

เชือกแบบหลายเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
พอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

MULTIFILAMENT STRINGS FROM POLYOXYMETHYLENE
AND POLY(LACTIC ACID) BLENDS

อติติยา วงษ์กรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เชือกแบบหลายเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
พอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

อติติยา วงษ์กรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เชือกแบบหลายเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด Multifilament Strings from Polyoxymethylene and Poly(Lactic Acid) Blends
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวอติติยา วงษ์กรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีช, Ph.D.)

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

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

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

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

วันที่ 1 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เชือกแบบหลายเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวทิตติยา วงษ์กรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

วัสดุอ่อนเพื่อการประมงทางทะเลผลิตจากพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอธิลีน (PP) และไนลอน 6 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ย่อยสลาย เศษเชือกอ่อนทะเลจึงก่อปัญหามลพิษในทะเล รวมทั้งปัญหาของไมโครพลาสติก (microplastics) งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทดแทนการใช้วัสดุแบบเดิม โดยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีน (POM) และ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสมบัติที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปเส้นใยเนื่องจากสมบัติความเหนียวที่สูงมาก ศึกษากระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม POM/PLA เป็นเส้นใยเชือกแบบหลายเส้นใย (Multifilament strings) เพื่อใช้งานวัสดุอ่อนทะเล

พบว่าพอลิเมอร์ผสม POM/PLA อัตราส่วน 70/30 โดยน้ำหนัก มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานเส้นใย แต่กระบวนการขึ้นรูปเส้นใยเชือกแบบหลายเส้นใยต้องเติมสารหล่อลื่น โดยศึกษาการเติมสารหล่อลื่น 2 ชนิด คือ พอลิเอธิลีนไกลคอลและเอธิลีนบิสสเตียราเมตในปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 180-210°C ทำการดึงยืดแบบร้อนครั้งที่ 1 ด้วยความเร็วรอบของการม้วนเก็บ 5 m/min และดึงยืดแบบร้อนครั้งที่ 2 ด้วยความเร็วรอบของการม้วนเก็บ 20, 25 และ 30 m/min จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อนสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการย่อยสลายของเส้นใย POM/PLA ในสภาวะน้ำทะเลจริง น้ำทะเลเทียม และน้ำกลั่น

จากการวิเคราะห์พบว่าผลของสารหล่อลื่นลดค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลอมผลึกของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม ปริมาณของสารหล่อลื่น 1 และ 1.5 phr ช่วยให้การดึงยืดของเส้นใยดีขึ้นและสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นเนื่องจากการเรียงตัวของโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ดีขึ้นและจากการทดสอบการย่อยสลายของเส้นใยที่จากน้ำหนักที่หายไปและวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย พบว่าเส้นใยในน้ำทะเลธรรมชาติย่อยสลายมากที่สุด ตามด้วยในน้ำทะเลเทียมและน้ำกลั่น ตามลำดับปริมาณสารหล่อลื่นที่เติมไม่มีผลต่อสมบัติการย่อยสลายของเส้นใย

คำสำคัญ: เชือกแบบหลายเส้นใย พอลิออกซีเมทิลีน พอลิแลคติกแอซิด สารหล่อลื่น การย่อยสลาย

Thesis Title	Multifilament Strings from Polyoxymethylene and Poly(Lactic Acid) Blends
Name-Surname	Miss Atitiya Wongkorn
Program	Material Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sommai Pivsa-Art, Ph.D.
Academic Years	2018

Abstract

Seines or fishing nets are commonly made from polypropylene (PP) and nylon 6. These polymers are non-degradable materials. Their wastes are the cause of sea pollution and create microplastic problems. This research aimed to study the applications of environmentally friendly materials to replace conventional polymers. The polymer blends of polyoxymethylene (POM) and poly(lactic acid) (PLA), a biodegradable polymer, exhibited excellent toughness properties and was suitable for fiber processing. The multifilament process of POM/PLA blends for the seine applications was studied.

It was found that the POM/PLA blends with weight ratios of 70/30 showed proper properties for the fiber applications, but a lubricant substance was needed for multifilament processing. Two lubricants, polyethylene glycol (PEG) and ethylene bis stearamide (EBS), were added to the POM/PLA blends with the content of 0.5, 1.0 and 1.5 phr processed through a single screw extruder at 180-210°C. The multifilament was first hot drawn at a spinning speed of 5 m/min and second hot drawn at a spinning speed of 20, 25, and 30 m/min. The fiber products were subject to thermal, physical and mechanical property analysis. The biodegradability of POM/PLA multifilament in seawater was evaluated and compared with imitated seawater (salt water) and distilled water.

The multifilament property analysis revealed that the lubricant decreased the melt flow index of polymer blends, but did not affect the crystalline melt temperature of the fibers. The lubricant content 1 and 1.5 phr assisted the drawing behavior of the fibers and leveled up the mechanical properties due to the better orientation of the polymer molecules. The biodegradability test in seawater was calculated from loss weight and morphology of the fibers. Biodegradability was found to be highest in seawater followed by the imitated seawater and the distilled water. It was found that the lubricant did not affect the biodegradability of the multifilament.

Keywords: multifilament, polyoxymethylene, poly(lactic acid), lubricant, degradability

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ

ขอขอบคุณ Dr. Toshikazu Umemura และ บริษัท Mitsubishi Engineering Plastic Corporation ที่สนับสนุนวัสดุดิบและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์อาจารย์นรรจพร เรืองไพศาล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ และดร. วีราภรณ์ ผิวสอาด อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการและภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องทดสอบและสถานที่ในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจและสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ให้จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์นี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

อติติยา วงษ์ภรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์.....	15
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)	17
2.2 พอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM).....	22
2.3 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA).....	23
2.4 เส้นใย.....	26
2.5 กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt Spinning Process).....	30
2.6 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend).....	32
2.7 สารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic Additive).....	33
2.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	34
2.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	39
2.10 การทดสอบสมบัติทางเชิงกล.....	40
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	47
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	49
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	60
4.1 ผลการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA ที่เติมสาร ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์.....	60
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA.....	62
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA.....	64
4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA ด้วยเครื่องดีฟเฟอร์ลเซ็ลแคลอริมิเตอร์.....	67
4.5 ผลการทดสอบการย่อยสลายของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	83
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติของ POM ที่ผลิตเพื่อการค้า..... 23
ตารางที่ 2.2	แสดงลักษณะของกล่องระบบกล่องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์ต้องเกรด.... 37
ตารางที่ 3.1	แผนการดำเนินงานของโครงการ..... 49
ตารางที่ 3.2	ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่ เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์..... 54
ตารางที่ 3.3	สถานะในการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการปั่นแบบ หลอมเหลว..... 55
ตารางที่ 3.4	สภาวะในการดำเนินงานของเครื่องดีฟเฟอร์เรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริ มิเตอร์..... 56
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบความสามารถในการดึงยืดครั้งที่ 2 61
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมสาร ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์..... 64
ตารางที่ 4.3	สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้า สถิตย์..... 71
ตารางที่ 4.4	ชื่อตัวอย่างที่ทดสอบการย่อยสลาย..... 72
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างที่ทดสอบการย่อยสลาย..... 73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ..... 18
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของพอลิออกซิเมทิลีน..... 22
รูปที่ 2.3	สูตร โครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด..... 24
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด..... 25
รูปที่ 2.5	กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt Spinning Process)..... 31
รูปที่ 2.6	ลักษณะของเส้นด้ายที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน..... 31
รูปที่ 2.7	แสดงส่วนประกอบของเครื่องดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index)..... 35
รูปที่ 2.8	ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อลำแสงอิเล็กตรอนซึ่งมีความเร็วสูงพุ่งเข้าชนตัวอย่าง..... 37
รูปที่ 2.9	การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว..... 38
รูปที่ 2.10	ส่วนประกอบหลักของเครื่อง DSC..... 39
รูปที่ 2.11	การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย..... 41
รูปที่ 3.1	เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)..... 50
รูปที่ 3.2	เครื่องมือม้วนเก็บเส้นใย (Winder)..... 51
รูปที่ 3.3	เครื่องกรอด้าย..... 51
รูปที่ 3.4	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน..... 53
รูปที่ 3.5	Fiber melt spinning system..... 55
รูปที่ 3.6	เครื่องทดสอบความหนาแน่นด้วยการชั่งน้ำหนัก..... 57
รูปที่ 3.7	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการเตรียมการทดสอบการทนต่อแรงดึง..... 58
รูปที่ 4.1	เส้นใยของพอลิเมอร์บริสุทธิ์และพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว..... 60
รูปที่ 4.2	ค่าดัชนีการไหลของพอลิออกซิเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด..... 62
รูปที่ 4.3	ค่าดัชนีการไหลของพอลิออกซิเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์..... 63

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.4	ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีปกติ).....	65
รูปที่ 4.5	ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีปกติ).....	65
รูปที่ 4.6	ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีมัลปม).....	66
รูปที่ 4.7	เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใย POM, PLA และ POM/PLA (70/30)...	66
รูปที่ 4.8	เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม PEG.....	68
รูปที่ 4.9	เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม EBS.....	69
รูปที่ 4.10	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำกลั่น.....	70
รูปที่ 4.11	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำทะเลเทียม.....	73
รูปที่ 4.12	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำทะเลธรรมชาติ.....	74
รูปที่ 4.13	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิออกซีเมทิลีนบริสุทธิ์ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	74
รูปที่ 4.14	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	76
รูปที่ 4.15	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	77

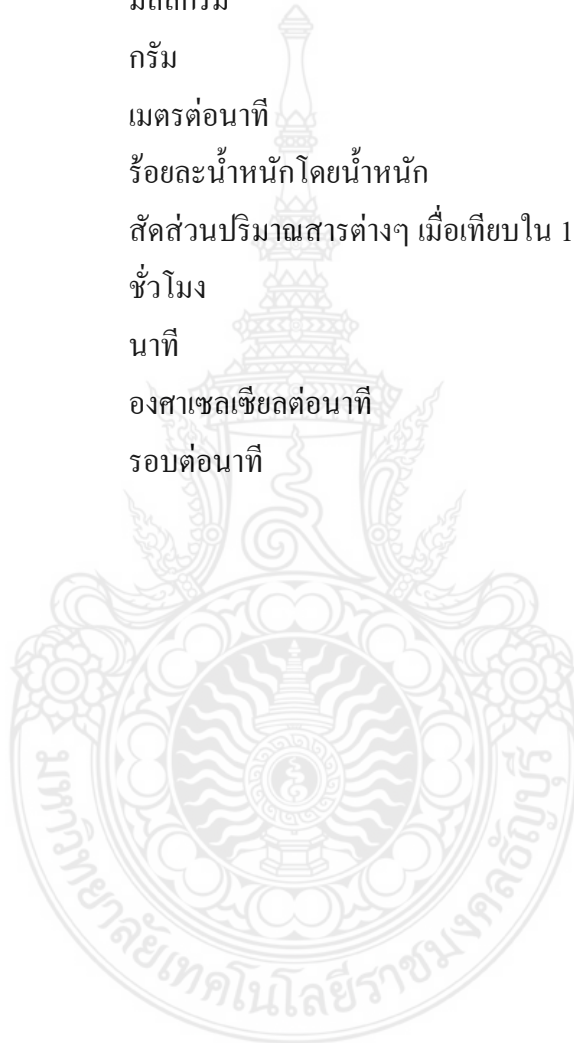
สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	78
รูปที่ 4.17 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม PEG 1% ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	79
รูปที่ 4.18 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย Nylon 6 ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	80



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°C	องศาเซลเซียส
MW	น้ำหนักโมเลกุล
mm	มิลลิเมตร
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
m/min	เมตรต่อนาที
w/w%	ร้อยละน้ำหนักโดยน้ำหนัก
phr	สัดส่วนปริมาณสารต่างๆ เมื่อเทียบใน 100 ส่วน
h	ชั่วโมง
min	นาที
°C/min	องศาเซลเซียสต่อนาที
rpm	รอบต่อนาที



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของใช้และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากสมบัติส่วนใหญ่ของพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม ราคาถูก และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุชนิดอื่น และในปัจจุบันได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเทคนิคการผลิตเส้นใยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เนื่องจากเส้นใยที่ผลิตส่วนใหญ่ผลิตมาจากพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณขยะมากขึ้นและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากปัญหาของการจัดการกับขยะพลาสติก ดังนั้น การใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) จึงเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียมและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ด้วย พอลิแลคติก แอซิด (Poly(lactic acid), PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

พอลิออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) เป็นวัสดุวิศวกรรมที่มีความเป็นผลึกสูง ความสมดุลของคุณสมบัติเชิงกลดี มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงเค้นที่ดีมาก ทนทานต่อการสึกหรอ ทนทานต่อความร้อนในกระบวนการขึ้นรูป ใช้งานกับชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและในอุตสาหกรรม แต่การประยุกต์ใช้งานเส้นใยยังมีข้อจำกัด เนื่องจากความความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์เมื่อขึ้นรูปเส้นใยยังต่ำ ดังนั้น ในการใช้งานพอลิออกซิเมทิลีนกับการขึ้นรูปเส้นใยจึงเติมโคมอโนเมอร์ออกซิเอธิลีนในพอลิออกซิเมทิลีนที่ปริมาณต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความเหนียวและความยืดหยุ่นของโคพอลิเมอร์และเนื่องจากความเสถียรทางความร้อนต่ำ เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มจึงทำได้ยากเพราะมีการปลดปล่อยสารระเหยสูงมาก คือ ไตรฟลูออโรอะซิติก แอซิด (Trifluoroacetic acid, TFA) และ เฮกซะฟลูออโรไอโซโพรพานอล (Hexafluoroisopropanol, HFI) แต่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้อย่างต่อเนื่องด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning, ES) ซึ่งสามารถควบคุมโครงสร้างผลึกของพอลิออกซิเมทิลีนได้ด้วย [1-2]

พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) มีสมบัติเชิงกลที่ดี การทนต่อแรงดึงสูง แต่ที่อุณหภูมิห้องมีความแข็งและเปราะ เนื่องจากอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ที่ช่วง 50-60°C [3-4] จึงเป็นข้อจำกัดของการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยการเพิ่มมอดูลัสของความยืดหยุ่น ซึ่งในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลนั้น ทำให้หลายกระบวนการ เช่น กระบวนการโคพอลิเมอร์ไรเซชันโดยการทำโคพอลิเมอร์ไรเซชันกับมอนอเมอร์ตัวอื่น [5-6] หรือการเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสม โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือผสมกับโคพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลตามที่ต้องการ [7-15]

วัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตแห อวน เ็น และเบ็ดตกปลา ส่วนใหญ่คือพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และไนลอน 6 (Nylon 6) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลสูง มีความเหนียว และฉีกขึ้นรูปได้ดี แต่เนื่องจากพอลิพรอพิลีนและไนลอน 6 เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพสังเคราะห์จากปิโตรเลียม จึงเป็นส่วนหนึ่งของปัญหามลพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทะเล การใช้พอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพประเภทพอลิแลคติกแอซิดเส้นเชือกอวน โดยการผสมกับ POM มีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุผลิตอวน ซึ่งทั้งพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำทะเล ดังนั้น อัตราส่วนของพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดในพอลิเมอร์ผสม กระบวนการในการเตรียมวัสดุผสม รวมทั้งสถานะของการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมมีความสำคัญต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาวิจัยกระบวนการดังกล่าวเพื่อเตรียมขึ้นรูปเส้นใยและทดสอบสมบัติที่สำคัญต่อการนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุอวนเพื่อการประมงทางทะเล และกระบวนการปั่นและม้วนเก็บเส้นใยนั้น ซึ่งจากสมบัติของพอลิเมอร์ผสม การม้วนเก็บเส้นใยจะเกิดไฟฟ้าสถิต (Static electricity) ขึ้นในเส้นใยทำให้เส้นใยแตกไม่สามารถม้วนเก็บได้ ในกระบวนการทางวิศวกรรมสิ่งทอสำหรับการขึ้นรูปเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดจะใช้การพ่นหรือสเปรย์น้ำมันเพื่อลดไฟฟ้าสถิต แต่น้ำมันมีผลต่อความเป็นผลึกของโมเลกุลของทั้งพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเป็นเส้นใยเปลี่ยนไป ดังนั้น การศึกษาการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตที่จะไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสองโดยกระบวนการคอมพาวด์และทดสอบการขึ้นรูปเส้นใยจะทำให้ได้ผลงานวิจัยที่สำคัญของกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการในการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

1.2.2 เพื่อหาชนิดและปริมาณของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ในการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดโดยกระบวนการปั่นหลอมเส้นใยเป็นแบบหลายเส้นใย

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการขึ้นรูปที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชือกอวนเพื่อการประมงทางทะเล

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว ที่ใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder, ThermoHaake Polydrive) ในการขึ้นรูป ดังนี้

1) อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่ 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก

2) เกรดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ได้แก่

2.1 พอลิออกซีเมทิลีน คือ V20-HE

2.2 พอลิแลคติกแอซิด คือ TP4000

2.3 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) (MW = 20,000) และ เอทิลีน-บิส-สเตียราเมตต์ (EBS)

2.4 ปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ศึกษา คือ 0.5, 1 และ 1.5 phr

3) ขึ้นรูปเส้นใยแบบหลายเส้น (Multifilament) ที่มีหัวด้ายแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) จำนวน 24 รู หน้าตัดวงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 mm

4) สภาวะในการขึ้นรูปของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

4.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 180°C, 190°C, 200°C (Zone Extruder), 210°C และ 210°C (Die)

4.2 ความเร็วรอบของสกรู 8 rpm

5) ความเร็วรอบของเครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder) ได้แก่ 500 m/min

1.3.2 ทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิออกซีเมทิลีนที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่

1) สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่

1.1 การไหลของพอลิเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

1.2 วิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

1.3 การทดสอบความหนาแน่น (Density Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D792

2) สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

3) สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ได้แก่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D3822 01

4) ทดสอบสมบัติการย่อยสลายได้ (Degradability) ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ขึ้นรูปเส้นใยแบบหลายเส้น (Multifilament) ในระดับห้องปฏิบัติการ และในสภาพการใช้งานจริงโดยการแช่ในน้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติที่เวลาต่าง ๆ กัน [17]

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สถานะที่เหมาะสมของการเตรียมเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

1.4.2 ได้ข้อมูลการย่อยสลายของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดในสถานะต่างๆ

บทที่ 2

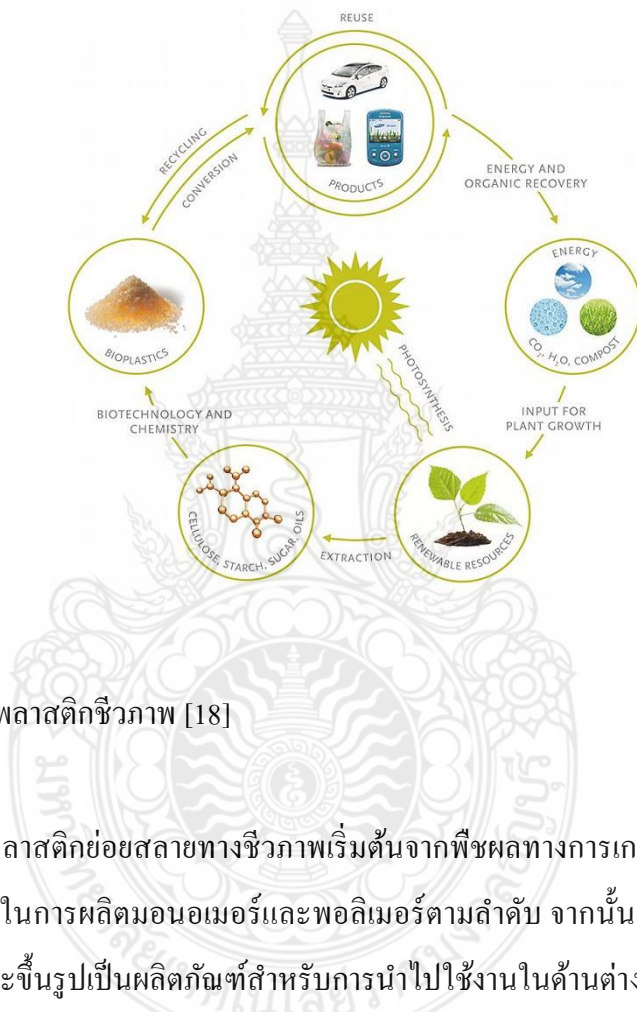
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเนื่องจากการใช้งานพลาสติกกันอย่างกว้างขวาง จนทำให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆ มากมาย จึงทำให้มีการคิดค้นวัสดุที่ได้จากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความสามารถในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้วัสดุที่ได้จากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีความน่าสนใจและได้ทำการศึกษาวัสดุที่ได้จากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพิ่มขึ้นโดยอ้างอิงจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) [18]

พลาสติกชีวภาพนั้นเป็นนวัตกรรมใหม่ของอุตสาหกรรมพลาสติกที่เป็นมิตรกับสภาพสิ่งแวดล้อมที่มีคุณสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วไป แต่มีจุดเด่นตรงที่เป็นพลาสติกที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือถูกหมักเป็นปุ๋ยได้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีระบบการย่อยสลายที่คล้ายคลึงกับการย่อยสลายในธรรมชาติ เริ่มจากชีวมวล โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งชีวมวลจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการผลิตชีวมวลใหม่ เกิดเป็นวัฏจักรของธรรมชาติอย่างครบวงจรโดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและมีค่าใช้จ่ายที่ถูก หลังจากนำวัตถุดิบชนิดนี้ไปผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อนำไปใช้งานกับผู้บริโภคและถูกนำไปกำจัดด้วยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปล่อยออกมานั้น จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ วัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้ (Renewable Resources) อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากหมดอายุการใช้งาน

ดังนั้นวัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังรูปที่ 2.1 จึงมีรูปแบบ คือ มีสมบัติในการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกโดยทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็จะเกิดการย่อยสลายได้



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ [18]

วงจรวัฏจักรพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเริ่มต้นจากพืชผลทางการเกษตรถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ตามลำดับ จากนั้นพอลิเมอร์ที่ได้จะผ่านการปรับปรุงสมบัติและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เมื่อหมดอายุการใช้งานหรือไม่เป็นที่ต้องการแล้วการนำไปทิ้งในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้พลาสติกเหล่านี้ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถแยกประเภทตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ

1) พอลิเมอร์ที่แยกได้โดยตรงจากพืชและสัตว์

พอลิแซ็กคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคติน

โปรตีน เช่น เจลาติน เคซีน กลูเทน ไหม และขนสัตว์

น้ำมันจากพืชและสัตว์ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทอร์โมเซตเรซิน เพื่อนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติในการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และมีราคาถูก

2) พอลิเอสเทอร์ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือพืชที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ เช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยต์ (Polyhydroxyalkanoates, PHAs)

3) พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่ผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)

2.1.2 มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

1) อะลิฟาติก พอลิเอสเทอร์ (Aliphatic Polyester) เช่น พอลิไกลโกลิกแอซิด (Polyglycolic acid, PGA) พอลิบิวทีลีน ซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และพอลิโพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL)

2) อะโรมาติกพอลิเอสเทอร์ (Aromatic Polyester) เช่น พอลิบิวทีลีน ซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) พอลิบิวทีลีน ซัคซิเนต เทเรฟทาเรท (Polybutylene succinate terephthalate, PBST) หรือ พอลิบิวทีลีน ซัคซิเนต อะดิเปต (Polybutylene succinate adipate, PBSA)

3) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohols, PVOH)

4) พอลิโอเลฟินส์ (Polyolefin) ที่ผ่านการเติมแต่งทางเคมี (Modified Polyolefin) เช่น การเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่ออนุมูลอิสระหรือแสงลงในพอลิโอเลฟินส์ เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) หรือพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เพื่อเร่งอัตราการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) หรือย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxodegradation) ก่อนเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในขั้นตอนสุดท้าย

2.1.3 กลไกการย่อยสลายของพลาสติก จะแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)

การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แดกหักงายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีดี หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนาмаกบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2) การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation)

โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing Additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation)

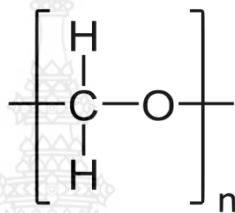
การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดรอกซ์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic Hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal Catalytic Degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-Enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline Metal), เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือ เอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์คู่ความร้อน (Endo-Enzyme) หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบเอนไซม์คายความร้อน (Exo-Enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนนี้สุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

2.2 พอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) [19-20]

พอลิออกซีเมทิลีน เป็นวัสดุวิศวกรรมชนิดหนึ่งที่มีความเป็นผลึกแต่การประยุกต์ใช้งานยังมีข้อจำกัดเนื่องจากความเสถียรทางความร้อนต่ำ เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มจึงทำได้ยากเพราะมีการปลดปล่อยสารออร์โธเอทิลสูงมาก คือ ไตรฟลูออโรอะซิติก แอซิดและเฮกซะฟลูออโรไอโซโพรพานอล แต่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้อย่างต่อเนื่องด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning, ES) ซึ่งสามารถควบคุมโครงสร้างผลึกของพอลิออกซีเมทิลีนได้ด้วย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิออกซีเมทิลีน [21]

2.2.1 สมบัติของพอลิออกซีเมทิลีน

พอลิออกซีเมทิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะทึบแสง สีขาวขุ่นมันวาว น้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความแข็งดึง (Stiffness) ที่สูงมาก มีผิวลื่นเป็นมัน มีสปริงทนต่อการเสียดสีได้ดี ทนต่อแรงกระแทกแม้อยู่ในอุณหภูมิต่ำ มีความแข็งแรงสูง มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี มีการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างต่ำ ทนต่อสารเคมี สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่เกิดการละลายหรือปนเปื้อน นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นได้ดีทั้งในอุณหภูมิสูงและต่ำจึงทำให้มันสามารถคงสภาพของรูปทรงที่ดีซึ่งเป็นจุดเด่นที่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาทดแทนโลหะ เช่น อะลูมิเนียม ทองเหลือง สังกะสี เหล็ก เป็นต้น ทั้งนี้พอลิออกซีเมทิลีนก็มีข้อเสีย คือ จะมีความไวต่อการย่อยสลายและการทำปฏิกิริยาจากคลอรีนที่เป็นกรดพอลิเมอร์ลักษณะเดียวกันกับพอลิเมอร์สังเคราะห์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ POM ที่ผลิตเพื่อการค้า [21]

Property	Value
Density (g/cm ³)	1.41
Molecular weight of repeat unit	30.03 g/mol
Glass transition temperature	-30°C
Melting temperature	183°C
Tensile Strength (MPa)	73
Flexural Modulus (GPa)	2.58
Elongation at Break (%)	65
Water Absorption (%)	0.22
Oxygen Index (%)	15

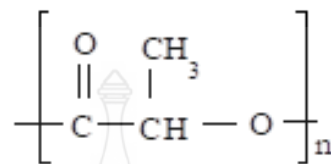
2.2.2 การนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิออกซีเมทิลีน

พอลิออกซีเมทิลีนถูกนิยมนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำสูงไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ เครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมต่างๆที่มีการเคลื่อนไหวและเสียดทาน เช่น เฟือง ซิป ชิ้นส่วนของปั๊มวาล์ว ลูกกลิ้ง หัวสเปรย์ สปริง โซ่ ตลับลูกปืน หรือแม้แต่ส่วนประกอบของใบพัดเครื่องซักผ้า

2.3 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [22]

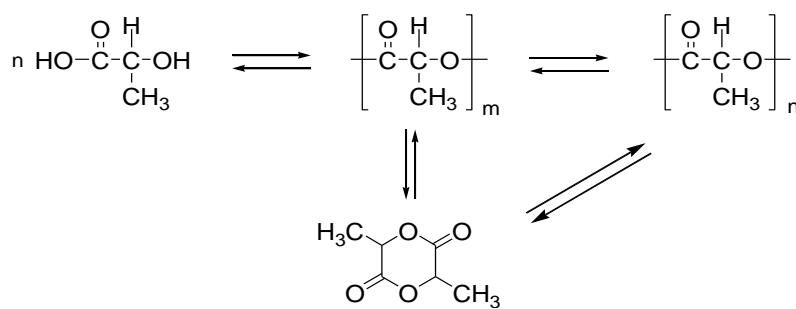
พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic Polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลคติกผลิตจากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดแลคติกได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่องจึงเป็นข้อดีที่สำคัญในการนำพอลิเมอร์ชนิดนี้มาทดแทนพอลิเมอร์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม พอลิแลคติกแอซิดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วย

กระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection molding), การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming), การอัดขึ้นรูป (Compression molding), การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด [22]

กระบวนการผลิตพอลิแลคติกแอซิด เริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการนำแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะ เพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลเป็นกรดแลคติก ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) ซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการที่แตกต่างกัน คือกระบวนการควบแน่น (Polycondensation) กรดแลคติกและกระบวนการเปิดวงแลคไทด์ (Ring-opening polymerization of lactide) ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากทั้งสองกระบวนการนี้จะมีโครงสร้างและสมบัติต่างๆ เหมือนกันทุกประการ แต่ก็มีรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ที่ต่างกัน จึงเป็นที่มาของการเรียกชื่อพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการแรกมักจะเรียกว่า “พอลิแลคติกแอซิด” ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรงจนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ในกระบวนการที่สองจะมีการเปลี่ยนกรดแลคติก โดยปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุลแล้วเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่า แลคไทด์ (Lactide) ก่อน จากนั้นจึงนำเอาวงแหวนแลคไทด์นี้มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์ในขั้นตอนต่อมา ด้วยเหตุนี้จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์ พอลิเมอร์จากกระบวนการนี้ว่า “พอลิแลคไทด์” อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการก็คือสารชนิดเดียวกัน เมื่อสังเคราะห์ได้แล้วก็สามารถนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด [23]

2.3.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

สมบัติของพอลิแลคติกแอซิดมีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูงในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดีมีความคงทนต่อการกระแทก (Impact strength) ต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่มีการเติมสารเสริมสร้างพลาสติก มีความแข็ง ความคงทนต่อการกระแทก และความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต นอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิด ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีนและสามารถนำไปดัดแปรให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ดังนั้น พอลิแลคติกแอซิดจึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี

2.3.2 การนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิแลคติกแอซิด

เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆหลายด้าน ได้แก่

1) ด้านการแพทย์ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures), ตัวเย็บแผล (Staples), วัสดุปิดแผล (Wound Dressing), อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical Implants), อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic Fixation Devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา

2) ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตามเวลาที่กำหนด

- 3) ด้านบรรจุภัณฑ์เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำถุงพลาสติก กล่อง โฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ
- 4) ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ (Non-Woven) เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน
- 5) ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers), แผ่นรองพื้น (Floor Mats) และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน
- 6) อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน บัตรพลาสติก ผลิตภัณฑ์ใช้ในบ้านเรือนสารเคลือบกระดาษสารยึดติด ท่อพลาสติกชั่วคราว เป็นต้น

2.4 เส้นใย [24]

เส้นใยนั้นเป็นวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้าไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

2.4.1 องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล

เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียกว่าพอลิเมอร์ที่เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆ คือมอนอเมอร์และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ขนาดของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลซึ่งบอกได้จากจำนวนของมอนอเมอร์ที่อยู่ในพอลิเมอร์นั้น (Degree Of Polymerization) พอลิเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้นเนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่า ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่พอลิเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่

โดยโมเลกุลหรือพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยจะมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (Random) ก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนขนานอย่างเป็นระเบียบก็จะเป็นผลึก (Crystalline) เกิดขึ้น เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมี ความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย อย่างไรก็ตาม

ก็ตามปริมาณความเป็นผลึกไม่ซับซ้อนที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใย หากรวมไปถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ด้วย ถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ก็จะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย (ตามความยาว) ทำให้สามารถมีส่วนช่วยในการรับแรงเต็มที่ ในอีกกรณีหนึ่งแม้เส้นใยจะมีบริเวณที่เป็นผลึกมาก แต่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลก็ไม่สามารถรับแรงในทิศทางการดึงเส้นใยได้เต็มที่ ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าในกรณีแรก ดังนั้นในกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ จึงต้องมีการดึงยึดเส้นใยที่ออกมาจากหัวฉีด เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกโดยการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบและทำการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ให้อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนตามยาวของเส้นใย กระบวนการนี้เรียกว่าการดึงยึด (Stretching หรือ Drawing)

2.4.2 ประเภทของเส้นใย

การแบ่งประเภทของเส้นใยนั้นสามารถแยกประเภทของเส้นใยได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง แต่ในกรณีนี้จะแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภท ใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

1) เส้นใยจากธรรมชาติ

เส้นใยจากพืช ได้แก่ เส้นใยจากเซลลูโลส เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ฝ้าย เป็นต้น

เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ เส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ใยไหม เป็นต้น

เส้นใยจากหินแร่ เช่น แร่ใยหิน (Asbestos)

2) เส้นใยสังเคราะห์

เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น เทโทรอน เป็นเส้นใยสังเคราะห์พวกพอลิเอสเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mylar มีประโยชน์ทำเส้นใยทำเชือกและฟิล์ม

เส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน (Nylon) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ไนลอน 6,6, ไนลอน 6,10 และ ไนลอน 6

เส้นใยอะคริลิก เช่น ใช้ในการทำเสื้อผ้า ผ้านวม ผ้ายนแกะเทียม ร่มชายหาด หลังคา กันแดด ผ้าม่าน พรหม เป็นต้น

เซลลูโลสแอซิเตด เช่น ผลิตเป็นเส้นใยอาร์แนล 60 ผลิตเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ทำแผง สวิตช์และหุ้มสายไฟ

2.4.3 สมบัติของเส้นใย

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เช่น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงนำมาทำเป็นผ้าที่มีความทนทานต่อการฉีก เส้นใยที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดีเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าที่ต้องสัมผัสผิวของผู้สวมใส่ เป็นผ้าเช็ดตัว หรือเป็นผ้าอ้อม เส้นใยมีสมบัติในการไม่ติดไฟหรือดับไฟได้ด้วยตัวเองเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กอ่อน เป็นต้น

2.4.4 ความยาวของเส้นใย

ในเส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปเส้นใยจะมีความยาวที่ค่อนข้างแตกต่างกันมากด้วยเหตุผลจากอิทธิพลของธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นดินฟ้า อากาศ น้ำ หรืออาหารในดิน ดังนั้นแม้ว่าจะเป็นเส้นใยฝ้ายที่ปลูกมาพร้อมๆ กันการกระจายของความยาวของเส้นใยก็ยังอยู่ในระดับสูงค่อนข้างสูง กล่าวกันว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน หรือ Coefficient of Variation (C.V.) ของเส้นใยเหล่านี้อาจสูงถึง 40% ในเส้นใยฝ้ายและถึง 50-60% ในเส้นใยขนสัตว์ เป็นต้น โดยเส้นใยสิ่งทอจะแบ่งการเรียกความยาวของเส้นใย ว่าเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวด้วยการอ้างอิงเส้นใยธรรมชาติเป็นหลัก ดังนี้

1) เส้นใยสั้น (Staple Fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวสั้นๆ วัดกันด้วยหน่วยที่เป็นนิ้วหรือสัดส่วนของนิ้วไปจนถึงเป็นฟุต เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดยกเว้นเส้นใยไหมล้วนแต่เป็นเส้นใยสั้นทั้งสิ้น ในขณะที่เส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิดจากกระบวนการผลิตจะเริ่มจากเส้นใยยาวก่อนเสมอจากนั้นจึงถูกส่งต่อเข้าเครื่องตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ เส้นใยยาวที่ถูกนำไปตัดเป็นเส้นใยสั้นในโรงงานเส้นใยสังเคราะห์เรียกว่า Filament Tow

2) เส้นใยยาว (Filament) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวมากๆ ซึ่งในเส้นใยธรรมชาติมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่จัดเป็นเส้นใยยาวเนื่องจากความยาวของเส้นใยไหมจะมีความยาววัดได้เป็นกิโลเมตร

การผลิตเส้นใยสังเคราะห์โดยหลักการแล้วก็เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นหากต้องการใช้งานเพื่อทดแทนขนสัตว์ ฝ้าย หรือ ลินินก็ดี หรือเพื่อต้องการใช้ผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เหล่านี้ เส้นใยสังเคราะห์จะถูกผลิตในรูปแบบของเส้นใยสั้น แต่หากวัตถุประสงค์นั้นเป็นไปเพื่อใช้ทดแทนเส้นใยไหมหรือลอกเลียนสมบัติเส้นใยไหม เส้นใยสังเคราะห์ก็จะถูกผลิตมาในรูปแบบของเส้นใยยาวโดยใช้ทำเป็นเส้นด้ายชนิดเส้นใยเดี่ยว (Mono Filament) หรือเส้นใยยาวควดตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป (Multi Filament)

2.4.5 ขนาดของเส้นใย

ขนาดของเส้นใยมีผลต่อสมรรถนะการใช้งานและสมบัติทางฟิสิกส์ (Hand Properties) เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะให้ความรู้สึกที่หยาบและแข็งของเนื้อผ้า แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดก็จะให้ความนุ่มต่อสัมผัสและจัดเข้ารูป (Drape) ได้ง่ายกว่าเส้นใยธรรมชาตินั้น มักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาติมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียดมาก (ขนาดเล็ก) จะมีคุณภาพที่ดีกว่า การวัดความละเอียดมักวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ในหน่วยของไมโครเมตร ($1 \mu\text{m}$ เท่ากับ $1/1,000 \text{ mm}$)

สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม ขนาดของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดของรูในหัวฉีด (Spinneret Holes) การดึงยืดขณะที่ปั่นเส้นใยและหลังการการปั่นเส้นใย รวมไปถึงปริมาณและความเร็วของการอัดน้ำพลาสติกผ่านหัวฉีดในกระบวนการปั่นเส้นใย เส้นใยสังเคราะห์ที่ได้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติแต่ก็ยังมีส่วนที่ไม่สม่ำเสมอบ้างเนื่องจากความไม่คงที่ (Irregularity) ของกระบวนการผลิต หน่วยที่มักใช้วัดความละเอียดของเส้นใยสังเคราะห์คือดีเนียร์และเท็กซ์

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

2) เท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใยคล้ายกับดีเนียร์ แต่เป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 1,000 เมตร

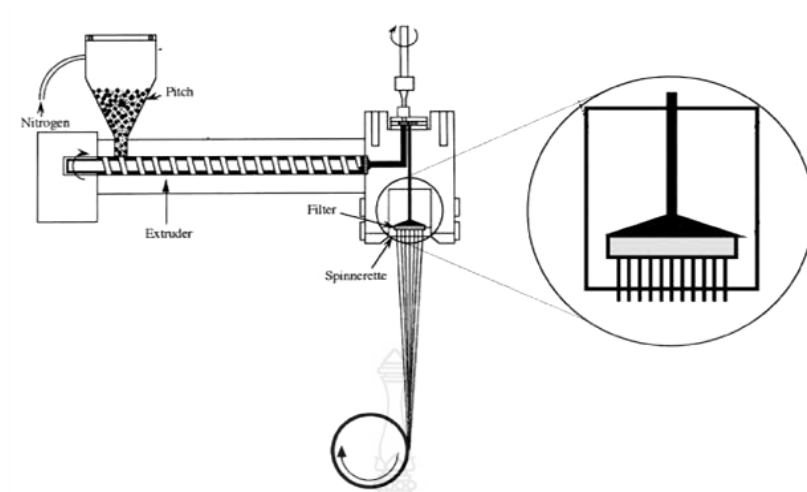
ดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์ (Denier Per Filament, DPF) เป็นค่าที่วัดความละเอียดของเส้นใยที่อยู่ในเส้นด้ายซึ่งมีจำนวนเส้นใยตั้งแต่ 2 ขึ้นไป ดังนั้นค่าดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์จึงเท่ากับดีเนียร์ของฟิลาเมนต์นั้นหารด้วยจำนวนฟิลาเมนต์หรือจำนวนเส้นใยทั้งหมด โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้สำหรับเสื้อผ้ามีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 ดีเนียร์

2.5 กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt Spinning Process) [25]

เป็นกระบวนการผลิตแบบการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมารองรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ได้อย่างดี มีความเร็วในการผลิตสูงเป็นการปั่นเส้นใยโดยตรงที่ไม่ต้องอาศัยสารละลาย สารเคมี ตลอดจนการล้างเส้นใยในภายหลัง และที่ดูเป็นข้อเด่นอย่างมากคือ การสามารถควบคุมรูปร่างทางภาคตัดขวางของเส้นใยได้อย่างถูกต้องแน่นอน เส้นใยสังเคราะห์ที่เป็นผลจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแทบทุกชนิดใช้หลักการนี้ในการผลิตเส้นใย เช่น ไนลอน พอลิเอสเตอร์และเส้นใยกลุ่มโอเลฟิน เป็นต้น

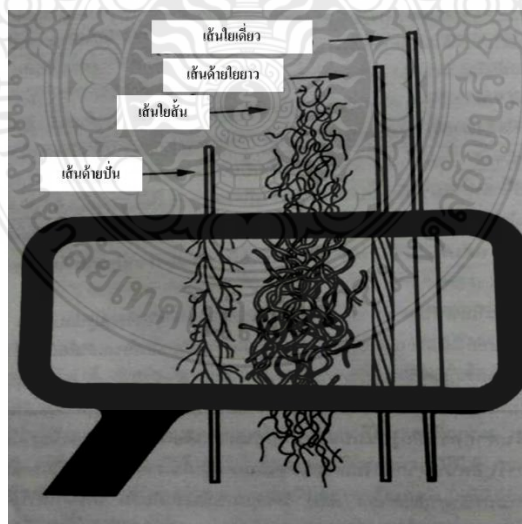
การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวนั้นในระยะต้นๆ ที่ใช้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมมีชื่อเรียกว่า Grid Spinning ซึ่งใช้กับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) กับพอลิเอสเตอร์ (Polyester Fiber) กันอย่างกว้างขวาง ในระบบ Grid Spinning จะประกอบด้วยท่อโลหะม้วนสำหรับื่อนำความร้อนไหลผ่านหรืออาจเป็นแท่ง (Heated Electric) หรืออาจเป็นระบบให้ความร้อนแบบอื่นๆ ซึ่งทำหน้าที่หลอมละลายเม็ดพอลิเมอร์ที่ไหลจากฮอปเปอร์ (Hopper) หรือใช้เกลียวสกรู (Screw) ขับป้อนเม็ดพอลิเมอร์ละลายเป็นของเหลวแล้วก็จะไหลผ่านชุดท่อให้ความร้อนตกลงในอ่างเก็บพอลิเมอร์เหลว (Melt Pool) ซึ่งอ่างเก็บนี้ต้องปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจนที่ปราศจากออกซิเจนและมีระบบไอน้ำสำหรับหล่อเลี้ยงพอลิเมอร์เหลวโดยไม่ให้พอลิเมอร์เหลวดังกล่าวเกิดการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เพิ่มขึ้นหรืออาจเกิดการสลายตัวน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.5 หลักการทั่วไปเป็นดังนี้

- 1) วัตถุประสงค์ในลักษณะของพอลิเมอร์หรือเรซินที่เป็นของแข็งและทำให้เป็นของเหลวโดยอาศัยความร้อนภายในหม้อความดันสูง
- 2) เส้นใยถูกปั่นเข้าไปในบริเวณที่มีกระแสลมผ่าน
- 3) การแข็งตัวของเส้นใยเกิดเนื่องจากเย็นตัวลง



รูปที่ 2.5 กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt Spinning Process) [25]

ซึ่งโรงงานประเภทที่ใช้กรรมวิธีการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวส่วนใหญ่จะใช้วัสดุพอลิเมอร์ประเภทของแข็ง การหลอมละลายและการขับอัดรีดของพอลิเมอร์เหลวจะใช้ระบบ Screw Extruder ซึ่งประสิทธิภาพของการหลอมเหลวได้มากกว่าระบบ Grids Spinning และยังสามารถใช้ได้กับวัสดุพอลิเมอร์ในรูปที่เป็นผงหรือเม็ดได้โดยตรง ระบบ Single Extruder สามารถป้อนพอลิเมอร์เหลวได้หลายๆ ตำแหน่งที่ใช้ขึ้นรูปเส้นใย (Spinning Position) โดยผ่านท่อลำเลียงในระบบ



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเส้นด้ายที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน [25]

2.6 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [26]

การผสม (Blending) เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม อาจจะเป็นการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆหรือผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อให้ได้สมบัติที่หลากหลายตามความต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตการทำพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหลได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกันเกิดเป็น พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิมโดยไม่ต้องเสียเวลาสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งต้องใช้เวลาและอาจต้องใช้ต้นทุนสูงในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่เกิดจากการผสมมีคุณสมบัติ เช่น ผสมกันแล้วช่วยให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Strength) มีความเหนียว (Toughness) เพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรงต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent Resistance) เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พอลิเมอร์ผสมสามารถปรับปรุงโครงสร้างให้บิดโค้งงอแปรรูป (Processability) ให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีสมบัติคงตัว (Product Uniformity) สามารถเปลี่ยนแปลงสูตรการผสมในการผลิตได้อย่างรวดเร็ว และให้อัตราผลผลิตที่มีปริมาณสูงขึ้น (High Productivity) นอกจากนี้ยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมอีกด้วย

2.6.1 ความเข้ากันได้ (Compatibility)

ปัจจัยสำคัญที่ ต้องคำนึงถึงในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม คือ ความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ ซึ่ง หมายถึง ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าในระดับโมเลกุล ไม่แสดงการแยกเฟสเมื่อทำการผสม ซึ่งความเข้ากันได้ดีจะขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ มวลโมเลกุล สัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง และสภาวะของการผสม โดยขึ้นกับวิธีการผสมอุณหภูมิและเวลาพอลิเมอร์บางชนิดผสมกันแล้วไม่มีความเข้ากันได้เลย (Incompatible Blend) บางชนิดมีความเข้ากันได้เป็นบางส่วน (Partially Compatible Blend) และบางชนิดสามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด (Completely Compatible Blend)

1) ผสมกันแล้วไม่มีความเข้ากัน พอลิเมอร์ทั้งสองไม่ผสมเข้าด้วยกัน มีขอบเขตการแยกอย่างชัดเจนไม่มีการผสมกันในระดับโมเลกุลส่งผลให้แรงกระทำระหว่างเฟส (Interfacial Adhesion) ไม่ดี พอลิเมอร์ทั้งสองแยกกันอยู่ เป็นผลทำให้ไม่มีการแลกเปลี่ยนสมบัติระหว่างกัน การผสมไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์นั้นๆ เมื่อมีแรงกระทำในขณะที่ใช้งานจะเกิดการแตกหักได้ง่าย

2) ผสมกันแล้วมีความเข้ากันได้เป็นบางส่วน พอลิเมอร์ที่ได้จะมีได้หลายเฟส ซึ่งเป็นระบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous System) คือ ระบบไม่ขึ้นกับจำนวนเนื้อสารแต่เป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องของตำแหน่ง เช่น ระบบที่มี สาร 2 ชนิดปนกัน โดยสามารถ แยกออกจากกันได้ชัดเจน และเกิดขอบเขตขึ้นซึ่งอาจมีหรือไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสก็ได้

3) ผสมกันแล้วรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีเฟสเดียวและเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เห็นขอบเขต (Boundary) ของการแยกเฟสไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟส ถ้าหากพอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดี สมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสองอาจจะหักล้างกันหรืออาจเสริมกันก็ได้

การผสมกันของพอลิเมอร์ที่ดีต้องสามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด เพราะจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ถ้าหากการผสมกันของพอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้หมดจะส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ คือ ทำให้เกิดการแยกเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดอย่างชัดเจน และเฟสแต่ละเฟสของพอลิเมอร์จะเกิดการยึดเหนี่ยวกันของแต่ละเฟส ทำให้พอลิเมอร์มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลภายในต่ำลง และทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลหรือสมบัติอื่นๆต่ำกว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งถือว่าเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีคุณภาพและไม่ควรนำไปใช้งาน ดังนั้นถ้าหากจะทำการเตรียมผสมพอลิเมอร์ต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้เป็นสำคัญ

2.7 สารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic Additive) [27]

สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่ใช้ผสมในพลาสติกเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของพลาสติกระหว่างการขึ้นรูป และปรับปรุงสมบัติต่างๆของพลาสติกให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน สารเติมแต่งที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้น มีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น Antioxidant, UV stabilizer, Antistatic, Nucleating agent, Clarifying agent, Neutralizer และ Slip agent เป็นต้น

พลาสติกมีคุณสมบัติตามธรรมชาติเป็นฉนวนไฟฟ้า ฉะนั้นในกระบวนการผลิตหรือแปรรูปพลาสติก เมื่อมีการเสียดสีกับโลหะจะเกิดการสะสมของประจุไฟฟ้า (Electron) และด้วยสมบัติของการเป็นฉนวนไฟฟ้าของพลาสติก จึงทำให้การถ่ายเทประจุไฟฟ้าออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นไปได้ยาก ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตเกิดแรงดึงดูด ทำให้ฝุ่นที่อยู่รอบๆ ชิ้นงานลอยไปเกาะที่ผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานแลดูไม่สวยงามและเก่าเร็ว นอกจากนี้การสะสมของประจุไฟฟ้าในปริมาณมาก อาจเกิดประกายไฟเมื่อสัมผัสกับโลหะ หรือวัตถุที่เป็นตัวนำชนิดอื่นๆ และอาจทำให้เกิดการระเบิดหรือเกิดเพลิงไหม้ได้เมื่อมีเชื้อเพลิง เช่น แก๊ส ละอองน้ำมัน หรือสารไวไฟต่างๆ ที่อยู่บริเวณรอบๆ

การเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นหนึ่งปัญหา ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการแปรรูปพลาสติกหรือเส้นใย เช่น การขีด การผลึกกันของชิ้นงานในระหว่างการลำเลียง โดยสาเหตุและความรุนแรงของปัญหานั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น วิธีการขึ้นรูปชิ้นงาน ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต สภาพการผลิต ชนิดของพลาสติก รวมทั้งสภาพอากาศสารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic Additive) เป็นสารเคมีที่ช่วยลดการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสะสมของประจุไฟฟ้าในพลาสติก โดยอาศัยหลักการนำพาอิเล็กตรอนจากชิ้นงานออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้ประจุไฟฟ้าสะสมในชิ้นงานลดลง ในการเลือกใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิตต้องพิจารณาจากชนิดของพลาสติกและการใช้งานพลาสติกเป็นสำคัญ โดยสารป้องกันไฟฟ้าสถิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

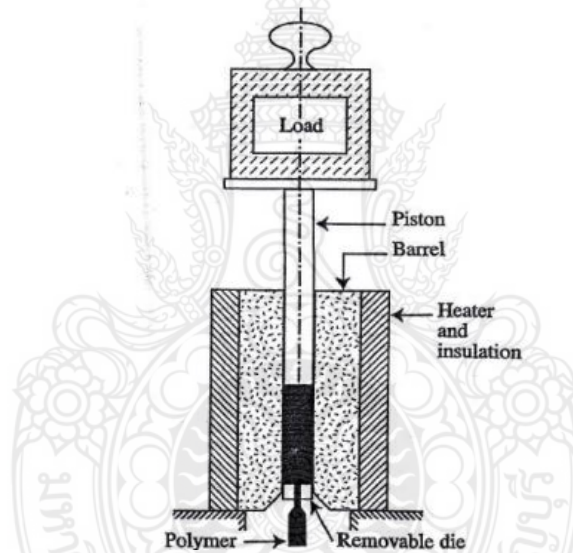
2.7.1 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดชั่วคราว (Temporary Antistatic) มีระยะเวลาทำงานสั้น ทำงานแพร่ออกมาที่ผิวของพลาสติกและจับกับโมเลกุลของน้ำในอากาศให้มาหล่ออยู่ที่ผิวของพลาสติก เพื่อให้ประจุไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านออกไปได้ สารป้องกันไฟฟ้าสถิตประเภทนี้จึงมีลักษณะเยิ้มๆอยู่ที่ผิว บางทีดูเหนอะหนะ โดยเฉพาะเมื่อเติมเยอะเกินไป

2.7.2 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดถาวร (Permanent Antistatic) มีระยะเวลาทำงานตลอดอายุของชิ้นงานพลาสติกนั้น ทำงานโดยการสร้างโครงข่ายที่ประจุไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านในเนื้อพลาสติก และถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในที่สุด การวัดประสิทธิภาพของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตทำได้โดยการวัด Surface Resistivity และวัด Haft Charge Decay Time

2.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ [28]

2.8.1 การทดสอบการไหลของพอลิเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

MFI เป็นค่าที่บ่งถึงความสามารถในการไหลของพลาสติกหลอม ณ อุณหภูมิหนึ่งโดยใช้ น้ำหนักคงที่ (อุณหภูมิและน้ำหนักคงของพลาสติก)แต่ละชนิดจะกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D1238 ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวแสดงค่าเป็น g/10 min ตามด้วยอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}/\text{kg}$) การหาค่าปริมาตรของพลาสติกหลอมไหลต่อเวลา (Melt Volume Rate, MVR) เป็นค่าเทียบเคียงของค่า MFI ในรูปของปริมาตร ซึ่งแสดงค่าเป็น $\text{cm}^3/10\text{ min}$ โดยคำนวณปริมาตรของ พลาสติกหลอมจากระยะการเคลื่อนที่ของแกนกระบอกที่ได้จาก Displacement Transducer, Melt Density เป็นค่าที่คำนวณจาก Melt Flow Index/Melt Volume Rate ซึ่งแสดงค่าเป็น g/cm^3 ซึ่งค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ มักถูกนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพเม็ดพลาสติกหรือคอมพาวด์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index) [28]

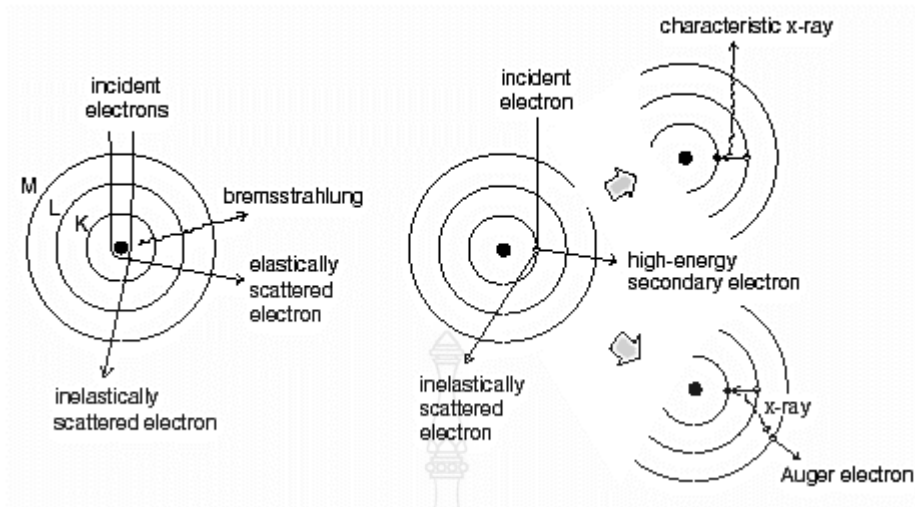
นอกจากนี้เครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ ยังสามารถใช้หาค่าอัตราการไหลของพลาสติกแล้วยังใช้เป็นกระบวนการทางอ้อมในการบอกค่าน้ำหนักของโมเลกุลของเม็ดพลาสติกได้ ถ้าเม็ดพลาสติกที่ทดสอบหาอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว มีค่าสูงก็แสดงว่าเม็ดพลาสติกนั้นมีค่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำและขณะเดียวกัน อัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวยังบอกถึงความสามารถในการหลอมไหลของวัสดุภายใต้แรงดัน. ในทางกลับกัน อัตราการไหลของพอลิเมอร์

หาลอมเหลว ยังใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความหนืดของวัสดุภายใต้สภาวะการรับแรงต่างๆ อัตราส่วนระหว่างค่าการทดสอบหาค่าอัตราการใช้ไหลของพอลิเมอร์หาลอมเหลว 2 ครั้ง ที่ค่าน้ำหนักต่างกันก็นำไปหาค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกหรือการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล

2.9.2 การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) [29]

เครื่องทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดใช้ในการตรวจสอบผิวหน้าของชิ้นงานด้วยความละเอียดสูง เมื่ออิเล็กตรอนซึ่งมีความเร็วสูงพุ่งเข้าชนผิวของแข็งภายใต้สุญญากาศ อิเล็กตรอนเกิดการสะท้อนออกมาเรียกว่า อิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งเกิดจากการกระเจิงกลับ (Back Scattered Primary Electron) อิเล็กตรอนนี้มีทิศทางเบนไปจากทิศทางที่พุ่งเข้าชนเนื่องจากการปฏิสัมพันธ์กับนิวคลีไอ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) เกิดขึ้นเนื่องจากลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งตกกระทบ (Incident Primary Electron) บนชิ้นตัวอย่างแทรกซึมทะลุทะลวงเข้าสู่เนื้อของชิ้นตัวอย่างเกิดการไอออไนเซชัน (Ionization) และเปล่งรังสีกลับออกมา อิเล็กตรอนทุติยภูมินี้มีพลังงานค่อนข้างต่ำ เนื่องจากหัวอ่านอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ส่องกราดในแนวขวางของชิ้นทดสอบภาพผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างเกิดจากการสร้างภาพด้วยหลอดจะแสดงภาพในรูปของแสงซึ่งเกิดจากการกระเจิงกลับของอิเล็กตรอนปฐมภูมิและแสงซึ่งเกิดจากการเปล่งอิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมา

กล่าวได้ว่าการสูญเสียพลังงานน้อยมาก ในทำนองเดียวกับอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะกระดอนตัวออกจากนิวเคลียสของชิ้นงานโดยปราศจากการสูญเสียพลังงานแต่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปจากแนวเดิมมาก เรียกอิเล็กตรอนซึ่งเกิดการหักเหกลับว่า อิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งเกิดการกระเจิงกลับ (Backscattered Primary Electrons) ปრაกฏการณ์ที่เกิดขึ้นมีชื่อเรียกว่า การกระเจิงกลับ (Backscattering) ส่วนอิเล็กตรอนซึ่งเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางไปในมุมกว้างถูกเรียกว่า อิเล็กตรอนปฐมภูมิ ซึ่งเกิดจากการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastically Scattered Primary Electrons) และเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบนี้ว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastic Scattering) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อลำแสงอิเล็กตรอนซึ่งมีความเร็วสูงพุ่งเข้าชนตัวอย่าง [29]

นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นต้องเคลือบชิ้นงานพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่น คาร์บอน และทองคำ

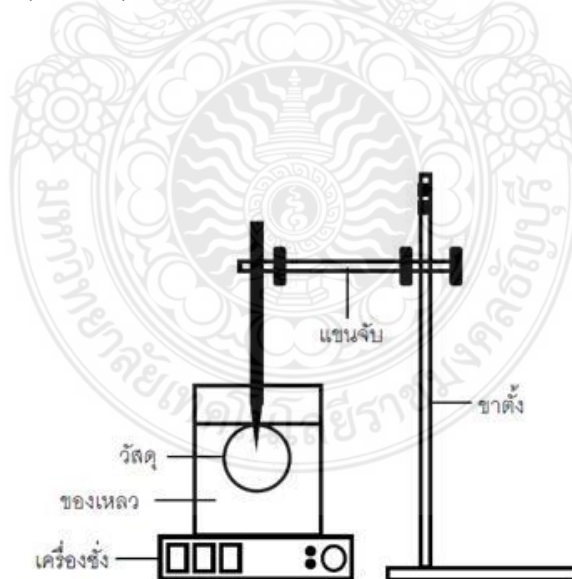
ตารางที่ 2.2 ลักษณะของกล้องระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด [28]

ลักษณะ	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
1. พลังงานกระตุ้น	1-630 kW
2. กำลังขยายสูงสุด	100,000 เท่า
3. ความละเอียดของกล้อง	6-10 nm
4. ขนาดตัวอย่าง	ใหญ่กว่า 50 nm
5. การเตรียมชิ้นงาน	รวดเร็ว อาจเคลือบทองเพิ่มบนตัวอย่างเพื่อให้นำไฟฟ้า
6. การใช้งาน	ศึกษารายละเอียดของพื้นผิวตัวอย่าง

2.9.3 การทดสอบความหนาแน่น (Density Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D792

การทดสอบความหนาแน่นด้วยวิธีการชั่ง (ชั่งในน้ำและอากาศ) อาศัยหลักการหาน้ำหนักของวัสดุในอากาศและน้ำหนักของวัสดุในน้ำ แล้วทำการหาความแตกต่างของน้ำหนักที่ชั่งในน้ำและในอากาศ โดยการทดสอบที่มีความแม่นยำนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่บันทึกลงไปในการทดสอบขณะที่ทำการทดสอบด้วย เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อความหนาแน่นของวัสดุและน้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์ ในขณะที่ทำการหาน้ำหนักของวัสดุในน้ำ หลักการเบื้องต้นที่สามารถสังเกตได้คือ เมื่อนำวัสดุไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำแล้ววัสดุจมน้ำ แสดงว่าวัสดุนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำหรือมากกว่า 1 g/cm^3 แต่ถ้าวัสดุนั้นลอยน้ำแสดงว่าวัสดุที่ทำการทดสอบนั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่า 1 g/cm^3 ซึ่งอาจจะบอกได้ว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่เท่ากับปริมาตรของวัสดุส่วนที่จมน้ำของเหลวและแรงพยุงเท่ากับน้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศและเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ [30]

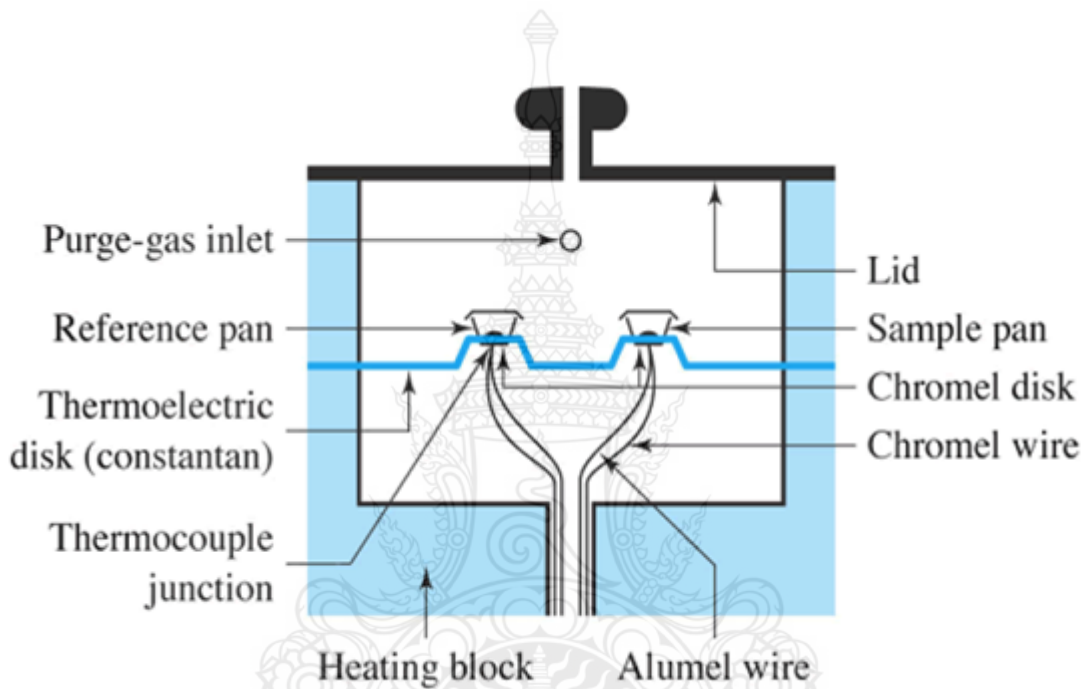
ความหนาแน่น เป็นการวัดมวล ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากขึ้นมวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น คือวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมี ปริมาตรน้อยกว่าวัสดุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอของความหนาแน่นคือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)



รูปที่ 2.9 การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว [30]

2.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อน [31]

เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Colorimetry, DSC) ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่างที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน การดูดหรือคายพลังงานของสารตัวอย่างเมื่อถูกเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในบรรยากาศที่ถูกควบคุม



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง DSC [31]

ความร้อนที่ให้สารตัวอย่าง (heat flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือ มิลลิจูลล์ (mJ) พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า เอนทัลปี (Enthalpy) มีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน (Endothermic) และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า เอนทัลปี (Enthalpy) มีการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน

(Exothermic) เมื่อสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว (Melting Furnace) ต้องให้ความร้อนแพนตัวอย่าง (Sample Pan) มากกว่าที่ให้แพนอ้างอิง (Reference Pan) เพื่อที่จะคุมอุณหภูมิของแพนตัวอย่างและแพนอ้างอิง ให้เท่ากัน ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังแพนตัวอย่างมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ถูกส่งผ่านไปยังแพนอ้างอิงนั้น ขึ้นอยู่กับว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบ Exothermic หรือแบบ Endothermic

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน จนถึงอาหารและยา โดยใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC ได้แก่ จุดหลอมเหลว (Melting Point), อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg), ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Stability), จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction Kinetics) หรือ ความบริสุทธิ์ (Purity) ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีข้อมูลต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าเฉพาะตัว

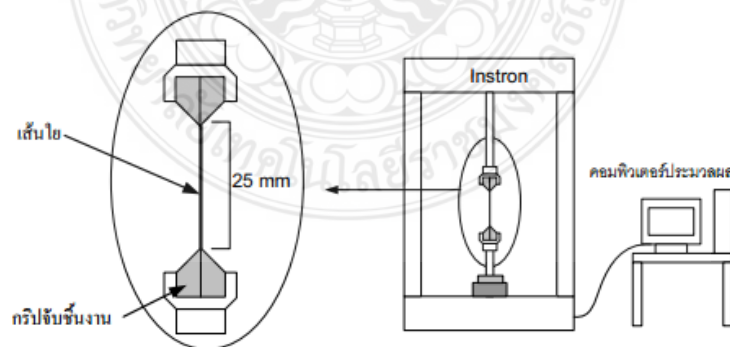
2.10 การทดสอบสมบัติทางเชิงกล

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ของเส้นใย (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D3822 01 [32]

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง หมายถึง การวัดความสามารถในการรับแรงของวัสดุด้วยการใช้แรงดึงและหาระยะที่ยืดออกไปก่อนที่วัสดุจะแตกหัก

ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) เป็นการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง โดยให้แรงดึงกับชิ้นงานทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยทอม 2 ทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่างหรือความเครียดเป็นอย่างมาก

เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออก โดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นาน ก่อนที่จะขาด การทดสอบแรงดึงมักจะถูกดำเนินการเพื่อประเมินสมบัติทางกลของวัสดุหลายประเภท เพื่อศึกษาว่าสมบัติมีการเปลี่ยนแปลงเช่นไร การทดสอบแรงดึงจะถูกดำเนินการในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพว่าวัสดุยังมีสมบัติตามข้อกำหนดและลดเศษวัสดุที่ไม่จำเป็น ซึ่งการเลือกใช้ตัวยึดจับชิ้นงาน (Grip) นั้นมีความสำคัญเนื่องจากจะช่วยในทางสามารถติดตั้งและนำชิ้นงานออกได้อย่างสะดวก ในบางกรณีการสร้างแถบวัสดุที่บริเวณปลายด้วยเทปจะช่วยให้ติดตั้งชิ้นงานได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดเล็กที่ยากต่อการมองเห็นด้วยตาเปล่า หากเลือกใช้ตัวยึดจับชิ้นงาน ได้อย่างเหมาะสม การเลื่อนหลุดหรือการเสียหายของชิ้นงานบริเวณจับยึดจะไม่เกิดขึ้น โดยเส้นใยเดี่ยวแต่ละเส้นจะมีความเปราะและสามารถเสียหายได้ที่แรงต่ำ การเลือกใช้โพลีคาร์บอเนตที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถได้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้อง จะมีตัวยึดจับชิ้นงานหลายประเภทที่เหมาะสมต่อการทดสอบเส้นใยเดี่ยว นอกจากนั้นยังช่วยคงแนวศูนย์ในการทดสอบของชิ้นงาน โดยการทดสอบการดึงจนขาดที่ความเร็วในการดึง 30 mm/min ทำการจับเส้นใยกับตัวยึดจับชิ้นงาน จับชิ้นงานให้เส้นใยมีความยาวที่ 25 mm และเส้นใยจะถูกดึงโดยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (UTM, Instron Model 8872) แสดงดังรูป 2.12 ซึ่งค่าแรงดึงและการยืดตัวจะถูกบันทึกเมื่อมีแรงกระทำกับเส้นใย



รูปที่ 2.11 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใย [32]

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ลลิตา จอมแปง และคณะ [33] ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ที่อัตราส่วนผสม PBS ที่ 0-50 (wt%) โดยกระบวนการหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอกู จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอกูเดี่ยว โดยศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเส้นใยที่ขึ้นรูปได้จากการศึกษาพบว่าจุดหลอมเหลวของ PLA นั้นมีค่าสูงกว่า PBS มาก โดยที่จุดหลอมเหลวและความเป็นผลึกลดลงของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เมื่อมีการผสม PBS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค SEM พบว่าเกิดการแยกเฟสระหว่าง PLA กับ PBS ในพอลิเมอร์ผสม เมื่อปริมาณ PBS มากกว่า 20 wt% เมื่อพิจารณาผลการศึกษาศมบัติเชิงกลพบว่า การเพิ่มปริมาณ PBS จะช่วยทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS มีแนวโน้มที่จะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อย่างไรก็ตามที่ปริมาณการผสม PBS ในปริมาณมากกว่า 10 wt% จะเกิดความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้มีแรงยึดเหนี่ยวลดลง ซึ่งจำเป็นต้องพัฒนาความเข้ากันระหว่าง PLA และ PBS ส่งผลให้สามารถขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS และสามารถนำไปใช้ในงานด้านสิ่งทอต่อไปซึ่งการทำเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอกูที่อัตราส่วนระหว่าง PLA/PBS คือ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 และ 0/100 wt% ตามลำดับ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 140-165 °C ความเร็วรอบของสกรู 80 rpm นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 190 °C และขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt Spinning) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอกูเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 190-230 °C ที่อัตราเร็วการหมุนเก็บเส้นใย 50, 100 และ 150 rpm ตามลำดับ

2.11.2 สมหมาย ผิวสอาด และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิไฮดรอกซีบิวทิลเรตวาเรอเรต (PHBV) สำหรับการประยุกต์ใช้งานเส้นใยย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยการหลอมผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 180-190 °C ความเร็วรอบ 80 rpm ที่อัตราส่วนของ PLA/PHBV เท่ากับ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 และ 0/100 g/mol โดยเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) น้ำหนักโมเลกุล 6,000 และ 4,000 ที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr เป็นสารเชื่อมประสาน การขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยแบบปั่นหลอมเหลวทำโดยผสมพอลิเมอร์แบบแห้งที่อัตราส่วนของ PLA/PHBV ที่ 100/0, 95/5, 90/10, 85/15 และ 80/20 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวที่อุณหภูมิ 210 –235 °C ความเร็วรอบ 9 rpm

ซึ่งให้เส้นใยตกอย่างอิสระที่ความเร็วในการม้วนเก็บ 450, 500 และ 550 m/s จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของเส้นใย โดยจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่าเส้นใยที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมแบบหลอมเหลวระหว่าง PLA/PHBV (80/20) โดยเติม PEG เป็นสารเชื่อมประสาน พบว่าพอลิเมอร์ผสมปรากฏอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก จำนวน 2 พิก ซึ่งปรากฏพิกของ PLA และ PHBV มีค่าประมาณ 151 °C และ 168 °C ตามลำดับ การเติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 4,000 g/mol ทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นและเส้นใยที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากการทดสอบสมบัติการเรียงตัวด้วยความเร็วเสียงของเส้นใยที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PHBV (80/20) โดยเติม PEG เท่ากับ 4 phr ที่น้ำหนักโมเลกุล 4,000 g/mol มีค่า Sonic Velocity และ Modulus มีค่า 1.79 °C และ 36.82 grams/denier E ตามลำดับ

2.11.3 X.D. Lin และคณะ [35] ได้ทำการศึกษา POM/PP ซึ่ง PP ที่ถูกผสมแบบแห้ง (Dry Mixed) และป้อนเข้าไปใน เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูเครื่องอัดรีด (Extruder) คือ 0.75 inch (19.05 mm) และ L/D ratio ที่ 20/1 ส่วนผสมถูกอัดผ่านดายกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ด้วยลักษณะรูปแบบการเข้าแบบโค้งเป็นวงกลม รอบการหมุนของสกรูคือ 300 rpm อุณหภูมิเอกซ์ทรูเดต คือ 190°C ถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็วด้วยอ่างน้ำและถูกนำขึ้นด้วยความเร็ว 4 m/min และได้มีการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Polarized Light Microscope, PLM), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และเทคนิคการสกัดตัวทำละลายโครงสร้าง (Circular Cords) ที่ล้อมรอบด้วยชั้นผิว พบว่าแปรผันไปตามอัตราส่วนองค์ประกอบระหว่าง POM/PP ที่อัตราส่วน 10/90 และ 40/60 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยบริเวณพื้นผิวด้านนอกจะประกอบไปด้วย PP และมีเส้นใย POM เพียงเล็กน้อย เป็นอนุภาคหรือฟิล์มบางๆ ในทางตรงกันบริเวณภายในของพอลิเมอร์ที่อัดรีดจะมีเส้นใย POM มากกว่าและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายใน PP เมทริกซ์ ส่วนในการผสมที่อัตราส่วน 50/50 ร้อยละโยน้ำหนักจะพบทั้งเส้นใย POM และ PP ในการผสมที่มี POM มากกว่า 50% ส่วน Cryogenically-fractured ของพอลิเมอร์ที่อัดรีดแสดงให้เห็นเส้นใยที่มีรอยต่อระหว่างเมทริกซ์

2.11.4 S. Solariski และคณะ [36] ได้ทำการศึกษา PLA ที่มีการทำ Spin-Drawing ด้วยเครื่องปั่น Spinboy I โดย PLA ถูกหลอมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 220 °C ถึง 225°C จะผ่านไปยังหัวดายสองตัวซึ่งประกอบด้วย 40 ช่องวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 μm เพื่อผลิตเส้นด้ายหลากหลายเส้นใย (Multifilament Yarn) ซึ่งถูกเคลือบด้วย Filapan CTC และจะถูกดึงด้วยความร้อนระหว่างลูกดิ่ง สองตัวที่ความเร็วและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยความเร็วของลูกดิ่งตัวแรกถูกคงที่ไว้ที่ 150 และ 200 m/min อัตราส่วนการดึง (Draw Ratio, DR) ซึ่งคืออัตราส่วนความเร็วระหว่าง

ถูกดึงตัวแรกและตัวที่สองจะมีค่าผันแปรระหว่างกันด้วย พบว่ายิ่งมีการเพิ่มอัตราส่วนการดึงของเส้นใยก็จะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

2.11.5 G. Schmack และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาการเตรียม PLA แบบ 2 กระบวนการคือ กระบวนการปั่นความเร็วสูง (High Speed Spinning Process) ด้วยความเร็ว 1,000-5,000 rpm และใน กระบวนการปั่นดึงขึ้นรูป (Spin Drawing Process) ที่อัตราส่วนการดึง (Drawn Ratios) โดยมี ผลกระทบของเงื่อนไขการปั่นหลอม (Melt Spinning Conditions) ต่อในการพัฒนาของโครงสร้าง ลำดับชั้นในเส้นใยและความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งทอได้รับการตรวจสอบโดยเส้น ใย PLA ถูกแสดงคุณลักษณะตามปริมาณผลึก (Degree Of Crystallinity) ด้วย DSC และ WAXS ซึ่งทิศ ทางการจัดเรียงตัวด้วย WAXS และ Birefringence จะแสดงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด ค่าสูงสุด ของ Physical Break Stress และ E-modulus ที่สังเกตได้ของปั่นดึงเส้นใย (Spin Drawn Fibers) มี ค่าประมาณ 490 MPa และ 6.3 GPa ตามลำดับ ที่ค่า Elongation at Break 30% PLA เป็น โพลิเมอร์ ระหว่าง L-Lactide (92 wt%) และ Meso-Lactide (8wt%) และถูกผลิตขึ้นโดยกระบวนการผลิตแบบ เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันซึ่งเม็ด PLA บริสุทธิ์ถูกนำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพจาก กระบวนการปั่นนั้นมีคุณสมบัติทางความร้อนและคุณสมบัติการไหลที่ได้รับการทดสอบด้วยเครื่อง DSC และ Dynamic Rheological Measurements ตามลำดับ เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการปั่นหลอม

2.11.6 XIAOJIE GUO และคณะ [38] ได้ทำการศึกษาการตกผลึกของพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิแลคติกแอซิดที่เป็นองค์ประกอบเล็กๆ ในพอลิออกซิเมทิลีน โดยใช้เครื่อง DSC, กล้อง OM และ XRD เพื่อศึกษาในรายละเอียดสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของฟิลเลอร์ต่างชนิดกันที่มีต่อ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการตกผลึกของ PLA สำหรับการเปรียบเทียบผลึกของ PLA ที่ปรากฏ เล็กน้อยในผงของทัลคัม (Talc) ซึ่งผลการทดลองจะชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกของ PLA มีการ เปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มของ POM และทัลคัม โดยมีความสามารถในการตกผลึกของ PLA เพิ่มขึ้นใน ทั้งสองกรณี ซึ่งค้นพบว่า Talc มีประสิทธิภาพมากกว่า POM ในการเพิ่มการตกผลึกของ PLA โดย PLA/POM แสดงให้เห็นถึงการส่งผ่านที่สูงกว่า PLA เพียงอย่างเดียวและ PLA/Talc จะแสดงให้เห็น ว่า POM ผสมกันได้ดีกับ PLAนอกจากนี้ชั้นอันเด่นชัดของโครงสร้างการเกิดผลึกแบบสเฟียรูไลต์ถูก พบในส่วนผสมของ PLA/POM ระหว่างการเกิด Isothermal Crystallization อีกด้วย

2.11.7 S. Wacharawichanant และคณะ [39] ศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะสัณฐานวิทยา ของพอลิเมอร์ผสม PP/POM ทำการเตรียมด้วยการหลอมผสมแบบภายใน ที่ปริมาณของ PP 10, 20, 30, 70, 80 และ 90 wt% จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

พบว่าการกระจายตัวของพอลิเมอร์มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม การเพิ่มปริมาณ PP ถึง 30 wt% ทำให้ค่าการทนแรงกระแทก ค่ามอดูลัส ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/POM ลดลง แต่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเติม PP ที่ปริมาณ 70-90 wt% ส่วนลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/POM นั้น แสดงการแยกเฟสอย่างชัดเจน เห็นเป็นอนุภาคทรงกลมกระจายในเมทริกซ์ POM มีขนาดอนุภาคทรงกลมที่เล็กกว่า PP

2.11.8 S. Mathurosmtree และคณะ [40] ศึกษาผลของความเร็วในการฉีดขึ้นรูปต่อลักษณะพื้นฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA โดยศึกษาที่ความเร็วในการฉีด ได้แก่ 50, 100 และ 300 mm/s พบว่าที่ความเร็วในการฉีด 50 mm/s สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ POM ลดลง โดยยืนยันจากภาพโพลาไรด์ พบว่าเมื่อความเร็วในการฉีดเพิ่มขึ้น เฟสของ POM มีการขยายตัวมากขึ้นในเมทริกซ์ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกล พอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่มีปริมาณ POM 20 wt% พบว่าค่ามอดูลัสและค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

2.11.9 M. Feereira และคณะ [41] ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใย PLA จากเครื่อง Modulated differential scanning calorimetry (MDSC) ซึ่งเครื่อง MDSC นั้นสามารถแยกความแตกต่างและวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนได้อย่างแม่นยำ จากการศึกษาพบว่า เส้นใย PLA ที่มีการดึงยืดโดยใช้ความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพิ่มขึ้นและมีค่าความจุความร้อนจำเพาะลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเส้นใยนั้นเกิดการเย็นตัวซึ่งจะทำให้เส้นใยเกิดความเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่และสามารถคำนวณหาค่าความเป็นผลึกของเส้นใยได้จากกราฟของเครื่อง MDSC

2.11.10 T. Sekiguchi และคณะ [42] ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเอสเทอร์ในน้ำทะเลลึกและการย่อยสลายของแบคทีเรียจากพอลิคาโพรแลคโตน จากการตรวจสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพในน้ำทะเลลึก ได้ทดสอบพฤติกรรมของการย่อยสลายของพอลิคาโพรแลคโตน (PCL), PHB/V และ PBS ในน้ำทะเลลึกที่เมือง Toyama และ เมือง Kume ประเทศญี่ปุ่น โดยหลังจาก 12 เดือน ที่มีการแช่พลาสติกดังกล่าวมาในน้ำทะเลลึก พบว่า เส้นใย PCL และ เส้นใย PHB/V ได้มีการเปลี่ยนเป็นลักษณะแข็งเปราะหรือเกิดการเสียหาย ซึ่งในขณะที่ เส้นใย PBS ก็มีความแข็งแรงลดลง จากการศึกษาเส้นใยทั้ง 3 ชนิดก็พบว่าที่พื้นผิวเป็นรูและเกิดการแตกร้าวแยกกัน

2.11.11 K. Sungsanit และคณะ [43] ทำการศึกษาการเติมสารเพิ่มสภาพพลาสติกชนิด PEG ลงในพลาสติก PLA พบว่าทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณ PEG และเมื่อใช้ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกล เช่นการเพิ่มความยืดหยุ่นและการยึดตัวที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติม PEG ยังส่งผลให้พอลิเมอร์ดังกล่าวเพิ่มความสามารถในการเกิดโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้นและมีปริมาณมากขึ้นซึ่งทำให้เกิดการแยกเฟสระหว่างพลาสติก PLA และสารเพิ่มสภาพพลาสติก PEG เมื่อใช้ PEG ในปริมาณที่สูงเกินไป



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการเตรียมการขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมย่อยสลายทางชีวภาพระหว่างพอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) และ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ปริมาณต่างๆ เริ่มจากการเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนกับพอลิแลคติกแอซิดและทำการทดสอบสมบัติต่างๆ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 วางแผนการดำเนินงาน

3.1.3 จัดเตรียมวัสดุคืบและเครื่องมือในการทดลอง

3.1.4 ขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว ที่ใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder, ThermoHaake Polydrive) ในการขึ้นรูป ดังนี้

1) อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่ 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก

2) เกรดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ได้แก่

2.1 พอลิออกซีเมทิลีน คือ V20-HE

2.2 พอลิแลคติกแอซิด คือ TP4000

2.3 สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) (MW = 20,000) และเอทิลีน-บิส-สเตียราเมตต์ (EBS)

2.4 ปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ศึกษา คือ 0.5, 1 และ 1.5 phr

3) ขึ้นรูปเส้นใยแบบหลายเส้น (Multifilament) ที่มีหัวค้ายแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) จำนวน 24 รู หน้าตัดวงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 mm

4) สภาวะในการขึ้นรูปของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

4.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 180°C, 190°C, 200°C (Zone Extruder), 210°C และ 210°C (Die)

4.2 ความเร็วรอบของสกรู 8 rpm

5) ความเร็วรอบของเครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder) ได้แก่ 500 m/min

3.1.5 ทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่

(1) ทดสอบการไหลของพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D1238

(2) วิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

(3) การทดสอบความหนาแน่น (Density Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D792

2) สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

3) สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ได้แก่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D3822 01

4) ทดสอบสมบัติการย่อยสลาย (Degradability) ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ขึ้นรูปเส้นใยแบบหลายเส้น (Multifilament) โดยการแช่ในน้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติที่เวลาต่าง ๆ กัน [17]

3.1.6 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

การดำเนินงานในวิธีการเตรียมการขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมย่อยสลายทางชีวภาพ
ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ

การดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→											
วางแผนการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ	←→											
จัดหาวัตถุดิบและอุปกรณ์เครื่องมือ		←→										
เตรียมพอลิเมอร์ผสม POM/PLA			←→									
ขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA			←→									
ทดสอบสมบัติต่างๆ ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA				←→								
ทดสอบสมบัติการย่อยสลายของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA							←→					
วิเคราะห์/วิจารณ์ผลการทดลอง							←→					
จัดทำรูปเล่มรายงาน/นำเสนอผลงาน									←→			

←→ แสดงแผนการดำเนินงานที่ปฏิบัติจริง

3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1) พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เกรด TP4000 ของบริษัท Unitika จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

2) พอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) เกรด V20-HE ของบริษัท ไทย โพลีอะซีทิล จำกัด ประเทศไทย

3) พอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ($M_w \sim 20,000$ Da) ของบริษัท Sanyo Chemical Industries Company Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

4) พอลิเอทิลีน-บิส-สเตียร์รามายด์ (Ethylene bis stearamide, EBS) ของบริษัท Tarak Chemicals จำกัด ประเทศจีน

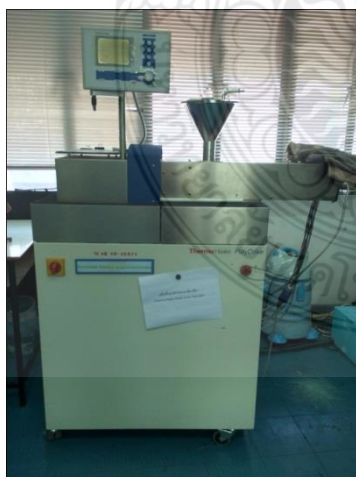
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้

1) ตู้อบแบบลมร้อนของบริษัท ไฮแอนติฟิคโปรโมชัน จำกัด รุ่น FD115

2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical Balance Overting) ของบริษัท ชาร์ โทเรียส (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น BSA3202S

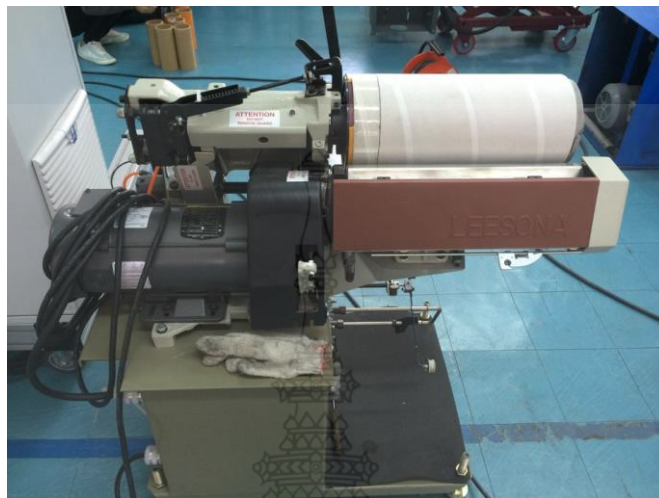
3) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance Overting) ของบริษัท โอแฮ์สันโดโซน่า จำกัด รุ่น Adventurer AR2140

4) เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder) ยี่ห้อ ThermoHaake Polydrive รุ่น 557-8300 ประเทศเยอรมนีและหัวดายแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) จำนวน 24 รู หน้าที่ดวงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 mm



รูปที่ 3.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

5) เครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder) ของบริษัท Leeson ของ Burlington รุ่น 2391
Model 967 Order B18513 ประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 3.2 เครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder)

6) เครื่องกรอด้าย (Fiber Fineness) มอเตอร์ของบริษัท OM Original Motor รุ่น QP9
73240 และ Counter ของบริษัท Omron รุ่น H7BS-B ประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 3.3 เครื่องกรอด้าย

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์

1) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น DSC 800 ประเทศเยอรมนี

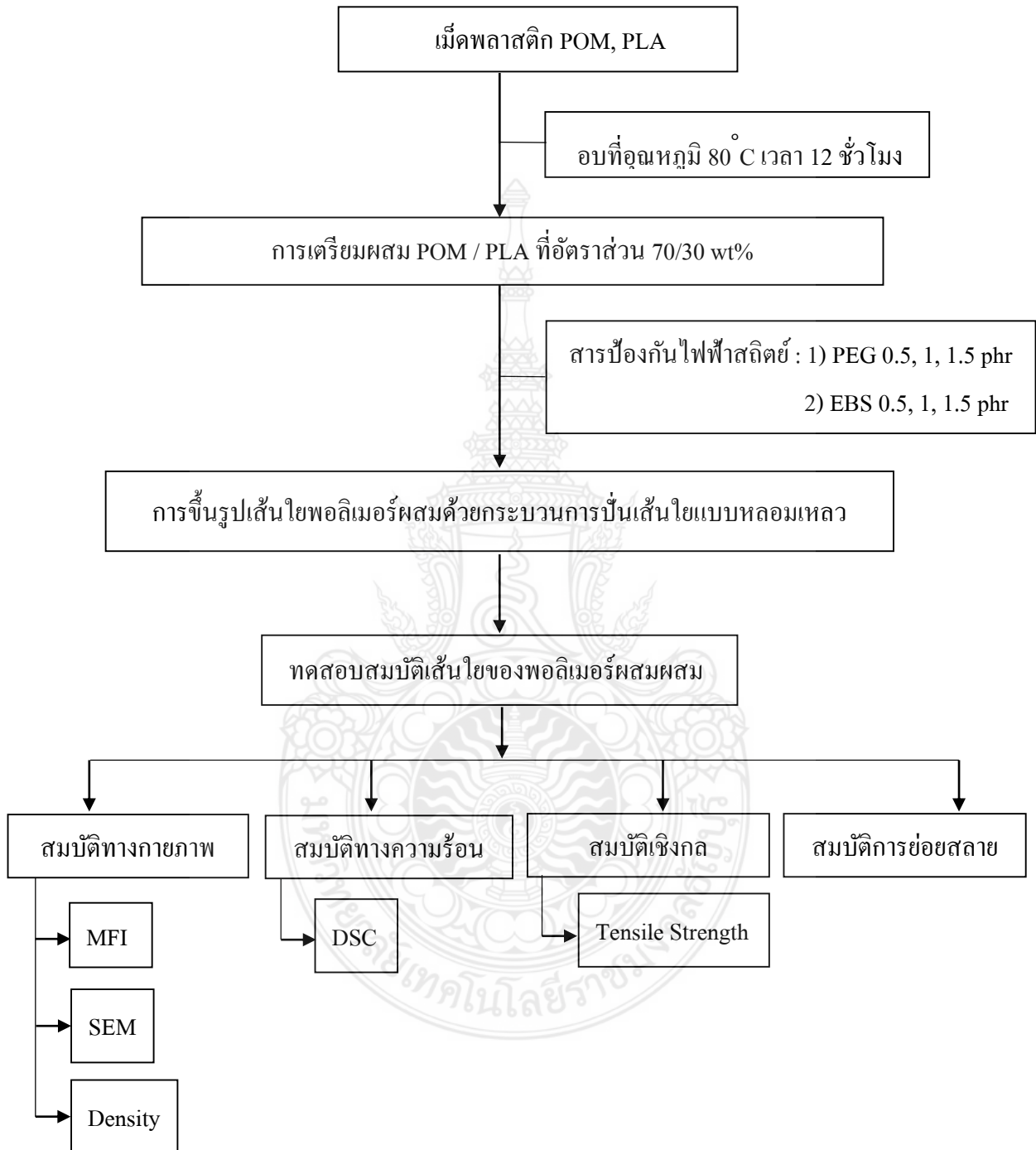
2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy; SEM) ยี่ห้อ Jeol รุ่น JSM-S410LV ประเทศญี่ปุ่น

3) เครื่องวัดดัชนีการไหลของพลาสติก (Melt Flow Index) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238-98 รุ่น XRL-400 ของบริษัท C.B.N. Material Test CO.,LTD. ประเทศไทย

4) เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569 ประเทศสหรัฐอเมริกา



3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

นำเม็ดพอลิออกซีเมทิลีน เกรด V20-HE และพอลิแลคติกแอซิด เกรด TP4000 มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำการผสม POM และ PLA ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ที่เติม PEG และ EBS ที่ปริมาณ 0.5, 1 และ 1.5 phr ตามลำดับ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

3.3.2 การขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว

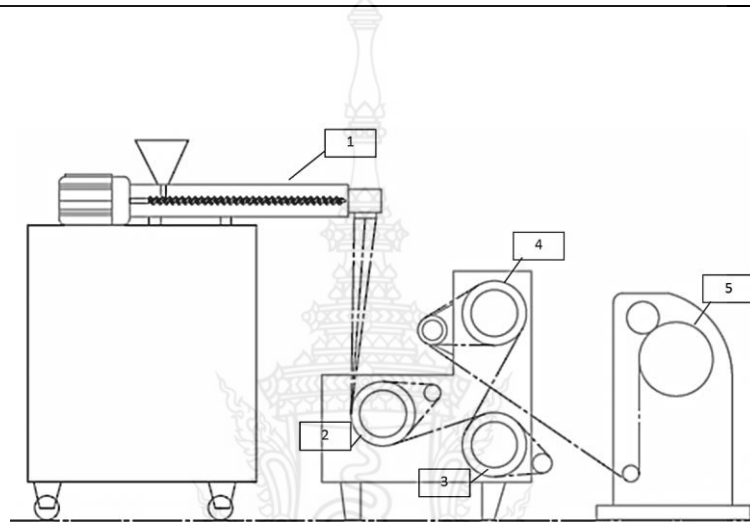
นำพอลิเมอร์ผสมจากข้อ 3.3.1 ดังตารางที่ 3.2 มาขึ้นรูปเป็นเส้นใยแบบหลายเส้น (Multifilament) โดยใช้กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) แสดงสถานะดังตารางที่ 3.3 และกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว ดังรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

ตัวอย่างที่	พอลิเมอร์ผสม (POM/PLA)	สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์		การเรียกชื่อตัวอย่าง
		PEG	EBS	
1	70/30	-	-	S
2	70/30	0.5	-	SPEG0.5
3	70/30	1	-	SPEG1
4	70/30	1.5	-	SPEG1.5
5	70/30	-	0.5	SEBS0.5
6	70/30	-	1	SEBS1
7	70/30	-	1.5	SEBS1.5

ตารางที่ 3.3 สภาพในการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว

Die	24 holes (diameter has 0.32 mm/hole)
Temperature (°C)	180, 190, 200 (Zone Extruder) 210 (Connector) and 210 (Die)
Screw speed	8 rpm
Winding speed (m/min)	500



รูปที่ 3.5 Fiber melt spinning system: (1) Extruder, (2) 1st Hot roller unit, (3) 2nd Hot roller unit, (4) 3rd roller unit, and (5) winding unit [44]

จากรูปที่ 3.5 เป็นกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว โดยให้ความร้อนกับพอลิเมอร์ผสมและอัดรีดผ่านหัวฉีดเส้นใย (spinneret) จากนั้นทำให้เส้นใยเย็นตัวและตกลงมาอย่างอิสระ แล้วนำมาดึงยืดด้วยความร้อนที่ผ่านลูกกลิ้งสองลูกและม้วนเก็บเส้นใยด้วยเครื่องม้วนเก็บเส้นใย (winding) ตามความเร็วที่กำหนด โดยความเร็วในการม้วนเก็บนั้นจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยด้วย

3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล

3.4.1 สมบัติทางความร้อน

- 1) การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

- การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่ สามารถเข้าไปได้

- สภาวะการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะในการดำเนินงานของเครื่องดีฟเฟอร์เรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1	ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 40-200 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
2	ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
3	ลดอุณหภูมิการให้ความร้อนจาก 200-40 องศาเซลเซียส อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
4	ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
5	ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 40-200 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

1) การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิหยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการต้านทานต่อแรงดึง ไปเตรียมตัวอย่างเพื่อจะนำไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มาเคลือบตัวนำไฟฟ้า เช่น ทอง ภายใต้อุณหภูมิสุญญากาศ นำไปส่องด้วยกระแสไฟฟ้า 15 kV ที่กำลังขยาย 500 เท่า ทำการเลือกภาพบริเวณที่ต้องการและถ่ายภาพ

2) การไหลของพอลิเมอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D1238

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง จำนวน 8-10 กรัม นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทดสอบการไหลของพอลิเมอร์ที่น้ำหนักกด 2.16 kg อุณหภูมิ 210 °C เวลาในการตัด 10 วินาที บันทึกข้อมูลและคำนวณหาค่าอัตราการไหลของมวลขณะหลอมเหลว (MFR), อัตราการไหลเชิงปริมาตร (MVR) และ ความหนาแน่น (Density) ของตัวอย่าง

3) การทดสอบความหนาแน่น (Density Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D792

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น g/cm^3 ส่วนความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของวัสดุ เทียบกับมวลต่อปริมาตรของน้ำกลั่นที่ปราศจากแก๊ส ณ อุณหภูมิหนึ่ง

นำตัวอย่างมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นซึ่งจะใช้ตัวอย่างในลักษณะที่เป็นเม็ดพลาสติก โดยเลือกขนาดเม็ดพลาสติกที่มีขนาดเท่าๆ กันแล้วใส่ลงไปเครื่องทดสอบความหนาแน่นด้วยการชั่งน้ำหนัก เอาตัวอย่างใส่ด้านบนตะกร้าจะอ่านค่าเป็นผลของการชั่งอากาศและใส่ตัวอย่างลงด้านล่างของตะกร้าจะอ่านค่าเป็นผลของการชั่งน้ำ

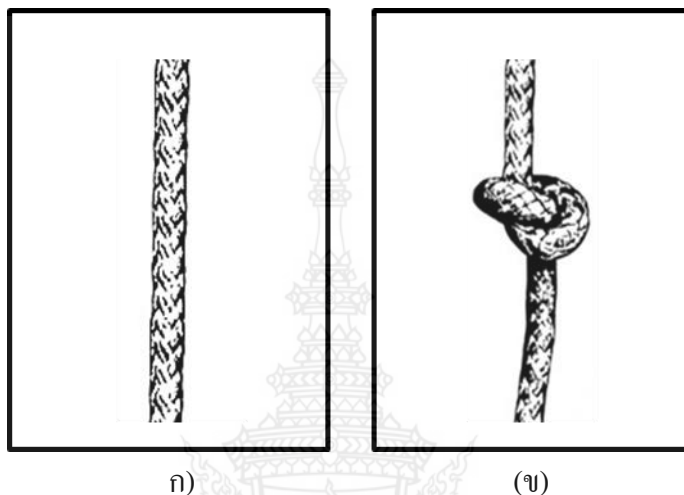


รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความหนาแน่นด้วยการชั่งน้ำหนัก

3.4.3 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tenacity) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01

1) การหาเบอร์ด้าย นำเส้นใยที่ได้จากการม้วนเก็บจากเครื่องมือม้วนเก็บเส้นใย (Winder) มาหาขนาดของเส้นใย (Denier) ด้วยเครื่องกรอด้าย (Fiber Fineness) โดยนำเส้นด้ายมาหมุนพันรอบแกนกรอด้ายจำนวน 9 รอบ เก็บสูตรละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นไปคำนวณหาเบอร์ด้าย โดยเทียบกับน้ำหนักเป็นกรัมของเส้นใยที่ยาว 900 เมตร เพื่อนำค่าที่ได้ไปเป็นตัวแปรในการหาค่าการทดสอบต่อแรงดึงของเส้นใย

2) การเตรียมตัวอย่าง นำเส้นด้ายจากข้อ 1 (การหาเบอร์ด้าย) มาตัดให้มีความยาวประมาณ 30 cm นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบการทนต่อแรงดึงด้วยเครื่อง Tensile Strength ที่ใช้ Load Cell ขนาด 50 kN Gate Length ความยาว 250 mm. และความเร็วในการดึง 50 mm/min ด้วยวิธีปกติและวิธีมัดปม



รูปที่ 3.7 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการเตรียมการทดสอบการทนต่อแรงดึง (ก) วิธีปกติ และ (ข) วิธีมัดปม

3.4.4 การทดสอบสมบัติการย่อยสลายได้ (Degradability)

1) การเตรียมเส้นใยในการย่อยสลาย

(1) นำเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวมาตัดให้ได้ความยาว 30 cm แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลไว้และบรรจุใส่ถุงเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบ

(2) บรรจุเส้นใยลงในถุงชาแบบไนลอนแล้วเขียนน้ำหนักที่ชั่งได้ติดไว้ที่ถุง

2) การเตรียมน้ำที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย

(1) น้ำทะเลธรรมชาติ นำมาจากท่าเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ที่มีความลึกของระดับผิวน้ำ 1 เมตร และมีค่าความเค็ม 30 ppt

(2) น้ำทะเลเทียม ทำการเตรียมโดยใช้เกลือยี่ห้อ AquaRaise 500 กรัมต่อน้ำ 15 ลิตรปรับสภาพให้มีความเค็ม โดยใช้เครื่องวัดความเค็มตรวจดูค่าความเค็มให้มีค่าอยู่ที่ 30 ppt ถ้าได้ไม่ถึงค่าที่กำหนดก็ปรับโดยเติมเกลือเพิ่มลงไป

(3) น้ำกลั่น

3) วิธีการทดสอบการย่อยสลายในน้ำ

เมื่อเตรียมตัวอย่างของเส้นใยและน้ำเสร็จแล้วให้นำเส้นใยที่ได้ไปแช่ลงในน้ำ โดยจะเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 ครั้ง คือ 15 วัน, 1 เดือน, 2 เดือน, 3 เดือน และ 4 เดือน ซึ่งในแต่ละวันจะทำการบันทึกผลของอุณหภูมิ ค่าความเค็ม และค่า pH เมื่อครบระยะแล้วจะนำเส้นใยมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหา %ของน้ำหนักที่หายไป ศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วย SEM



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากการศึกษาการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) และ พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) อัตราส่วน 70/30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ที่มีการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ได้แก่ PEG และ EBS ที่ได้ทำการขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว นำตัวอย่างที่ขึ้นรูปเป็นเส้นใยมาทำการทดสอบเพื่อหาสมบัติต่าง ๆ ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ที่มีการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ทำการผสมและขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวที่อุณหภูมิ 180-210 °C ได้เส้นใยแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เส้นใยของพอลิเมอร์บริสุทธิ์และพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

จากการขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวแล้วทำการม้วนเก็บเข้าหลอดด้วยเครื่องมือม้วนเก็บเส้นใยในครั้งที่ 1 นี้ พบว่า POM บริสุทธิ์มีความสามารถในการม้วนเก็บเข้าหลอดด้วยแบบต่อเนื่องไม่ขาดง่ายได้ดีกว่า PLA บริสุทธิ์ กรณีพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมและไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์นั้น สามารถม้วนเก็บเส้นใยได้อย่างต่อเนื่องได้ทุกสูตร จากนั้นนำหลอดด้ายที่ม้วนเก็บในครั้ง

ที่ 1 มาดิ่งยึดต่อในครั้งที่ 2 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นใย ด้วยความเร็วในการดิ่งที่แตกต่างกันดัง
แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการดิ่งยึดครั้งที่ 2

ลำดับที่	ตัวอย่าง	5/9 (3.3x)*	5/20 (5.5x)*	5/25 (6.5x)*	5/30 (7.5x)*
1	POM	-	✓	✓	✓
2	POM PEG1	-	✓	✓	✗
3	POM EBS1	-	✓	✓	✗
4	PLA	✓	✗	✗	✗
5	PLA PEG1	✓	✗	✗	✗
6	PLA EBS1	✓	✗	✗	✗
7	S	-	✓	✓	✓
8	SPEG0.5	-	✓	✓	✗
9	SPEG1	-	✓	✓	✗
10	SPEG1.5	-	✓	✓	✓
11	SEBS0.5	-	✓	✓	✗
12	SEBS1	-	✓	✓	✗
13	SEBS1.5	-	✓	✓	✓

✓ แสดงความสามารถในการม้วนเก็บเส้นใยที่ม้วนเก็บได้

✗ แสดงความสามารถในการม้วนเก็บเส้นใยที่ม้วนเก็บไม่ได้

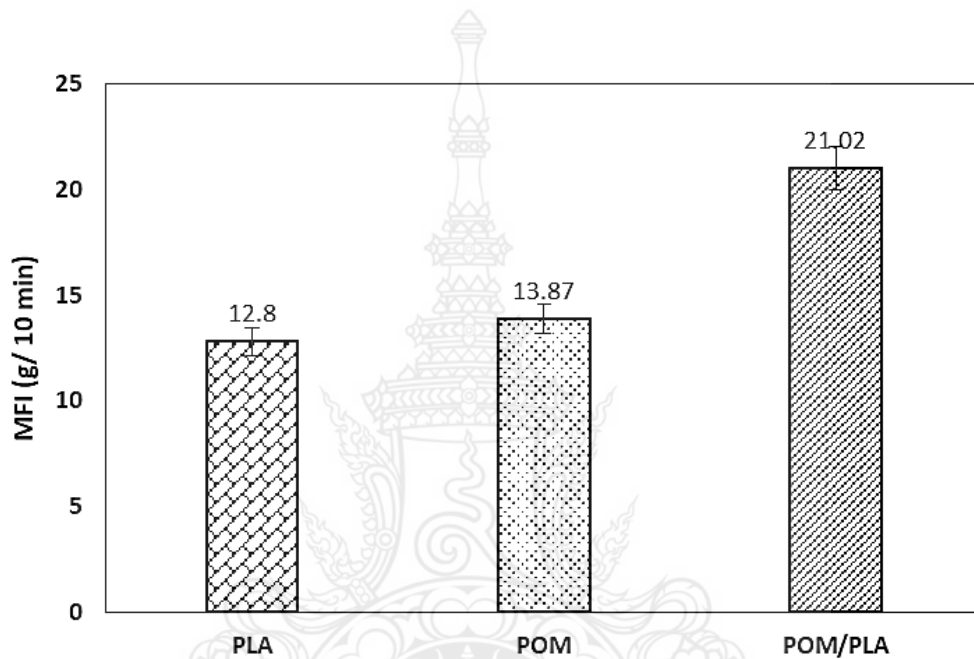
- ไม่ได้ทำการทดสอบ

* ค่า Expansion ratio

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA

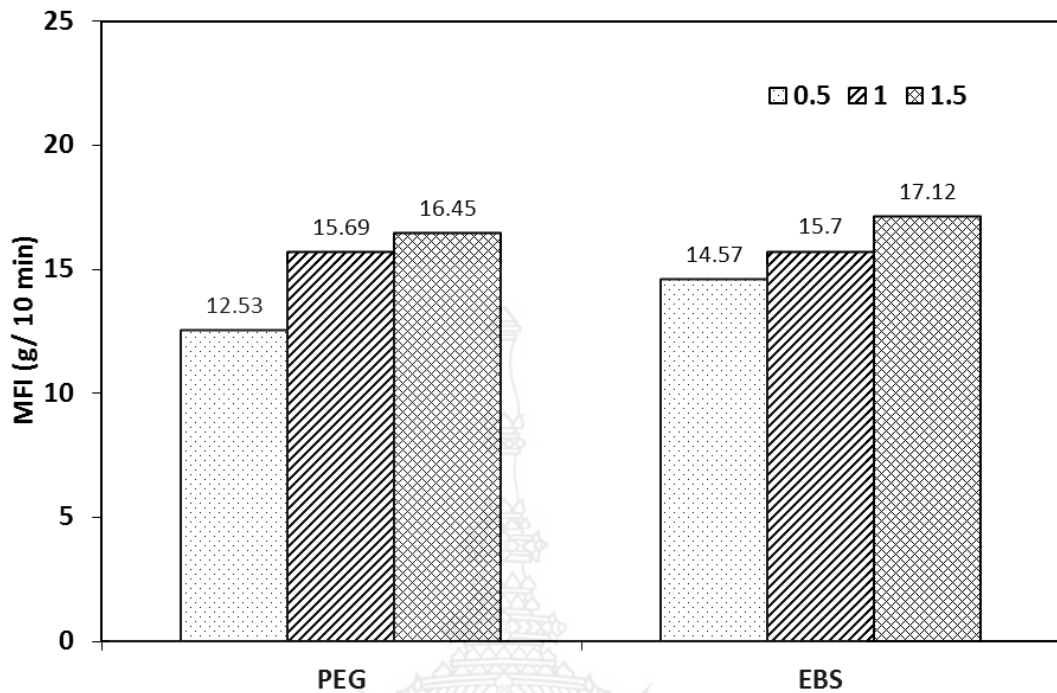
4.2.1 ผลการทดสอบการไหลด้วยเครื่องทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

จากการทดสอบการไหลของพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด ตามมาตรฐาน ASTM D1238 นำค่าอัตราการไหลของมวลหลอม (MFR) ที่ 210 °C มาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าดัชนีการไหลของพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าดัชนีการไหลของ PLA บริสุทธิ์มีค่าประมาณ 12.8 g/10 min POM บริสุทธิ์มีค่าประมาณ 13.87 g/10 min เมื่อนำ POM ผสมกับ PLA ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทำให้ค่าดัชนีการไหลสูงขึ้นเป็น 21.02 g/10 min และจากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ใช้คือ PEG และ EBS เติมที่ปริมาณ 0.5, 1 และ 1.5 phr แสดงผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าดัชนีการไหลของพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลกติกแอซิดที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าดัชนีการไหลของ POM/PLA ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ชนิด EBS ให้ค่าดัชนีการไหลที่สูงกว่าการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ชนิด PEG เล็กน้อยและการเติมสารหล่อลื่นที่ปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์เข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ทำให้ความหนืดลดลง สามารถไหลได้ดีขึ้น

4.2.2 ผลการวัดความหนาแน่น (Density Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D792

ปกติน้ำจืดมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.00 g/cm^3 ส่วนน้ำทะเลมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่ผิวน้ำของมหาสมุทรอยู่ที่ 1.025 g/cm^3 จากตารางที่ 3 พบว่าความหนาแน่นของ PLA บริสุทธิ์อยู่ที่ 0.97 g/cm^3 ซึ่งน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานเป็นแหวนจะลอยอยู่บนน้ำ ส่วน POM บริสุทธิ์ และพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ทั้งที่เติมและไม่เติม

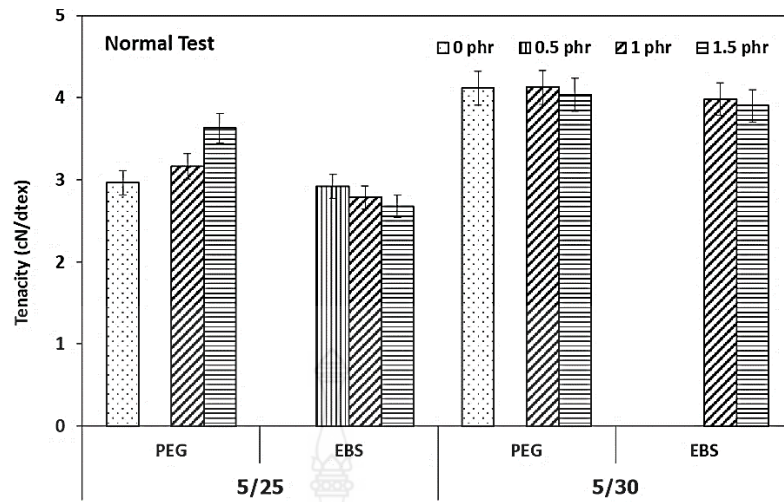
สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์นั้น มีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแหวนได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

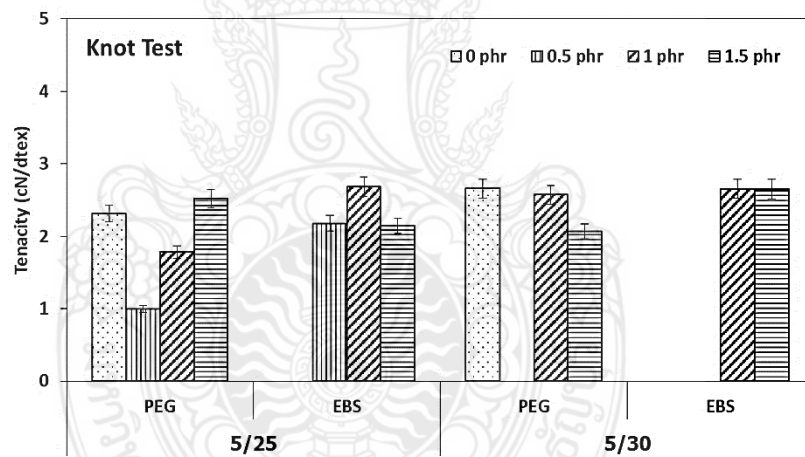
ลำดับที่	ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1	POM	1.39
2	POM PEG1	1.30
3	POM EBS1	1.15
4	PLA	0.97
5	PLA PEG1	1.33
6	PLA EBS1	1.03
7	SPEG0.5	1.13
8	SPEG1	1.16
9	SPEG1.5	1.21
10	SEBS0.5	1.19
11	SEBS1	1.22
12	SEBS1.5	1.22

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA

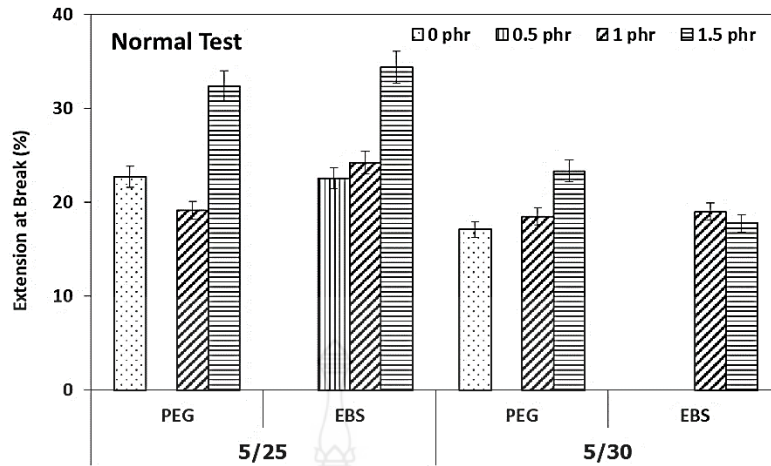
ความต้านทานต่อแรงดึง (Tenacity) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ในการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใย POM/PLA ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ แบบปกติและแบบมัดปม แสดงผลดังรูป 4.4-4.7



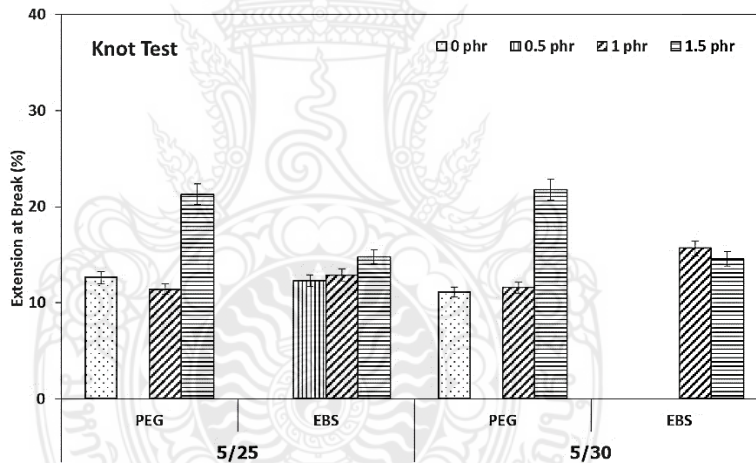
รูปที่ 4.4 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีปกติ)



รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีมัดปม)



รูปที่ 4.6 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีปกติ)



รูปที่ 4.7 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ POM/PLA (70/30) ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ทดสอบด้วยวิธีมัดปม)

กรณีการดึงยึดเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ครั้งที่ 1 นั้น ใช้ความเร็วในการดึง 5 m/min หรือคิดเป็น 1.5 เท่า และเมื่อนำเส้นใยมาดึงยึดในครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 90°C ด้วยความเร็วในการดึงยึดที่แตกต่างกัน ได้แก่ 20, 25 และ 30 m/min เพื่อให้โมเลกุลของเส้นใยเกิดการจัดเรียงตัวให้ยึดได้มากที่สุด เพื่อเพิ่มความแข็งแรง จากรูปที่ 5 เปรียบเทียบเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ถูกดึงยึดด้วยความเร็วในการดึงยึดที่ 5/25

กับ 5/30 หรือคิดเป็น 6.5 เท่า และ 7.5 เท่าตามลำดับนั้น พบว่าเส้นใยที่ 5/30 มีความทนทานต่อแรงดึงมากกว่าที่ 5/25 เนื่องจากโมเลกุลได้รับความร้อนและถูกดึงยืด จึงเกิดการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ PEG มีผลต่อเส้นใยที่ 5/25 ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้น แต่ส่งผลความทนทานต่อแรงดึงให้กับเส้นใย 5/30 เพียงเล็กน้อย เนื่องจากการในการดึงยืดครั้งที่ 2 โมเลกุลเส้นใยได้ถูกยืดและเกิดการจัดเรียงตัวไปแล้ว การเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ส่งผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์นั้น เส้นใยที่ 5/25 มีการยืดตัวที่มากกว่าที่ 5/30 เนื่องจากเส้นใยที่ 5/30 โมเลกุลได้ถูกดึงยืดมากกว่าที่ 5/25 ดังนั้นการเพิ่มแรงดึงยืดให้กับเส้นใย โมเลกุลของที่ 5/25 จึงสามารถยืดตัวได้มากกว่า และเมื่อเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ช่วยเพิ่มการยืดตัว ณ จุดขาดที่ปริมาณการเติมที่ 1.5 phr

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์

4.3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

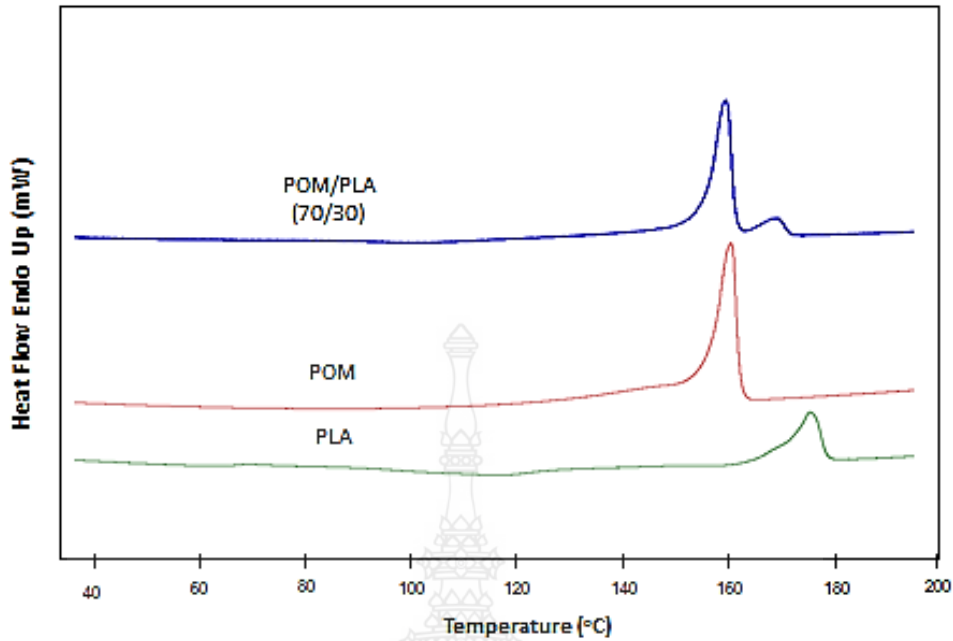
จากการนำเส้นใยพอลิออกซีเมทิลีนบิสฟลูออรีน พอลิแลคติกแอซิดบิสฟลูออรีนบิสฟลูออรีน พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิดที่อัตราส่วนผสม 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทั้งที่เติมและไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ไปทดสอบทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์แสดงผลดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (Crystallinity) โดยใช้สมการที่ 1 [43-44]

$$\chi_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100 \quad (4.1)$$

โดยที่ ΔH_m^0 = เอนทาลปีของการหลอมเหลวที่มีความเป็นผลึก 100 %

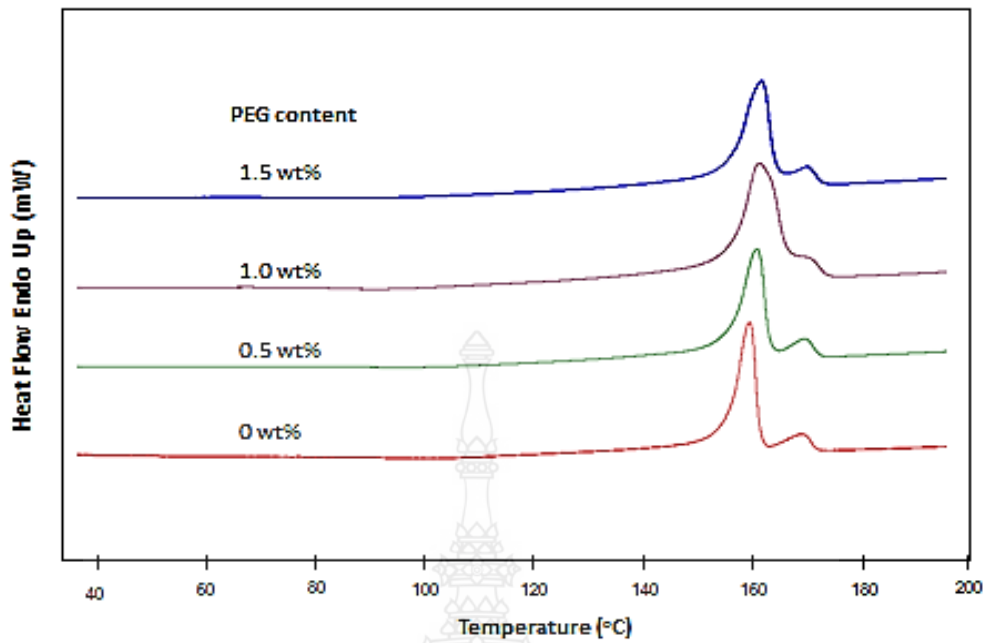
POM (93.7 J/g) และ PLA (326 J/g)

ΔH_m = เอนทาลปีของการหลอมเหลว

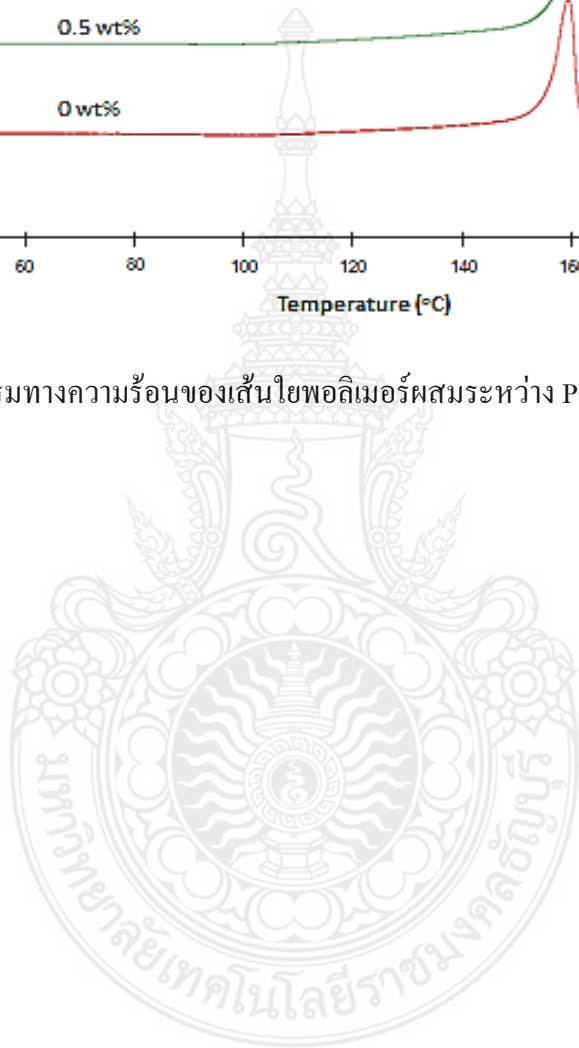


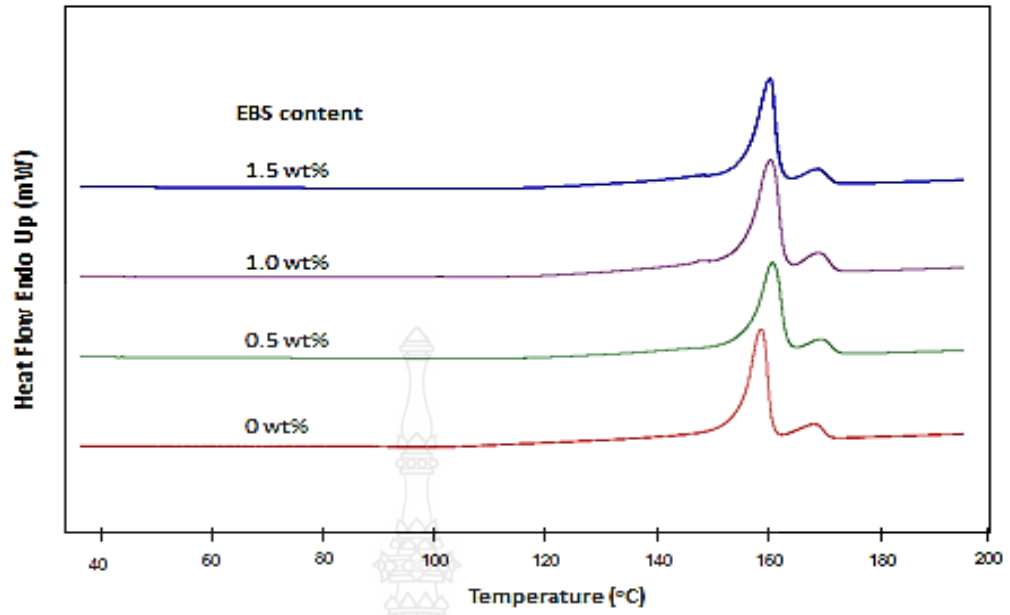
รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใย POM, PLA และ POM/PLA (70/30)

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนข้างต้น พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์เป็น 175.40°C อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิออกซีเมทิลีนบริสุทธิ์เป็น 160.27°C เมื่อเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ทั้ง PEG และ EBS ที่ปริมาณ 1 phr ดังรูปที่ 4.9-4.10 พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่เปลี่ยนแปลง และไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิออกซีเมทิลีนและพอลิแลคติกแอซิด กรณีของพอลิเมอร์ผสมของเส้นใย POM/PLA ที่ไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ในรูปที่ 4.8 แสดงพีคของเทอร์โมแกรมทางความร้อน 2 พีค คือที่อุณหภูมิ 159.28°C เป็นของพอลิออกซีเมทิลีนและที่อุณหภูมิ 168.95°C เป็นของพอลิแลคติกแอซิด พีคแยกกันชัดเจน แสดงถึงการไม่เข้ากันในการผสมของพอลิเมอร์ทั้งสอง



รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม PEG





รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม EBS



ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

ตัวอย่าง	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	X _c (%)	X _c (%)
POM	160.27	68.82	-	-	20.68	-
POM PEG1	160.57	74.27	-	-	22.77	-
POM EBS1	162.47	65.43	-	-	20.07	-
PLA	-	-	175.40	29.17	-	35.18
PLA PEG1	-	-	174.93	29.17	-	31.69
PLA EBS1	-	-	174.28	32.19	-	34.97
S	159.28	59.22	168.95	7.23	14.08	3.98
SPEG0.5	169.52	5.80	160.58	48.95	13.18	1.33
SPEG1	170.69	1.23	161.11	42.98	15.01	6.30
SPEG1.5	170.05	3.67	161.57	45.92	16.40	7.69
SEBS0.5	170.25	5.39	161.41	45.63	14.85	5.61
SEBS1	169.84	6.30	161.02	49.37	15.14	6.84
SEBS1.5	169.70	5.17	160.96	48.44	13.99	5.84

เมื่อเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ PEG ที่ปริมาณต่างๆ ลงในพอลิเมอร์ผสมของ POM/PLA ดังรูปที่ 4.9 พบว่า ในพอลิเมอร์ผสมค่า T_m ของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงเคลื่อนเข้าหา T_m ของ POM แสดงให้เห็นว่ามีการกระจายของอนุภาค PLA ใน POM เมทริกซ์และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ ทั้งสองจากการรวมตัวเข้ากันได้บางส่วน และเมื่อเพิ่มปริมาณของ PEG เท่ากับ 1 phr และ 1.5 phr ค่า T_m ของพอลิเมอร์ทั้งสอง shift เข้าหากันแสดงให้เห็นการรวมตัวกันของพอลิเมอร์ทั้งสองที่ดีขึ้น และเมื่อเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ EBS ที่ปริมาณต่างๆ ลงในเส้นใยพอลิเมอร์ผสมของ POM/PLA ดังรูปที่ 4.10 พบว่า การเติม EBS แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m ของพอลิเมอร์ทั้งสอง เหมือนกับการเติม PEG การ shift เข้าหากันของค่า T_m ของ PLA มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

4.5 ผลการทดสอบการย่อยสลายของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA

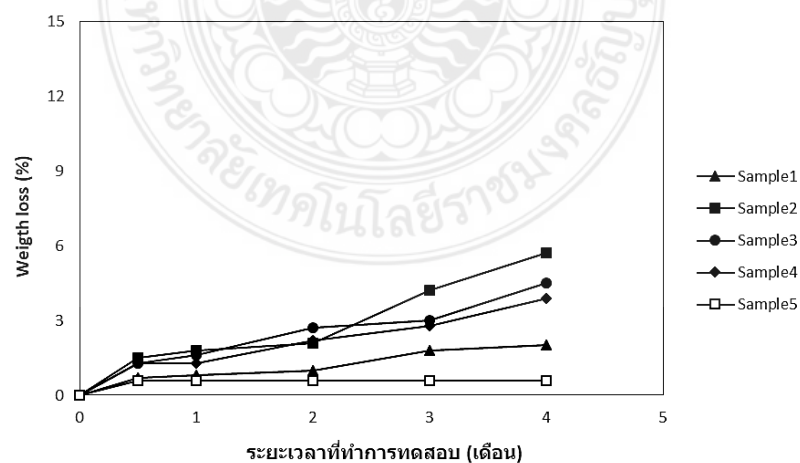
จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด จำนวน 5 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.4 ทดสอบการย่อยสลาย โดยนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยทางการค้า โดยศึกษาการย่อยสลายของเส้นใยในน้ำทะเลเทียม, น้ำทะเลธรรมชาติ และน้ำกลั่น และวัดการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ชื่อตัวอย่างที่ทดสอบการย่อยสลาย

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ชื่อเรียกตัวอย่าง
1	POM (V20-HE)	Sample1
2	PLA (TP4000)	Sample2
3	V20-HE+TP4000	Sample3
4	V20-HE+TP4000+PEG1%	Sample4
5	Nylon 6	Sample5

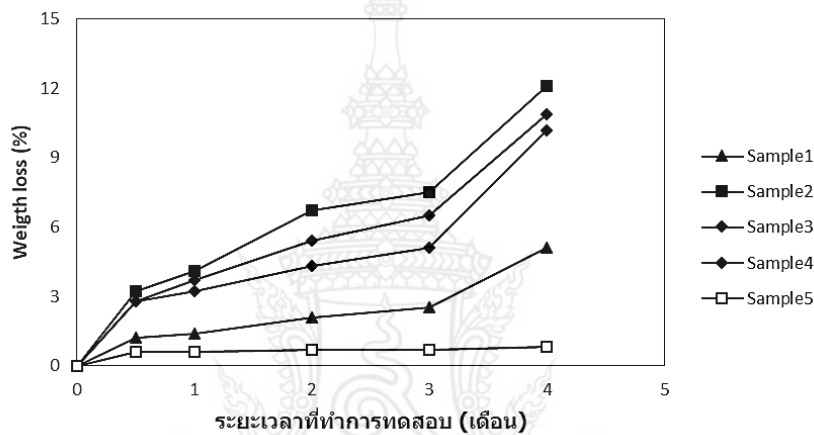
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างที่ทดสอบการย่อยสลาย

น้ำ	เวลา	% น้ำหนักที่หายไป				
		Sample1	Sample2	Sample3	Sample4	Sample5
น้ำกลั่น	15 วัน	0.7	1.5	1.3	1.3	0.6
	1 เดือน	0.8	1.8	1.6	1.3	0.6
	2 เดือน	1.0	2.1	2.7	2.2	0.6
	3 เดือน	1.8	4.2	3.0	2.8	0.6
	4 เดือน	2.0	5.7	4.5	3.9	0.6
น้ำทะเลเทียม	15 วัน	1.2	3.2	2.8	2.8	0.6
	1 เดือน	1.4	4.1	3.7	3.2	0.6
	2 เดือน	2.1	6.7	5.4	4.3	0.7
	3 เดือน	2.5	7.5	6.5	5.1	0.7
	4 เดือน	5.1	12.1	10.9	10.2	0.8
น้ำทะเลธรรมชาติ	15 วัน	1.8	5.0	4.1	4.0	0.6
	1 เดือน	2.0	6.3	6.0	5.8	0.7
	2 เดือน	2.8	8.4	7.2	6.7	0.8
	3 เดือน	3.0	9.0	8.1	7.7	0.8
	4 เดือน	6.1	12.8	11.6	10.8	0.9

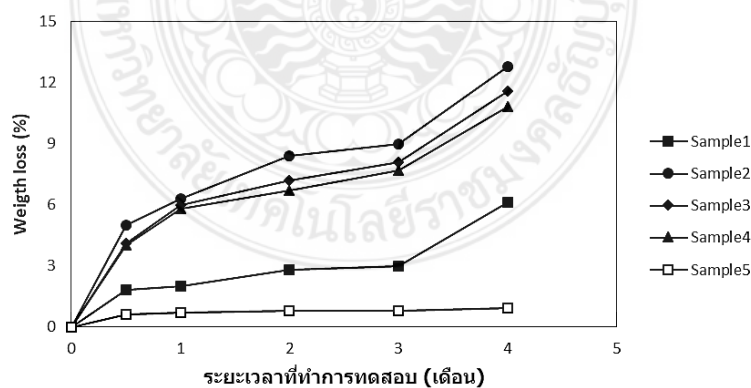


รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปนั้นมีค่าไม่สูงมาก เนื่องจากเส้นใยที่ทดสอบไม่สามารถย่อยสลายได้ดีในน้ำกลั่น เพราะว่าการเสื่อมสภาพของ PLA นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของ โมเลกุล โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ (Salinity) การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งในน้ำกลั่นจะมีค่าของปัจจัยเหล่านี้ต่ำกว่าน้ำทะเลเทียบกับน้ำทะเลธรรมชาติ โดยมีความเค็มที่วัดได้จากการทดลองอยู่ที่ 2 ppm และค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) อยู่ที่ 6 จึงทำให้เส้นใยที่นำไปทดสอบมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปน้อย



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำทะเลเทียม

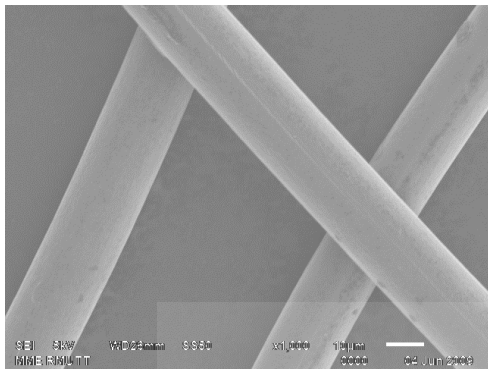


รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายในน้ำทะเลธรรมชาติ

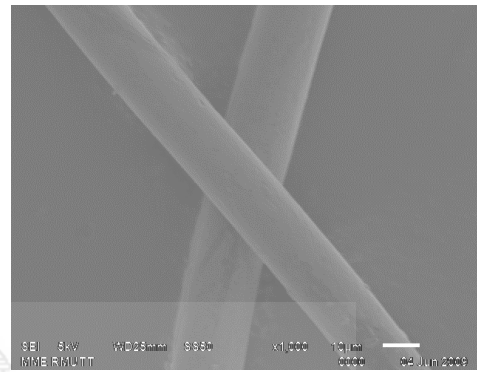
จากรูปที่ 4.12-4.13 ที่แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเส้นใยที่ทดสอบในน้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติ พบว่า เส้นใย PLA (TP4000) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปเยอะที่สุดในทั้ง 3 ตัวอย่างน้ำที่นำไปแช่ คือ น้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติ ซึ่งมีค่ามากกว่าเส้นใย POM เนื่องจาก PLA เป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) สามารถย่อยสลายได้ เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ เมื่อนำมาแช่ในน้ำกลั่นอาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากนัก อาจจะเป็นผลมาจากค่าความเค็มและค่าความเป็นกรด -ด่าง (pH) ที่อยู่ในน้ำ แต่พอมาทดสอบแช่ทะเลเทียมและน้ำทะเลธรรมชาติพบว่าน้ำหนักหายไปเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา 15 วัน, 1 เดือน, 2 เดือน, 3 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ เนื่องมาจากน้ำทะเลเทียมและน้ำทะเลธรรมชาติมีค่า pH และค่าความเค็มที่วัดได้จากการทดลองมีค่าที่สูงกว่าค่า pH และค่าความเค็มของน้ำกลั่น โดยจากการทดลองอยู่ในช่วง 28-30 ppm และค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) อยู่ที่ 7 จึงส่งผลให้เส้นใย PLA มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปสูง แต่เมื่อนำเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA ก็พบว่ามีกรย่อยสลายใกล้เคียงกับเส้นใย PLA แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปก็ยังเพิ่มขึ้นในน้ำทะเลมากกว่าน้ำกลั่น

4.4.2 ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

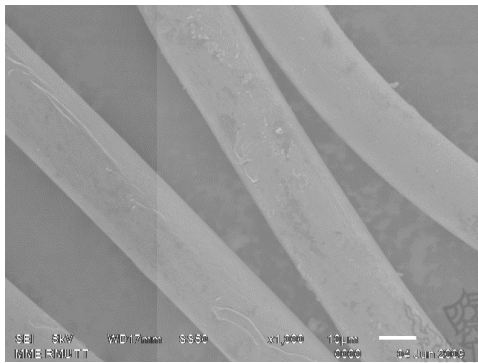
ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาพบว่าตัวอย่างก่อนและหลังแช่น้ำ ครบระยะเวลา 4 เดือน แสดงดังรูปที่ 4.14 - 4.18 ตามลำดับ



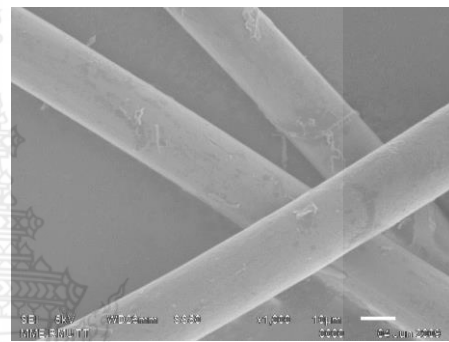
(ก) Sample 1



(จ) น้ำกลั่น

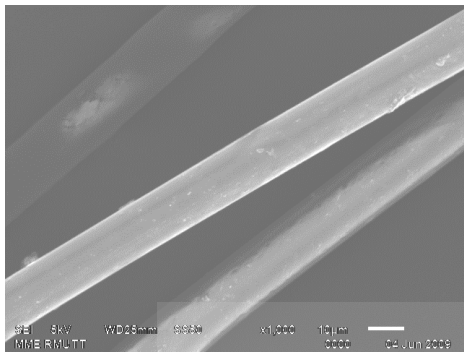


(ค) น้ำทะเลเทียม

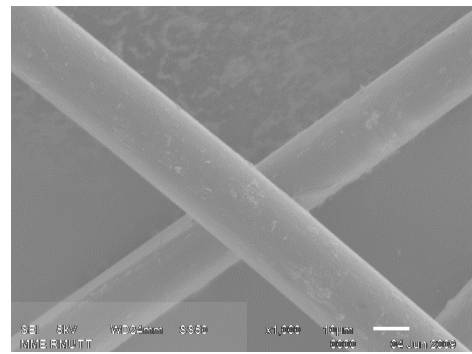


(ง) น้ำทะเลธรรมชาติ

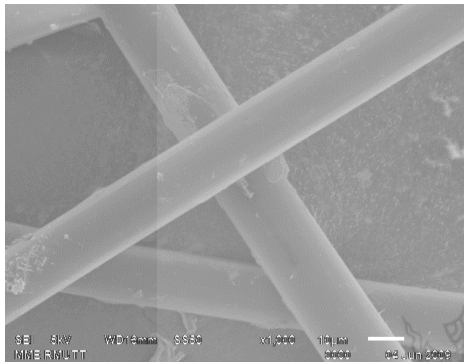
รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยพอลิออกซิเมทิลีนบริสุทธิ์ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า)



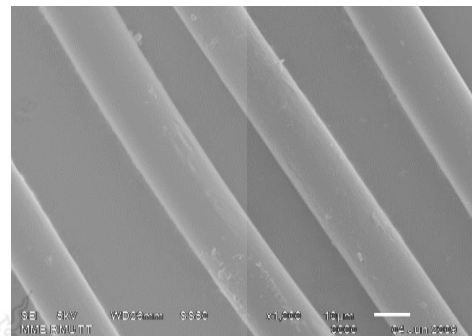
(ก) Sample 2



(ข) น้ำกลั่น

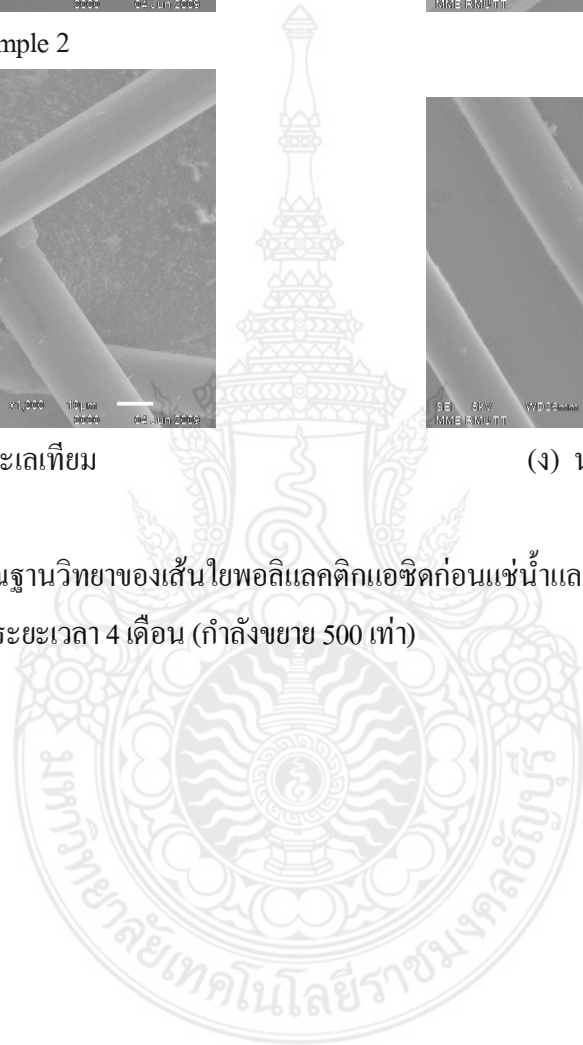


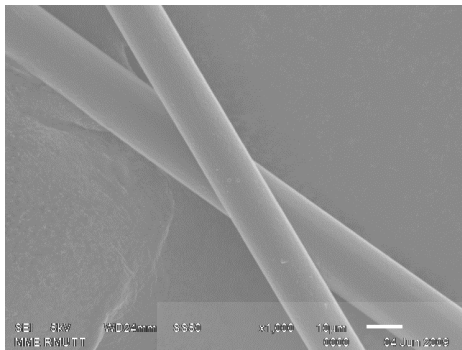
(ค) น้ำทะเลเทียม



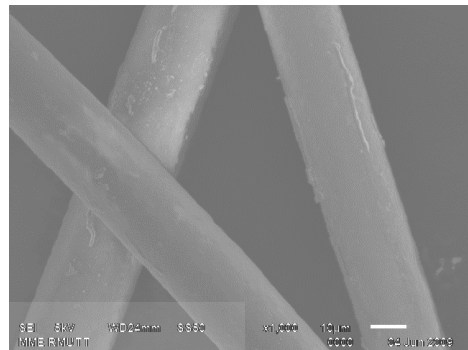
(ง) น้ำทะเลธรรมชาติ

รูปที่ 4.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า)

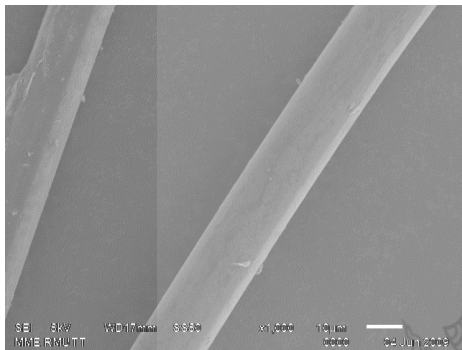




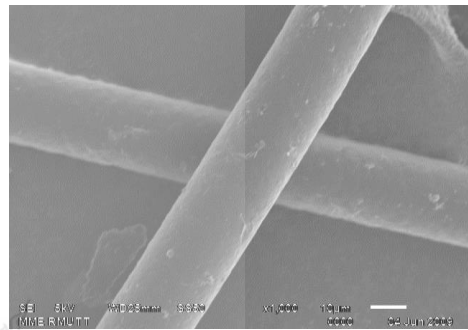
(ก) Sample 3



(ข) น้ำกลั่น

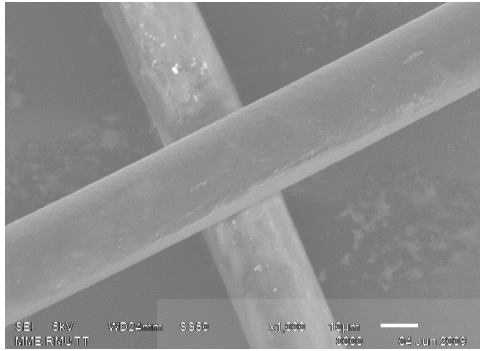


(ค) น้ำทะเลเทียม

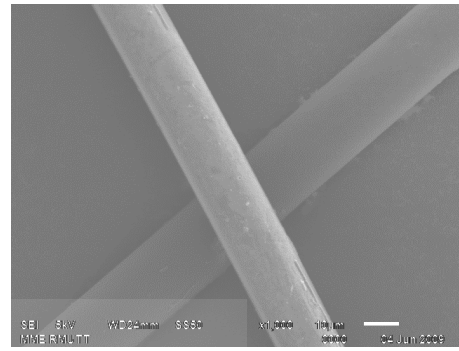


(ง) น้ำทะเลธรรมชาติ

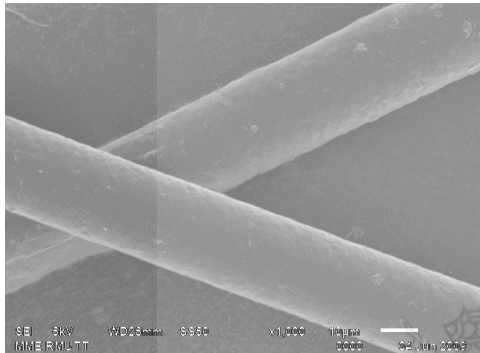
รูปที่ 4.16 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า)



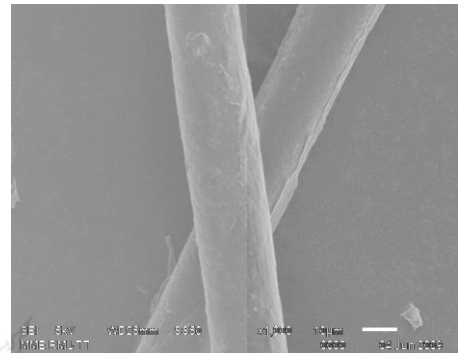
(ก) Sample 4



(ข) น้ำกลั่น

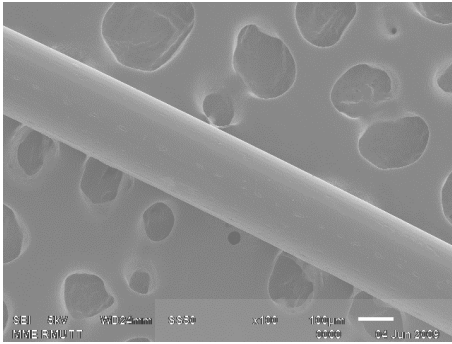


(ค) น้ำทะเลเทียม

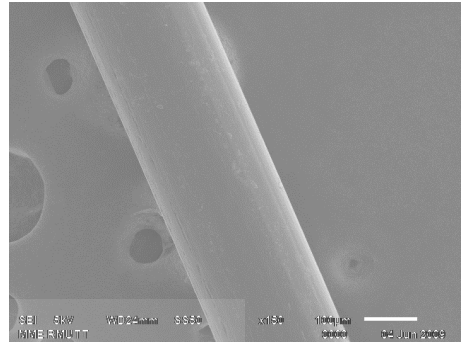


(ง) น้ำทะเลธรรมชาติ

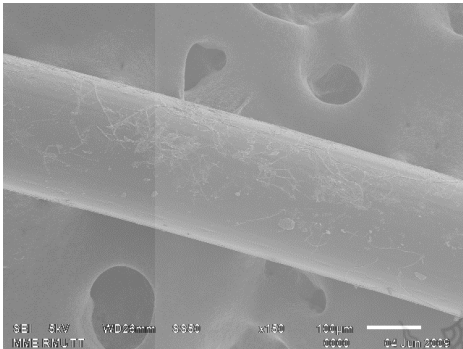
รูปที่ 4.17 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA (70/30) ที่เติม PEG 1% ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า)



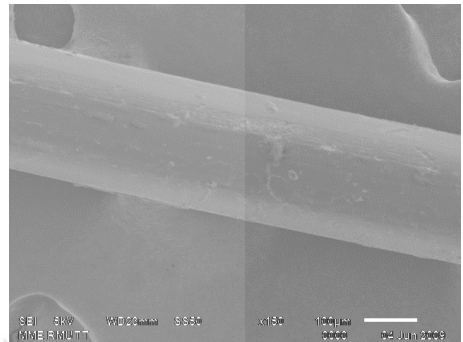
(ก) Sample 5



(ข) น้ำกลั่น



(ค) น้ำทะเลเทียม



(ง) น้ำทะเลธรรมชาติ

รูปที่ 4.18 ลักษณะลักษณะฐานวิทยาของเส้นใย Nylon 6 ก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน (กำลังขยาย 500 เท่า)

จากรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.18 แสดงลักษณะลักษณะฐานของตัวอย่างทั้งก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น, น้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติ ตามลำดับ พบว่าลักษณะลักษณะฐานวิทยาในส่วนของเส้นใยก่อนแช่น้ำพบว่าเส้นใยมีผิวเรียบ ไม่ขรุขระ แต่เมื่อนำมาแช่น้ำก็พบว่าพื้นผิวของเส้นใยในน้ำกลั่นนั้นมีผิวที่ขรุขระน้อยกว่าที่แช่ในน้ำทะเลเทียมและในน้ำทะเลธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่นำมาทดสอบการย่อยสลายที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก Nylon 6 ไม่ย่อยสลายในน้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม หรือน้ำทะเลธรรมชาติ หรืออาจต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่า 4 เดือน ทำให้เห็นลักษณะพื้นผิวคล้ายกับตอนก่อนแช่น้ำ คือ มีลักษณะผิวที่เรียบ ไม่ขรุขระ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสมบัติของเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) และพอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) ที่อัตราส่วน 70/30 ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ในปริมาณต่างๆ และการทดสอบการย่อยสลาย สามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene, POM) และพอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) ที่อัตราส่วน 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก นั้นศึกษาชนิดและปริมาณการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์โดยที่เลือกใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ 2 ชนิด คือ Polyethylene glycol, (PEG) กับ Ethylene-bis-stearamide (EBS) เติมที่ปริมาณ 0.5, 1 และ 1.5 phr ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว หัวคายแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) จำนวน 24 รู หน้าตัดวงกลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 mm. และ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 180- 210°C ความเร็วรอบของสกรู 8 rpm และทำการม้วน เก็บเส้นใย 2 ครั้ง ด้วยความเร็วในการดึงยึด คือ ครั้งที่ 1 เป็น 5m/min ครั้งที่ 2 มีการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 90°C และใช้ความเร็วในการดึงยึดเป็น 20, 25 และ 30 m/min

5.1.2 ค่าดัชนีการไหลของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ชนิด EBS ให้ค่าดัชนีการไหลที่สูงกว่าการเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ชนิด PEG และการเติมสารหล่อลื่นที่ปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์เข้าไปแทรกกระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ทำให้ความหนืดลดลง สามารถไหลได้ดีขึ้น

5.1.3 การเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ PEG และ EBS ลงในเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่ปริมาณต่างๆ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม รวมถึงผลของความเร็วรอบในการดึงเส้นใยในครั้งที่ 2 ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม POM/PLA เช่นกัน

5.1.4 การดึงยึดเส้นใยเมื่อให้ความร้อนและดึงยึดด้วยความเร็วสูง ช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงดึงมากขึ้น

5.1.5 จากการทดสอบการย่อยสลายแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปก็พบว่าเส้นใยที่ทดสอบในน้ำทะเลธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปเยอะที่สุดในทั้ง 3 ตัวอย่างน้ำที่นำไปแช่ คือน้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลธรรมชาติ โดยเส้นใย PLA มีค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปมากกว่าเส้นใย POM อาจจะเป็นผลมาจากค่าความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่อยู่ในน้ำ แล้วยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา 15 วัน, 1 เดือน, 2 เดือน, 3 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ ส่วนเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง POM/PLA ก็พบว่ามีการย่อยสลายใกล้เคียงกับเส้นใย PLA แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปก็ยังเพิ่มขึ้นในน้ำทะเลมากกว่าน้ำกลั่น

5.1.6 จากการทดสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของเส้นใยที่ทดสอบการย่อยสลายพบว่าลักษณะสัญญาณวิทยาในส่วนของเส้นใยก่อนแช่น้ำพบว่าเส้นใยมีผิวเรียบ ไม่ขรุขระ แต่เมื่อนำมาแช่น้ำก็พบว่าพื้นผิวของเส้นใยในน้ำกลั่นนั้นมีผิวที่ขรุขระน้อยกว่าที่แช่ในน้ำทะเลเทียมและในน้ำทะเลธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเส้นใยที่นำมาทดสอบการย่อยสลายที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก Nylon 6 ไม่ย่อยสลายในน้ำกลั่น น้ำทะเลเทียม หรือน้ำทะเลธรรมชาติ หรืออาจต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่า 4 เดือน ทำให้เห็นลักษณะพื้นผิวคล้ายกับตอนก่อนแช่น้ำ คือ มีลักษณะผิวที่เรียบ ไม่ขรุขระ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการย่อยสลายได้ของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม POM/PLA ที่เปรียบเทียบกับ Nylon 6 ในระยะเวลาของการทดสอบที่นานกว่า 4 เดือน

5.2.2 ควรศึกษาวิธีการย่อยสลายของเส้นใยด้วยวิธีอื่น เช่น การย่อยสลายด้วยเอนไซม์

บรรณานุกรม

- [1] Kongkhlang T., Tashiro K., Kotaki M., Chirachanchai S. "Electrospinning as a new technique to control the crystal morphology and molecular orientation of polyoxymethylene nanofibers", *J Am Chem Soc*, , pp. 322-329. 2011.
- [2] Kongkhlang T., Kotaki M., Kousaka Y., Umemura T., Nakaya D., Chirachanchai S. "Electrospun polyoxymethylene: spinning conditions and its consequent nanoporous nanofiber", *Polymer Sci*. pp. 239-256. 2008.
- [3] Perego G., Cella GD., Bastioli C. "polyoxymethylene", *J Appl Polym Sci*. pp. 253-263. 2002.
- [4] Lim LT., Auras R., Rubino M. "Processing technologies for poly(lactide)", *Polym Sci*, 2008.
- [5] Zhu ZX., Xiong CD., Zhang LL., Yuan ML., Deng XM. (1999). "Preparation of biodegradable polylactide-co-poly(ethylene glycol) copolymer by lactide reacted poly(ethylene glycol)", *Eur Polym J*, pp. 2134-2144. 2011.
- [6] Tasaka F., Miyazaki H., Ohya Y., Ouchi T. (1999). Synthesis of comb-type biodegradable Polylactide through depsipeptide-lactide copolymer containing serineresidues. *Polymer*, pp. 2100-2104, 1999.
- [7] Chen XH, Gross RA. 1999. "Versatile copolymers from [L]-lactide and [D]-xylofuranose", *Macromolecules*, pp. 2705-2715, 1999.
- [8] Ohkoshi I., Abe H., Doi Y. "Miscibility and solid-state structures for blends of poly[(S) lactide] with atactic poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate]", *Polymer*. pp. 2839-2848. 2000.
- [9] Lostocco MR., Borzacchiello A., Huang SJ. "Binary and ternary poly(lactic acid) poly(epsilon-caprolactone) blends: The effects of oligo-epsilon-caprolactones upon mechanical properties", *Macromol Symp*. 1998.
- [10] Gajria AM., Dave V., Gross RA., McCarthy SP. "Miscibility and biodegradability of blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl acetate)", *Polymer*, 1996
- [11] Eguiburu JL., Irui JJ., Fernandez-Berridi MJ., Roman JS. "Blends of amorphous and crystalline polylactides with poly(methyl methacrylate) and poly(methyl acrylate): miscibility study", *Polymer*, 1998.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Choi NS., Kim CH., Cho KY., Park JK. “Morphology and hydrolysis of PCL/ PL blends compatibilized with P(LLA-co-e-CL) or P(LLA-b-e-CL)”, J Appl Polym Sci, 2002.
- [13] Tsuji H., Yamada T., Suzuki M., Itsuno S. “Blends of aliphatic polyesters. Part 7. Effects of poly(L-lactide-co-epsilon-caprolactone) on morphology, structure, crystallization, and physical properties of blends of poly(L-lactide) and poly(epsilon-caprolactone)”, Polym Int, 2003.
- [14] Aslan S., Calandrelli L., Laurienzo P., Malinconico M., Migliaresi C. “Poly (D ,L-Lactic acid)/poly (epsilon-caprolactone) blend membranes:preparation and morphological characterization”, J Mater Sci, 2000.
- [15] Focarete ML., Scandola M., Dobrzynski P., Kowalczuk M. “Miscibility and mechanical properties of blends of (L)-lactide copolymers with atactic poly (3-hydroxybutyrate)”, Polymer Sci, 2002.
- [16] Mathurosemontri S., Auwongsuwan P., Nagai S. and Hamada H. “The Effect of Injection Speed on Morphology and Mechanical Properties of Polyoxymethylene/Poly(Lactic Acid) Blend”, Energy Procedia, pp. 57-64, 2014.
- [17] Hama H., Tashiro K. “Structural changes in non-isothermal crystallization process of melt-cooled polyoxymethylene[II]: evolution of lamellar stacking structure derived from SAXS and WAXS data analysis”, Polymer Sci, 2013.
- [18] Li YY., Zhou T., Chen ZG., Hui JT., Li L., Zhang AM. “Non-isothermal crystallization process of polyoxymethylene studied by twodimensional correlation infrared spectroscopy” Polymer Sci, 2011.
- [19] Kongkhleng T., Reddy KR., Kitano T., Nishu T., Tashiro K. “Cocrystallization phenomenon of polyoxymethylene blend samples between the deuterated and hydrogenated species”, Polym J, 2011.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] Kongkhleng T., Kotaki M., Kousaka Y., Umemura T., Nakaya D., Chirachanchai S.
“Electrospun polyoxymethylene: spinning conditions and its consequent nanoporous nanofiber”, *Polymer*, pp. 4746-4752, 2008.
- [21] Bogaert JC., Coszach Ph. “Poly(lactic acids) a potential solution to plastic waste Dilemma”, *Macrom Symp*, 2000.
- [22] “The Textile institute Textile Terms and Definitions. Edition”, The Textile Institute Manchester, pp.1-1008, 1991.
- [23] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. “วิทยาศาสตร์เส้นใย”, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, pp.23, 2542.
- [24] ขวลิขิต แสงสวัสดิ์. “กระบวนการผลิตเทอร์โทพลาสติก 2”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, pp. 16-23, 2551.
- [25] กิตติพงษ์ คุ่มทรัพย์., จรรยา ตรีมงคล. “สารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต(Antistatic Additive) สำคัญอย่างไร”, *PLASTIC BI-WEEKLY NEWS*, pp.15., 2011.
- [26] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. “พอลิเมอร์ย่อยสลายได้”, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, pp.15-45, 2545.
- [27] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ., ชาคริต สิริสิงห์. “พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์ไหลอมเหลวและการนำไปใช้งาน” สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, pp.12-40, 2544.
- [28] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. “การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์”, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, pp.50-75, 2545.
- [29] เกศินี เหมวิเชียร และ พริยชา สุวรรณมาลา. “การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Polymer Characterization I: Differential Scanning Calorimeter (DSC).” กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) .
- [30] อำนวย ลากเกษมสุข. “Testing”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [31] Jompang L., Supaphorn Thumsorna, Jessada Wong Onb, Prayoon Surinb, Chiyaprek Apawetb, Tirapong Chaichalermwonga, Narin Kaabbuathongc, Narongchai O-Charoena, and Natee Srisawata. “Poly(lactic acid) and Poly(butylene succinate) Blend Fibers Prepared by Melt Spinning Technique” 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (EMSES), 2012.
- [32] สมหมาย ผิวสอาด., สรพงษ์ ภาวสุปรีย์., ณรงค์ชัย โอเจริญและนที ศรีสวัสดิ. “การเตรียมเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิไฮดรอกซี-บิวทีเรตวารีเอเรต (PHBV) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ”, การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 2545.
- [33] X.D. Lin and w.L. Cheung. 1997. “Effect of single screw extrusion through a round die on the morphology of POM/PP blends” Journal of Materials Processing Technology.
- [34] S. Solarski, M. Ferreira and E. Devaux . “Characterization of the thermal properties of PLA fibers by modulated differential scanning calorimetry” Journal Polymer, 2015.
- [35] G. Schmack., D. Jehnichen ., R. Vogel a., B. Tandler., R. Beyreuther., S. Jacobsen., H.-G. Fritz. (2001). Biodegradable fibres spun from poly(lactide) generated by reactive extrusion. Journal of Biotechnology, pp.187-201, 2011.
- [36] XIAOJIE GUO. (2012). INVESTIGATION OF POLY(LACTIC ACID)/POLYOXY METHYLENE BLENDS: CRYSTALLIZATION BEHAVIOR AND HEAT RESISTANCE A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Materials Science and Engineering WASHINGTON STATE UNIVERSITY School of Mechanical and Materials Engineering.
- [37] Wacharawichanant S., Siripattanasak T. (2013). Mechanical and Morphological Properties of Polypropylene/Polyoxymethylene Blends, Advances in Chemical Engineering and Science, pp. 202-205, 2013.
- [38] Mathurosemontri S., Auwongsuwan P., Nagai S. and Hamada H. “The Effect of Injection Speed on Morphology and Mechanical Properties of Polyoxymethylene/Poly(Lactic Acid) Blend”, Energy Procedia, 56, pp.57-64, 2014.

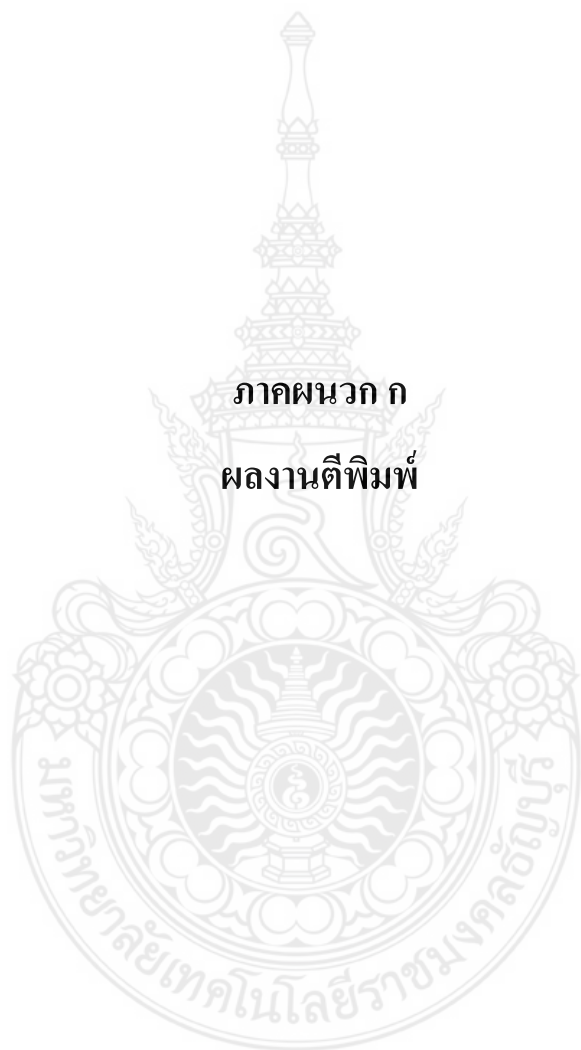
บรรณานุกรม (ต่อ)

- [39] Ferreira M., Solarski S. “Characterization of the thermal properties of PLA fibers by modulated differential scanning calorimetry”, *Polymer*, pp.11187-11192, 2005.
- [40] Sekiguchi T., Saika A., Nomura K., Watanabe T., Fujimoto Y., Enoki M., Saton T., Kato C., Kanahiro H. “Biodegradation of aliphatic polyesters soaked in deep seawaters and isolation of poly(ϵ -caprolactone)-degrading bacteria”, *Polymer Degradation and Stability*, pp.1397-1403, 2011.
- [41] Sungsanit K., Kao., N., Bhattacharya S., Pivsa-art S. “Physical and rheological properties of plasticized linear and branched PLA”, *Korea-Australia Rheology Journal*, pp.187-195, 2010.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์

"May I be your humble servant in reincarnations"

th
13 Eco - Energy and
 Materials Science and
 Engineering Symposium 2016

Smart Future
 Smart Grids, Smart Materials, Smart Innovation
 Smart Society, Smart Communication, Smart Building and Home

Proceeding

Organized by



Sponsored by



CONTENT

SM19	Effect of Oxyethylene co-Monomer on POM/PLA Multifilament <i>A. Wongkorn, W. Pivsa-Art, N. Roungpaisan, S. Mathurosemontri, T. Umemura, H. Hamada and S. Pivsa-Art</i>	213
SM20	Effect of nano Titanium Dioxide (TiO ₂) Addition on Mechanical Property of Recycled Poly(ethylene Terephthalate) (RPET) Fiber <i>K. Sunyikhan, N. Roungpaisan, N. Srisawad, T. Nagoro and W. Pivsa-Art</i>	219
SM21	Effect of PEG Plasticizer on PLA Nonwoven <i>P. Wannid, W. Pivsa-Art, N. Srisawad, T. Negoro and S. Pivsa-Art</i>	223
SM22	Proposal of Liquid Membrane FTIR Spectroscopy for Investigation of Soluble Fraction of Degradative Solvent-Extraction <i>K. Watcharakorn, M. Trairat, W. Janewit, H. Zen, T. Kii, K. Miura and H. Ohgaki</i>	228
SM23	Polypropylene / Polyethylene Bi-layers One Step Rotational Molding <i>N. O-Charoen and E. Jansri</i>	232
SM24	The effect of maleic acid-modified PP on interfacial shear strength and mechanical properties <i>Y. Takagaki, N. Kajioka, H. Yamada, A. Nakai, H. Hamada and A. Ohtani</i>	233
SM25	Fracture Behavior of Fracture Behavior of Fracture Behavior of Multi-axial Warp Knitted Composites Effect of Knitted Yarn Density on Fracture Behavior <i>S. Yasuda, S. Mori, Y. Yang, K. Banba and E. Fukui</i>	237
SM26	Effect of Hybrid Nucleating Agents on Crystallization Behavior of Poly(lactic acid) <i>T. Khwanpipat, S. Thongnop, K. Trakoolmich, M. Seadan, and S. Suttiruengwong</i>	238
SM27	Storage Time of Dried Orchids Coated with Biodegradable and Conventional Polymers <i>S. Jaibangyang, S. Suttiruengwong, P. Jamgam and K. Obsuwan</i>	243
SM28	Prediction of Surface Roughness in Turning of Aluminum Casting Semi-Solid 7075 Using Response Surface Methodology <i>S. Rawangwong, R. Burapa and J. Rodjananugoon</i>	244
SM29	Recent Development of Direct Fiber Feeding Injection Molding Mechanical Properties of GF/ABS Composite by DFFIMS. <i>A. Imajo, X. Yan, H. Hamada, A. Kataoka, Y. Hisakura and M. Sugihara</i>	251
SM30	Effect of Coupling Agent on the Mechanical Properties of Glass Fiber/ Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Hybrid Composites Fabricated by Direct Fiber Feeding Injection Molding Process <i>X. Yan, P. Uawongsuwan, and Y. Yang</i>	252

Effect of Oxyethylene co-Monomer on POM/PLA Multifilament

Atitiya Wongkorn¹, Weraporn Pivsa-Art², Nanjaporn Rongpaisan³, Suchaline Mathurosemontri⁴, Toshikazu Umemura⁴, Hiroyuki Hamada⁴ and Sommai Pivsa-Art^{1*}

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering,

²Department of Chemical and Materials Engineering,

³Department of Textile Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand

⁴Department of Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto, Japan 606-8585

*Corresponding E-mail: Sommai.p@cn.mutt.ac.th

Abstract— Effect of winding speed on physical and mechanical properties of polyoxymethylene (POM)/Poly(lactic acid) (PLA) multifilament was studied. The ratio of POM/PLA for fiber preparation was 70/30 by weight. The fiber grade PLA was used for blending with 3 types of POM that contain low, medium and high contents of oxyethylene co-monomer. The winding speed was 500 and 1000 m/min. The blend multifilament was produced using a fiber melt spinning system. Only the POM/PLA blend that POM contains high co-monomer content could produce the multifilament at winding speed 1000 m/min. Blending of POM/PLA was not affect the Tm of polymers but the Tg of PLA was reduced. The tenacity of POM/PLA multifilament produced with winding speed of 1000 m/min was higher than those prepared with 500 m/min due to the extension of polymer molecules and well molecular orientation. Form the morphology study of fiber fracture, PLA multifilament shows brittle fracture but POM fiber shows ductile fracture and POM/PLA blend shows ductile phase due high POM content of the matrix. The phase separation of two polymers was not clearly observed.

Keywords—; Polyoxymethylene, Poly(lactic acid), Multifilament

I. INTRODUCTION

In recent years, the increase in fossil energy costs and the environmental concerns result in new opportunities for the industrial production of biodegradable polymers based on renewable resources. The application of these biopolymeric materials is therefore growing very fast [1–4]. Aliphatic polyesters represent an important family of biodegradable polymers [3]. Poly(lactic acid) (PLA) is the best known polymer of this family [3,5,6]. PLA, a biodegradable polymer which can also be produced from annually renewable resources, PLA is characterized by excellent optical properties and high tensile strength but unfortunately, it is rigid and brittle at room temperature due to its glass transition temperature (Tg) close to ca. 55 °C [6]. Attempts have been made to improve the mechanical properties of PLA by copolymerization with other monomers but none of these copolymerization processes is yet economically viable and none is known to produce copolymers

on an industrial scale for packaging applications [7–10]. Blending PLA with other polymers/copolymers has also been investigated, however only moderate improvement in mechanical properties was achieved [11–20].

Polyoxymethylene (POM), with $[-CH_2-O-]$ as the main chain, is one of the typical engineering plastics with high mechanical strength, high crystallinity, excellent abrasion resistance, fatigue resistance and moldability, and has wide applications [21].

Polyoxometalates (POMs), a large class of metal oxygen clusters of the early transition elements, are some of the most promising building blocks for nanocomposite materials [22]. POMs have an unmatched range of physical and chemical properties stemming from their wide variety of atomic combinations, molecular structures, and sizes [23–25]. Poly(oxymethylene) (POM), a crystallizable engineering thermoplastic is used to improve the fracture toughness of an amine cured epoxy resin. POM has not been used before as a toughness modifier for the epoxy resin. Various physicochemical properties of epoxy/POM blends have been characterized and reported by Goossens *et al.* [26].

Most of polymers used in a seine manufacturing process are polypropylene (PP) and Nylon 6. They have high mechanical property and good processability for fiber fabrication. However, PP and Nylon 6 are non-degradable and synthesized from petroleum-based materials. As a result wastes of the seine are harmful to sea animals. To solve the problems polymer blend of biodegradable polymer, PLA, and POM is used as an environmental friendly material for seine production. The fiber fabrication process and effect of POM property on product property was investigated.

II. EXPERIMENTAL

A. Materials

Poly(lactic acid) (PLA), TP4000 grades was purchased from Unitika, Japan. (Density = 1.25 g/cm³). Three grades of polyoxymethylene (POM), Lupital A25-03, (Density = 1.41 g/cm³), Lupital V20-HE, (Density = 1.39 g/cm³) and Lupital F20-03, (Density = 1.41 g/cm³) were produced by Mitsubishi Gas Chemical Corporation, Japan.

B. Multifiber Preparation

The POM and PLA pellets were first dried in an oven at 80°C for 8 h prior to processing. Table I shows the composites all components of the blends. Then polymers were mixed together and processed with dry blend. The blends were melt-spun through a 24 holes die with diameter of 0.32 mm per hole, using single screw extruder (ThermoHaake Polydrive) equipped. The spinning conditions are as follows: temperature at barrel were adjusted to 180, 190, 200 (Zone Extruder), 210 (Connector) and 210 °C (Die), screw speed 8 rpm and the final multifilament was varied winding speed at 500 and 1000 m/min. The melt spun POM/PLA blends were collected.

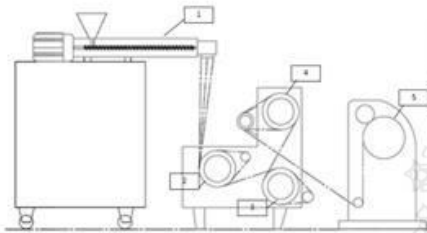


Fig. 1 Fiber melt spinning system: (1) Extruder, (2) 1st Hot roller unit, (3) 2nd Hot roller unit, (4) 3rd roller unit, and (5) winding unit

TABLE I
Ratios of POM/PLA and winding speed

Sample No.	POM/PLA		Winding Speed (rpm)	
	70/30		500	1,000
1	A25-03		✓	✓
2	F20-03		✓	×
3	V20-HE		✓	×
4	TP4000		✓	×
5	A25-03	TP4000	✓	×
6	F20-03	TP4000	✓	×
7	V20-HE	TP4000	✓	✓

Note: ✓ = winding successful, × = winding not successful

C. Melt Flow Analysis

Melt flow index of polymers was tested according to ASTM D1238. The temperature tested was 210 °C and weight load at 2.16 kg by using a melt flow tester (Time Group Inc., XRL-400A). Samples for melt flow index experiments were prepared using polymer pellets.

D. Thermal properties

Thermal analysis of multifilament was recorded on a differential scanning calorimeter, Perkin Elmer, DSC 8000 under nitrogen atmosphere with a heating rate of 10 °C/min from 30-250 °C.

E. Morphology

Morphological analysis of fibers was performed using a scanning electron microscope (SEM) (JEOL/JSM-5410LV) set at 15 kV at magnification 1000X and 3000X. Gold was sputtered onto the specimens for electron conductivity.

F. Tensile properties

The tensile strength (TS) and elongation at break (%E) of the fiber were measured using by an INSTRON universal testing machine (INSTRON5569) according to the ASTM standard method D3822-01. The mechanical property of the fiber was testing with a load cell of 50kN with gauge length of 25 mm and test speed 50 mm/min.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Multifilament

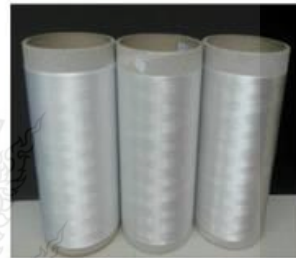


Fig. 2 Multifilament of POM/PLA

Table I shows the melt spun multifilament fabricated at winding speed of 500 and 1000 rpm. It was found that all samples could be spun with winding speed of 500 rpm. However, only neat POM, A25-03 and POM/PLA blend (V20-HE/TP4000) could be prepared using winding speed of 1000 rpm as shown in Fig. 2.

B. Melt Flow Index

TABLE II
Melt flow and density of neat POM and neat PLA pellets

Polymer	Code	MFR (g/10min)	Density (g/cm ³)
POM	A25-03	19.26	1.20
	F20-03	12.90	1.15
	V20-HE	15.90	1.18
PLA	TP4000	9.42	1.09

Melt flow of POM shows high melt flow rate while PLA is more viscous under the conditions. Blending of POM and PLA will be suitable for fiber processing to produce multifilament.

C. Thermal properties

Fig. 3 shows the DSC thermogram of neat POM, neat PLA (A25-03, F20-03, V20-HE and TP4000) at winding speed of 500 m/min. PLA and POM show similar melting temperature. The glass transition temperature (T_g) of PLA was observed at 70.49 °C but T_g of POM was not found. Thermal analysis of POM/PLA blends was shown in Fig. 4. T_m of A25-03/TP4000 and F20-03/TP4000 show only one endotherm peak at 175.62 and 171.63 °C but V20-HE/TP4000 show double peaks which may be two causes for this behavior. Few authors have reported [27,28] this behavior as a result of lamellar rearrangement during crystallization of PLA: low-temperature peak is formed on the melting endotherm of the original crystallites, and the high-temperature peak is formed on the melting endotherm of the recrystallites. In another case, the two melting peaks may be a result of the polymorphic crystalline transition of PLA [27]. Blending POM with PLA resulted in decreasing of T_g of PLA from 70.49 to 54.76 °C. The results confirmed well mixing of POM and PLA and the PLA molecules were well distributed in the POM matrix. Furthermore, POM molecules enhanced the mobility of PLA molecules.

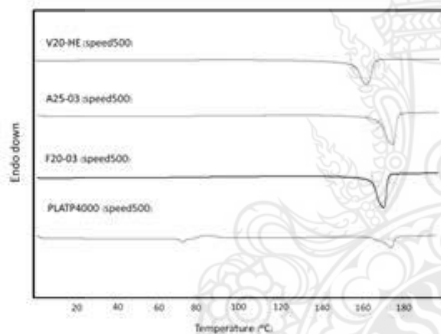


Fig. 3 DSC Thermogram of neat PLA and neat POM fiber. (winding speed 500 m/min)

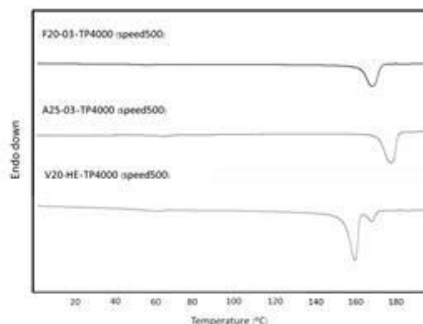


Fig. 4 DSC Thermogram of POM/PLA fiber. (winding speed 500 m/min)

TABLE III

DSC Thermogram data of neat POM, neat PLA and POM/PLA fiber at winding speed 500 m/min

Sample code	T_m (°C)	ΔH (J/g)	T_g (°C)		
A25-03	176.63	105.03	-		
F20-03	171.96	105.44	-		
V20-HE	163.04	67.62	-		
TP4000	177.22	33.42	70.49		
A25-03/TP4000	175.62	98.45	61.08		
F20-03/TP4000	171.63	99.47	54.76		
V20-HE/TP4000	161.18	169.86	53.19	6.43	55.40

D. Mechanical Properties

Fig. 5 shows the tenacity analysis of POM and PLA. It was found that neat POM grade A25-03 could be winding at 1000 m/min while other POM grades and PLA could be winding at winding speed 500 m/min. The tenacity of POM fiber drawn at winding speed 1000 m/min is higher than twice of the fiber winding with speed 500 m/min due to orientation of polymer molecules from high extension. PLA show higher than POM at same winding speed.

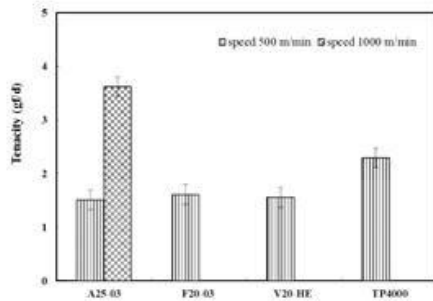


Fig. 5 Tenacity of neat POM and neat PLA at winding speed 500 and 1000 m/min

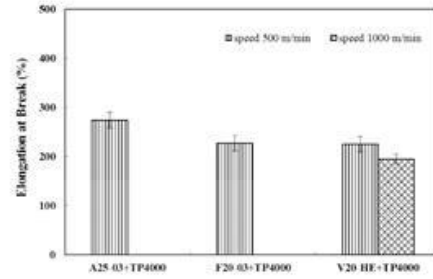


Fig. 8 Elongation at break of POM/PLA blend at winding speed 500 and 1000 m/min

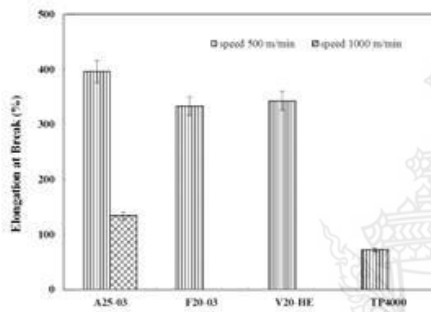


Fig. 6 Elongation at break of neat POM and neat PLA at winding speed 500 and 1000 m/min

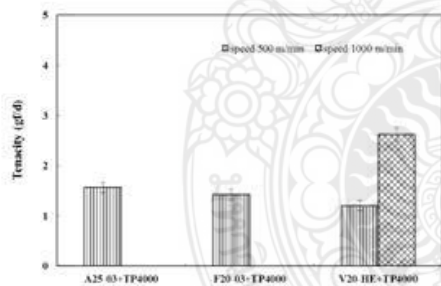


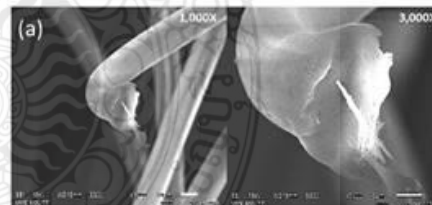
Fig. 7 Tenacity of POM/PLA blend at winding speed 500 and 1000 m/min

From Fig. 6 the elongation at break of POM at winding speed 500 m/min is significantly higher than PLA due to PLA is rigid and brittle at room temperature while POM is more flexible than PLA. Jianwei Lu *et al.* reported a high elongation of 460% for POM fiber mat produced by electrospun process [29]. POM (A25-03) at winding speed 1000 m/min shows elongation at break drop to 134 % due to its molecules had already been stretched.

The polymer blends show different winding ability and tenacity. From Fig. 7 V20-HE/TP4000 blend could be winding at speed 1000 m/min and the tenacity of the blend is 2 times higher than the blend produced at winding speed 500 m/min because the orientation of molecules from high winding speed. The other POM/PLA blends with winding speed 500 m/min show similar tenacity. The results confirm that high winding speed and polymer molecules orientation are important parameters of the mechanical property of the multifilament.

The elongation at break of POM/PLA blends is shown in Fig. 8. High elongation of more than 225% was found on all POM/PLA blends. The V20-HE/TP4000 blend winding at 1000 m/min shows low elongation than the sample at winding speed 500 m/min due to already stretching of polymer molecules.

D. Morphology



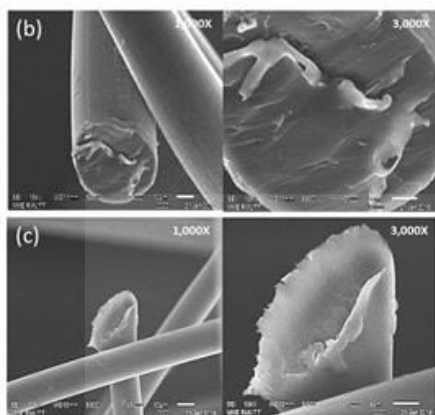


Fig. 9 SEM image of fiber (a) V20-HE (b) TP4000 (c) V20-HE/TP4000 blend

The morphology of fracture structure of POM, PLA and POM/PLA blend is shown in Fig. 9. In Fig. 9 (a) POM shows ductile fracture while in Fig. 9 (b) the neat PLA shows brittle fracture than neat POM and the polymer blend. The mixed POM with PLA shows ductile fracture and miscibility phase due to in the matrix high POM content and phase separation of two both polymers was not observed.

VI. CONCLUSION

The melt spun multifilament of POM/PLA blends using PLA, TP4000 and POM, A25-30, F20-03 and V20-HE at ratio of POM/PLA at 70/30 wt% was prepared. The effect of winding speed at 500 and 1000 m/min to mechanical and physical properties was investigated. The polymer blend of POM/PLA with high contents of oxyethylene in POM (V20-HE/TP4000) could be winding to multifilament with high winding speed. The thermal property analysis indicated that the T_g of PLA in the POM/PLA blend decreased due to POM had higher melt flow than PLA and assisted the increasing of polymer chain mobility. Neat PLA has higher tenacity than neat POM but elongation at break was lower than POM in the POM/PLA blend. The tenacity of POM/PLA blend (V20-HE/TP4000) produced at winding speed 1000 m/min is 2 times higher than the fiber produced from winding speed 500 m/min due to the molecular orientation from extension. The SEM image of neat PLA shows the typical brittle fracture with smooth fracture surface due to in-existent or very low plastic deformation. POM is a ductile fracture corresponding to a flexible polymer. The blend shows ductile fracture and miscibility of both polymer phases due to high POM content in the matrix.

V. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge the Thai Polycarbonate Co., Ltd. and MEP Technical Center Asia Ltd. for materials support.

REFERENCES

- [1] Chandra R and Rustgi R, "Biodegradable polymers," *Prog Polym Sci*, Vol. 23, pp. 335-1273, 1998
- [2] Grodzinski JJ, "Biomedical application of functional polymers," *React Funct Polym*, Vol.39, pp. 99-138, 1999.
- [3] Vroman I and Tighzert L, "Biodegradable polymers," *Materials [online]*, 2009(2), pp. 307-344. Available: <http://doi:10.3390/ma2020>
- [4] Rabetafika HN, Paquot M and Dubois P, "Les polymères issus du végétal: matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique," *Biotechnol Agron Soc Environ*, Vol. 10, pp. 96-185, 2006.
- [5] Garlotta D, "A literature review of poly(lactide)," *J Polym Environ*, Vol. 9, pp. 63-84, 2001.
- [6] Lim LT, Auras R and Rubino M, "Processing technologies for poly(lactide)," *Prog Polym Sci*, Vol. 33, pp. 52-820, 2008.
- [7] Zhu ZX, Xiong CD, Zhang LL, Yuan ML and Deng XM, "Preparation of biodegradable poly(lactide-co-poly(ethylene glycol)) copolymer by lactide reacted poly(ethylene glycol)," *Eur Polym J*, Vol. 35, pp. 8-1821, 1999.
- [8] Tasaka F, Miyazaki H, Ohya Y and Ouchi T, "Synthesis of comb-type biodegradable poly(lactide) through depsipeptide-lactide copolymer containing serine residues," *Macromolecules*, Vol. 32, pp. 9-6386, 1999.
- [9] Kim JK, Park DJ, Lee MS and Ihn KJ, "Synthesis and crystallization behavior of poly(L-lactide)-block-poly(ϵ -caprolactone) copolymer," *Polymer*, Vol. 42, pp. 41-7429, 2001.
- [10] Chen XH and Gross RA, "Versatile copolymers from [L]-lactide and [D]-xylofuranose," *Macromolecules*, Vol. 32, pp. 14-308, 1999.
- [11] Okoshi I, Abe H and Doi Y, "Miscibility and solid-state structures for blends of poly(S)-lactide with atactic poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate]," *Polymer*, Vol. 41, pp. 92-5985, 2000.
- [12] Losocco MR, Borzacchiello A and Huang SJ, "Binary and ternary poly(lactic acid) poly(epsilon-caprolactone) blends: The effects of oligo-epsilon-caprolactones upon mechanical properties," *Macromol Symp*, Vol. 130, pp. 60-151, 1998.
- [13] Gajria AM, Dave V, Gross RA and McCarthy SP, "Miscibility and biodegradability of blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl acetate)," *Polymer*, Vol. 37, pp. 437-44, 1996.
- [14] Choi NS, Kim CH, Cho KY, Park JK, Morphology and hydrolysis of PCL/PLLA blends compatibilized with P(LLA-co- ϵ -CL) or P(LLA-b- ϵ -CL)," *J Appl Polym Sci*, Vol. 86, pp. 8-1892, 2002.
- [15] Tsuji H, Yamada T, Suzuki M and Itsuno S, "Blends of aliphatic polyesters. Part 7. Effects of poly(L-lactide-co-epsilon-caprolactone) on morphology, structure, crystallization, and physical properties of blends of poly(L-lactide) and poly(epsilon-caprolactone)," *Polym Int*, Vol. 52, pp. 75-269, 2003.
- [16] Aslan S, Calandrelli L, Laurenzo P, Malinconico M and Migliarese C, "Poly(D,L-lactic acid)/poly(epsilon-caprolactone) blend membranes: preparation and morphological characterization," *J Mater Sci*, Vol. 35, pp. 22-1615, 2000.
- [17] Focarete ML, Scandola M, Dobrzynski P and Kowalczyk M, "Miscibility and mechanical properties of blends of (L)-lactide copolymers with atactic poly(3-hydroxybutyrate)," *Macromolecules*, Vol. 35, pp. 7-8472, 2002.
- [18] Ogata N, Tatsushima T, Nakane K, Sasaki K and Ogihara T, "Structure and physical properties of cellulose acetate/poly(L-lactide) blends," *J Appl Polym Sci*, Vol. 85, pp. 1219-26, 2002.
- [19] Park JW and Im SS, "Phase behavior and morphology in blends of poly(L-lactide) and poly(butylene succinate)," *J Appl Polym Sci*, Vol. 86, pp. 647-55, 2002.
- [20] T. Komatsu, S. Enoki and A. Aoshima, "The effects of pressure on drawing polyoxymethylene. 2. Drawn fibre properties and structure," *Polymer*, Vol. 32, pp. 1988-1993, 1991.

- [21] D.-L. Long, R. Tsunashima and I. Cronin, "Polyoxometalates: Building Blocks for Functional Nanoscale Systems," *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 49, pp. 1736–1758, 2010.
- [22] D.E. Katsoulis, "A Survey of Applications of Polyoxometalates," *Chemical Reviews*, Vol. 98, pp. 359–388, 1998.
- [23] D.-L. Long and I. Cronin, "Towards Polyoxometalate-Integrated Nanosystems," *Chemistry – A European Journal*, Vol. 12, pp. 3698–3706, 2006.
- [24] S. Liu, D.G. Kurth, B. Brodenkötter and D. Volkmer, "The Structure of Self-Assembled Multilayers with Polyoxometalate Nanoclusters," *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 124, pp. 12279–12287, 2002.
- [25] Goossens S and Groeninckx G, "Mutual influence between reaction-induced phase separation and isothermal crystallization in pom/epoxy resin blends," *Macromolecules* [online], 2006(23), pp. 59–8049. Available: <http://dx.doi.org/10.1021/ma061415t>.
- [26] Goossens S, Goderis B, and Groeninckx G, "Reaction-induced phase separation in crystallizable micro- and nanostructured high melting thermoplastic/epoxy resin blends," *Macromolecules* [online], 2006(8), pp. 2953–63. Available: <http://dx.doi.org/10.1021/ma052742o>.
- [27] Ren, Z.J, Dong, L.S and Yang, Y.M. J, "Dynamic mechanical and thermal properties of plasticized poly(lactic acid)," *Appl Polym Sci*, Vol. 101, pp. 1583–1590, 2006.
- [28] Wang, Y, Funari, S.S, Mano and J.F. J, "Structural Regularization in the Crystallization Process from the Glass or Melt of Poly(l-lactic Acid) Viewed from the Temperature-Dependent and Time-Resolved Measurements of FTIR and Wide-Angle Small-Angle X-ray Scatterings," *Macromol Chem Phys*, Vol. 207, pp. 1262–1271, 2006.
- [29] Jianwei Lu, "High-Elongation Fiber Mats by Electrospinning of Polyoxymethylene," *Macromolecules*, Vol. 41, pp. 3762–3764, 2008.





The 13th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

December 1 – 4, 2016 Udon Thani, Thailand

Present this honor certificate to

**Atitiya Wongkorn, Weraporn Pivsa-Art, Nanjaporn Rongpaisan, Suchaline
Mathurosemontri, Toshikazu Umemura, Hiroyuki Hamada, Sommai Pivsa-Art**

for your kind participation on titled of

“ Effect of Oxyethylene co-Monomer on POM/PLA Multifilament ”

**Assoc. Prof. Dr. Praserit Pinpathomvat
President of R MUTT, Thailand
EMSES 2016 Honorary Advisory Chair**

$-\text{[PCTI-7]}_n-$

The International Polymer Conference of Thailand (PCT-7)

PROCEEDINGS

June 1st-2nd, 2017

Amari Watergate Hotel,
Bangkok, Thailand



Organized by
Polymer Society of Thailand (PST)

PROCEEDINGS

-[PCTI-7]_n-

The International Polymer Conference of Thailand

Annual Polymer Conference

June 1st – 2nd, 2017

**Amari Watergate Hotel, Bangkok
Thailand**

Organized by



The Polymer Society of Thailand (PST)



Session Code	Title / Speaker	page
I. Session: Advanced and Functional Polymers		
FUNC-O6	Development of Poly(Methyl Methacrylate) Products with Superhydrophobic Surfaces <i>N. Sriprasert, P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, M. Opaparakasit, A. Petchsuk and P. Opaparakasit</i>	25-28
FUNC-P1	Aptamer Immobilization onto Microsphere via Amide Bond Coupling <i>P. Khomweerawong, P. Rattanasermasab and B. Soontornworajit</i>	29-32
II. Session: Bioplastics and Polymers for Sustainability		
BIOP-O3	Effect of Winding Speed on Property of Recycled Poly(ethylene Terephthalate) (RPET) Fiber <i>K. Sunyikhan, N. Rongpaisan, N. Srisawad, T. Nagoro, W. Pivsa-Art</i>	33-37
BIOP-O4	Effect of PLA Grade and Tensile Test Methods on Tensile Property POM/PLA Multifilament <i>A. Wongkorn, W. Pivsa-Art, N. Rongpaisan, S. Mathurosemontri, T. Umemura, H. Hamada, M. Nagata and S. Pivsa-Art</i>	38-43
BIOP-O6	The Secondary Backing Part of Green Carpet from PLA Nonwoven <i>P. Wannid, W. Pivsa-Art, N. Srisawad, T. Negoro and S. Pivsa-Art</i>	44-49
BIOP-P2	Preparation and Characterization of Malic Acid Modified Starch from Cassava Starch <i>N. Thessrimuang and J. Prachayawarakorn</i>	50-53
BIOP-P7	Preparation and properties of cassava starch grafted by methyl methacrylate (MMA) <i>C. Weerapoprasit and J. Prachayawarakorn</i>	54-58
BIOP-P8	Preparation and properties of crosslinked starch using borax as a crosslinking agent <i>Y. Tanetrunroj and J. Prachayawarakorn</i>	59-63
BIOP-P9	Effect of the Long-Chain Saturated Fatty Acids on the Accelerated Hydrolytic Degradation of Poly(lactic acid)/poly(butylene succinate) Blend Films <i>N. Ratsameetammajak, R. Malloy and R. Somsunan</i>	64-68
BIOP-P11	Investigation of starch fiber by electrospinning <i>R. Chaisuwan and S. Woramongkolchai</i>	69-73
BIOP-P12	Properties of Carboxymethyl Cellulose Nanocomposite Films Incorporated with Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide <i>J. Ampaiwong, N. Soatthiyanon and P. Potiyaraj</i>	74-78
BIOP-P13	Properties of Poly(Butylene Succinate)/Graphene Oxide/Microcrystalline Cellulose Composites <i>S. Wangpunya, N. Soatthiyanon and P. Potiyaraj</i>	79-84
BIOP-P17	Properties of modified corn stover xylan by citric acid <i>S. Jeenapak, I. Suppavorasatit, S. Prasangsuk and P. Potiyaraj</i>	85-89

Effect of PLA Grade and Tensile Test Methods on Tensile Property POM/PLA Multifilament

Atitiva Wongkorn¹, Weraporn Pivsa-Art², Nanjaporn Roungpaisan³, Suchalinec Mathurosemontri⁴,
Toshikazu Umemura⁴, Hiroyuki Hamada⁴, Masaki Nagata⁵ and Sommai Pivsa-Art^{1*}

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, ²Department of Chemical and Materials Engineering,

³Department of Textile Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Bangkok, 12110

⁴Department of Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan 606-8585

⁵Padaeng Industrial Estate 1, Map-Ta-Phut, Rayong 21150, Thailand

Phone +662 549 3010, *E-Mail: sommai.p@en.rmutt.ac.th

Abstract

Polymer blends of polyoxymethylene (POM) and poly(lactic acid) (PLA) exhibit excellent mechanical property for fiber application. Structure and property of PLA affected the property of the POM/PLA blend. To investigate the appropriate type of PLA, blending of two grades of PLA with POM in a ratio of POM/PLA 70/30 by weight were prepared by melt spun method using a single screw extruder equipped with a multifilament spinneret. The drawing speed of multifilament of 800 and 1,100 m/min was applied to the melt spinning to investigate the highest extension ratio. The effect of PLA grade and extension ratio on morphology, thermal and mechanical properties of POM/PLA blend fiber was examined. The SEM micrographs indicated that PLA was miscible with POM. Three methods of tensile test were carried out to measure the strength of materials in different application forms. The tenacity study of POM/PLA multifilament measured by cross type tensile methods was higher than other test methods due to the extension of polymer molecules and well molecular orientation.

Keywords: Polyoxymethylene, Poly(lactic acid), Polymer blend, Multifilament

1. Introduction

Most of polymers used in a seine manufacturing process are polypropylene (PP) and Nylon 6. They have high mechanical property and good processability for fiber fabrication. However, PP and Nylon 6 are non-degradable and synthesized from petroleum-based materials. Huge amount of their wastes cause serious environmental problems in the sea. Therefore, it is needed to replace these conventional materials with environmental friendly polymers having similar property. Biodegradable polymers have been considered to be promoting for production. Poly(lactic acid) (PLA) is a biodegradable polymer produced from renewable resources that has now been prompt for using in plastic industries. However, there is less information for applying PLA in textile industry due to limitation of its physical property. PLA is generally

known as a brittle material and low crystallization polymer [1-3].

PLA has been used for composite materials and medical applications. Fibrous applications are preferable for PLA development due to the higher value addition than using it for packaging and other plastic applications. However, PLA has some inherent disadvantages that limit its use for fibrous applications, especially textiles [4]. Therefore, the efforts are being made to understand and improve the properties of PLA [5-7]. The most prominent method of property of PLA improvement is the blending with high toughness polymer.

Polyoxymethylene (POM), is one of the typical engineering plastics with high crystallinity, excellent abrasion resistance, fatigue resistance and moldability, and has wide applications [8]. Blending of POM and PLA has



been reported to give well mixing polymers exhibited high toughness. Therefore, the polymer blends of POM/PLA would give possibility of fiber application to replace the conventional petroleum-based non-degradable polymers [9-14].

However, due to different physical property of PLA, the appropriate PLA grade of POM/PLA blend for fiber property has not been studied. For actual application as fishing net, the comparison of fiber property of POM/PLA fiber with nylon fiber is necessary.

In this research, we have studied the blending process of POM/PLA using two grades of PLA, extrusion and melt spinning fiber grades to produce fibers. The effect of tensile test methods with shape of samples; normal, cross and loop to mechanical and physical properties of polymer blend fibers were investigated.

2. Experimental methods

2.1 Materials

Two grades of poly(lactic acid) (PLA) were used: TP400 extrusion grades (density 1.25 g/cm³) was purchased from Unitika, Japan, and PLA 6100D, fiber melt spinning grade (density 1.24 g/cm³), was purchased from NatureWorks LLC, USA. Polyoxymethylene (POM), Jupital grade V20-HE (density 1.39 g/cm³), was produced by Mitsubishi Gas Chemical Corporation, Japan.

2.2 Multifiber Preparation

The pellets were first dried in an oven at 80°C for 8 h prior to processing. Table 1 shows the composition of all components of the blends. Then, the polymers were mixed together with dry blend and were melt-spun through 24 holes (circular shape) with diameter of 0.32 mm per hole, using single screw extruder (ThermoHaake Polydrive). The spinning conditions: temperature at barrel was 180, 190, 200 (extruder zone) 210 (connector) and 210 °C (die), screw speed of 8 rpm). The final multifilament was varied the winding speed with 800 and 1,100 m/min, and the melt spun of POM/PLA blends were collected.

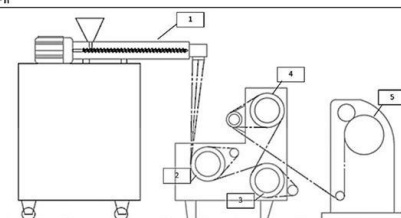


Fig. 1 Fiber melt spinning system: (1) Extruder, (2) 1st Hot roller unit, (3) 2nd Hot roller unit, (4) 3rd roller unit, and (5) winding unit

Table.1 Winding process at different speed of melt spun of POM/PLA blends.

Sample No.	POM/PLA		Extension ratio	
	70/30		1.98x	2.68x
1	V20-HE		✓	✓
2	TP4000		×	×
3	6100D		✓	×
4	V20-HE	TP4000	✓	✓
5	V20-HE	6100D	✓	✓

Note: ✓ = winding successful,
 × = winding not successful
 Only PLA TP4000 = 1.86x

2.3 Thermal properties

Thermal analysis of multifilament was recorded on a differential scanning calorimeter (DSC 800, Perkin Elmer, MA) under nitrogen atmosphere with a heating rate of 10 °C/min from 30 to 250 °C.

2.4 Morphology

Morphological analysis of fibers was performed using a scanning electron microscope (SEM) (JEOL/JSM-5410LV) set at 15 kV at magnification 1,000X and 3,000X. Gold was sputtered onto the specimens for electron conductivity.

2.5 Tensile properties

The tensile strength (TS) and elongation at break (%E) of fiber were measured using an INSTRON universal testing machine (INSTRON5569) according to the ASTM D3822-01. The mechanical property of the fiber was tested with a load cell of 50 kN with gauge length of 25 mm and test speed of 50 mm/min. The tensile test consists of three types of test samples: normal, cross and loop.

3. Results and Discussion

3.1 Thermal properties

Thermal analysis of neat PLA, neat POM and POM/PLA blends was shown in Fig. 2. The melting temperature (T_m) of V20-HE and TP4000 show only one endotherm peak at 163.04°C and 177.22°C while V20-HE/TP4000 and V20-HE/6100D show double peaks which can be explained by two causes for this behavior. Few authors have reported [15-17] this behavior as a result of lamellar rearrangement during crystallization of PLA: the low-temperature peak is formed on the melting endotherm of the original crystallites, and the high-temperature peak is formed on the melting endotherm of the recrystallizes. In another case, the two melting peaks may be a result of the polymorphic crystalline transition of PLA [18,19]. Blending POM with PLA resulted in decreasing of the glass transition temperature (T_g) of PLA from 70.49 to 54.76 °C. The results confirmed well mixing of POM and PLA and the PLA molecules were well distributed in the POM matrix. Furthermore, POM molecules enhanced the mobility of PLA molecules.

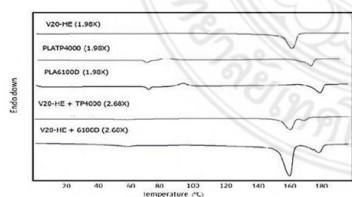


Fig.3 DSC Thermogram of neat PLA, neat POM and POM/PLA fiber.

Table.3 DSC Thermogram data of neat POM, neat PLA and POM/PLA fiber.

Sample code	T_m (°C)		ΔH (J/g)		T_g (°C)
TP4000	177.22		33.42		70.49
6100D	181.63		46.83		70.96
V20-HE	163.04		67.62		-
V20-HE/TP4000 (2.68X)	161.18	169.86	53.19	6.43	55.40
V20-HE/6100D (2.68X)	161.31	179.28	58.36	13.86	54.87

3.2 Mechanical Properties

Fig. 4 shows the tenacity analysis of neat PLA, neat POM and POM/PLA fiber. It was found that for the V20-HE/TP4000 the tenacity of cross sample tended to increase more than the normal and loop format tensile method. However, the tenacity of V20-HE/TP4000 was higher than V20-HE/6100D due to orientation of polymer molecules from high extension.

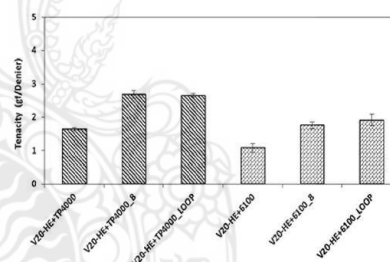


Fig.4 Tenacity of POM/PLA fiber at extension ratio 2.68x.

The elongation at break of POM/PLA blends is shown in Fig. 5. V20-HE/6100D shows high elongation of more than 225%. The loop tensile method of V20-HE/TP4000 shows lower elongation than the cross tensile sample method due to already stretching of polymer molecules.

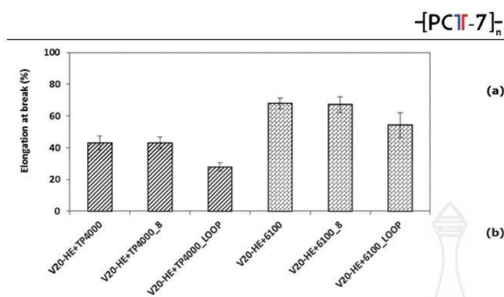


Fig.5 Elongation at break of POM/PLA fiber at extension ratio 2.68x.

3.3 Morphology

The morphology of fracture structure of V20-HE/6100D is shown in Fig. 6 (a) V20-HE/6100D normal tensile test method shows ductile fracture while in Fig. 6 (b) the V20-HE/6100D cross (8) tensile test shows brittle fracture than the V20-HE/6100D normal tensile test.

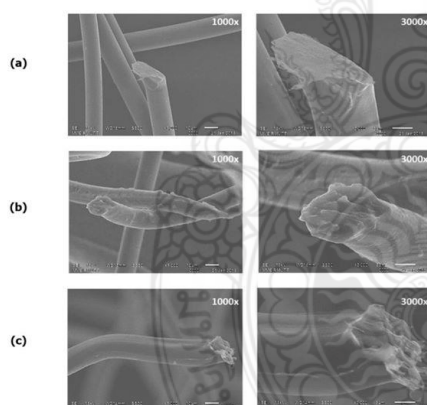


Fig.6 SEM photograph of V20-HE/PLA6100D (a) normal (b) cross and (c) loop

The morphology of fracture structure of V20-HE/ PLATP4000 from various tensile test methods is shown in Fig.7 The mixed POM with PLA shows ductile fracture and miscibility phase in the POM matrix. Phase separation of two both polymers was not clearly observed.

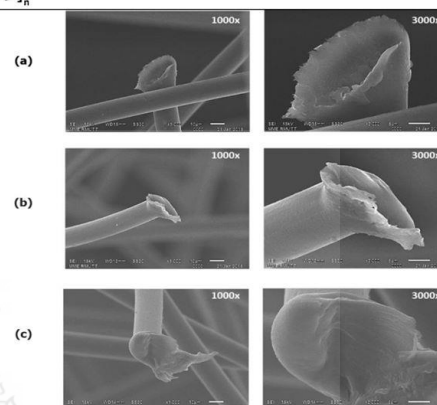


Fig.7 SEM photograph of V20-HE/PLATP4000 (a) normal (b) cross and (c) loop

4. Conclusion

The melt spun multifilament of POM/PLA blends using two types of PLA, TP4000 and 6100D, and POM, V20-HE at ratio of POM/PLA with 70/30 wt% was prepared. The effect of tensile test methods with shape of samples; normal, cross and loop to mechanical and physical properties was investigated. The polymer blend of POM/PLA with extrusion grade PLA (V20-HE/TP4000) could be winding to multifilament with high winding speed. The thermal property analysis indicated that the T_g of PLA in the POM/PLA blend decreased due to POM had higher melt flow than PLA and assisted the increasing of polymer chain mobility. V20-HE/6100D loop tensile method has higher tenacity than the normal and cross tensile test methods. The tenacity of V20-HE/TP4000 produced at high winding process gave high cross tensile test due to the molecular orientation from extension. The SEM image of V20-HE/6100D from normal, cross and loop tensile test shows the typical brittle fracture with smooth fracture surface due to inexistence or very low plastic deformation. POM is a ductile fracture corresponding to a flexible polymer. The blend shows ductile fracture and miscibility of both polymer phases due to high POM content in the matrix [20,21].

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the Thai Polycarbonate Co., Ltd. and MEP Technical Center Asia Ltd. for materials support.

References

- [1] Lim, L.-T., Auras, R. and Rubino, M., "Processing technologies for poly(lactic acid)", *Prog Polym Sci* : 820-52 (2008).
- [2] Garlotta, D., "A literature review of poly(lactic acid)", *J Polym Environ* : 63-84 (2001).
- [3] Ljungberg, N. and Wesslen, B., "Preparation and properties of plasticized poly(lactic acid) films", *Biomacromolecules* : 1789-96 (2005).
- [4] Yang, Y. and Huda, S., "Dyeing conditions and their effects on mechanical properties of polylactide fabric", *AATCC* : 56-61 (2003).
- [5] Karst, D., Nama, D. and Yang, Y., "Effect of disperse dye structure on dye sorption onto PLA fiber", *J Colloid Interface Sci* : 106-11 (2007).
- [6] Karst, D. and Yang, Y., "Molecular modeling study of the resistance of PLA to hydrolysis based on the blending of PLLA and PDLA", *Polymer* : 4845-50 (2006).
- [7] Karst, D. and Yang, Y., "Using the solubility parameter to explain disperse dyesorption on polylactide", *J Appl Polym Sci* : 416-22 (2005).
- [8] Long, D.-L., Tsunashima, R. and Cronin, L., "Polyoxometalates: Building Blocks for Functional Nanoscale Systems", *Angewandte Chemie International Edition* : 1736-1758 (2010).
- [9] Ohkoshi, I., Abe, H. and Doi, Y., "Miscibility and solid-state structures for blends of poly[(S)-lactide] with atactic poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate]", *Polymer* : 92-5985 (2000).
- [10] Lostocco, MR., Borzacchiello, A. and Huang, SJ., "Binary and ternary poly(lactic acid) poly(epsilon-caprolactone) blends: The effects of oligo-epsilon-caprolactones upon mechanical properties", *Macromol Symp* : 60-151 (1998).
- [11] Gajria, AM., Dave, V., Gross, RA. and McCarthy, SP., "Miscibility and biodegradability of blends of poly(lactic acid) and poly(vinyl acetate)", *Polymer* : 437-44 (1996).
- [12] Choi, NS., Kim, CH., Cho, KY. and Park, JK., "Morphology and hydrolysis of PCL/ PLLA blends compatibilized with P(LLA-co-e-CL) or P(LLA-b-e-CL)", *J Appl Polym Sci* : 8-1892 (2002).
- [13] Ren, Z.J., Dong, L.S. and Yang, Y.M. J., "Dynamic mechanical and thermal properties of plasticized poly(lactic acid)", *Appl Polym Sci* : 1583-1590 (2006).
- [14] Wang, Y., Funari, S.S., Mano, and J.F. J., "Structural Regularization in the Crystallization Process from the Glass or Melt of Poly(L-lactic Acid) Viewed from the Temperature-Dependent and Time-Resolved Measurements of FTIR and Wide-Angle/Small-Angle X-ray Scatterings", *Macromol Chem Phys* : 1262-1271 (2006).
- [15] Focarete, ML., Scandola, M., Dobrzynski, P. and Kowalczyk, M., "Miscibility and mechanical properties of blends of (L)-lactide copolymers with atactic poly(3-hydroxybutyrate)", *Macromolecules* : 7-8472 (2002).
- [16] Ogata, N., Tatsushima, T., Nakane, K., Sasaki, K. and Ogihara, T., "Structure and physical properties of cellulose acetate/poly(L-lactide) blends", *J Appl Polym Sci* : 1219-26 (2002).
- [17] Park, JW. and Im, SS., "Phase behavior and morphology in blends of poly(L-lactic acid) and poly(butylene succinate)", *J Appl Polym Sci* : 647-55 (2002).
- [18] Komatsu, T., Enoki S. and Aoshima, A., "The effects of pressure on drawing polyoxymethylene: 2. Drawn fibre properties and structure", *Polymer* : 1988-1993 (1991).
- [19] Long, D.-L., Tsunashima, R. and Cronin, L., "Polyoxometalates: Building Blocks for Functional Nanoscale Systems", *Angewandte Chemie International Edition* : 1736-1758 (2010).
- [20] Tsuji, H., Yamada, T., Suzuki, M. and Itsuno, S., "Blends of aliphatic polyesters. Part 7. Effects of poly(L-lactide-co-epsilon-caprolactone) on morphology, structure, crystallization, and physical properties of blends of poly(L-lactide) and poly(epsilon-caprolactone)", *Polym Int* : 75-269 (2003).

[21] Aslan, S., Calandrelli, L., Laurienzo, P., Malinconico, M. and Migliarese, C., "Poly(D,L-lactic acid)/poly (epsilon-caprolactone) blend membranes: preparation and morphological characterization", *J Mater Sci* : 22-1615 (2000).





[PCI-7]

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This is to certify that

Atitiya Wongkorn

has presented the paper (oral) titled

Effect of PLA Grade and Tensile Test Methods on Tensile Property POM/PLA Multifilament

at the

The International Polymer Conference of Thailand (PCI-7)

June 1st - 2nd, 2017

Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand

Pranee Phinyocheep

*Associate Professor Pranee Phinyocheep Associate Professor Taveechai Amornsakchai
Chairperson Scientific Committee Chair*

T. Ammonkham

PROCEEDINGS IE Network Conference 2017

The Empress Hotel
Chiang Mai, July 12th-15th 2017.

INDUSTRY 4.0 CHALLENGES FOR THAILAND



Proceeding download link



IE Network
2017



จากรูปที่ 4 แสดงลักษณะการแตกหักแบบเปราะ
ของ PLA และพอลิเมอริผสม POM/PLA จากโครงสร้าง
จุลภาคของพอลิเมอริผสมในรูปที่ 4 (a) ถึง 4 (d) พบการ
แตกเปราะของ POM และ PLA โดยอนุภาคของ PLA จะ
กระจายอยู่บนโครงสร้างหลักของ POM อย่างไรก็ดีตาม
อนุภาคของ PLA มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่ง
ส่งผลให้พอลิเมอริผสมมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

4. สรุป

จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอริผสมระหว่าง POM
และ PLA อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก เป็นพอลิเมอริ
ผสมแบบเข้ากันได้ดี มีต้นเนื่องจากการไว้ระหัดสมบัติทาง
ตามร่องของพอลิเมอริผสม และปริมาณของโคมอนโม
เมอร์ของซีเออีดีในส่งผลต่อค่า Tenacity และการยืดตัว
ของเส้นใย ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยของพอลิ
เมอร์ผสมได้เ็นการกระจายตัวของ PLA บนโครงสร้าง
หลัก POM ทำให้การยืดตัวและความเหนียวของพอลิ
เมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอริ
ผสมได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจาก
บริษัท Thai Polycarbonate Co., Ltd. และ MEP
Technical Center Asia Ltd. และ Department of
Advanced Fibro Science, Kyoto Institute of
Technology ในการสนับสนุนวัสดุต้นและทุนวิจัยใน
การศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Nagai, A. Ito, W. Patchanai, K. Yamada, Y.W.
Leong and Hiroyuki Hamada, Miscibility of
Polycarymethylen and Poly(lactic acid), ANTEC
2011, Boston, Massachusetts, USA, 1-5 May
2011, p. 1-5.

[2] ปิ่นสุภา ปิติวิรัตน์สูง, พอลิเมอริผสมสตาโมไล,
สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2545

[3] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, วิทยาศาสตร์เส้นใย, โรงพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

[4] ชนาภา สีสากภัก, พอลาสติกผสมสตาโมไลเพื่อ
สิ่งแวดลอม, 2549

[5] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพและชาคริต สิริสิงห์,
พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอริผสมและการ
นำไปใช้งาน, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี, 2544

[6] สำนวน สากเกษมสุข, Testing, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีการเกษตรธัญบุรี, 2553

[7] เกศินี เหนวีเชียร และ ศิริมาธร สุวรรณมาตา, การ
ทดสอบสมบัติของพอลิเมอริผสมที่ 1 เครื่องคิดเลข
แบบเขียนสมการในคอมพิวเตอร์, กลุ่มวิจัยและพัฒนา
นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
(องค์การมหาชน), 2554

[8] T. Komatsu, S. Enoki and A. Aoshima, The
effects of pressure on drawing polycarymethylen:
2. Drawn fibre properties and structure, Polymer,
1991.





Certificate of Attendance

Industrial Engineering Network Conference 2017

Presents to

Miss Atitiya Wongkorn

for the paper entitled

Melt Spinning Process of Polymer Blend of Polyoxymethylene and Poly (lactic acid)

12-15 July 2017, Chiang Mai, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Apichat Sopadang
Chairman of Industrial Engineering Network
Conference 2017

Asst. Prof. Dr. Wasawat Nakkeaw
Head of Industrial Engineering Department
Chiang Mai University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวอติติยา วงษ์กรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	2 ตุลาคม 2537
ที่อยู่	119 หมู่ 11 ตำบลวังไผ่ อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี 71170
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	ผู้ช่วยห้องปฏิบัติการ (นักศึกษาฝึกงาน) บริษัท ซัม ไฮเทคส์ จำกัด Sale engineer บริษัท KI INDUSTRIAL CO.,LTD.
เบอร์โทรศัพท์	098-3100650
อีเมล	atitiya_w@mail.rmutt.ac.th

