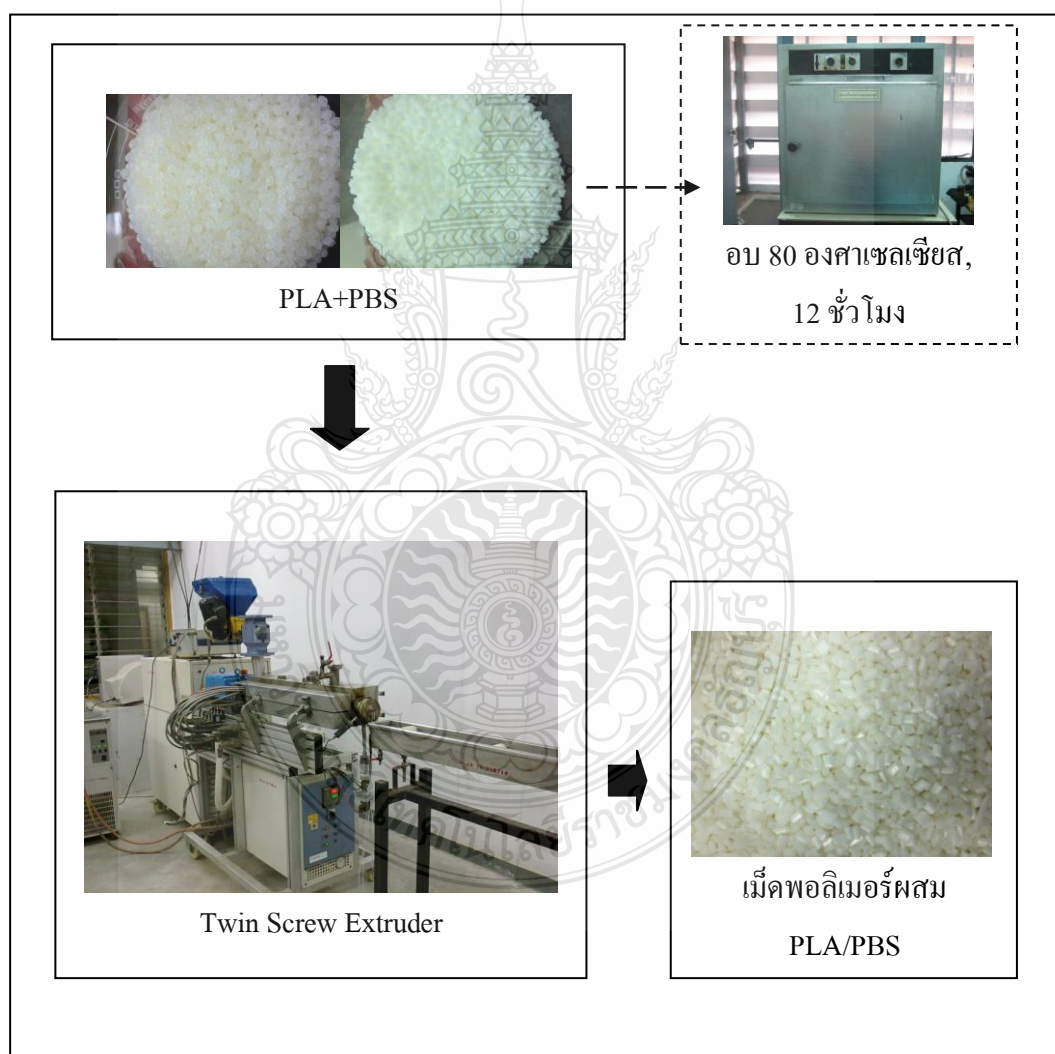


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

3.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

3.4.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

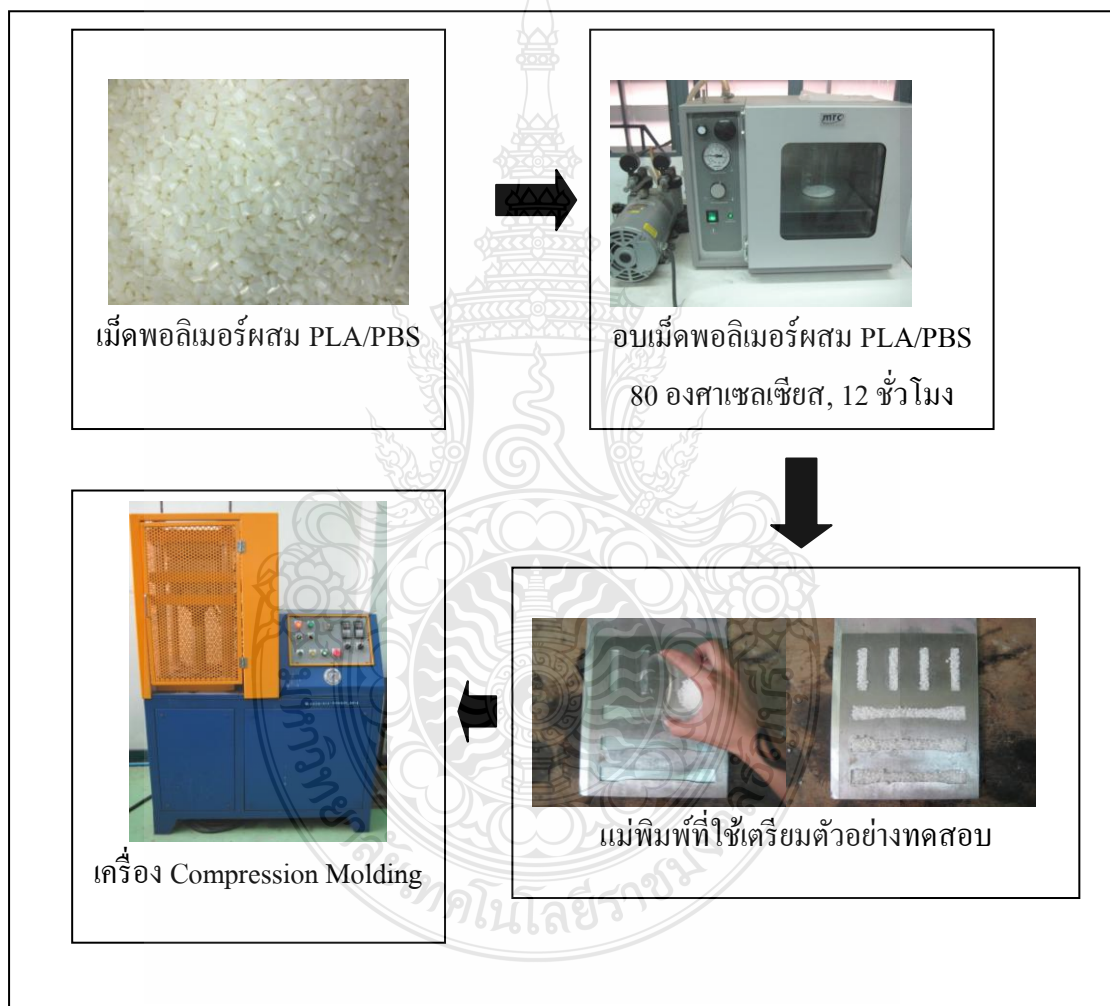
1. ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/PBS อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก
2. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. ขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนคู่ (Twin Screw Extruder) ที่อุณหภูมิการผสมจาก Hopper ถึง หัว Die 190 – 210 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัดรีดที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ขั้นตอนการเตรียมแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

3.4.2 เตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

1. นำเม็ดพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่ได้จากการเตรียม ด้วยเครื่องอัดรีดแบบ เกอียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) ตามอัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมผสมกัน และหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที ด้วยเครื่อง Compression Molding



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

3.5 การขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

3.5.1 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว

Single Screw Extruder: Thermo Haake® PolyDrive

วิธีการทดลอง

1. กำหนดอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ดังตารางที่ 3.1
2. กำหนดสภาวะการขึ้นรูป ตารางที่ 3.2

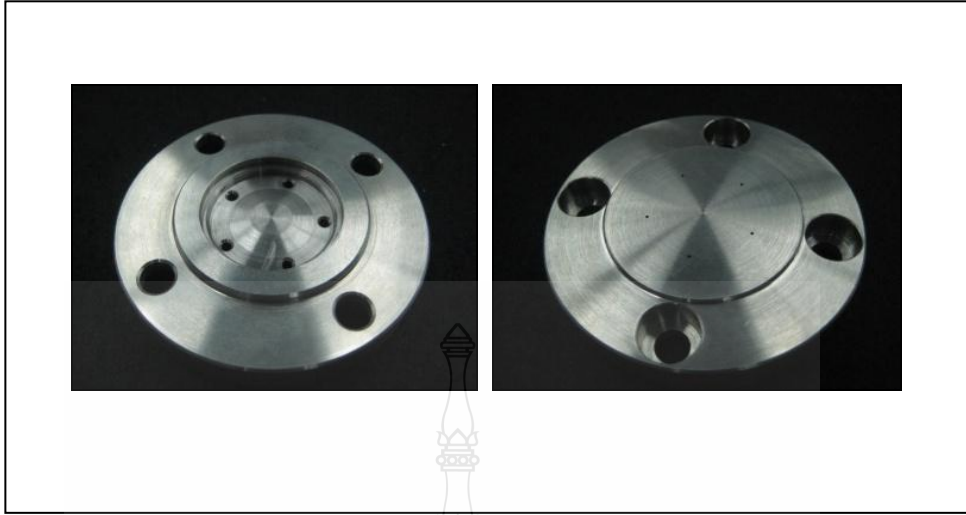
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

วัสดุ	อัตราส่วน (%wt)						
PLA	100	90	80	70	60	50	0
PBS	0	10	20	30	40	50	100

ตารางที่ 3.2 สภาวะการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

Drying Condition	80°C, 12 hr (Vacuum Dryer)
Screw Speed (rpm)	8
Extruder Temp. Z1 (°C)	190
Extruder Temp. Z2 (°C)	200
Extruder Temp. Z3 (°C)	210
Connector Temp. Z4 (°C)	210
Die Temp. Z5 (°C)	210

3. เตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ปริมาณ 500 กรัม อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
4. ขึ้นรูปเส้นใย พอลิเมอร์ผสม ด้วยเครื่องอัดรีด เกลียวหนอนเดี่ยว ด้วยเทคนิคการปั่นหลอม Single Screw Extruder: Thermo Haake® PolyDrive โดยใช้ Spinneret: Ø 0.5 mm. L/D: 2
5. เก็บตัวอย่างเส้นใยพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนที่ไม่ผ่านกระบวนการดัดยี่ด
6. รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ห่อภิปรายผลการทดลองเบื้องต้น



รูปที่ 3.4 Spinneret: \varnothing 0.5 mm L/D: 2



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดรีดเกลียวทวนเดี่ยว Single Screw Extruder: ThermoHaake® PolyDrive

3.5.2 ขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS โดยเทคนิคการปั่นหลอม ด้วยเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine

วิธีการทดลอง

1. กำหนดอัตราส่วนพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/PBS ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

วัสดุ	อัตราส่วน (%wt)						
PLA	100	90	80	70	60	50	0
PBS	0	10	20	30	40	50	100

2. กำหนดสภาวะการขึ้นรูป

- 1) อุณหภูมิการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส
- 2) ความเร็วรอบในการอัดรีด 8 รอบ/นาที
- 3) อัตราความเร็วในการม้วนเก็บเส้นใยที่ 3 ความเร็ว
 - (1) 50 รอบ/นาที
 - (2) 100 รอบ/นาที
 - (3) 150 รอบ/นาที

3. เก็บตัวอย่างเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS เพื่อทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล



รูปที่ 3.6 เครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine

3.6 การทดสอบ

3.6.1 การทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

1. ทดสอบดัชนีการไหลของ เม็ดพอลิเมอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับเม็ดพอลิเมอร์ PLA และ PBS ด้วยเครื่อง Melt Flow Index รุ่น XRL-400A ตราอักษรประเทศจีน

หลักการทดสอบ

การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) คือ การหาปริมาณเป็นกรัมของพลาสติกหลอมเหลวที่ไหลผ่านหัวดายภายใต้ Specific Weight ซึ่งมีหน่วยเป็นอุณหภูมิที่กำหนดภายในเวลา 10 นาที ค่าที่ได้จากการทดสอบของพอลิเมอร์แต่ละชนิด จะมีค่าที่แตกต่างกัน การทดสอบค่าดัชนีการไหล จะคล้ายกับการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (Cylinder) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้วใช้น้ำหนักกดตามค่าที่กำหนด พลาสติกเหลวก็จะไหลผ่านหัวดายออกมา หลังจากนั้นนำตัวอย่างพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที

จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัมต่อ 10 วินาที ขึ้นอยู่กับชนิดกับน้ำหนักของพอลิเมอร์



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ Melt Flow Index รุ่น XRL-400A

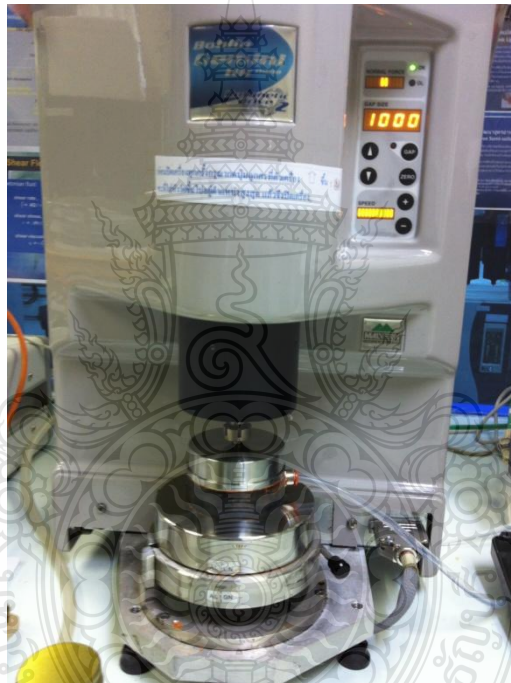
การทดสอบ

- 1) อบเม็ดพอลิเมอร์ ผสมระหว่าง PLA/PBS แต่ละ อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ปริมาณ 6-8 กรัม
- 2) สภาวะอุณหภูมิเครื่องทดสอบ 210 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม รอกระทั่งอุณหภูมิเครื่องคงที่
- 3) บรรจุเม็ดพอลิเมอร์ที่ต้องการทดสอบลงไปนกระบอกสูบ ปริมาณ 6 กรัม
- 4) ใส่แท่งกดโดยใช้น้ำหนักกดขนาด 2.16 กิโลกรัม จากนั้นเครื่องจะเริ่มจับเวลา เมื่อพอลิเมอร์ผสมไหลออกมาจากหัวคายน์ แต่ละชิ้น จะกำหนดเวลาที่ 10 วินาที เครื่องจะตัด ชิ้นงาน โดยอัตโนมัติ
- 5) นำตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าดัชนีการไหล

2. ทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ PLA, PBS และพอลิเมอร์ ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่อง (Rheometer: Gemini 200HR Nano (Malvern Instruments))

หลักการทดสอบ

เครื่องมือวัดความหนืดแบบแผ่นขนานเป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัดการไหลเนียนของพอลิเมอร์หลอมบางครั้งอาจเรียกว่าเครื่องวัดความหนืดแบบ (Sandwich Viscometer) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการไหลของพอลิแลคติกแอซิดขณะหลอมเหลวที่ช่วงอุณหภูมิต่างกัน โดยจะทำการแสดงผลในรูปแบบของ ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเพิ่มของอัตราการไหลที่คงที่ (Steady Flow) แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความหนืด Rheometer: Gemini 200HR Nano (Malvern Instruments)

สภาวะการทดสอบ

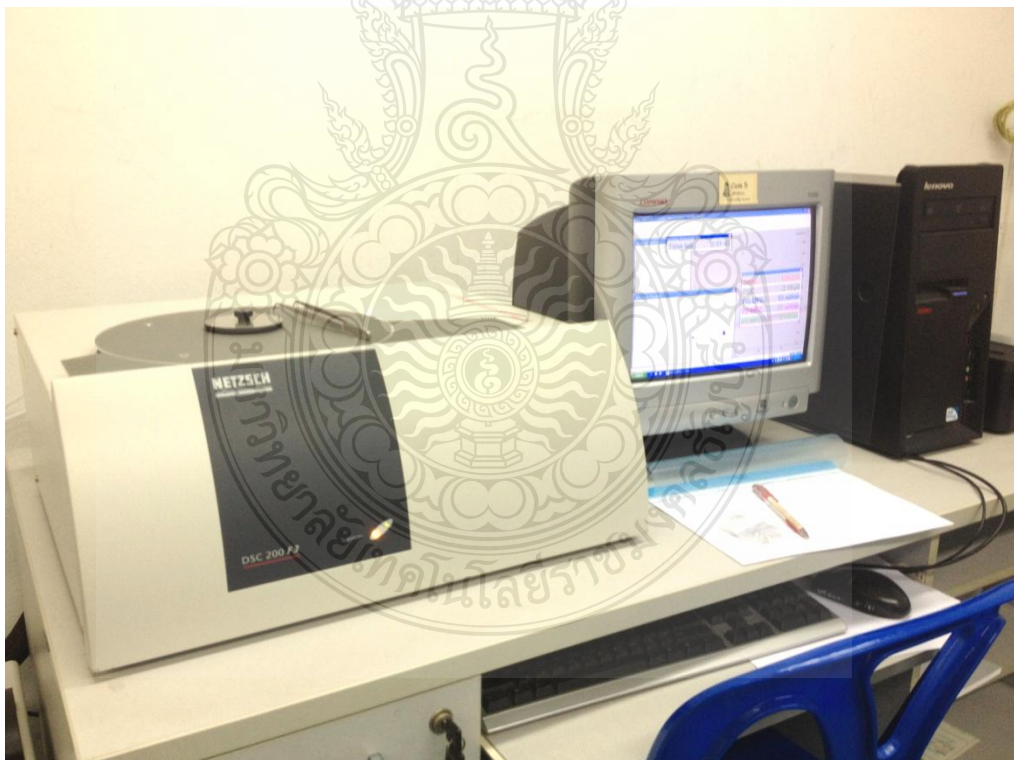
- 1) ความหนาของตัวอย่าง 1 มิลลิเมตร
- 2) หัววัด แผ่นขนาน (Parallel plate) 2.5 เซนติเมตร
- 3) อุณหภูมิ 220, 240, 260 องศาเซลเซียส
- 4) อัตราไหล 0.1-100 เรเดียนต่อวินาที

3.6.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

1. การทดสอบสมบัติทางความร้อนของเม็ดพอลิเมอร์ผสม
2. การทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยผสม

หลักการทดสอบ

ทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) [33] ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH เครื่องมือ DSC ได้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยวิเคราะห์ อธิบายการเปลี่ยนแปลงของขบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี การดูดหรือคายความร้อน โดยวัดปริมาณความร้อนที่แตกต่างกันของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุอ้างอิงที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีโปรแกรมให้เครื่องทำการวัดไปตามช่วงอุณหภูมิช่วงหนึ่ง เพื่อให้เราเห็นข้อมูลละเอียดจนเปรียบเทียบกันได้ นอกจากนี้ DSC ยังสามารถใช้วัดปริมาณความร้อน การแพร่กระจายความร้อน ความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างและอื่นๆ อีกมากมาย และยังแสดงผลเป็นแผนภาพ เฟส ให้ข้อมูลทางด้านจลศาสตร์ ซึ่งเป็นเป้าหมายของ DSC ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.9 เครื่อง ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200F บริษัท NETZSCH

สภาวะการทดสอบ

อัตราการเพิ่มความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยการรักษา อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัด Thermal history แล้วลดความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที จาก 250 องศาเซลเซียส ลงมาจนถึง อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

วิธีการทดสอบ

ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้แล้ว ทำการทดสอบ



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างชิ้นงานที่บรรจุในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan)

วิธีการวิเคราะห์ผลหาค่าความเป็นผลึกของเส้นใยผสมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\% Crystallinity = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{f100}} \times \frac{100}{x} \quad (3.1)$$

ΔH_f = Heat of Fusion of Polymer (J/g)

ΔH_{f100} = Heat of Fusion of 100% Polymer Crystallization

PLA ΔH_{f100} = 93 (J/g) [34]

PBS ΔH_{f100} = 110.3 (J/g) [35]

3.6.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) สัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL จำกัด

หลักการทดสอบ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมี Primary Electron จากขดลวดที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานวิ่งไปกระทบพื้นผิวของตัวอย่าง ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่างๆเช่น Back-Scatter Electron รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ Secondary Electron เป็นต้น และในลำกล้องจะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน Secondary Electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กตรอน (Electron Signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพเพื่อทำให้เกิดภาพที่มองเห็นได้ โดยภาพที่ออกมานั้นจะมีลักษณะ 3 มิติ [36]



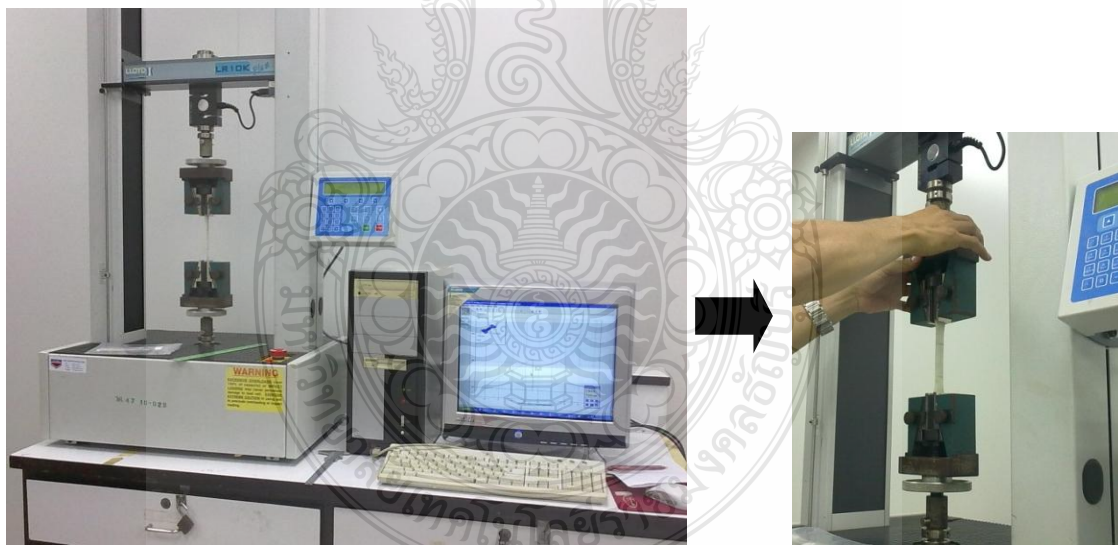
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL จำกัด

3.6.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

1. ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 638 [37]

หลักการทดสอบ

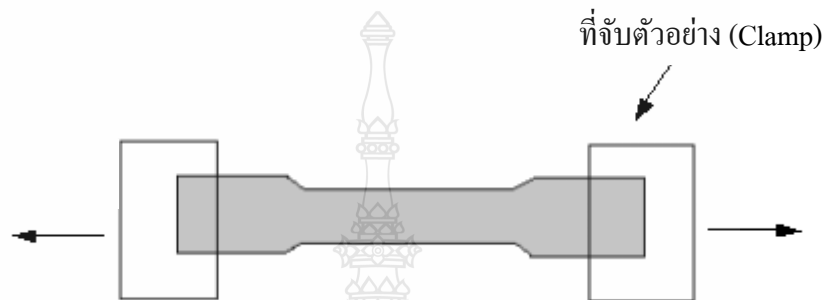
เป็นการดึงชิ้นตัวอย่างทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะที่เดียวกันจะมีการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึง และระยะยืดของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องบันทึก เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง เมื่อดึงชิ้นตัวอย่างที่มีสมบัติแข็งแรงอย่างต่อเนื่องจนเกิดการแตกหัก ผลจากการวัดแรงดึงที่กระทำต่อชิ้นตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก เรียกว่าความเค้นสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) โดยการทดสอบเป็นการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงตามยาว โดยการทดสอบจะนำชิ้นงานทดสอบที่ได้รับการขึ้นรูปเป็นดัมเบล จากนั้นทำการจับยึดที่ Clamp แล้วมีการยึดตัวอย่างต่อเนื่องโดยความเร็วที่ใช้ในการดึงคือ 50 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyd Machine

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้สำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงดึงจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบล เตรียมชิ้นงานทดสอบได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูป ขนาดของคัมเบลที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูป ด้านยาว 155 มิลลิเมตร หน้า 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และความเครียด [33]

วิธีการทดสอบ

- 1) นำชิ้นงานคัมเบล มาตี ดหมายเลขแต่ละชิ้นงานทดสอบให้ชัดเจน วัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ โดยทำการวัดค่า 3 ช่วง คือ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย บันทึกค่าที่ได้เพื่อใช้ในการคำนวณ วัด Gauge Length แล้วทำเครื่องหมายแสดงช่วงของ Gauge Length ไว้
- 2) ใส่ชิ้นงานระหว่างที่จับ พยายามให้ตัวอย่างอยู่ตรงกลางของที่จับพอดี เพื่อให้แรงกระจายบนตัวอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบควรทำเครื่องหมายไว้สำหรับให้เครื่องทดสอบสามารถจับตัวอย่างได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ
- 3) ใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที และใช้ Lode cell ขนาด 50 นิวตัน
- 4) บันทึกข้อมูล Tensile Strength Young's Modulus และ Percent Strain at Break และทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงาน ตัวอย่างละ 10 ชิ้น
- 5) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟ หาความสัมพันธ์เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

2. ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) [38]

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 256

หลักการทดสอบ

วิธีการทดสอบความเหนียวที่นิยมใช้ คือ การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดค่า Impact Energy, Impact Transition Temperature (ITT) และศึกษาผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของวัสดุ โดยการตีขึ้นทดสอบขนาดมาตรฐาน จนเกิดการแตกหัก จุดประสงค์ในการทำการทดสอบเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุ สำหรับค่าที่นิยมวัดมากที่สุดในการทดสอบ แรงกระแทก คือ ค่า Impact Energy ซึ่งเป็นพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงกระแทก (Dynamic Impact Force) จนเกิดการแตกหัก ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Izod Impact Strength) ยี่ห้อ HOUSE FIELD

ชิ้นงานทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส และมีรอยบากอยู่ตรงกลางรอยบากนี้จะทำเป็น รูปตัว V, U หรือรูปรูกลุญแจ Izod Test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้งและให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก

วิธีการทดสอบ

- 1) เปิดสวิตช์เครื่องแล้วทดสอบแรงเสียดทานของค้อนน้ำหนักรที่ต้องการใช้โดยการยกค้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้นวางในตำแหน่งแขวนค้อนน้ำหนักร
- 2) กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน ปลดปล่อยค้อนน้ำหนักรลงมาอย่างอิสระโดยไม่มีชิ้นงาน อ่านค่าพลังงานที่ได้ เพื่อนำไปลบออกจากค่าพลังงานที่อ่านได้จากการทดลองเมื่อมีชิ้นงาน
- 3) วางชิ้นงานในตำแหน่งที่กำหนด กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน
- 4) อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก ทำซ้ำจำนวน 10 ชิ้นตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยนำค่าพลังงานไปคำนวณค่าของการทนต่อแรงกระแทกในหน่วย จูลต่อตารางเมตร (J/m^2)

3.6.5 ทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

1. ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity)
2. ค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation)

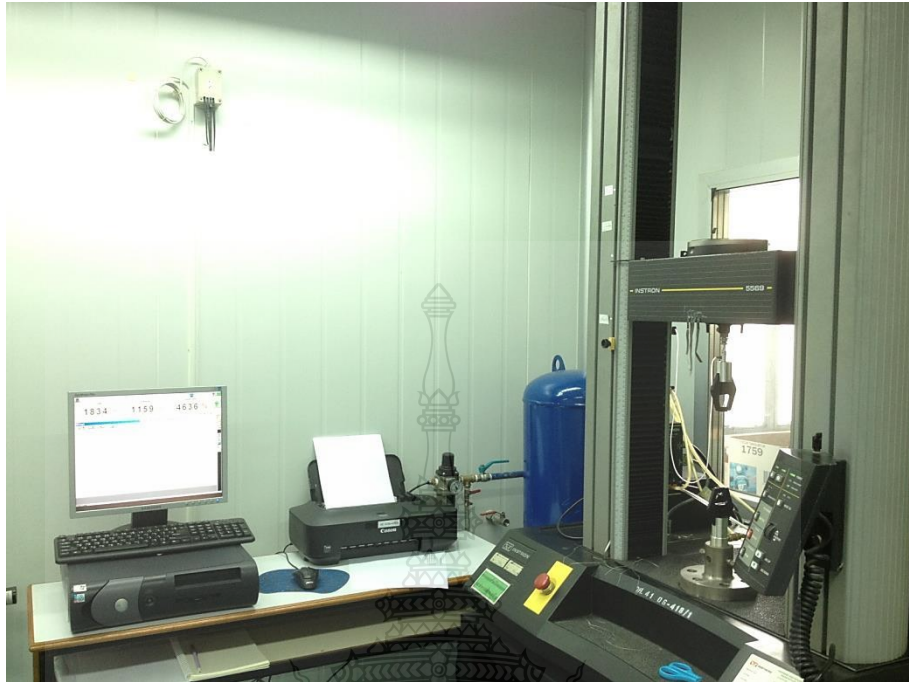
ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) และค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation) ถูกวัดด้วยเครื่อง Instron บริษัท Instron Preventive Maintenance มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3822-01 เครื่องมือนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับชิ้นงานหรือหัวจับ (Grips of Jaws) สองตัวหัวจับตัวหนึ่งอยู่หนึ่งติดกับเครื่องมือส่วนหัวจับอีกตัวหนึ่งจะยึดติดกับราวขวาง (Crosshead) ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้น และแยกออกจากหัวจับตัวแรกซึ่งอยู่ด้านล่างด้วยอัตราดึงคงที่ค่าต่างๆจาก 0.5-500 เมตรต่อนาที ความเร็วของชิ้นตัวอย่างแปรตามขนาดของโหลดเซลล์ (Load Cell) มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2 ถึง 500 กิโลกรัม หรือมากกว่านั้นเพื่อช่วยให้ข้อมูลมีความถูกต้องและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดอันเนื่องมาจากชิ้นงานเกิดการลื่นหลุด (Slippage) ออกจากหัวจับ

หลักการทดสอบ

เป็นการดึงชิ้นงานตัวอย่างทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะที่เดียวกันจะมีการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึง และระยะยืดของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องบันทึก เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของเส้นใยเมื่อได้รับแรงดึง

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS จำนวน 10 ตัวอย่างชิ้นงาน
- 2) จับยึดเส้นใยผสมด้วยหัวจับขนาด 10 นิวตัน ดึงชิ้นงานด้วยความเร็วคงที่ 20 เมตรต่อนาที
- 3) บันทึกผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบ Instron บริษัท Instron Preventive Maintenance

3.6.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) การหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ด้วยเทคนิค Boiling Shrinkage มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5104-02 ใช้อุณหภูมิ 98 ± 1 องศาเซลเซียส

หลักการทดสอบ

การทดสอบการหดตัว (%Shrinkage) กำหนดตัวอย่างทั้งหมด 10 ชิ้น ต่อตัวอย่าง โดยทั่วไปแล้วในการหาค่าการหดตัวของเส้นใยสังเคราะห์ควรจะทำในจำนวนชิ้นตัวอย่างให้มากที่สุด เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้จะเป็นตัวแทนของเส้นใย โดยทั่วไปจะเตรียมชิ้นงานที่ 10-20 ชิ้น เพราะเส้นใยมีค่าความแปรปรวนสูง

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมเส้นใยผสม วัดขนาดความยาว 10 เซนติเมตร เตรียมจำนวน 10 ตัวอย่าง
- 2) วัดความยาวก่อนนำเส้นใยลงในน้ำร้อน 98 ± 1 องศาเซลเซียส
- 3) นำเส้นใยผสมที่เตรียมใส่บีกเกอร์ต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 98 ± 1 องศาเซลเซียส

- 4) จับเวลา 15 นาที หลังจากนั้นวัดความยาวหลังต้ม
- 5) คำนวณ %Shrinkage ตามสมการที่ 3.2
- 6) สรุปและอภิปรายผลจากค่าที่ได้

การหดตัวของเส้นใยหรือเส้นด้าย จะแสดงถึงการลดความยาวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบในสภาวะปราศจากแรงดึงใดๆ ในสภาวะที่ร้อน เช่น น้ำเดือด, ความร้อนแห้ง (จากตู้อบ) และตู้ไอน้ำ ซึ่งการลดลงของความยาวชิ้นตัวอย่างทดสอบจะต้องระบุระยะเวลาในการทดสอบด้วยการหดตัวของเส้นใย %Shrinkage สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 3.3

สมการที่ 3.3

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100 \quad (3.3)$$

L_0 เป็นความยาวของเส้นใยก่อนต้ม

L_1 เป็นความยาวของเส้นใยหลังต้ม



รูปที่ 3.16 ทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสม และเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ Twin Screw Extruder และขึ้นรูปเส้นใยผสมด้วยเทคนิคการแบบปั่นหลอมเหลว ด้วยเครื่องอัดรีด เกลียวทวน เดี่ยว Single Screw Extruder: Thermo Haake® PolyDrive และเครื่องขึ้นรูปเส้นใย Hill's Lab Modal-100 เครื่อง Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine เพื่อทำการทดสอบสมบัติของเม็ดพอลิเมอร์ผสมและสมบัติของเส้นใยผสม แสดงผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติของเม็ดพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

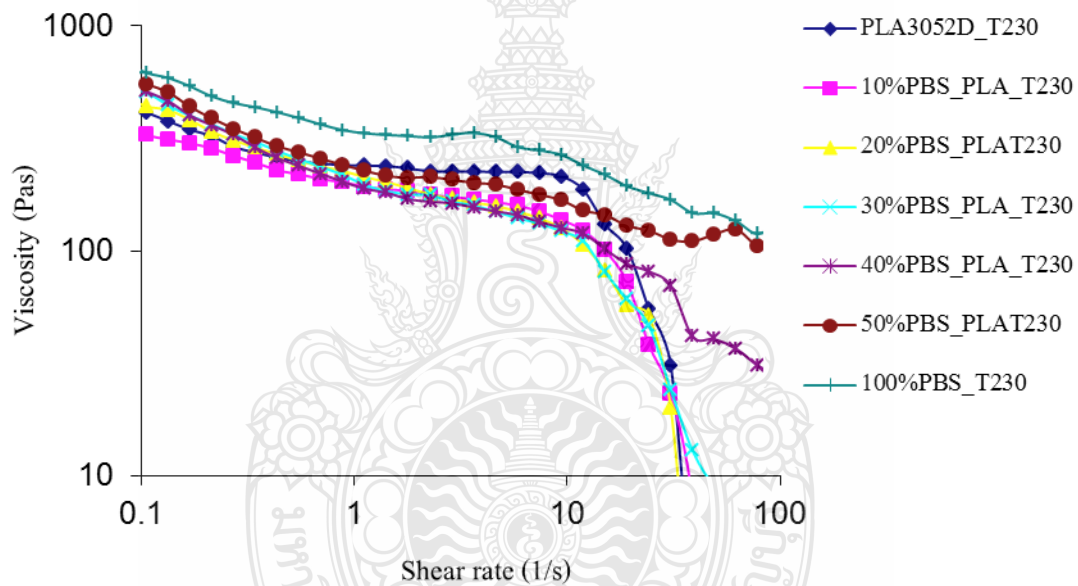
4.1.1 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของเม็ดพอลิเมอร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

วัสดุที่ใช้ทดสอบ	MFR (g/10 min)
PLA	38.46
PLA90/10PBS	40.56
PLA80/20PBS	39.78
PLA70/30PBS	41.46
PLA60/40PBS	37.44
PLA50/50PBS	37.62
PBS	20.16

จากตารางที่ 4.1 พอลิเมอร์ผสมมี ค่าดัชนี การไหล เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับค่าดัชนี การไหลของ PLA โดยเป็นไปตามสมบัติการไหลของ PBS ที่คือ อุณหภูมิเดียวกัน PBS จะมีค่าดัชนี การไหลมากกว่า PLA แต่เมื่อเติม PBS ในปริมาณมากกว่า 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าดัชนี การไหล มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปริมาณ PBS ที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟสกันโดยพิจารณา ร่วมกับการทดสอบสัณฐานวิทยา (SEM) รูปที่ได้จาก SEM จะมีความสัมพันธ์กันเพราะพอลิเมอร์ผสม แทบจะเป็นเนื้อเดียวกัน

4.1.2 ผลการ ทดสอบสมบัติการไหลด้วยเครื่อง (Rheometer : Gemini 200HR nano Malvern Instruments)



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วนต่างๆต่อ อัตรา เหนือที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.1 ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่ออัตราเหนือเพิ่มขึ้นความ หนืดของเม็ดพอลิเมอร์ผสมจะลดลงเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudo Plastic Flow) คือที่อัตราเหนือเพิ่มขึ้นความหนืดมีแนวโน้มลดลง [36] อุณหภูมิการทดสอบ ที่ 230 องศาเซลเซียส พบว่า PLA มีค่าความหนืดต่ำ กว่าค่าความหนืดของ PBS และจากรูปแสดงให้เห็นว่า PLA มีความ

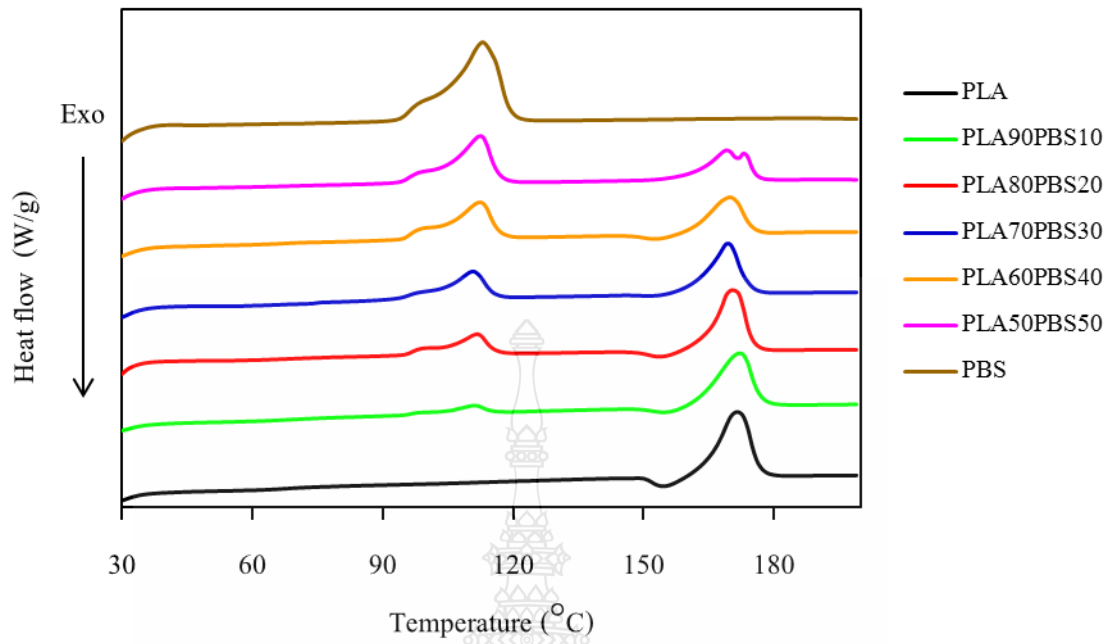
สามารถในการไหลดีกว่า PBS และจากการทดลองเมื่อ ปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสม เพิ่มขึ้นทำให้ พอลิเมอร์ผสมไหลยากขึ้นส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเม็ดพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

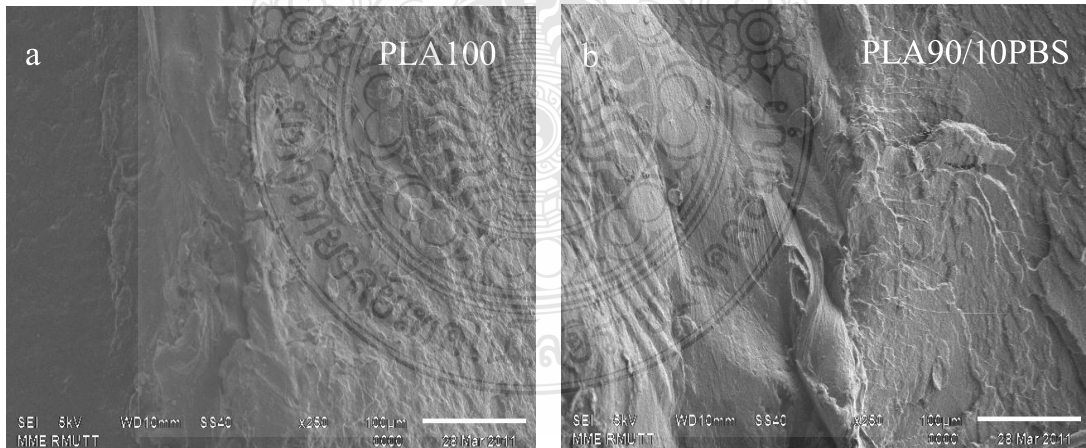
Sample	T_m (°C) PBS	Heat of fusion (J/g) PBS	T_m (°C) PLA	Heat of fusion (J/g) PLA	T_c (°C) PBS	T_c (°C) PLA
PLA100:0PBS	-	-	171.5	37.75	-	92.8
PLA90:10PBS	111.1	4.686	172.2	37.59	-	90.9
PLA80:20PBS	111.8	14.56	170.6	36.12	-	88.7
PLA70:30PBS	110.7	19.74	169.4	31.09	66.1	88.7
PLA60:40PBS	112.4	28.3	170.0	24.68	68.2	87.0
PLA50:50PBS	112.5	34.37	169.3	22.85	67.8	80.0
PLA0:100PBS	113.0	69.01	-	-	68.3	

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว (T_m) PLA มีค่าเท่ากับ 171.1 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ PBS อยู่ที่ 123.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ การหลอมเหลว (T_m) ของ PLA สูงกว่า เมื่อนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ และ จากรูปที่ 4.2 พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยก เป็นสองพีคอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถ เข้ากันได้ [31]



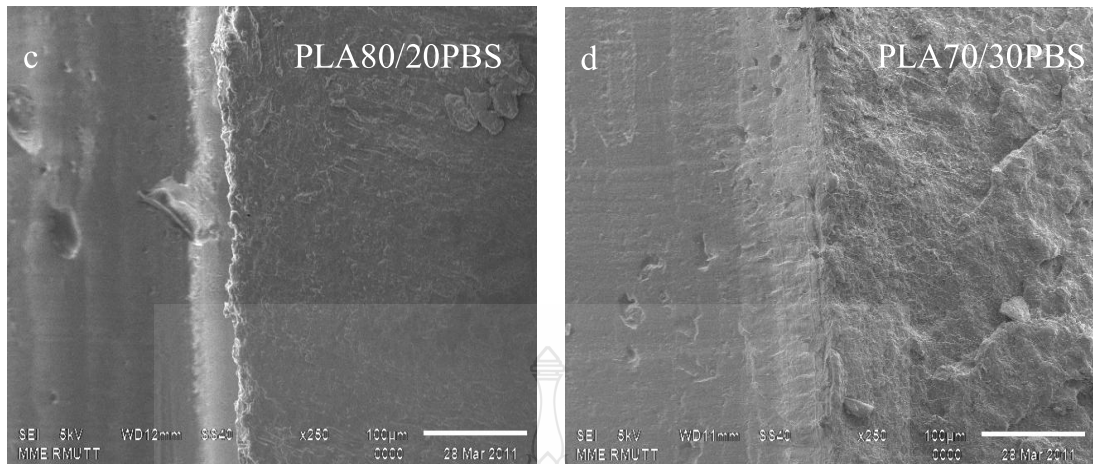
รูปที่ 4.2 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพพื้นฐานวิทยาของเม็ดพอลิเมอร์ผสม



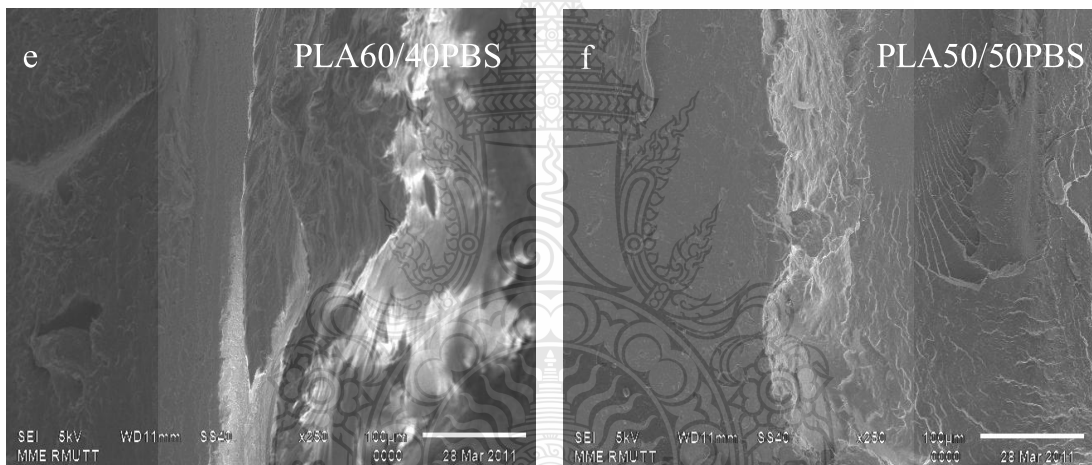
(a) PLA100/0PBS

(b) PLA90/10PB



(c) PLA80/20PBS

(b) PLA70/30PBS



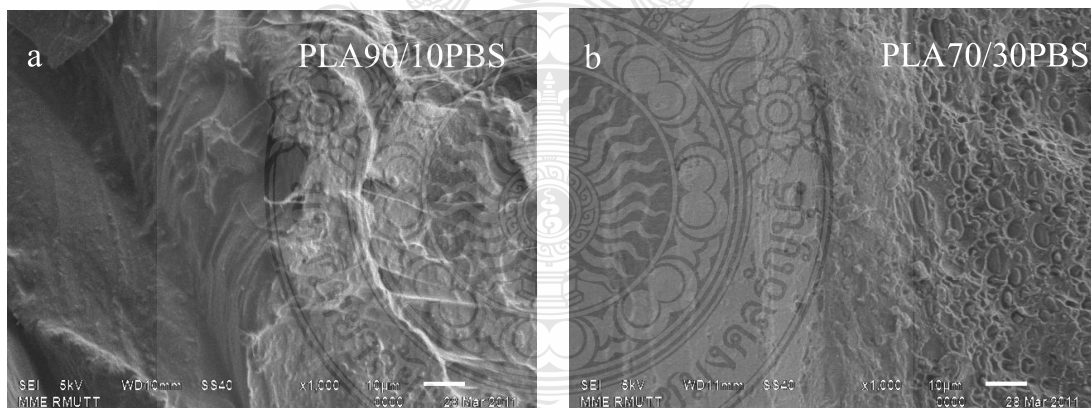
(e) PLA60/40PBS

(f) PLA50/50PBS

รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาจากรอยแตกหักของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS (กำลังขยาย 250 เท่า)

จากรูปที่ 4.3 เห็นได้ว่าการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม โดยมีส่วนที่แยกตัวออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด พอลิเมอร์ PLA จากสัณฐานวิทยาแสดง ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ พอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของ PLA และ PBS เมื่อเติม PBS ในปริมาณ 10-30 ร้อยละโดยน้ำหนัก (b, c และ d) การที่พอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBS แสดง

ลักษณะสัณฐานวิทยาที่มีผิวขรุขระไม่เรียบส่งผลต่อค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเมื่อเพิ่มปริมาณของ PBS ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและจากการทดสอบการทนแรงกระทำของพอลิเมอร์ผสมพบว่าในช่วงแรกที่มีการเติม PBS ปริมาณ 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าค่าการทนแรงกระทำ เปลี่ยนแปลง น้อยมากเนื่องจากในอัตราส่วนนี้ PBS ผสมกับ PLA (b) ลักษณะสัณฐานวิทยาแทบจะเป็นเนื้อเดียวกัน ที่ PBS 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะสังเกตเห็นการแยกเฟส ของ PLA และ PBS อย่างชัดเจนที่กำลังขยาย 1,000 เท่า โดย Scale Bar มีค่าเท่ากับ 10 μm พอลิเมอร์ ที่เป็นส่วนของ PBS จะกระจายตัวบนพื้น PLA จากสมบัติที่เป็นยางสูงกว่าของ PBS จึงส่งผล ให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเหนียวเพิ่มขึ้น (Disperse Particle) โครงสร้างของการกระจายเฟส ส่งผลกระทบต่อกระบวนการการขึ้นรูปเส้นใย ผสม เนื่องจากขนาดของ เฟสที่แสดงให้เห็นจากภาพ สัณฐานวิทยา เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของเส้นใย (โดยมากเส้นใยสิ่งทอจะมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-30 μm ในกรณีที่เป็น Multifilament) ดังนั้นการกระจายตัวของ PBS ที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการการขึ้นรูปเส้นใย เพราะเส้นใยที่สามารถขึ้นรูปได้ จะเกิดการแยกตัวและขาดออกจากกัน ดังนั้นกระบวนการการขึ้นรูปเส้นใยจึงควรปรับปรุงความเข้ากันได้ ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ให้โครงสร้างเป็นแบบเฟสเดียวกัน เพื่อลดปัญหาการ ขาดออกจากกัน ในกระบวนการขึ้นรูป



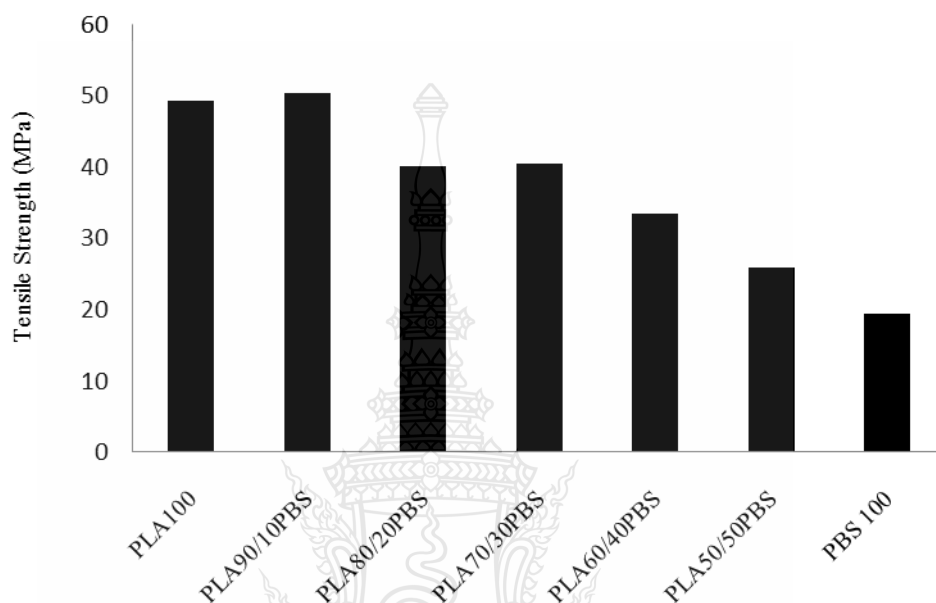
(a) PLA90/10PBS

(b) PLA70/30PBS

รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาจากรอยแตกหักของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS (กำลังขยาย 1000เท่า)

4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

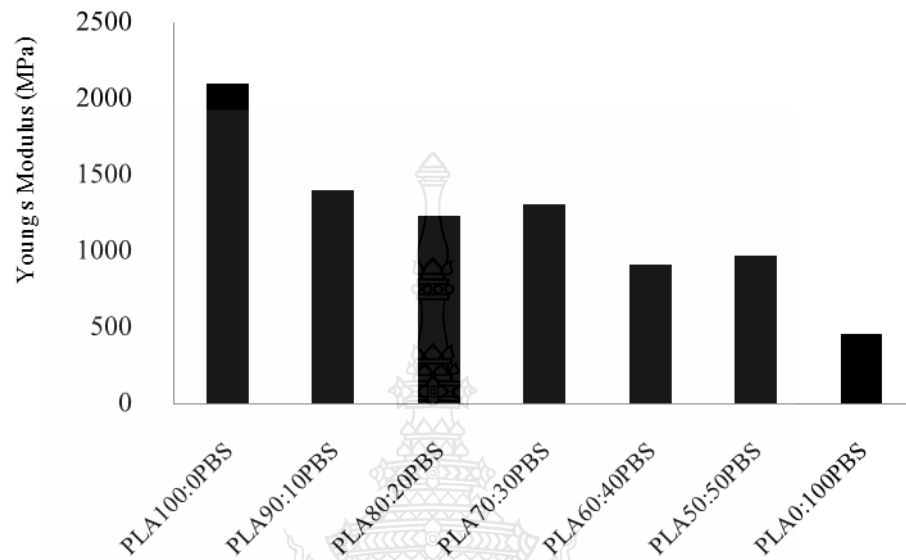
1. ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) กับปริมาณ PBS ที่เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

จากรูปที่ 4.5 การเติม PBS ปริมาณเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมช่วยลดปัญหา สมบัติที่แข็งแต่เปราะของ PLA แต่การเติม PBS ในปริมาณที่มากกว่า 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS มีลักษณะ การผสมแบบ ไม่เข้ากัน (Immiscible Blend) ซึ่งเป็นการผสมที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำและค่าการทนต่อแรงดึงลดลงเมื่อเติม PBS ในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้แม้ว่า PBS จะช่วยเพิ่มปริมาณความเป็นอิลาสติกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสม แต่การเติมปริมาณมากมีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟสมากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดในแง่ของความเข้ากันได้ (Compatible) ระหว่าง PLA และ PBS ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มขอบเขตการนำ PLA ไปใช้งานให้หลากหลายมากขึ้น เช่นในกระบวนการเป่าหรือการขึ้นเส้นใย ดังนั้น ควรมีการเติมสารเชื่อมประสาน ในระบบพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBS และจำเป็นต้องพัฒนาความเข้ากัน

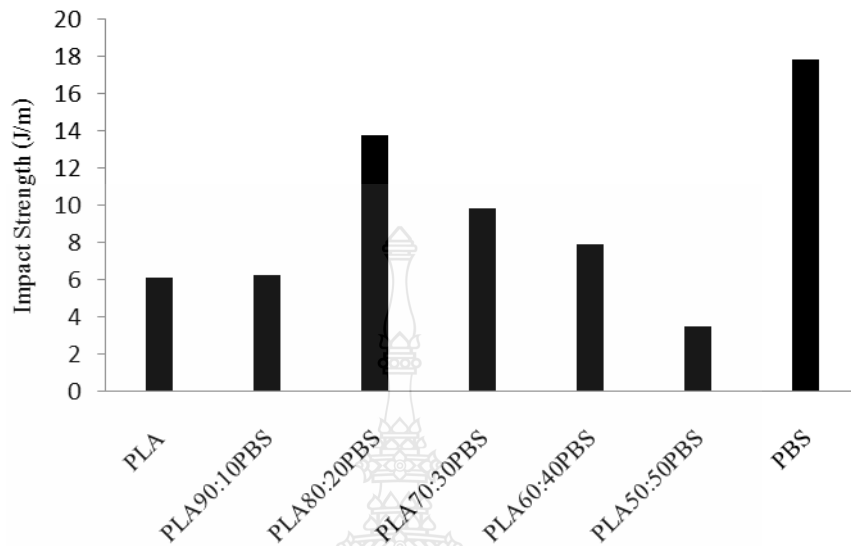
ระหว่าง PLA/PBS เพื่อลดสมบัติความเปราะของ PLA จากการศึกษาไม่ควรเติม PBS มากกว่า 10 ร้อย
ละโดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นกับปริมาณ PBS ที่เติมใน พอลิเมอร์ผสม
ระหว่าง PLA/PBS

รูปที่ 4.6 แสดงผลค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของเม็ดพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อ
เพิ่มปริมาณการเติม PBS พอลิเมอร์ผสมมี ค่าความแข็งแรงลดลง และมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น
เพิ่มมากขึ้นที่อัตราส่วน 90/10 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า
มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนผสมอื่นๆ

2. ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการทนแรงกระแทก กับปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBS

การเติม PBS มีผลต่อความเหนียวของเม็ด พอลิเมอร์ ผสม และส่งผลต่อแรงกระทำระหว่างผิวของ PLA และ PBS จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าการทนแรงกระแทก ของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBS ที่แนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพฤติกรรมรับแรงของ PBS ที่มีความสามารถรับแรงการกระแทกได้มาก จึงส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 80/20 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตาม การเติม PBS ในปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟสมากกว่าทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากัน

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของเส้นใยผสม PLA/PBS

4.2.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม

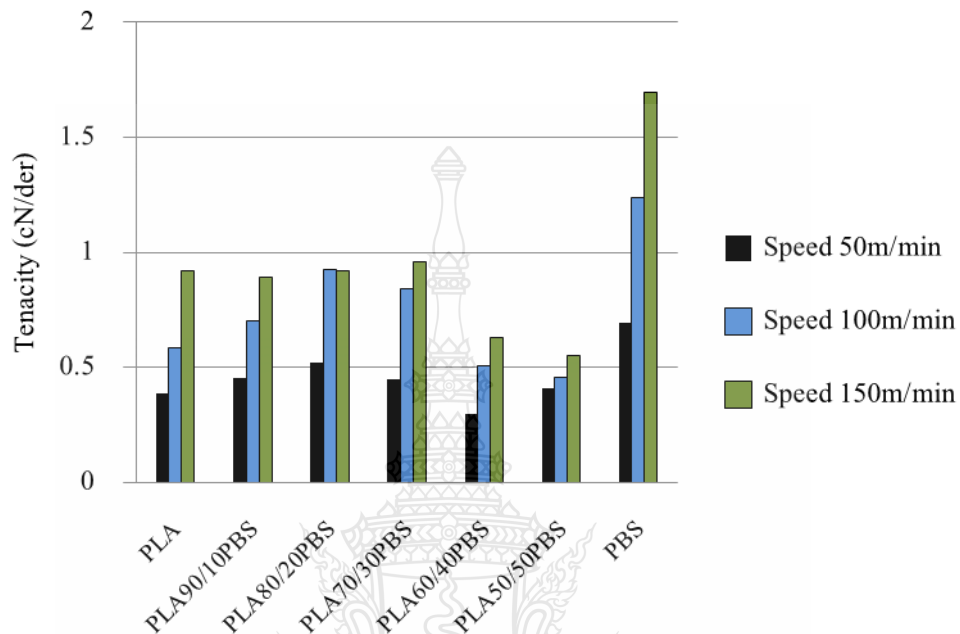
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของ % Crystallinity PLA ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

Material	T_m (°C)	ΔH (J/g)	% crystallinity PLA
PLA	150.8	29.13	31.32
PLA90:10PBS	153.1	24.55	29.33
PLA80:20PBS	153.0	19.68	26.45
PLA70:30PBS	152.6	15.27	23.45
PLA60:40PBS	152.7	12.74	22.83
PLA50:50PBS	152.5	8.63	18.55

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณความเป็นผลึก (%Crystallinity) ของ PLA พบว่าเมื่อเทียบจากอัตราส่วนผสมที่ 90/10 ถึง 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PBS ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ PLA และ PBS เปลี่ยนแปลงน้อยมาก และแสดงค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) สองจุด แสดงว่า PLA และ PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากัน การให้ความร้อนที่ 230 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ PLA, PBS น้อยมากต่อกระบวนการขึ้นรูปขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอม

4.2.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

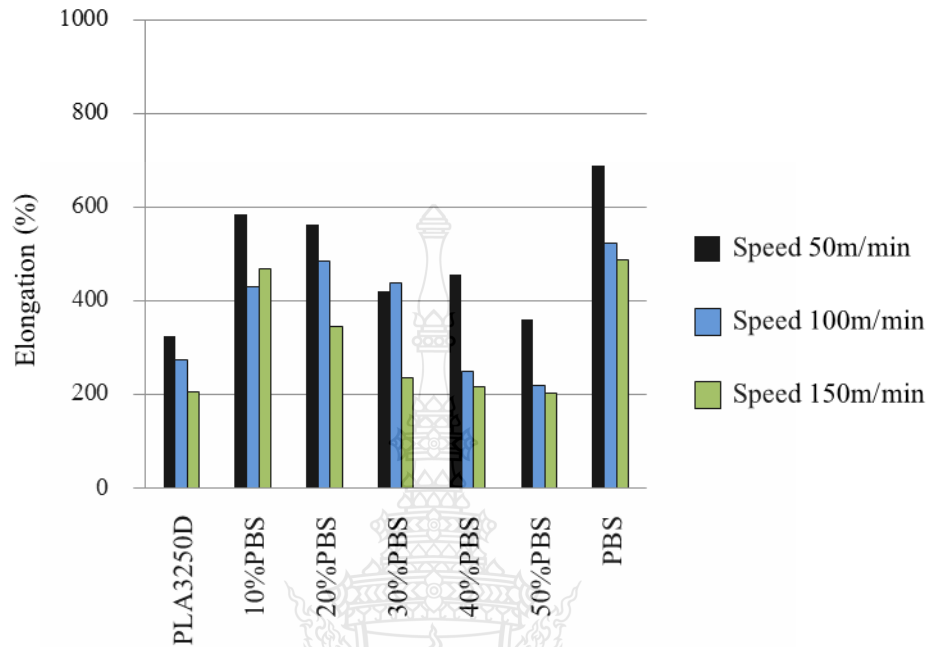
1. ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity)



รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

จากรูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย PLA, PBS และเส้นใยผสม PLA/PBS เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราเร็วการม้วนเก็บเส้นใย และปริมาณการเติม PBS เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยผสม PLA/PBS มีแนวโน้มของค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงขึ้น เป็นผลมาจากความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่เพิ่มขึ้น [39] แต่เมื่อปริมาณการเติม PBS มากกว่า 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก จะทำให้สมบัติเชิงกลลดลงเป็นผลมาจากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสม โดยที่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยของเส้นใยผสมมีค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณการเติม PBS ที่ 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก

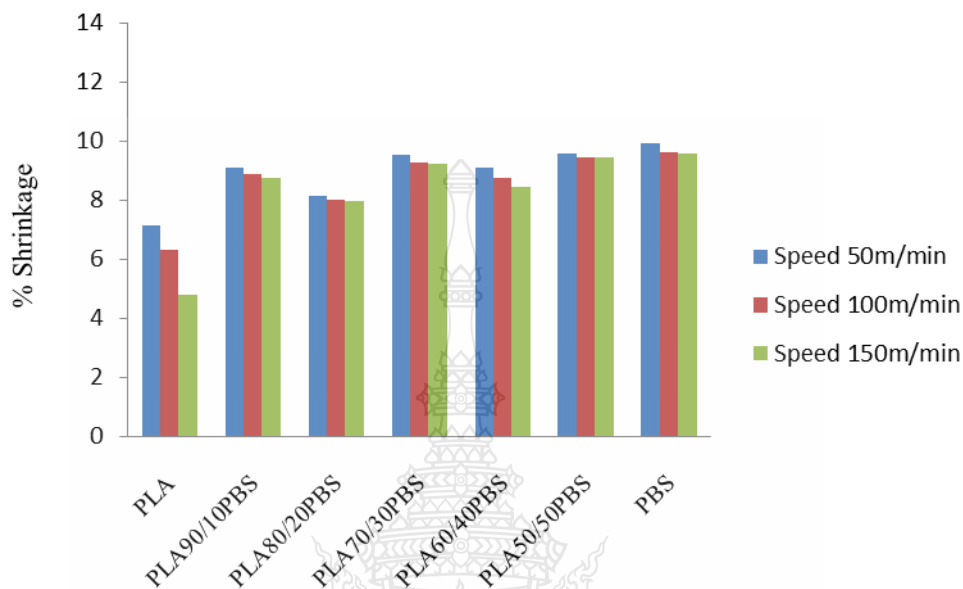
2. ผลการทดสอบค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation)



รูปที่ 4.9 ค่าการยืดตัวของเส้นใย (Elongation) ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าการยืดตัวของเส้นใย PBS มีค่าสูงกว่าเส้นใย PLA และเส้นใยผสม PLA/PBS มีการยืดตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PBS ในเส้นใยผสมเพิ่มขึ้นอัตราส่วนการเติม PBS ที่ 10 และ 20 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่าการยืดตัวสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม PBS ที่มากกว่า 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าการยืดตัวจะลดลง เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ PBS จะทำให้เส้นใยผสมเกิดการแยกเฟสระหว่าง PLA และ PBS แสดงถึงความไม่เข้ากัน อย่างไรก็ตาม การยืดตัวของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการหมุนเก็บเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยมีการจัดเรียงตัวที่น้อยกว่า ดังนั้นการยืดตัวของเส้นใยจึงมีแนวโน้มที่ลดลงที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใยสูง

4.2.3 ผลการทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing)



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

จากรูปที่ 4.10 ค่าการหดตัวของเส้นใย PLA มีค่าต่ำที่สุด ทำให้เส้นใย PLA มีการหดตัวน้อย เนื่องจาก PLA มีลักษณะของความเป็นผลึกสูง ขณะที่เส้นใย PBS มีค่าการหดตัวสูง จึงเกิดการหดตัวได้ง่าย เนื่องจาก PBS มีสมบัติคล้ายยาง มีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูง [40] ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ค่าการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

5.1.1 สมบัติดัชนีการไหลของเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง เมื่อเติม PBS ในปริมาณ 10-30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกัน PBS จะมีค่าดัชนีการไหลมากกว่า PLA ปริมาณการเติม PBS ที่ 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าดัชนีการไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หากพิจารณาร่วมกับภาพที่ได้จาก SEM จะมีความสัมพันธ์กันเพราะพอลิเมอร์ผสมแทบจะเป็นเนื้อเดียวกัน

5.1.2 สมบัติการไหลของ เม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่ออัตราเงื่อนไขเพิ่มความหนืดจะลดการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudo Plastic Flow) คือที่อัตราเงื่อนไขเพิ่มความหนืดมีแนวโน้มลดลง PLA มีค่าความหนืดต่ำกว่า PBS แสดงให้เห็นว่า PLA มีความสามารถในการไหลดีกว่า PBS

5.1.3 สมบัติทางความร้อนของเม็ดพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิของการหลอมเหลว PLA มีค่าสูงกว่า PBS ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว ของ PLA มีค่าเท่ากับ 171.1 องศาเซลเซียส โดยมี Peak ที่สูงชันกว่า ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว ของ PBS ที่ 123.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น สองพีคอย่างชัดเจน เทอร์โมแกรมแสดงค่า แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้

5.1.4 สมบัติทางกายภาพพื้นฐานวิทยา เกิดการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมมีส่วนที่แยกตัวออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด พอลิเมอร์ PLA ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ และเมื่อนำพอลิเมอร์ PLA มาผสมกับ PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน PBS จะกระจายตัวบนพื้น PLA และด้วยสมบัติที่เป็นยางสูงกว่าของ PBS จึงส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเหนียวขึ้นแต่เมื่อเติม PBS ในปริมาณ 10-30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ลักษณะพื้นฐานวิทยาแสดงผลผิวขรุขระ ไม่เรียบ และที่ปริมาณการเติม PBS ที่ 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ขึ้นไป จะสังเกตเห็นการแยกเฟสของ PLA และ PBS อย่างชัดเจนในกำลังขยาย 1000 เท่า การกระจายตัวของ PBS ที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการขึ้นรูปเส้นใย เพราะเส้นใยที่สามารถขึ้นรูปได้จะเกิดการแยกตัวและขาดออกจากกัน

5.1.5 สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS การเติม PBS ปริมาณเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมช่วยลดปัญหาสมบัติที่แข็ง แต่เปราะของ PLA แต่การเติม PBS ในปริมาณที่มากกว่า 10

ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้มีคพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS มีลักษณะการผสมแบบ Immiscible Blend เพื่อลดโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 90/10 ร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณ PBS ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเป็น Elastic เพิ่มขึ้น สามารถยืดตัวได้มากขึ้น จากการศึกษาไม่ควรเติม PBS มากกว่า 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก

5.2 สมบัติของเส้นใยผสม PLA/PBS

5.2.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA มีค่าลดลงเมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PLA และ PBS เปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่า PLA และ PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากัน การให้ อุณหภูมิความร้อนที่ 230 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาต่อการศึกษาไม่ควรมีการขึ้นรูปขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลว ของพอลิเมอร์ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสม

5.2.2 สมบัติทางกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย PLA/PBS และเส้นใย ผสม PLA/PBS มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราเร็วการ ม้วนเก็บเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ของเส้นใย PBS มีค่ามากกว่าเส้นใย PLA ปริมาณการเติม PBS มากกว่า 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก จะทำให้สมบัติเชิงกลลดลงเป็นผลมาจากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสม โดยที่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย ของเส้นใยผสมมีค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณการเติม PBS ที่ 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก

5.2.3 สมบัติการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ค่าการหดตัวของเส้นใย PLA มีค่าต่ำที่สุด ทำให้เส้นใย PLA มีการหดตัวน้อย เนื่องจาก PLA มีลักษณะของความเป็นผลึกสูง ขณะที่เส้นใย PBS มีค่าการหดตัว สูง จึงเกิดการหดตัวได้ง่าย เนื่องจาก PBS มีสมบัติคล้าย ยาง มีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูง ซึ่งจากผลการทดลองจะพบ ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ค่าการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ในขั้นตอนการอบไล่ความชื้นของเม็ดพอลิเมอร์ควรบรรจุในภาชนะที่มีฉนวนป้องกันความชื้นจากสภาพแวดล้อมหลังจากนำออกจากตู้อบเนื่องจากพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิบิวทิ ลินซักซิเนต เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

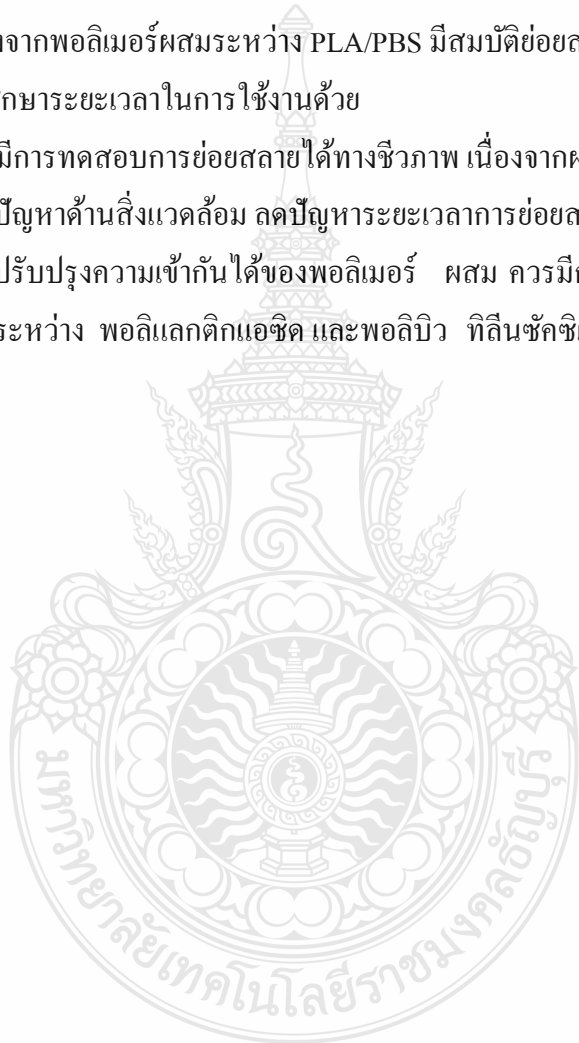
อาจเกิดการไฮโดรไลซิส ขณะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ลดลงและสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

5.3.2 ในกระบวนการปั่นหลอมขึ้นรูปอัตราเร็วการหมุนเก็บเส้นใยผสมควรใช้ความเร็วที่มากกว่า 150 เมตรต่อนาที เนื่องจากอัตราเร็วการหมุนเก็บมีผลต่อสมบัติทางกลของเส้นใยผสมด้านสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง หากหมุนเก็บด้วยอัตราเร็วสูง เส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมากขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

5.3.3 เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในด้านการนำไปใช้งานควรศึกษาระยะเวลาในการใช้งานด้วย

5.3.4 ควรมีการทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เตรียม เพื่อนำผลิตภัณฑ์มาแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาระยะเวลาการย่อยสลายของพลาสติกทั่วไป

5.3.5 การปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ ผสม ควรมีการเติมสารเชื่อมประสาน เพื่อให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิว ทิลีนซัคซิเนต มีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น



รายการอ้างอิง

- [1] อรรถวิทย์ เตชะวิบูลย์วงศ์, (20 มกราคม 2556). พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้อุตสาหกรรมเพื่ออนาคต. สืบค้นจาก: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=26993,12551>.
- [2] อมรรัตน์ เกียรติสิริกุล, (2004). Poly (lactic acid): Polyester from Renewable Resources. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- [3] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, (2009). พลาสติกชีวภาพไบโอพลาสติก. สืบค้นจาก: <http://library.dip.go.th/Industrial%20Innovation/www/innonew0-01.html>.
- [4] NIA. (25 มกราคม 2556). เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. สืบค้นจาก: <http://www.nia.or.th/download/document/chapter3.pdf>
- [5] ธนาดี ลีจากภัย, (2549). พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร. บริษัท ไทยเอฟเฟคทสตูดิโอ จำกัด.
- [6] JR. Dorgan; H. Lehermeier and M. Mang, (2000) "Thermal and rheological properties of commercial-grade poly (lactic acid)s" *Journal of Polymers and the Environment*, 8, 1-9.
- [7] ธนาดี ลีจากภัย, (2550). การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สืบค้นจาก: <http://www.mtec.or.th> (18 มีนาคม 2556).
- [8] S. Anders and S. Mikael, (2002) "Pro-perties of lactic acid based polymers and their correlation with composition" *Progress in Polymer Science*, 27, 1123 -1163.
- [9] K. Madhavan N.; N. Rajendran N. and R. Pappy J., (2010) "An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research" *Bioresource Technology*, 101, 8493-8501.
- [10] R. Muller, (2008) "Biodegradability of polymers: Regulations and methods of testing" In: A. Steinbüchel, editor. *Biopolymers, General Aspects and Special Applications*, Vol. 10., Wiley Publishers, 366-388.
- [11] V.M. Ghorpade; A. Gennadios; M.A. Hanna, (2001) "Laboratory composting of extruded poly(lactic acid) sheets" *Bioresource Technology*, 76, 57-61.
- [12] H. Tsuji; A. Mizuno and Y. Ikada, (1998) "Blends of aliphatic polyesters. III. Biodegradation of solution-cast blends from poly(L-lactide) and poly(ε-rolactone)" *Journal of Applied Polymer Science*, 70, 2259-2268.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [13] S. Li; M. Tenon; H. Garreau; C. Braud and M. Vert, (2000) “Enzymatic degradation of stereocopolymers derived from L-, DL-, and meso-lactides” *Polymer Degradation and Stability*, 67, 85-90.
- [14] A. Hoshino; M. Tsuji; M. Ito; M. Mo-mochi; A. Mizutani and K. Takakuwa, (2003) “Biodegradable polymers and plastics” In: E. Chiellini; R.Solaro, editor. *Study of the Aerobic Biodegradability of Plastics Materials Under Controlled Compost*, Vol. 47, Plenum Press, chapter 21.
- [15] คู่มือการเรียนรู้นิติบรรณการสัญจร ปีโตรแคมป์สู่แชมป์ปีโตร, (2553), พลาสติกย่อยสลายได้นวัตกรรมเพื่อโลก, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน).
- [16] ลดโลกร้อนด้วยพลาสติกชีวภาพชนิด PBS (ออนไลน์), 2550. เข้าถึงได้จาก:
<http://bw-strawberry.mistine.co.th> (19 เมษายน 2556).
- [17] ชนาวดี ลีจากภัย, (2550), พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. สืบค้นจาก:
www.foodindustrythailand.com (20 มีนาคม 2556).
- [18] ขวลิต แสงสวัสดิ์, (2551), กระบวนการผลิตเทอร์โทพลาสติก 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [19] นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ คณะ, (2546), คู่มือเสริมศักยภาพ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สารสังเคราะห์ . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แม็ค.
- [20] Textinfo, (2011), Classification of Textile fibre.(online)
Available:[http://textinfo.wordpress.com/2011/10/24/classification-of-textile-fibers-according/classification-of-textile-fibre/\(27 April 2012\)](http://textinfo.wordpress.com/2011/10/24/classification-of-textile-fibers-according/classification-of-textile-fibre/(27 April 2012)).
- [21] Shimizu J., Kikutani T., and Takaku S., (1985), *Proceedings of the International Symposium on Fiber Science*, Kakone, Japan, Barking, Essex: Elsevier Applied Science; August 20-24.
- [22] Textile engineer @Blogspot, (2010), Types of spinning (Man-made Fiber) (online), Available:
<http://textileengineerr.blogspot.com/2010/10/types-of-spinning-man-made-fibers.html>

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [23] Technology fibre-and-filament-production (online), 2013.
Available:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486170700152X>
(27 April 2012).
- [24] ปิ่นสุภา ปิติรัชย์สกุลม, “พอลิเมอร์เบื้องต้น 1”, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2546 หน้า 297-361.
- [25] Technology fibre-and-filament-production (online), 2013.
Available:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486170700152X>
(27 April 2012).
- [26] S.ji and Z.Fan, Solidification Behavior and Microstructural Evolution of Near-Eutectic Zn-Al Alloys under Intensive Shear, 2008, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, Published online: 18 November 2008.
- [27] P.Be and Nataliya V., Lightweight high-tensile, high-tear strength bicomponent nonwoven fabrics, 2008, North Carolina State University, 1 April 2005.
- [28] Technology fibre-and-filament-production (online), 2013.
Available: <http://oecotextiles.wordpress.com/tag/melt-spinning/> (27 April 2013).
- [29] Ajay M. Gajria, “Vipul Dave”, Richard A. Gross+ and Stephen P. McCarthy**, 1995, Miscibility and biodegradability of blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl acetate), Lowell, MA 01854, USA, Volume 37, Issue 3, February 1996, Pages 437–444.
Available: Science Direct (20 February 2013).
- [30] Sangmook Lee and Jae Wook Lee., “Characterization and processing of Biodegradable polymer blends of poly(lactic acid) with poly(butylene succinate adipate),” Korea-Australia Rheology, (Electronic), 2005, Vol. 17, No. 2, pp. 71-77. Available: Science Direct (20 February 2013).
- [31] Amita Bhatia, Rahul K. Gupta, Sati. N. Bhattacharya, and H.J. Choi., “Compatibility of biodegradable poly(lactic acid)(PLA) and poly(butylenes succinate)(PBS) blends for packaging application,” Korea-Australia Rheology, (Electronic), 2007, Vol.19, No. 3, pp. 125-131. Available: Science Direct (5 May 2013).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [32] Yaming Wang, João F. Mano. “Biodegradable poly(L-lactic acid)/poly(butylenes succinate-co-adipate) blend : miscibility morphology and thermal behavior,” Applied Polymer Science, (Electronic), 2007, Vol. 105, No. 6, pp. 3204-3210. Available: Science Direct (5 May 2013).
- [33] เต็มสุข แดงหอม และคณะ, “เคมีพอลิเมอร์.” คณะวิทยาศาสตร์เคมี มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี (ออนไลน์), 2004. เข้าถึงได้จาก: <http://www.sci.buu.ac.th> (24 พฤษภาคม 2556).
- [34] V.M. Correlo, L.F. Boesel, M. Bhattacharya, J.F. Mano, N.M. Neves, R.L. Reis. 4Properties of melt processed chitosan and aliphatic polyester blends, 2005, Materials Science and Engineering, Volume 403, 57-68.
- [35] Y. J. Phua, W. S. Chow, Z. A. Mohd Ishak. Mechanical properties and structure development in poly(butylene succinate)/organo-montmorillonite nanocomposites under uniaxial cold rolling. School of Materials and Mineral Resources Engineering, Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia, 14300 Penang, Malaysia, Vol.5, No.2 (2011) 93–103.
- [36] รังสิมา ชลคุป. 2552. “วัสดุชีวภาพรักษ์โลก.” กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด บুক.
- [37] จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. “การทดสอบสมบัติทางเชิงกลของพลาสติก.” กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [38] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, การทดสอบแรงดึง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2550.
- [39] L. Fambri, A. Pegoretti, R. Fenner, S. D. Incardona and C. Migliaresi. Biodegradable fibres of poly (L-lactic acid) produced by melt spinning, 1995, Polymer ,Vol. 38 No. 1, 79-85
- [40] Technical newsletter. Crystallinity in plastics, Zeus Industrial Products, Inc.



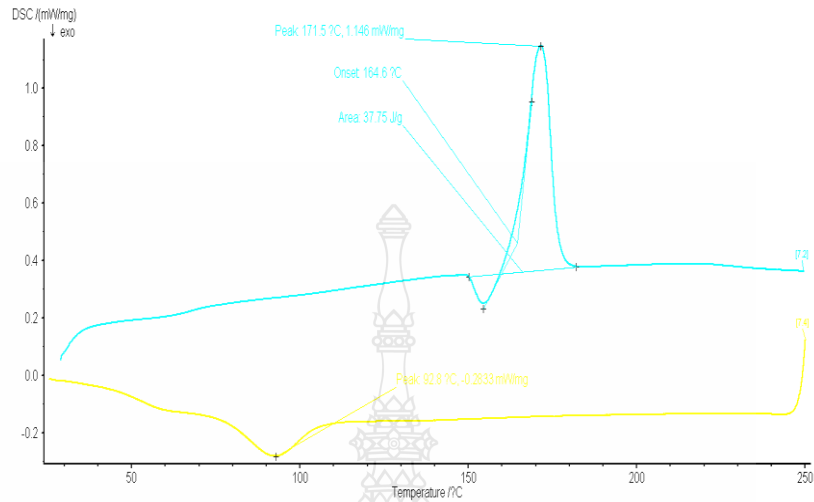
ก.1 ผลการทดสอบสมบัติดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

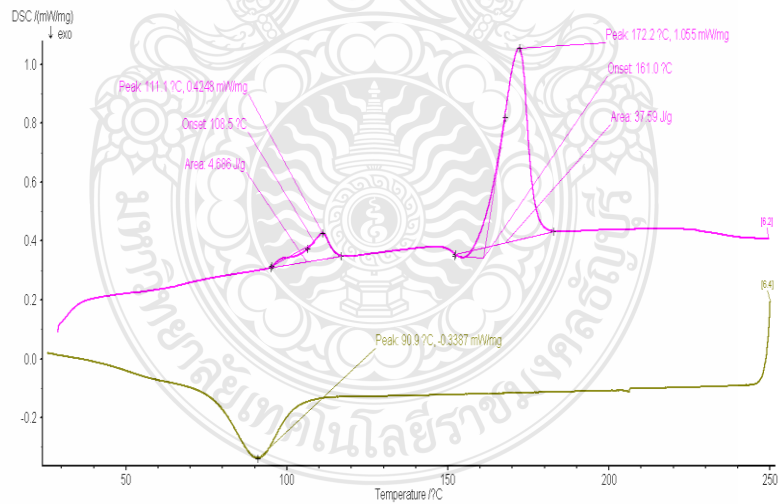
วัสดุที่ใช้ทดสอบ	Melt Temp (°C/Load (kg))	น้ำหนัก (g)	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10min)	D (g/cm ³)
PLA	210/2.16	0.641	38.46	34.44	1.11
PLA90:10PBS	210/2.16	0.676	40.56	36.57	1.1
PLA80:20PBS	210/2.16	0.663	39.78	35.58	1.11
PLA70:30PBS	210/2.16	0.691	41.46	31.14	1.11
PLA60:40PBS	210/2.16	0.624	37.44	62.76	0.59
PLA50:50PBS	210/2.16	0.627	37.62	94.36	0.39
PBS	210/2.16	0.4861	20.16	49.95	0.58



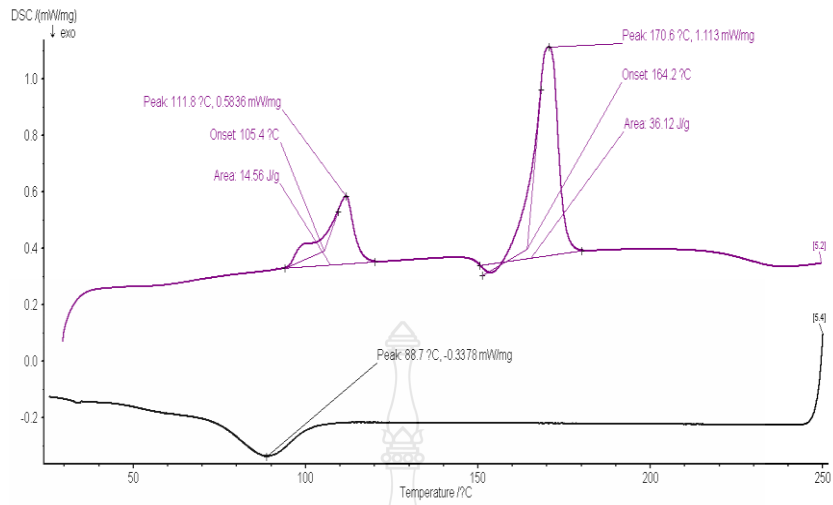
ก.2 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS



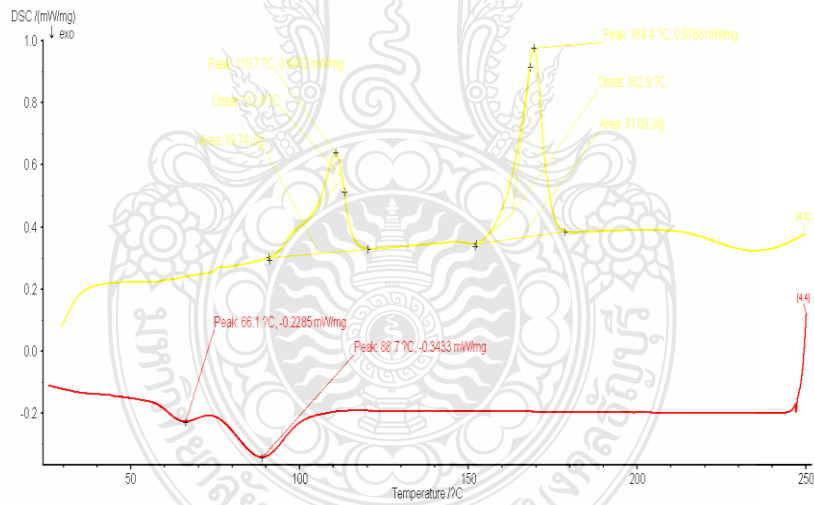
ภาพที่ ก.1 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 100/0 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



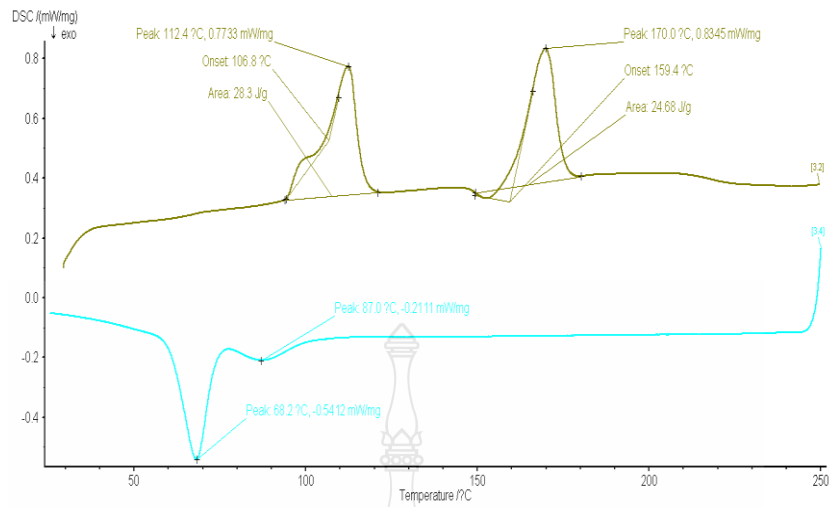
ภาพที่ ก.2 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 90/10 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



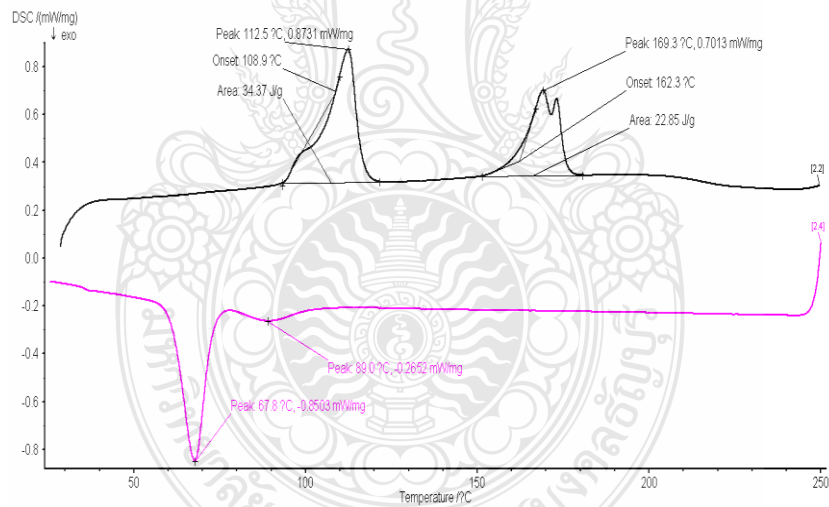
ภาพที่ ก.3 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 80/20 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



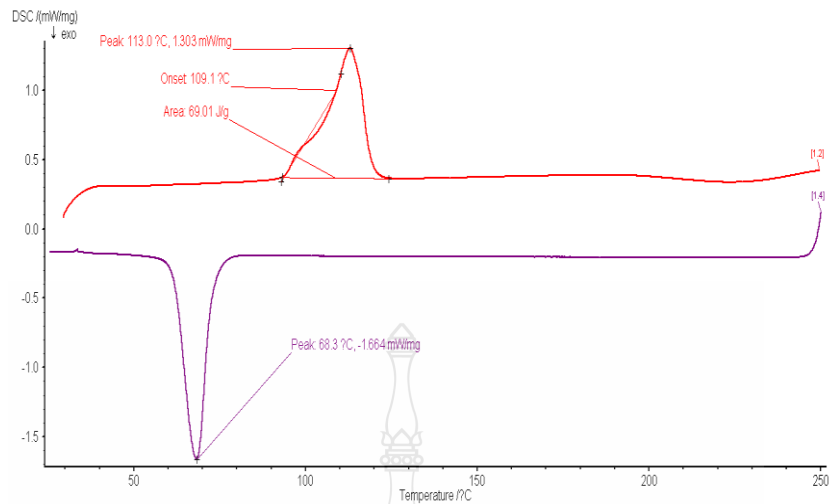
ภาพที่ ก.4 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ ก.5 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 60/40 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ ก.6 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 50/50 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ ก.7 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 0/100 ร้อยละโดยน้ำหนัก

ก.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

ก.3.1 ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

Sample	Tensile Strength (MPa)	Stress at Break (MPa)
PLA100:0PBS	49.275	49.275
PLA90:10PBS	50.347	52.886
PLA80:20PBS	40.175	40.149
PLA70:30PBS	40.447	40.172
PLA60:40PBS	33.508	33.501
PLA50:50PBS	25.819	25.819
PLA0:100PBS	19.425	0

ก.3.2 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

Sample	Young's Modulus (MPa)
PLA100:0PBS	2101.775
PLA90:10PBS	1405.019
PLA80:20PBS	1233.778
PLA70:30PBS	1309.667
PLA60:40PBS	916.554
PLA50:50PBS	971.505
PLA0:100PBS	456.177

ก.3.3 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact)

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS

Sample	ค่าการทนต่อแรงกระแทก (J/m)
PLA	6.098
PLA90:10PBS	6.251
PLA80:20PBS	13.776
PLA70:30PBS	9.818
PLA60:40PBS	7.901
PLA50:50PBS	3.481
PBS	17.843



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมบัติของเส้นใยผสม

ข.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเส้นใยผสมระหว่าง PLA/PBS

ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ของเส้นใยผสม (Tensile Strength) และค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity)

ตารางที่ ข.1 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยผสม (Tensile Strength) และค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) ที่ความเร็วหมุนเก็บ 50m/min

Sample	เบอร์ด้าย (dencir)	เบอร์ด้าย (dencir)	Maxload (cN)	Tenacity (cN/der)	% Elongation
PLA 50m/min	901.755	37.573125	14.45	0.385	324.76
10% PBS	901.755	37.573125	17.10	0.455	583.39
20% PBS	901.755	37.573125	19.54	0.520	563.39
30% PBS	901.755	37.573125	16.87	0.449	420.22
40% PBS	901.755	37.573125	11.13	0.296	455.95
50% PBS	901.755	37.573125	15.32	0.408	361.39
PBS	901.755	37.573125	25.99	0.692	689.54

ตารางที่ ข.2 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยผสม (Tensile Strength) และค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) ที่ความเร็วหมุนเก็บ 100m/min

Sample	เบอร์ด้าย (dencir)	เบอร์ด้าย (dencir)	Maxload (cN)	Tenacity (cN/der)	% Elongation
PLA 100m/min	481.86	20.0775	11.68	0.582	273.80
10% PBS	481.86	20.0775	14.10	0.702	430.62
20% PBS	481.86	20.0775	18.54	0.923	485.37
30% PBS	481.86	20.0775	16.87	0.840	437.72
40% PBS	481.86	20.0775	10.13	0.505	249.81
50% PBS	481.86	20.0775	9.17	0.457	219.18
PBS	481.86	20.0775	24.85	1.238	523.20

ตารางที่ ข.3 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยผสม (Tensile Strength) และค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tenacity) ที่ความเร็วหมุนเก็บ 150m/min

Sample	เบอร์ด้าย (deneir)	เบอร์ด้าย (deneir)	Maxload (cN)	Tenacity (cN/der)	% Elongation
PLA 150m/min	323.01	13.45875	12.34	0.917	206.59
10% PBS	323.01	13.45875	11.99	0.891	468.84
20% PBS	323.01	13.45875	12.36	0.918	345.27
30% PBS	323.01	13.45875	12.94	0.961	237.07
40% PBS	323.01	13.45875	8.49	0.631	216.47
50% PBS	323.01	13.45875	7.39	0.549	202.29
PBS	323.01	13.45875	22.79	1.693	486.52



ข.3 ผลการทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ระหว่าง PLA/PBS

**ตารางที่ ข.4 สมบัติการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ที่แต่ละอัตราส่วน และความเร็ว
ม้วนเก็บ**

Sample	% Shrinkage
PLA3052D 50m/min	7.13
10% PBS	9.53
20% PBS	9.57
30% PBS	9.11
40% PBS	9.09
50% PBS	9.30
PBS	9.90
PLA3052D 100m/min	6.30
10% PBS	9.27
20% PBS	9.46
30% PBS	8.88
40% PBS	8.76
50% PBS	8.33
PBS	9.63
PLA3052D 150m/min	4.80
10% PBS	9.22
20% PBS	9.41
30% PBS	8.74
40% PBS	8.43
50% PBS	8.23
PBS	9.57

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

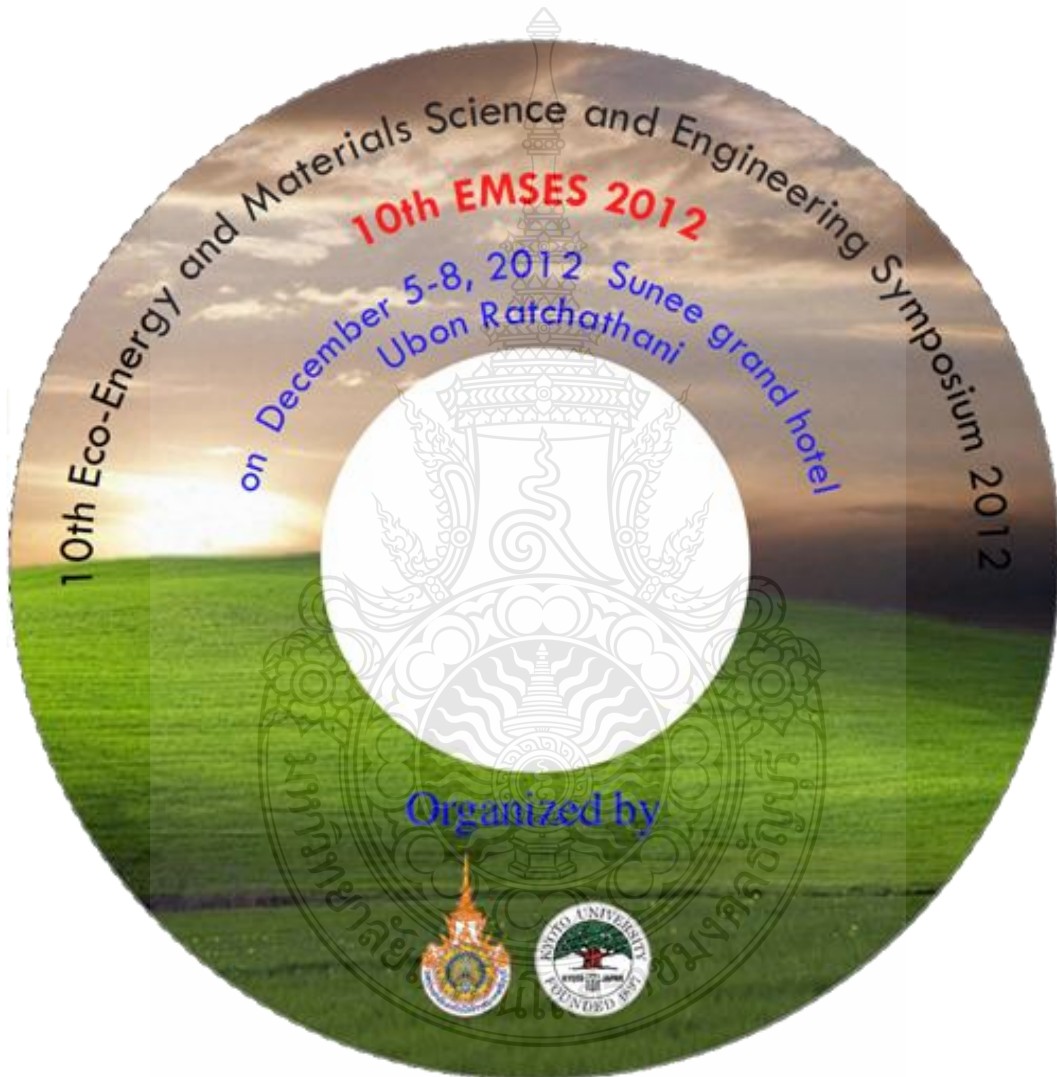
ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (National and International Conferences)

1. **Lalita Jompang**, Supaphorn Thumsorn, Jessad Wong On, Prayoon Surin, Chiyaprek Apawet, Tirapong Chaichalermwong, Narin Kaabbuathong, Narongchai O-Charoen, and Natee Srisawat, “Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) Blend Fibers Prepared by Melt Spinning Technique”, 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (10th EMSES 2012), Sunee grand Hotel, Ubon-ratchathani, Thailand, December 5-8, 2012, pp. 493-499
2. **Lalita Jompang**, Narongchai Ocharoen, Natee Srisawat, Supaphorn Thumsorn, “Effect of Processing Conditions on Properties of Poly(lactic acid) and Poly(butylene succinate) Blend Fibers”, Proceeding, Industrial Engineering Network Conference 2013 (IE NETWORK 2013), The Royal Cruise Hotel, Chonburi, Thailand, October 16-18, 2013, accepted.



10th EMSES 2012

on December 5-8, 2012 **Sunee grand hotel, Ubon-ratchathani**



10th EMSES 2012

International Scientific Advisory Committee:

General Chair:

Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK RMUTT, Thailand

General Co-Chair:

Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Asst.Prof.Dr. Panpetch CHININTORN RMUTT, Thailand

Organizing Chair:

Asst. Prof. Dr.Somma PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Prof. Dr. Takeshi YAO Kyoto Uni., Japan

Organizing Co-Chair:

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI Kyoto Uni., Japan

International Scientific Committees:

Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO TU, Thailand

Prof. Dr. Shiro SAKA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Hitomi OHARA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER FH Koeln, Germany

Prof. Dr. Young S. CHAI Korea

Prof. Dr. Nipon TANGTHAM KU, Thailand

Prof. Dr. Masayoshi OKUBO Osaka Uni, Japan

Prof. Dr. Somchai WONGWISES KMITL, Thailand

Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN UQ, Australia

Prof. Dr. Yukio OGATA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Yuichi ANADA Hokkaido Info. Uni., Japan

Prof.Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY IIT-Madras, India

Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN IUPUI, USA

Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND Australia

Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES KMITL, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI Japan

Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN RMUTI, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT SWU, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA Nakaoga Uni., Japan

Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT CU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI KMUTNB, Thailand

Asst. Prof. Dr. Napaporn PHUANGPORNPIITAK KU, Thailand

Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW RMUTT, Thailand

Asst.Prof.Dr.Supakit SUTTIRUENGWONGSU, Thailand

Asst. Prof. Dr.Vallop PHUPA RMUTP, Thailand

Asst.Prof.Dr.Pramook UNAHALEKHAKA RMUTSB, Thailand

10th EMSES 2012

Dr.Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. YoyokWahyuSubroto	UGM,Indonesia
Prof. Dr. WegaTRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology(ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact(ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science(NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management(EM)	
Assoc.Prof.Dr. Natha KUPHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology(NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology(NU)	
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Exhibition Chair:

Dr. Amnoiy REUNGWAREE RMUTT, Thailand
Dr. Winai CHANPENG RMUTT, Thailand

Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE RMUTT, Thailand
Dr. Natee SRISAWAT RMUTT, Thailand

Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
Dr. Supaporn THOMSORN RMUTT, Thailand
Weeraporn PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Publicity Chair

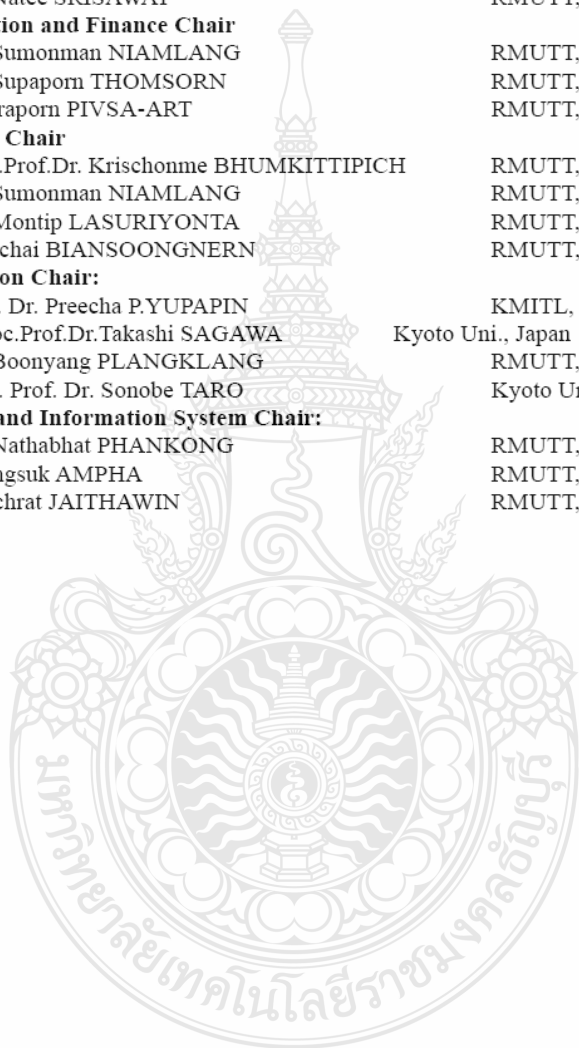
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
Dr. Montip LASURIYONTA RMUTT, Thailand
Somchai BIANSONGNERN RMUTT, Thailand

Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN KMITL, Thailand
Assoc.Prof.Dr.Takashi SAGAWA Kyoto Uni., Japan
Dr. Boonyang PLANGKLANG RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO Kyoto Uni., Japan

Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG RMUTT, Thailand
Phongsuk AMPHA RMUTT, Thailand
Deachrat JAITHAWIN RMUTT, Thailand



CONTENT

ES14	Effect of Acid Treatment on Adsorption of Single-Walled Carbon Nanothorns for Tetracycline Removal from Aqueous Solution <i>Kenji Shiratai, Kyuya Nakagawa, Tawatchai Charinpanitkul, and Kanokwan Sowichai</i>	444
ES15	The Applied Geographic Information System and the Relation of Mollusk with Water Quality in Ayutthaya Province, Thailand <i>D. Supatimusro, N. Areerachakul, and J. Poomsripanon</i>	449
ES16	Reproduced Solar Radiation Derived from Electric Current of Solar Cell for Daytime Meteorological Study <i>Nithiwatthn Choosakul, Chamoknan Banglieng and Naris Barnthip</i>	454

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY

NM01	Surface Treatment of natural fibers with Flexible Epoxy Resin <i>Napawadee Klomhadyay, Putimin Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	459
NM02	Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) blend Fibers Prepared by Melt Spinning technique <i>L. Jompang, J. Wong On, P. Surin, C. Apawet, T. Chaichalermwong, S. Thumsorn, N. Kaabhuathong, N. O-Charoen, and N. Srisawat</i>	463
NM03	Morphological and Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fibers Reinforced Poly (lactic acid) Composites <i>Wiphawee Nuthong, Putimin Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art, and Hiroyuki Hamada</i>	464
NM04	Collector Thermal Efficiency of Solar Panel Made from Thermoplastics <i>Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyaman, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana</i>	468
NM05	Effect of Heat Seal Conditions on Heat Seal Characteristic of Poly (Lactic Acid) Thermoplastic Starch Blend Films <i>S. Thumsorn, K. Yamada, S. Pivsa-Art, K. Miyata and H. Hamada</i>	472



10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering
(EMSES2012)

Poly(lactic acid) and Poly(butylene succinate) Blend Fibers
Prepared by Melt Spinning Technique

Lalita Jomvang^a, Supaphorn Thumsorn^{a*}, Jessada Wong On^b, Prayoon Surin^b,
Chiyaprek Apawet^b, Tirapong Chaichalermwong^a, Narin Kaabbuathong^c,
Narongchai O-Charoen^a, and Natee Srisawat^a

^aFaculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand

^bFaculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Wongmat, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

^cPTT Research and Technology Institute, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13170, Thailand

Abstract

Poly(lactic acid) (PLA) and poly(butylene succinate) (PBS) were blended in a twin screw extruder at various contents of PBS from 0-50 wt%. PLA/PBS blends were melt spun using a single screw extruder equipped with multifilaments spinnerette. The effect of PBS contents on morphology, thermal and mechanical properties of PLA/PBS blend fiber was investigated SEM micrographs indicated that the addition of PBS at 10 wt% was miscible with PLA while the other contents of PBS exhibited phase separation in the blends. The incorporation of PBS affected on the declination of crystallinity in the blends. It can be noted that the addition of PBS could enhance the elasticity of PLA/PBS blend fibers.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier B.V.

Selection and peer-review under responsibility of COE of Sustainable Energy System, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

Keywords: poly(lactic acid); poly(butylene succinate); melt spinning; miscibility; crystallinity

1. Introduction

In the present day, biodegradable polymers have been promoting for production due to our consideration of the environment. Poly(lactic acid) (PLA) is a biodegradable polymer, which derived from renewable resources. It has now been prompt for using in plastic industries. However, there is less information for applying in textile industry. PLA is generally known as a brittle material and low crystallization polymer [1-3]. The blending with elastomeric or ductility polymers would enhance PLA

* Corresponding author. Tel.: +66 2 549 3450, fax: +66 2 549 3452.

E-mail address: gibza_p45@hotmail.com, supaphorn.t@en.rmutt.ac.th

deformation [4-7], especially for fiber spinning. Binary and ternary blends of PLA with thermoplastic starch (TPS) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) were researched by Ren et al [4]. This research showed that the mechanical properties, especially ductility of the blends exhibited dramatic improvement when increasing PBAT contents. Su et al [5] enhanced the ductility of PLA by blending with glycidyl methacrylate grafted poly(ethylene octane)

Poly(butylene succinate) (PBS) is biodegradable polymer, which derived from petroleum resources. PBS is good in elasticity and well in crystallization. The incorporation of PBS would improve PLA properties. Harada et al [6] studied on improving impact strength of PLA/PBS blends by using a reactive processing agent. Yokohara et al [7] focused on miscibility and crystallization of PLA and PBS blend. This research presented that PLA and PBS were immiscible. However, the crystallinity of PLA could enhance by nucleating ability of PBS.

PLA fiber spinning was researched by Schmck et al [8]. They used a high speed spinning process and studied the effect of melt spinning conditions on the development of fibers structure, which further used for textile applications. Takasaki et al [9] also used high speed melt spinning process for polylactides fiber and focused on the structure and orientation of the fibers. Xu et al [10] prepared chitosan/PLA blend micro- and nano- fibers by electrospinning technique. PLA was blended with polypropylene (PP) for improved the hydrolysis resistance biodegradation and dyeability of PLA. This research was clarified by Reddy et al [11].

The aim of this research was prepared PLA/PBS blends compounding for fiber spinning in textile application. The ratio of PLA:PBS was varied from 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 and 50:50. Morphology, thermal properties and mechanical performance of PLA/PBS blends were summarized for fabrication PLA:PBS blends fibers.

2. Experimental

2.1. Materials

Poly(lactic acid) (PLA) (grade 3051D) was supplied from NatureWorks LLC, USA. Poly(butylene succinate) (PBS) was supplied from Mitsubishi Chemical, Japan.

2.2. Compounding and Fiber Preparation

PLA and PBS were dried in an oven at temperature of 80 °C for at least 12 hours before compounding in a twin screw extruder. The barrel temperature was set at 140-165 °C with screw speed of 80 rpm. The ratios of PLA and PBS (PLA:PBS) by weight ratio in the blends were 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 and 50:50. The neat PLA and PBS were also prepared as controls. PLA/PBS blends were compression-molded to dumbbell specimens at temperature set of 190 °C for mechanical and physical testing. The specimen designation will be referred to the content of PLA and PBS. For example, PLA50:PBS50 is PLA 50 wt% and PBS 50 wt%.

The blends were dried in the oven at temperature of 80 °C for at least 12 hours. After that the blends were melt-spun by a single screw extruder equipped with multifilaments spinnerette at barrel temperature of 190-210 °C with screw speed of 8 rpm. The melt spun PLA/PBS blends were collected.

2.3. Characterization

Thermal properties of the blend was carried out by differential scanning calorimetry (NETZSCH, DSC 200 F3) at 30-200 °C at heating and cooling rate of 10 °C/min and 5 °C/min, respectively.

Morphological analysis of fibers was performed by using a scanning electron microscope (SEM) (JEOL/JSM-5410LV) set at 15 kV. Gold was sputtered onto the specimens for electron conductivity.

Tensile Properties was investigated by an INSTRON universal testing machine (INSTRON5560). The gauge length was 100 mm. The extension rate was 10 mm/min. Five specimens were tested for each condition.

3. Results and Discussion

3.1. Thermal Properties of PLA/PBS

Blends Fig. 1 (a) shows DSC melting thermograms of PLA/PBS blends and neat materials. PLA and PBS thermograms exhibit endothermic peak around 171 °C and 113 °C, which indicated the melting temperature (T_m) of PLA and PBS, respectively. The thermograms of PLA/PBS blends present two distinguish endothermic peaks around 169-172 °C and 110-113 °C, which represented the melting temperature of PLA and PBS, respectively. From the results, it was indicated that PLA and PBS were immiscible. In addition, it can be seen that there were two melting peaks of PLA in PLA:PBS blend at 50:50 ratio. It was due to melting behavior of difference crystal size in this blend [12].

Crystallization behavior of neat polymers and the blends is shown in Fig. 1 (b). PLA was generally known in low crystallization characteristic, which can be seen a low intensity of exothermic peak of PLA as presented in Fig. 1 (b). The crystallization temperature (T_c) of PLA was around 92.8 °C. On the other hand, PBS is crystallized easier than the PLA, which was clearly observed of exothermic peak in DSC cooling cycle of PBS. The crystallization temperature (T_c) of PLA was shown at 68.3 °C. There were two exothermic peaks in PLA:PBS blends at PBS contents of 30, 40 and 50 wt% while there was only one exothermic peak of low PBS contents of 10 and 20 wt%, which the intensity of PLA crystallization peak in these blends were higher than neat PLA. It could be considered that PBS would aid in PLA crystallization. However, the intensity of PBS exothermic peak in the blends was decreased when PLA contents increased. It was attributed to PBS crystallized retardation by PLA.



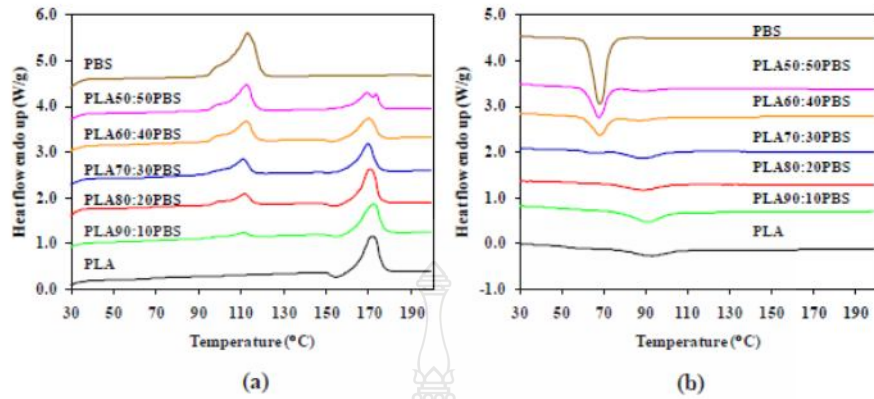


Fig 1. DSC thermograms of PLA, PBS and the blends
(a) melting endotherms (b) crystallization exotherms.

Thermal properties of neat polymers and the blends are summarized in Tables 1 and 2. Crystallinity of PLA in the blends increased when increasing PBS contents. On the contrary, crystallinity of PBS was suppressed when adding high PLA contents. From the results, it was considered that PBS would act as nucleation site for PLA in order to crystallization while PLA inhibited PBS crystallization

Table 1. Thermal properties of PLA in the blends.

PLA:PBS blend	PLA		
	T_m (°C)	T_c (°C)	Crystallinity (%)
Neat PLA	171.5	92.8	407
90:10	172.2	90.9	42.6
80:20	170.6	88.7	45.2
70:30	169.4	88.7	47.4
60:40	170.0	87	40.5
50:50	169.3, 173.3	89	50.8

Table 2. Thermal properties of PBS in the blends.

PLA:PBS blend	PBS		
	T_m (°C)	T_c (°C)	Crystallinity (%)
100:0	-	-	-
90:10	111.1	-	49.3
80:20	111.8	-	-
70:30	110.7	66.1	56.1
60:40	112.4	68.2	58.2
50:50	112.5	67.8	53.7
0:100	113.0	68.3	63.8

3.2. Morphology of PLA:PBS blends

Fig. 2 presents SEM photographs of PLA:PBS blends. It can be seen brittle fractured surface of PLA and PLA/PBS blends. PLA and PBS were immiscible and exhibited phase separation in these blends. However, PBS was well dispersed in PLA matrix, which would enhanced toughness in the PLA:PBS blends.

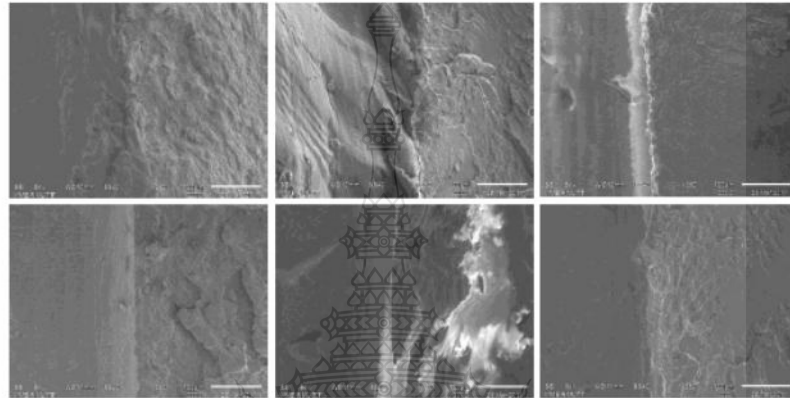


Fig 2. SEM photographs of (a) neat PLA (b) 90:10 blends (c) 80:20 blends (d) 70:30 blends (e) 60:40 blends (f) 50:50 blends (scale bar is 100 μm).

3.3. Mechanical properties of PLA:PBS blends

Fig 3. exhibits tensile modulus of PLA:PBS blends compression molded. PLA shows the highest modulus, which it generally known that PLA has been good in tensile properties [1]. The incorporation of PBS in the blends yielded the declination of tensile modulus of PLA:PBS blends due to low stiffness and ductility of PBS. Furthermore, it was attribute to less interfacial adhesion between PBS and PLA matrix, especially when increasing PBS contents. It can be note that poor adhesion between PLA and PBS as dispersed phase resulted in poor stress transferred during tensile loading [13-14]. Therefore, tensile strength of the PLA:PBS blends was also not improved as shown in Fig. 4.

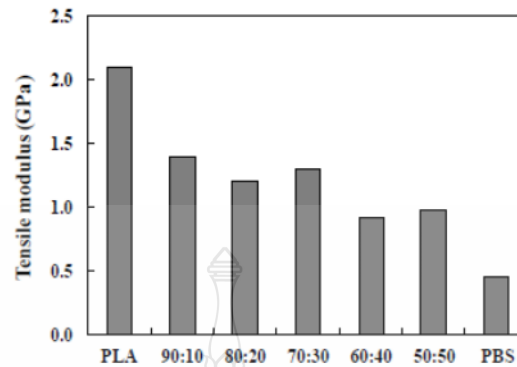


Fig.3. Tensile modulus of neat PLA, PBS and the blends.

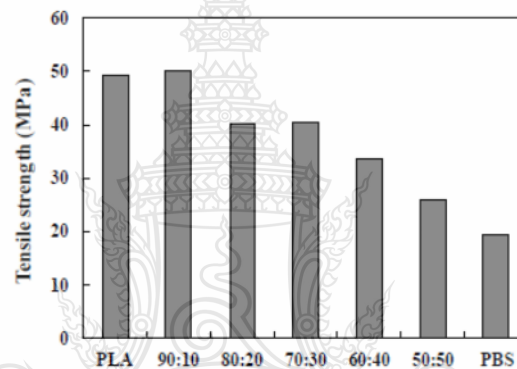


Fig 4. Tensile strength of neat PLA, PBS and the blends.

3.4. Characteristic of PLA:PBS blends fiber

Thermal properties and morphology results indicated that PLA and PBS were immiscible and exhibited phase separation. On the contrary, the tensile properties of the blend showed good tensile modulus and strength when adding PBS up to 30 wt%. Nevertheless all blends were melt-spun in a single screw extruder at take up speeds of 50, 100 and 150 m/min. Melt-spun PLA/PBS fiber could be collected at the take up speed less than 150 m/min. The blend fiber of PLA:PBS at 80:20 ratio could be spun but it

was discontinuous spinning. It was probably due to immiscible between PLA and PBS and the unfine of PBS dispersed sizes. Moreover, the increasing of PBS contents in the blends made it difficult to spinning. Therefore, PLA/PBS blends of 90:10 ratio could be spun and successfully collected at the take up speed of 50 m/min as shown in Fig. 5.



Fig 5. PLA:PBS blends fibers for melt spinning technique.

4. Conclusions

The blending of PBS in PLA enhanced the blends ductility but less stiffness, which resulting in the declination of tensile modulus of PLA:PBS blends. DSC and SEM results indicated that PLA was not miscible with PBS, especially there was a phase separation in the blends. PBS dispersed particles in the blends influenced on the discontinuous fiber spinning. It can be note that PLA:PBS blend fiber was successfully prepared from 90:10 PLA]PBS blend ratio, which would applied it for textile applications.

Acknowledgements

The authors are gratefully thanks PTT Research and Technology Institute, PTT Public Company Limited for supporting research fund.

References

- [1] Lim L-T, Auras R and Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Prog Polym Sci* 2008; 33: 820-52.
- [2] Garlotta D. A literature review of poly(lactic acid). *J Polym Environ* 2001; 9: 63-84.
- [3] Ljungberg N and Wesslen B. Preparation and properties of plasticized poly(lactic acid) films. *Biomacromolecules* 2005; 6:1789-96.
- [4] Ren J, Fu H, Ren T and Yuan W. Preparation, characterization and properties of binary and ternary blends with thermoplastic starch, poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate). *Carbo Polym* 2009; 77:576-82.
- [5] Su Z, Li Q, Liu Y, Hu G-H and Wu C. Compatibility and phase structure of binary blends of poly(lactic acid) and glycidyl methacrylate grafted poly(ethylene octane). *Eur. Polym. J* 2009; 45:2428-33.
- [6] Harada M, Ohya T, Iida K, Hayashi H, Hirano K and Fukuda H. Increase impact strength of biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylene succinate) blend composites by using isocyanate as a reactive processing agent. *J. Appl. Polym. Sci.* 2007; 106: 1813-20.
- [7] Yokohara T and Yamagushi M. Structure and properties for biomass-based polyester blends of PLA and PBS. *Eur. Polym. J.*, 2008; 44: 677-85.
- [8] Schmack G, Jehnichen D, Vogel R, Tandler B, Beyreuther R, Jacobsen S and Fritz H-G. Biodegradable fibers spun from poly(lactide) generated by reactive extrusion. *J. Biotechnol* 2001; 86: 151-60.
- [9] Takasaki M, Ito H and Kikutani T. Structure development of polylactides with various D-lactide contents in the high-speed melt spinning. *J. Macromol. Sci. Part B. Phys* 2003; 42: 57-73.
- [10] Xu J, Zhang J, Gao W, Liang H, Wang H and Li J. Preparation of chitosan/PLA blend micro/nanofibers by electrospinning. *Mate. Lett.* 2009; 63: 658-60.
- [11] Reddy N, Nama D and Yang Y. Poly(lactic acid)/polypropylene polyblend fibers for better resistance to degradation. *Polym. Degrad. Stab* 2008; 93: 233-41.
- [12] Park JW and Im SS. Phase behaviour and morphology in blends of poly(L-lactic acid) and poly(butylene succinate). *J. Appl. Polym. Sci* 2002; 86: 647-55.
- [13] Huda MS, Drzal LT, Mohanty AK and Misra M. Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study. *Comp. Sci. Tech* 2006; 66: 1813-24.
- [14] Zhang JF and Sun X. Mechanical properties of poly(lactic acid)/starch composites compatibilized by maleic anhydride. *Biomacromolecules* 2004; 5: 1446-51.



Login

Username

Password

- MAIN MENU**
- [หน้าหลัก](#)
 - [หลักการและเหตุผล](#)
 - [คณะกรรมการ](#)
 - [คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ](#)
 - [พิจารณาบทความ](#)
 - [ข่าวประชาสัมพันธ์](#)
 - [ติดต่อเรา](#)
- Paper Submission**
- [ระบบลงทะเบียนออนไลน์](#)
 - [ค่าลงทะเบียน](#)
- Destination Guides**
- [สาขาวิชาในการประชุม](#)
 - [กำหนดการสำคัญ](#)
 - [แนวทางการส่งบทความ](#)
 - [สถานที่จัดการประชุม](#)
- Link**
- [Session Welding](#)
- Past Conference**
- [IE Network 2013](#)
 - [Past IE Network](#)

ShinyStat
 today visits 92
 Tot. visits 13291

Green Productivity and Innovation

SHARE

สารจากประธานข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2556 (IE Network Conference 2013; IENET 2013) ร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากร และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ขอเชิญชวนนักวิชาการ นักวิจัย อาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจ เข้าร่วมประชุม เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ ในการทำวิจัย อันจะก่อให้เกิดการพัฒนาวิจัยอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันอย่างยิ่งยอน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ กิ่งผอง
 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล




IE Network 2013

ประกาศเลื่อนวันประกาศผลผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์

เป็นวันที่ 23 สิงหาคม 2556

egienet2013@mahidol.ac.th



 Login

บรรจพร เรืองไพศาล
[User]

[Logout](#)

USER MENU

- [ส่งไฟล์บทความ](#)
- [การจัดการ บทความ](#)
- [การจัดการ บทความ](#)
- [บทความฉบับตีพิมพ์](#)
- [แก้ไขข้อมูลส่วนตัว](#)

MAIN MENU

- [หน้าหลัก](#)
- [หลักการและเหตุผล](#)
- [คณะกรรมการ](#)
- [คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ](#)
- [พิจารณาบทความ](#)
- [ข่าวประชาสัมพันธ์](#)
- [ติดต่อเรา](#)

Paper Submission

- [ระบบลงทะเบียนออนไลน์](#)
- [ค่าลงทะเบียน](#)

Destination Guides

- [สาขาวิชาในการประชุม](#)
- [กำหนดการสำคัญ](#)
- [แนวทางการส่งบทความ](#)
- [สถานที่จัดการประชุม](#)

Link

- [Session Welding](#)

Past Conference

- [IE Network 2013](#)
- [Past IE Network](#)
- [Session Welding](#)
- [Download](#)

ผู้ทรงคุณวุฒิทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมจากมหาวิทยาลัยต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. รศ.ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช
2. ผศ.ดร.มานพ เรียวเดชะ
3. ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ผศ. ดร.กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เดชะเมธีกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

1. ผศ.ดร.สิริรงค์ กลั่นคำสอน
2. ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
3. ดร.นันทวิภา จันทศรี
4. ดร.เพ็ญสุดา พันธุ์คำ
5. ดร.รัฐดิกร พัฒนพิบูล
6. อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
2. รศ.ดร.ชนนภา กฤตวรากาญจน์
3. รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ
4. รศ.ดร.วิมลีน เหล่าศิริถาวร
5. รศ.ดร.อภิชาติ โสภางค์
6. ผศ.ดร.ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์
7. ผศ.ดร.กรกฎ ไบบัวเทศ ทิพย์วงศ์
8. ผศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
9. ผศ.ดร.รุ่งจิตร ชมภูอินทร์
10. ผศ.ดร.วิสนัย วรธนนัจฉริยา
11. ผศ.ดร.อรรณพ สมุทคุปต์
12. ดร.วชิระ นาคเขี้ยว
13. ดร.วริษา วิสิทธิ์พานิช
14. ดร.อนิรุท ไชยจรรุณิชา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. รศ.ดร.จิรัชย์ พุทธกุลสมศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.เดือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
2. รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
3. รศ.วชิระ มีทอง
4. ผศ.ดร.สุขสันต์ พรหมบุญพงศ์
5. ผศ.ดร.อภิเนษนา อุดมศักดิ์กุล
6. ผศ.ดร.เจริญชัย โขมพิลาภรณ์
7. ผศ.ดร.ธัญญา วสุศรี
8. ผศ.ดร.อิสราห์ พึ่งอัน
9. ผศ.เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร

สปอนเซอร์



TM

THERMAL MECHANICS
Welding Cutting Automation

KISTLER
measure. analyze. innovate.

QES
Assuring you our very best, ALWAYS!



10. ผศ.เชิดพงษ์ จอมเดช
11. ผศ.เจริญ สุนทรวาณิชย์
12. ดร.ปภัศร ชัยวัฒน์
13. ดร.ชอแก้ว จตุรานนท์
14. อ.แบงค์ งามอรุณโชติ
15. อ.อาวุธ สนใจยุทธ
16. อ.มงคล สันะวัฒน์
17. อ.ภัทธีรา ม้วนจัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
2. ผศ.ดร.กฤษ พิมาพันธุ์ศรี
3. ผศ.ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์
4. ผศ.ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร
5. ดร.ธนสาร อินทรกำธรชัย
6. ดร.วรพจน์ มีถม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัฒธิวงศ์
2. รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ
3. รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์
4. รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต
5. ผศ.ดร.ชมพล ยางใย
6. ผศ.ดร.สิทธิพร ทิมพัสกุล
7. ดร.พลชัย โชติปราชญกุล
8. ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม
9. ดร.วิภู ศรีสืบสาย
10. ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

1. ผศ.ดร.นนทโชติ อุดมศรี
2. ผศ.จักรินทร์ น่วมทิม
3. ผศ.ร่าพิง เจริญยศ
4. ดร.สมพงษ์ พิริยายนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุโขทัยธรรมมาธิราช

1. รศ.พกาภาศ ผจญแก้ว
2. รศ.สุภาวดี อีธรรมมาร
3. รศ.สุณี ภูสีม่วง
4. รศ.ศุภณี เรียบเลิศศิริ
5. ดร.แววมยุ แยมแสงสังข์
6. อ.กรรณิการ์ ยิ้มนาค
7. อ.จิรานุช บุคดีจัน
8. อ.บุญชัย วสิษฐพิทสวัสดิ์
9. อ.ภูมิ เจือศิริภักดี
10. อ.อิทธิเดช มูลมั่งมี

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1. ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล
2. ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
3. ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ
4. ดร.สัณห์ รัฐวิบูลย์
5. อ.วุฒิกรณ์ จรรย์ต้นดีเวทย์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า สองเวลา



คุณภาพทนทาน บริการสุดยอดเยี่ยม



6. อ.อรรถ พฤตศรีภักย์
7. ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

มหาวิทยาลัยนครพนม

1. ดร.บัณฑิต บุญขาว
2. ดร.วิชัย พัฒนพล
3. อ.จุจากา นันทโพธิ์เดช

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

1. ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

1. ดร.จิรวัดณ์ วิมุตติสุขวิริยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

1. รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร
2. ผศ.ดร.ประถม บุญไชยอภิสิทธิ์
3. ผศ.อวยชัย วงศ์รัตน์
4. ดร.อนันตกุล อินทรผดุง
5. อ.ชาญชัย วัลลิสิต
6. อ.พิเชษฐ รัตนบุญทวี
7. อ.ภาสุระ อังกุลานนท์
8. อ.ลักขณา ฤกษ์เกษม
9. อ.อรมน บั้นทอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

1. อ.ธิดา โชนงนุช
2. อ.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

1. อ.เปรมชัย มูลหล้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

1. ผศ.ดร.ชูชาติ พยอม
2. ผศ.ดร.ณัฐกานต์ พวงไพฑูริย์
3. ผศ.ดร.นิคม อนันทน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

1. อ.นิวัฒน์ ศรีราตรี
2. อ.วสันต์ พลัวพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

1. ดร.กันต์ อินทวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ดร.จกมล ศรีธ

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

1. ผศ.ดร.กฤษดา พิศลยบุตร
2. ผศ.บุกุล อุบลมาน
3. ดร.เลิศเลขา ธนะชัยพันธ์

มหาวิทยาลัยมหิดล

1. รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย
2. รศ.ศุภชัย นาทะพันธ์
3. ผศ.ดร.กนกวรรณ กิ่งผดุง
4. ผศ.ดร. ดร.ธนกรณ์ แน่นหนา
5. ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
6. ผศ.ดร.สรนาถ ไกรฤ
7. ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย
8. ดร.จิรพรรณ เสี่ยงโรคาพาธ
9. ดร.มงคล เทียนวิบูลย์
10. ดร.รณชัย ศีโรเวโรนกุล
11. ดร.ศุภชัย ราชภูริศรี
12. อ.กัญจน์ คณาธารทิพย์
13. อ.ดวงยศ สุภักดิ์
14. อ.ธนา สาตรา
15. อ.นพกร ภูระยา
16. อ.พิมพ์วิมลย์ สุตะโตตร
17. อ.สิทธิพันธุ์ ตักทิวรุพันธ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1. ผศ.เสริมสุข บัวเจริญ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1. รศ.ธนรัตน์ แต้วัฒนา
2. ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์
3. ผศ.ดร.พิลดา หวังพานิช
4. ผศ.รศ.ดร.กิตติปัญญาพัฒน์
5. ดร.ถิรพงษ์ คงประเสริฐ
6. ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ
7. ดร.วราธร ปัญญางาม
8. ดร.สิริเดช ชาตินิยม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

1. ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร
2. ผศ.จันทร์เพ็ญ อุนร์คานนท์
3. ผศ.วันชัย ลีลากรวิวงศ์
4. ดร.กัญจนา ทองสนธิ
5. ดร.คณิศ พลอยดามัย
6. ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม
7. ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์
8. อ.กวิณธร สัยเจริญ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
2. รศ.สมชาย ชูโถม
3. รศ.วันดา รัตนมณี
4. ผศ.ดร.กลางเดือน โพนนา

-
5. ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล
 6. ผศ.ดร.นภิสพร มิ่งมงคล
 7. ผศ.ดร.รัญชนา สีนธาวลัย
 8. ผศ.ดร.สุภาพรพรณ ไชยประพัทธ์
 9. ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
 10. ผศ.ดร.อ๋อง สียงพงศ์
 11. ผศ.เจริญ เจตวิจิตร
 12. ผศ.พิเชษฐ ตระการชัยศิริ
 13. ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม
 14. ผศ.ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุร

มหาวิทยาลัยสยาม

1. รศ.ดร.วันชัย ธิจิรวณิช
2. รศ.ศันสนีย์ สุภาภา
3. ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์นิธทวี
4. ผศ.ดร.รัฐาณี รู้แทนคุณ
5. ผศ.ดร.อาทิตย์ โสตร์โยม
6. อ.ถวัลย์ พุฒยงกูร
7. อ.รัชกมล แดนเขต
8. อ.ปยุตยา คินดี
9. อ.พงศ์พัฒน์ เพชรรุ่งเรือง
10. อ.วิมลพรรณ คงสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

1. รศ.ดร.สถาพร อมรสวัสดิวัฒนา
2. ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร
3. ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์
4. ดร.วิวัฒน์ชัย พฤษก์านนท์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

1. ดร.นิตากร สมสุข
2. อ.จิตลดา หมายมัน
3. อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฏ์
4. อ.อรอุมา กอสนาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิลาคะโส
2. ผศ.ดร.คณิตศร ภูนิคม
3. ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง
4. ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
5. ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ
6. ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเขาวน
7. ดร.จรายพร แสนหวิสุข
8. ดร.ธารชดา พันธุ์นิกุล
9. ดร.สัณฑ์ โอฟ้าพิริยกุล

โรงเรียนนายเรืออากาศ

1. น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา
2. น.ท.ปัญญาธิกรักษ์ โภคัลวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1. ผศ.ดร.ณัฐพล ลิ่มจีระจรัส
2. ผศ.ดร.พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์
3. ผศ.ดร.วราคม เนินน้อย
4. ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ
5. ดร.กรกฎ เหมสถาปิตย์
6. ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนวงษ์
7. ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

1. ผศ.ดร.สุพัฒตรา เกษราพงศ์
2. ผศ.ชาลิต มณีศรี
3. ดร.อัศวิน วงศ์วิวัฒน์
4. อ.จักรพันธ์ กัณหา
5. อ.ธนิน ศรีวะรมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

1. ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา
2. อ.ธนกฤต โชติภาวโรต
3. อ.ธนิดา สุนาร์กษ
4. อ.พัฒนาพงษ์ แสงหัดถวิลวัฒนา
5. อ.พรเทพ แก้วเชื้อ
6. อ.วรินทร์ เกียรติคุณกุล
7. อ.อรณิชา อนุชิตชาญชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. รศ.ดร.ณัฐา ศุภดิษฐ์เรียม
2. ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์
3. ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
4. ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
5. ผศ.นฤนธ์ ศษฤทธิ
6. ผศ.ไพฑูรย์ พูลสุขโข
7. ผศ.ไพฑูรย์ แยมเผื่อน
8. ผศ.ศุภเอก ประมูลมาก
9. ผศ.ศรีโร จาตุภิญโญ
10. ผศ.สมศักดิ์ แก่นทอง
11. ผศ.สุรัตน์ ตรีวานพงษ์
12. ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ
13. ดร.ชัยยะ ปราณีเดพลกรัง
14. ดร.ระพี กาญจนะ
15. อ.วรญา วัฒนจิตศิริ

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

1. รศ.ดร.ไพโรจน์ เนียมมามา
2. ผศ.วิษณุ บัวเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

1. รศ.นิตดา สวัสดิพงษ์
2. ผศ.สุทัศน์ จันบัวลา
3. ดร.ชาติ หิชะ
4. ดร.ชนินทร์ กุลเศรษฐ์ณัฐลี
5. ดร.สิรวลภ์ เรืองช่วย คู่ประกาย

- MAT012 การประยุกต์ใช้พีแอลซีสำหรับการควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง
เดชา สุขมา ประภวต หงษาชาติ เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และ ศิริพงศ์ ลัมพาภิววัฒน์
- MAT013 การเตรียมวัสดุแผ่นวัสดุผสมที่เตรียมจากต้นธูปฤาษีและพอลิแลคติกแอซิด
เกียรติชัย อ่ำคลองธรรม และ สุนทร มุลทา
- MAT014 การสร้างตู้เย็นอนุรักษ์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นทำความเย็น
พิทักษ์ พนาวัน ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน
- MAT015 อิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและ
พอลิบิวทิลีนซีคซิเนต
ลลิตา จอมแปง ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ และ สุภาภรณ์ ทุมสอน
- MAT016 การพัฒนาสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไตรเมทิลีนเทรฟทาเลทและ
พอลิแลคติกแอซิด
ศิรดา ภาดี ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ และสุภาภรณ์ ทุมสอน
- MAT017 เส้นใยสององค์ประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซีคซิเนต
เอกตัญญ์ จันทร์ศรี ณรงค์ชัย โอเจริญ และ นที ศรีสวัสดิ์
- MAT018 การเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพสายการผลิต ของการประกอบรถยนต์โดยใช้ระบบการผลิต
แบบเพิ่มมูลค่า กรณีศึกษา : โรงงานผลิตรถยนต์อุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์แห่งหนึ่ง
ชัยพฤกษ์ อากาเวท และ ประยูร สุรินทร์
- MAT019 การใช้รีไซเคิลเพทเป็นสารเพิ่มเนื้อในการขึ้นรูปแบบหมุน
ปริญญ์ แกมวิล และ ณรงค์ชัย โอเจริญ
- MAT020 ผลกระทบของกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทผสมถ่านกัมมันต์โดยการปั่นเส้นใย
ด้วยไฟฟ้าสถิต สำหรับการดูดซับสารอินทรีย์
วัฒนา กลิ่นสุคนธ์ นที ศรีสวัสดิ์ จุรีรัตน์ ประสาร และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT021 ผลกระทบของการเติมพอดเตอร์ สโตนโบรโพลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ
วัชรวิ จันฎ อำนวย สาเกษมสุข และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT022 การหาวัสดุทำเฟืองที่ผ่านกระบวนการชุบผิวแข็งที่มีขีดจำกัดความล้าสูงสุด
ณรงค์เดช พัฒนโอบุส และ กิตติภูมิ รัตนจันทร์
- MAT023 การศึกษาผลกระทบของเครื่องมือขึ้นรูปต่อความหนาผิวของแผ่นสแตนเลส SUS 304
ด้วยวิธีขึ้นรูปแบบลูกโซ่
สุนทร สิทธิสกุลเจริญ พัตรทิมล สุวรรณกาญจน์ และ ชลธิชา นุชพงษ์

การพัฒนาสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไตรเมทิลีนเทเรฟทาเลท
และพอลิแลคติกแอซิด

Development on properties of novel polymer blend Fiber between
Poly(trimethylene terephthalate) and Poly(lactic acid)

ศิรดา ปาดี¹ ณรงค์ชัย โอเจริญ^{1*} นที ศรีสวัสดิ² สุภาภรณ์ ทุมสมอน²

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

²ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

E-mail: O-charoen1@hotmail.com

Sirada Padee¹ Narongchai O-Charoen^{1*} Natee Srisawat² Supaphorn Thumsom²

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

²Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

E-mail: o-charoen1@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการผสมพอลิไตรเมทิลีนเทเรฟทาเลท (PTT) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ที่อัตราส่วนของ PTT/PLA ที่ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 0/100 ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนคู่ จากนั้นทำการขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเส้นใยแบบหลอมเหลว ที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใย 50 และ 100 m/min ซึ่งสามารถขึ้นรูปเส้นใย PTT/PLA ได้ถึงอัตราส่วน PTT/PLA ที่ 80/20 จากนั้นทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีต่อสมบัติของเส้นใย PTT/PLA จากการทดสอบ พบว่า ค่าความเป็นผลึกของ PTT ลดลง เมื่อปริมาณ PLA ในเส้นใยเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการหดตัวของเส้นใย PTT/PLA ลดลง ขณะที่ค่าการยืดตัว และความแข็งแรงของเส้นใย (tenacity) ลดลง เนื่องจาก PLA เกิดการเสื่อมสภาพ ค่า tenacity ของเส้นใย PTT/PLA มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วน PTT/PLA ที่ 90/10 ที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใย 50 m/min

คำหลัก ความเป็นผลึก, ความแข็งแรงของเส้นใย, พอลิเมอร์ผสม, การเสื่อมสภาพ

Abstract

PTT and PLA were blended in a twin screw extruder at PTT/PLA blend ratios of 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 and 0/100. The PTT/PLA blends were melt-spun into fibers by melt spinning technique. It can be noted that the PTT/PLA blends fibers were successfully spun fibers at PLA contents up to 20 wt%. The effect of blend ratios on properties of polymer blends and fibers was investigated. From the results, crystallinity of PTT decreased when increasing PLA contents in the blends fibers. Therefore, shrinkage of the blends fibers was decreased while elongation and tenacity of the blends fibers decreased. The 90/10 blend fiber exhibited the optimum tenacity at take up speed of 50 m/min.

Keywords: crystallinity, tenacity, polymer blend, degradation

อิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม
พอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

Effect of Processing Conditions on Properties of Poly(lactic acid) and
Poly(butylene succinate) Blend Fibers

ลลิตา จอมแปง¹ ณรงค์ชัย โอเจริญ^{1*} นที ศรีสวัสดิ์² สุภาภรณ์ ทุมสมอน²

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

²ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

E-mail: o-charoen1@hotmail.com*

Lalita Jompang¹ Narongchai Ocharoen^{1*} Natee Srisawat² Supaphorn Thumsorn²

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

²Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

E-mail: o-charoen1@hotmail.com*

บทคัดย่อ

เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ ที่ปริมาณ PBS 10-50 wt% จากนั้นทำการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว ที่อัตราเร็วการม้วนเก็บเส้นใย 50, 100 และ 150 m/min และศึกษาผลของสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมและความเร็วในการม้วนเก็บเส้นใยต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS และศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นใย จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใย PLA/PBS พบว่า ความเป็นผลึกของ PLA ในเส้นใยผสมลดลง เมื่อปริมาณ PBS ในเส้นใยผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของเส้นใย PLA/PBS มีแนวโน้มหดตัวลดลง ขณะที่ค่าความแข็งแรงของเส้นใย และความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความแข็งแรงของเส้นใย PLA/PBS สูงสุด อยู่ที่ปริมาณ PBS 30 wt% ที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใย 150 m/min

คำหลัก การหดตัว, ความเป็นผลึก, พอลิเมอร์ผสม, เส้นใย, อัตราการม้วนเก็บ

Abstract

Poly(lactic acid) (PLA) and poly(butylene succinate) (PBS) blend were compounded in a twin screw extruder at PBS contents of 10-50 wt%. PLA/PBS blend fibers were fabricated using melt spinning technique with varied winding speed of 50, 100 and 150 m/min. The effects of blend ratios and wining speed on properties of the PLA/PBS blend fibers were investigated. From the results, crystallinity of PLA in the fiber decreased with increasing PBS contents. Therefore, shrinkage of the blend fibers decreased while tenacity and elongation of the PLA/PBS blends fibers increased. It can be noted that the maximum tenacity of the PLA/PBS blend fiber was found at PBS contents of 30 wt% at winding speed of 150 m/min.

Keywords: shrinkage, crystallinity, polymer blend, fiber, winding speed

1. บทนำ

พอลิแลคติกแอซิด (poly(lactic Acid, PLA) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นพลาสติกที่สังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ PLA เป็นพอลิเมอร์กลุ่มพอลิเอสเทอร์ มีลักษณะใส มีความแข็งแรงสูง สามารถย่อยสลายได้ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น งานบรรจุภัณฑ์ และวัสดุทางการแพทย์ และมีแนวโน้มที่นำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [1-4] อย่างไรก็ตาม PLA เป็นพอลิเมอร์ที่เปราะ และมีเสถียรภาพต่อความร้อนต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานของ PLA เช่น งานทางด้านสิ่งทอ การปรับปรุงข้อเสียดของ PLA ได้แก่ การเตรียมเป็นเส้นใยของพอลิเมอร์ผสม การปรับปรุงโครงสร้างหรือปรับปรุงผิวหน้าทางเคมี หรือการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูป [5-8]

Reddy และคณะ [5] ศึกษาการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ พอลิพรอพิลีน (PP) จากการศึกษาพบว่า PLA และ PP สามารถเข้ากันได้ บางส่วน เส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PP ที่เตรียมได้ สามารถย่อยได้ด้วยวิธี Disperse และมีสมบัติทนต่อการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น

บริษัท NatureWorks LLC ผลิต polydilactide-based fiber (Ingeo™) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานสิ่งทอเฉพาะทาง [1]

Kenawy และคณะ [8] ทำการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง poly(ethylene-co-vinylacetate) กับ PLA ผ่านกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต โดยใช้ tetracycline hydrochloride เป็นตัวทำลาย เส้นใยนาโนของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์นำส่งยา

พอลิไตรเมทิลีนเทเรฟทาเลท (polytrimethyl terephthalate, PTT) เป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ สมบัติที่โดดเด่นของ PTT คือ มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง นิยมใช้งานทางด้านสิ่งทอ อย่างไรก็ตาม PTT มีข้อจำกัด ได้แก่ การผลิตที่ยังมีปริมาณน้อย และไม่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ [9-11]

Wu และคณะ [10] ศึกษาโครงสร้างและสมบัติของเส้นใย PTT ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวด้วยความเร็วสูง (high-speed melt spun technique) โดยทำการปรับความเร็วรอบในการหมุนเก็บเส้นใยที่ 0.5-8 km/min จากการศึกษาพบว่า เส้นใย PTT มีการจัดเรียงตัวสูงสุดที่ความเร็วในการหมุนเก็บ 3 และ 4 km/min และเส้นใยจะมีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐานที่ความเร็วในการหมุนเก็บต่ำ ขณะที่ความแข็งแรงของเส้นใย และการยืดตัว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนเก็บเส้นใย

Zou และคณะ [11] ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT และ PLA และศึกษาสมบัติด้านการเกิดผลึก สมบัติเชิงกล และการย่อยสลายด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส จากการศึกษาพบว่า PTT และ PLA เป็นพอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้ ในโครงสร้างที่เป็นแบบอสัณฐาน PTT และ PLA มีการเกิดผลึกที่แยกจากกัน โดยที่ความแข็งแรงดึง และการยืดตัวที่จุดขาดลดลง เมื่อปริมาณ PLA เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT กับ PLA มีการย่อยสลายโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาเส้นใยจาก PTT และ PLA โดยเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT และ PLA (PTT/PLA) และศึกษาผลของสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมและความเร็วรอบในการหมุนเก็บเส้นใย ที่มีต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT/PLA เพื่อการประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งทอต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุ

1. PLA เกรด 2003D (NatureWorks, LLC, USA.)
2. PTT เกรด 509200 จากบริษัทในประเทศจีน

2.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT/PLA

นำ PTT และ PLA ออบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT กับ PLA (PTT/PLA) ที่อัตราส่วน PTT/PLA 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 และ 0/100 wt% ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Brabender D-47055 Duibury Twin Screw Extruder, Germany) ที่อุณหภูมิ 270 °C

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้งาน พอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มพลาสติก ข้อดีคือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ หรือเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ได้ ใช้อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราการผลิต และการใช้งาน พลาสติก เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาในการกำจัดขยะ พลาสติก และปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมของพ ลาสติก และไม่สามารถย่อยสลาย ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการลดป ญหาดังกล่าว คือ การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น พอลิแลคติก แอซิด (PLA) พอลิบีวทีลีนซีเคเนต (PBS) พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHA) มีสมบัติที่เหมาะสมในการขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ปัจจุบัน PLA และ PBS มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้น แต่ข้อเสียของพลาสติกทั้งสองชนิด คือ มีราคาแพง และเสื่อมสภาพ ทางความร้อน ได้ง่ายจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ PLA มีลักษณะแข็งเปราะ ขณะที่ PBS มีการยึดตัวที่ดี ดังนั้นการปรับปรุงการใช้งาน PLA และ PBS สามารถทำได้โดยการเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสม [1-2] หรือการใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติ เช่น นาโนเคลย์ หรือเส้นใยธรรมชาติ [3-4]

ในปี 2007 Bhatia และคณะ [1] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ PLA และ PBS เพื่อนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า การยึดตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBA เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และ การศึกษานี้พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS มีความสามารถในการเข้ากันได้บางส่วน จากการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และสัณฐานวิทยา

Yokohara และ Yamaguchi [2] ใ้ศึกษาสมบัติและ โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS ผล จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีการผสมแบบ ไม่เข้ากัน (immiscible blend) พอลิเมอร์เกิดการแยกเฟส ออกจากกันอย่างชัดเจน และที่อัตราส่วน PLA/PBS ที่

80/20 พบการกระจายตัวที่ดีของ PBS บน PLA ทำให้ พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติการการยึดตัวเพิ่มมากขึ้น

ในการประยุกต์ใช้ PLA และ PBS ในงานด้านสิ่งทอ จากการขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการปั่นหลอม (melt spinning) ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง พบว่า PLA ยังมีศักยภาพในการขึ้นรูปต่ำ เนื่องจาก PLA เปราะ และมีการยึดตัวน้อย ไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็น เส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง (continuous filament) จาก ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาวิธีการ ปรับปรุงการขึ้น รูปเส้นใย PLA โดยผสมกับ PBS ที่มีความยืดหยุ่นดี สามารถทนความร้อนได้ถึง 200 °C โดยไม่เสียสภาพ และมีความเหนียวสูง

งานวิจัยนี้เป็นการ ปรับปรุงสมบัติของเส้นใย สังเคราะห์จากพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA และ PBS สำหรับกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ แบบเส้นใยยาว ต่อเนื่อง และเพิ่มศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษานิวทริพลของกระบวนการผลิต ได้ แก่ สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม และความเร็วในการม้วนเก็บ เส้นใย ที่มีต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 วัสดุ

- PLA เกรด 3052D (NatureWorks, LLC, USA.) ค่าดัชนีการไหล (MFR) 14 g/10 min
- PBS เกรด FZ91PD ค่าดัชนีการไหล (MFR) 6 g/10 min

2.2 วิธีการทดลอง

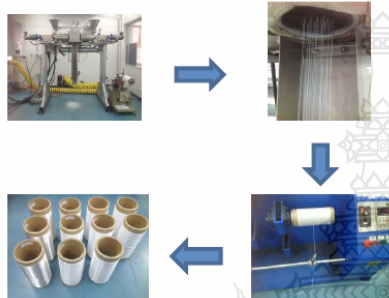
เตรียม พอลิเมอร์ผสมด้วย เครื่องอัดรีดแบบ เกลียว หนองคู อัตราส่วนระหว่าง PLA:PBS คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 wt%

ขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วย กระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว (melt spinning) ด้วย เครื่อง Lab scale bicomponent extruder fed spinning machine โดยนำเม็พอลิเมอร์อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็น เวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปเส้นใยที่อุณหภูมิ 230 °C ที่อัตราเร็วการม้วนเก็บเส้นใย 50, 100 และ 150 m/min

ความเร็วรอบ 100 rpm

2.3 การขึ้นรูปเส้นใย

ทำการขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PTT/PLA โดยเครื่องขึ้นรูปเส้นใยสององค์ประกอบ (Hills:Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine) รุ่น LBS-100 ตั้งรูปที่ 1 อุณหภูมิในการขึ้นรูป 270 °C ความเร็วในการม้วนเก็บเส้นใย 50 และ 100 m/min



รูปที่ 1 การขึ้นรูปเส้นใยโดยเครื่องขึ้นรูปเส้นใยสององค์ประกอบ (Hills:Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine)

3. การทดสอบ

ทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Capillary Rheometer อุณหภูมิการทดสอบ 270 °C

ทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยของพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry: NETZSCH DSC 200 F3 อุณหภูมิการทดสอบ 30-300 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C/min

ทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ด้วยเทคนิค Boiling shrinkage ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5104-02

ทดสอบสมบัติสมบัติทางกลของเส้นใยผสมระหว่าง PTT/PLA ด้วยเครื่อง Instron ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3822-01

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสม และขึ้นรูปเส้นใย

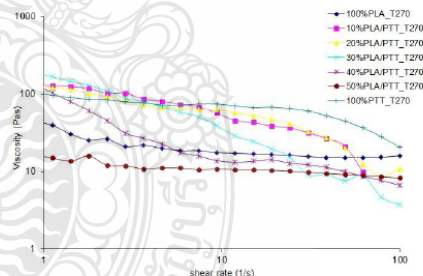
การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม ต้องใช้อุณหภูมิการขึ้นรูป

ที่ 270 °C ส่งผลให้ PLA เกิดการเสื่อมสภาพ พอลิเมอร์ผสมที่ออกจากหัวตายเกิดการบวมและจับตัวเป็นก้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ PLA ในพอลิเมอร์ผสม จึงต้องเก็บตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่หัวตาย และนำไปบิดเพื่อขึ้นรูปเส้นใยต่อไป

จากการขึ้นรูปเส้นใย PLA ที่อุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 230 °C เส้นใยที่ได้มีลักษณะใส มีความมันเงาสูง สามารถม้วนเก็บเส้นใย ที่รอบของการม้วนเก็บ 50 และ 100 m/min โดยที่การขึ้นรูปเส้นใย PTT และ เส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมของ PTT/PLA ที่อุณหภูมิ 270 °C สามารถขึ้นรูปเส้นใย PTT ได้ เส้นใยลักษณะขุ่น ไม่มี ความมันเงา และสามารถขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA ได้ที่อัตราส่วน PLA ไม่เกิน 20 wt% ที่รอบของการม้วนเก็บ 50 และ 100 m/min

4.2 ผลการทดสอบสมบัติการไหล

รูปที่ 2 แสดงสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA จากการทดลอง พบว่า PLA มีค่าความหนืดต่ำกว่า PTT ทำให้ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่ออัตราส่วนของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมสามารถไหลได้ง่าย เนื่องจาก PLA เกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 2 แสดงอัตราการไหลของพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA จากผลการทดลอง ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PTT และ PLA โพลีเอสเตอร์พอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เข้า

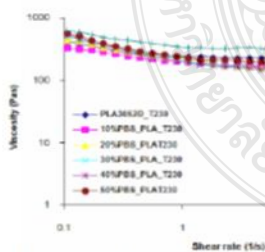
2.3 วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผล

- ทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม จากการวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 230 °C ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการไหล Rheometer Gemini 200HR nano
- ทดสอบสมบัติสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC) ที่อุณหภูมิ 30-200 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C /min
- ทดสอบสมบัติสมบัติ ทางกลของเส้นใย ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Instron universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D 3822-01
- ทดสอบการหดตัวของเส้นใย (Fiber Shrinkage Testing) ด้วยเทคนิค boiling shrinkage ตามมาตรฐาน ASTM D 5104-02

3. ผลการทดลอง

3.1 สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ และ พอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 1 แสดงผลการวัดความหนืดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราความเร็วต่าง ๆ พบว่า เมื่ออัตราความเร็วเพิ่มขึ้น ความหนืด ของพอลิเมอร์ผสม ลดลง และ แสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic flow) คือ ที่อัตราเร็วเพิ่มขึ้นความหนืดมีแนวโน้มลดลง [5] และที่อุณหภูมิการทดสอบเดียวกัน พบว่า PLA มีค่าความหนืดต่ำกว่า PBS แสดงให้เห็นว่า PLA สามารถไหลได้ง่ายกว่า PBS จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเติม PBS ในพอลิเมอร์ผสม ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น การไหลของพอลิเมอร์ลดลง และทำให้พอลิเมอร์ผสม PLA/PBS สามารถทนต่ออุณหภูมิไฟต์ และมีเสถียรภาพระหว่างการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 ค่าความหนืดของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสม ที่อุณหภูมิ 230 °C

3.2 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงสมบัติทางความร้อนของ PLA และ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสมตามลำดับ จากตารางที่ 1 พบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) ของ PLA ในเส้นใยต่าง ๆ มีค่าระหว่าง 150-153 °C ขณะที่ค่า T_m ของ PBS ในเส้นใย PBS และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS อยู่ที่ 111-113 °C ดังตารางที่ 2 โดยที่ค่า T_m ของ PLA และ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสม มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณ PBS เพิ่มขึ้น แสดงว่าพอลิเมอร์ไม่เกิดการเชื่อมสภาพจากความร้อนระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนี้ สามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่า PLA และ PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เข้ากัน (immiscible blend)

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของ PLA ในเส้นใยพอลิเมอร์ และเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS

PLA:PBS ratio	T_m (°C)	ΔH (J/g)	% crystallinity of PLA
100:0 (PLA)	150.8	29.1	31.3
90:10	153.1	24.5	29.3
80:20	153.0	19.7	26.4
70:30	152.6	15.3	23.4
60:40	152.7	12.7	22.8
50:50	152.5	8.6	18.6

ตารางที่ 2 สมบัติทางความร้อนของ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์ และเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS

PLA:PBS ratio	T_m (°C)	ΔH (J/g)	% crystallinity of PBS
90:10	111.4	2.9	26.8
80:20	112.0	7.8	35.2
70:30	112.2	14.3	43.1
60:40	112.9	20.1	45.5
50:50	113.0	31.4	56.9
0:100 (PBS)	113.8	66.4	60.2

จากนั้นนำค่า Heat of fusion (ΔH) ไปคำนวณหาปริมาณความเป็นผลึก (Crystallinity) [%] โดยค่า crystallinity ของ PLA และ PBS สรุปดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA มีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นผลึกของ

กัน (immiscible blend) [5] จากการคำนวณค่าความเป็นผลึก (% crystallinity) พบว่า ค่าความเป็นผลึกของ PLA ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลง แสดงว่า PTT ชัดขวางการเกิดผลึกของ PLA [11] ขณะที่ความสามารถเกิดผลึกได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นผลึกของ PTT มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ PLA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น แสดงว่า PLA ชัดขวางการเกิดผลึกของ PTT เช่นกัน ทำให้ PTT ในพอลิเมอร์ผสมเกิดผลึกลดลง และอาจส่งผลให้เส้นใยของพอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงของเส้นใยต่ำลงได้ [11]

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA

Sample	Tm(°C)		Tg(°C)		%Crystallinity	
	PTT	PLA	PTT	PLA	PTT	PLA
PTT 100%	227.8	-	42.5	-	43.0	-
PTT90/10PLA	227.8	-	43.4	-	42.267	-
PTT80/20PLA	227.8	148.8	42.6	-	39.672	3.689
PTT70/30PLA	226.8	152.7	43.6	58.3	39.267	4.608
PTT60/40PLA	226.6	150.4	42.4	58.1	39.771	5.997
PTT50/50PLA	226.5	151.2	43.6	58.2	39.228	7.546
PLA2003D100%	-	148.0	-	57.9	-	30.366

4.5 ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นใย

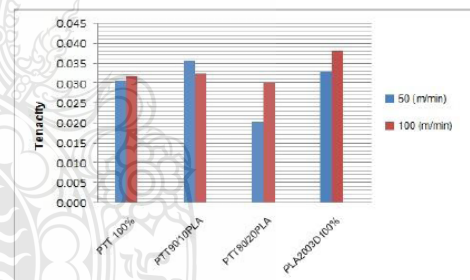
ผลการทดสอบการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมแสดงดังตารางที่ 2 จากผลการทดลอง พบว่า เส้นใย PLA มีค่าการหดตัวที่สูง แสดงว่าเกิดการหดตัวได้ง่าย ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของ PLA ในเส้นใย เมื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง ในขณะที่ค่าการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับค่าการหดตัวของเส้นใย PTT ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ลดลง เมื่อปริมาณ PLA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น [11] เมื่อพิจารณาค่าการหดตัวของเส้นใยที่อัตราการม้วนเก็บต่างกัน พบว่าที่อัตราเร็วในการม้วนเก็บเพิ่มขึ้น ค่าการหดตัวของเส้นใย PTT และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยเกิดการจัดเรียงตัวได้น้อย ที่ความเร็วในการม้วนเก็บสูง [11] จึงมีแนวโน้มในการหดตัวที่ลดลง โดยที่เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA ที่อัตราส่วน 90/10 มีค่าการหดตัวที่ต่ำที่สุดที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใย 100 m/min

ตารางที่ 2 การหดตัวของเส้นใยผสม PTT/PLA ที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใย 50 และ 100 m/min

Sample	% Shrinkage 50 (m/min)	% Shrinkage 100 (m/min)
PTT 100%	11.4	9.7
PTT90/10PLA	0.7	0.4
PTT80/20PLA	4.4	2.4
PLA2003D100%	47.7	47.4

4.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยและเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA

รูปที่ 3 แสดงค่าความแข็งแรงของเส้นใย (tenacity) ในเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA จากรูปที่ 5 พบว่า ค่า tenacity ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของ PLA ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของ PLA โดยที่ค่า tenacity ของเส้นใย PTT/PLA สูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน PTT/PLA ที่ 90/10 ที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใยที่ 50 m/min



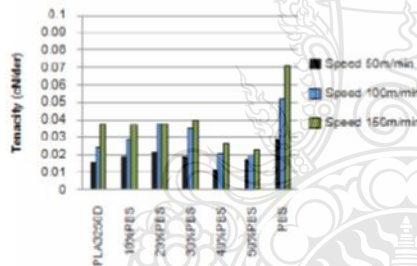
รูปที่ 3 ความแข็งแรงของเส้นใย PTT, PLA และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA

รูปที่ 4 แสดงค่าการยืดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA จากผลการทดลอง พบว่า เส้นใย PLA มีการยืดตัวได้ดี ขณะที่เส้นใย PTT มีการยืดตัวต่ำ จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PTT/PLA มีการยืดตัวได้น้อยลง เมื่อปริมาณ PLA ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าการยืดตัวของเส้นใยผสมลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วในการม้วนเก็บจาก 50 m/min เพิ่มขึ้นเป็น 100 m/min [11]

PBS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น แสดงว่า PBS สามารถเกิดผลึกได้ง่าย และส่งผลต่อทำให้ลดการเกิดผลึกของ PLA

3.3 สมบัติทางกล

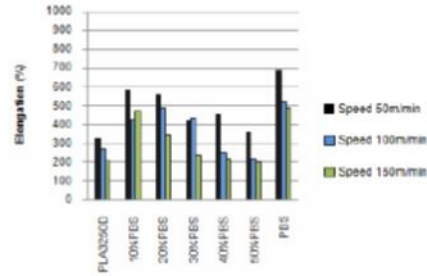
รูปที่ 2 แสดงความแข็งแรงของเส้นใย (tenacity) ของเส้นใยพอลิเมอร์และ เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่อัตราเร็วการม้วนเก็บ 50, 100 และ 150 m/min จากผลการทดลอง ค่า tenacity ของเส้นใยทั้ง PLA, PBS และเส้นใยของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการม้วนเก็บเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า tenacity ของเส้นใย PBS มากกว่า เส้นใย PLA ส่งผลให้ค่า tenacity ของเส้นใยผสม PLA/PBS มีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Fambri และคณะ [7] โดยที่ค่า tenacity ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS สูงสุดอยู่ที่ปริมาณ PBS 30 wt%



รูปที่ 2 ความแข็งแรงของเส้นใย (Tenacity) ของเส้นใย PLA, PBS และเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS ที่อัตราการม้วนเก็บต่าง ๆ

รูปที่ 3 แสดงการยืดตัว (Elongation) ของเส้นใยพอลิเมอร์ และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใยต่าง ๆ จากรูปที่ 3 พบว่า การยืดตัวของเส้นใย PBS ต่ำกว่าเส้นใย PLA ส่งผลให้เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS มีการยืดตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การยืดตัวของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราการม้วนเก็บเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ทำให้การ

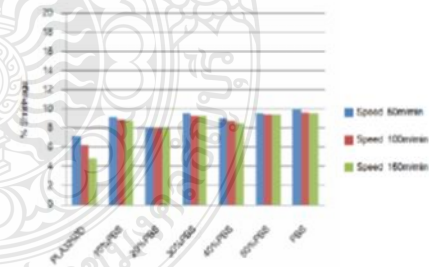
จัดเรียงตัวของเส้นใยลดลง ดังนั้นการยืดตัวของเส้นใยจึงมีแนวโน้มที่ลดลง



รูปที่ 3 การยืดตัว (Elongation) ของเส้นใย PLA, PBS และเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS

3.4 การหดตัวของเส้นใย

รูปที่ 4 แสดงการหดตัวของเส้นใย PLA, PBS และเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS จากรูปที่ 4 ค่าการหดตัวของเส้นใย PLA มีค่าต่ำ ทำให้เส้นใย PLA มีการหดตัวน้อย เนื่องจาก PLA มีลักษณะของความเป็นอสัณฐานมาก ขณะที่เส้นใย PBS มีค่าการหดตัวสูง ซึ่งเกิดการหดตัวได้ง่าย เนื่องจาก PBS มีความเป็นผลึกสูง [8] ซึ่งจากผลการทดลอง จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ PBS ในเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ค่าการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS เพิ่มขึ้นไปด้วย โดยที่อัตราการม้วนเก็บเส้นใยไม่ส่งผลต่อการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4 ค่าการหดตัว (%shrinkage) ของเส้นใยพอลิเมอร์และเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS โดยที่ PBS ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีเสถียรภาพต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่ขึ้นรูปได้มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ PBS ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึง และการยืดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าการหดตัวของเส้นใยเพิ่มขึ้น ด้วยอัตราความเร็วหมุนเก็บของเส้นใย ไม่ส่งผลต่อการหดตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม เส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่เตรียมได้ มีค่าความแข็งแรงของเส้นใยสูงสุดที่ปริมาณ PBS 30 wt% และอัตราความเร็วหมุนเก็บเส้นใย 150 m/min

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับ การสนับสนุนจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการปิโตรเลียมและปิโตรเคมี สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ปตท. บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhatia, A., Gupta, R., Bhattacharya, S. and Choi, H. 2007. Compatibility of Biodegradable Poly (lactic acid) (PLA) and Poly (butylene succinate) (PBS) Blends for Packaging Application. Korea-Australia Rheology Journal, 19: 125-131.
- [2] Yokohara, T., Yamaguchi, M. 2008. Structure and Properties for Biomass-Based Polyester Blends of PLA and PBS. European Polymer Journal, 44: 677-685.
- [3] Chen, G., Kim, H., Kim, E. and Yoon, J. 2005. Compatibilization-like Effect of Reactive Organoclay on the Poly(l-lactide)/Poly(butylene succinate) Blends. Polymer, 46: 11829-11836
- [4] Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R. and Takeishi, H. 2003. Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters. Macromolecular

Materials and Engineering, 288: 35-43.

[5] Abhijit, P., Krishans, M. and Kumar, S., Edited. 2010. Rheology of complex fluids. Spinger New York Dorecht Heidelberg, London: 3-35.

[6] Correlo, V.M., Boesel, L.F., Bhattacharya, M., Mano, J.F., Neves, N.M. and Reis, R.L. 2005. Properties of Melt Process Chitosan and Aliphatic Polyester Blends. Materials Science and Engineering: A, 403: 57-68.

[7] Fambri, L., Pegoretti, A., Fenner, R., Incardona, S.D. and Migliaresi, C. 1995. Biodegradable Fibres of Poly(L-lactic acid) Produced by Melt Spinning. Polymer, 38: 79-85

[8] Technical newsletter. Crystallinity in plastics, Zeus Industrial Products, Inc.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวลลิตา จอมแปง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 12 ธันวาคม 2530
ที่อยู่	280 หมู่ 10 ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2552
ประวัติการทำงาน	ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2552 - ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	081-7848873
E-Mail	lalitajompang@gmail.com

