

**อิเล็กโตรสปินนิงของวัสดุผสมพอลิคาโพรแลคโตนและพอลิแลคไทด์ : สมบัติทางความร้อน
ทางกล และการย่อยสลาย**

**Electrospinning of Polycaprolactone and Polylactide Blends : Thermal, Mechanical
Properties and Biodegradability**

ยศฐา ศรีเทพ*, ทิพย์ธิดา อัคระประสา และ อรปรีญา เวียงอินทร์

Yottha Srithep* Thiptida Akkaprasa² and Onpreeya Veang-in

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,

Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

*Email: yottha.s@msu.ac.th

Received: Mar 27, 2018

Revised: Aug 17, 2020

Accepted: Aug 20, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุผสมพอลิคาโพรแลคโตน (PCL) และพอลิแลคไทด์ (PLA) ทางด้านสมบัติทางความร้อน ทางกล และการย่อยสลาย โดยการทำให้เส้นใยขนาดไมโครเมตรด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงซึ่งสามารถใช้ในอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ได้ โดยพอลิคาโพรแลคโตน (PCL) และพอลิแลคไทด์ (PLA) ถูกละลายในคลอโรฟอร์มที่ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราส่วน PLA / PCL คือ 100/0, 90/10, 70/30, 50/50, 30/70, 10/90 และ 0/100 หลังจากละลายแล้วก็นำไปทำเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง โดยมีปัจจัยที่มีค่าเหมาะสมคือ ระยะห่างระหว่างหลอดที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์กับหัวสตรองรับ 15 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้จากการศึกษาการย่อยสลายในดินและลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิคาโพรแลคโตนในพอลิแลคไทด์ จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน ระยะยืดเพิ่มขึ้น ขนาดของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถย่อยสลายได้ไว และช่วยลดความแข็งเปราะของพอลิแลคไทด์ลงได้

คำสำคัญ : พอลิคาโพรแลคโตน, พอลิแลคไทด์, อิเล็กโตรสปินนิง

Abstract

This research aims to study the blend of polycaprolactone (PCL) and polylactide (PLA) in terms of thermal and mechanical properties, including biodegradability. The microfibers were made by the electrospinning process which could be used in the industry and biomedical applications. Polycaprolactone (PCL) and polylactide (PLA) were dissolved in chloroform at 10% by weight. The PCL/PLA ratios were 100/0, 90/10, 70/30, 50/50, 30/70, 10/90, and 0/100. After dissolution, the solution was electrospun with an appropriate spinneret tip-to-collector distance of 15 cm, an applied voltage of 15 kV, and a flow rate of 1 millimeter per hour. For the study of degradation in the soil and the morphological characteristics, it was found that when increasing the amount of polycaprolactone in polylactide, the thermal stability of the materials was improved. The size of the fibers was also larger. The electrospun membranes degraded faster and the brittleness of the materials was decreased.

Keywords: Polycaprolactone, Polylactide, Electrospinning

1. บทนำ

พอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone ; PCL) จัดเป็นพอลิเมอร์พลาสติกชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากน้ำมันดิบผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ลักษณะทางกายภาพเป็นสารกึ่งผลึก อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ (ประมาณ 60 °C) มีความแข็งแรง ไม่เป็นพิษ และมีสมบัติต้านทานคลอรีน สมบัติการรับแรงกระแทกได้ดี มีความยืดหยุ่น และสามารถเข้ากับวัสดุอื่น ๆ ได้ง่าย [1] จึงใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับเรซินเพื่อปรับปรุงสามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้นและปรับปรุงสมบัติอื่น ๆ PCL มีความทนต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและเป็นมิตรต่อร่างกายมนุษย์ จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น วัสดุทางชีวภาพ ไหมละลาย ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน กระบวนการผลิต (Processing aid) และมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ต่ำ จึงนิยมนำมาใช้เป็นพอลิเมอร์สำหรับทำชิ้นงานต้นแบบ (Prototyping) ใช้สำหรับงานพิมพ์สามมิติ และใช้เติมในพอลิเมอร์อื่นเพื่อเป็นสารทำให้ยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น (Plasticizer) [2]

พอลิแลคไทด์ (polylactide) หรือ พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid) (PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) สังเคราะห์ได้จากการกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาล เป็นองค์ประกอบหลักเช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็น วัตถุดิบในการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้ สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง [3] PLA นั้นทนความร้อนได้น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่น ในการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์มักจะประสบปัญหาต่าง ๆ เพราะจากสมบัติ PLA นั้นมีสมบัติ แข็ง เปราะ ต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน [4] เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) เป็นเทคนิคหนึ่งในการผลิตเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กตั้งแต่ ระดับไมโครเมตรถึงนาโนเมตร [5] หลักการนี้อาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้าสูง เมื่อสนามไฟฟ้าที่มีค่ามากถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของสารละลายพอลิเมอร์ จะเกิดแรงขับดันให้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุนี้พุ่งออกมาเป็นสาย ตกลงสู่แผ่นรองรับที่มีประจุตรงกันข้าม และในระหว่างการเคลื่อนที่ลงสู่แผ่นรองรับเกิดการระเหยของตัวทำละลาย ทำให้ได้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก [6] จากขีดจำกัดทางสมบัติการนำไปใช้งานของ PLA ที่ แข็ง

เปราะ ต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน และสมบัติในการนำไปใช้งานของ PCL ที่สามารถนำไปใช้เติมในพอลิเมอร์อื่นเพื่อเป็นสารทำให้ยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น (Plasticizer)

ดังนั้นจึงได้ทำงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของการนำ PCL มาผสมกับ PLA ที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และการย่อยสลายของวัสดุผสม เพื่อการนำไปประยุกต์ในใช้งานของแผ่นเส้นใยได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยการทำเส้นใยขนาดไมโครเมตรด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารเคมี

เตรียมเม็ดพลาสติกพอลิแลคไทด์ (Polylactide: PLA) เกรด 3251D จากบริษัทเนเจอร์เวิร์ค (Nature Works LLC) และเม็ดพลาสติกพอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone: PCL) เกรด Capa 6800 จาก Perstorp Co., Ltd. PLA และ PCL ถูกผสมกันที่อัตราส่วน PCL/PLA ร้อยละ 100:0 90:10 70:30 50:50 30:70 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก โดยการละลายในคลอโรฟอร์มที่อัตราส่วนคลอโรฟอร์มต่อพอลิเมอร์ ร้อยละ 90:10 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) โดยใช้อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการผสมประมาณ 2 ชั่วโมง จนเห็นสารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำสารละลายมาผลิตเส้นใยด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง

2.2 การผลิตเส้นใยด้วยเครื่องอิเล็กโตรสปินนิง

สารละลายผสม PCL/PLA ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะถูกนำมาผลิตเป็นเส้นใยด้วยเครื่อง electrospinning ดังแสดงใน Figure 1 สารละลายปริมาณ 3 มิลลิลิตรจะถูกบรรจุลงในกระบอกฉีดยา (Syringe) ขนาด 5 มิลลิเมตร โดยใช้เข็มโลหะเบอร์ 21 ต่อที่ปลายกระบอกฉีดยาใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ระยะห่างระหว่างกระบอกฉีดยากับวัสดุรองรับ 15 เซนติเมตร โดยมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ ทำการผลิตแผ่นเส้นใยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง [7]

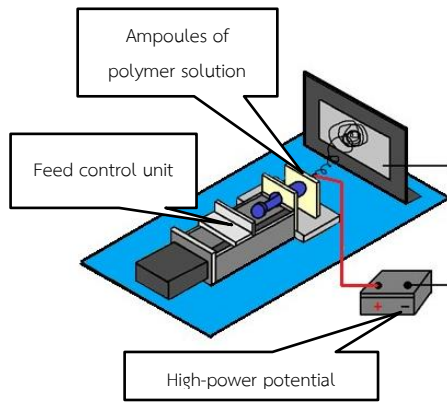


Figure 1 Experiment setup for electrospinning.

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การวิเคราะห์สมบัติทางกลทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Texture analysis) รุ่น TAXT Plus บริษัท Stable Micro System โดยใช้แรงดึง (Tensile force) ดึงวัสดุอย่างช้า ๆ โดยใช้อุณหภูมิห้องในการทดสอบ การใช้เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส (Texture analyser, Stable Micro Systems) จะใช้ความเร็วในการดึง 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน และบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง กับระยะยืด แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟ เรียกว่า กราฟเปรียบเทียบแรงดึงกับระยะที่ยืดออก ซึ่งเป็นระยะที่วัสดุยืดตัวออกจากระยะเดิม แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยการทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) มีขั้นตอนคือ นำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม มาตัดให้ได้ขนาด กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และหนา 0.2 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้นงานทดสอบ

2.4 การทดสอบการย่อยสลายของพอลิเมอร์

การทดสอบการย่อยสลายของพอลิเมอร์มีขั้นตอนการทดสอบโดยการ เตรียมกระถางพลาสติก ดินเกษตรและชิ้นงานทดสอบให้พร้อม และทำการเขียนชื่อชิ้นงานบนกระถางพลาสติก จากนั้นนำดินเกษตรใส่ลงในกระถางพลาสติก ใส่ชิ้นงาน 3 ชิ้นลงในกระถางเดียวกัน โดยแยกเป็นชั้น 3 ชั้น ตามระยะเวลาการฝัง ทำการรดน้ำอาทิตย์ละ 1 ครั้ง ทุกกระถางในปริมาณที่เท่า ๆ กัน จนครบระยะเวลาที่ทำการฝัง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด คือ 1, 3 และ 6 เดือน ให้ทำการขุดชิ้นงานขึ้นมาสังเกตการเปลี่ยนแปลงวิเคราะห์การย่อยสลายในธรรมชาติ และทำการบันทึกผล

2.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

Differential Scanning Calorimetry, DSC) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน การทดสอบมีขั้นตอนคือ เตรียมชิ้นงานในภาชนะอะลูมิเนียม จำนวน 2 ภาชนะ โดยให้ภาชนะแรกเป็นภาชนะ Sample pan และอีกภาชนะเป็น Reference Pan ใส่ชิ้นงานในภาชนะ Sample Pan ใส่ขนาด 3-5 มิลลิกรัม นำภาชนะชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบ (DSC 4000, Perkin Elmer) โดยให้อุณหภูมิ เริ่มจากที่อุณหภูมิ -10 °C จนถึง 200 °C จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลตามการให้อัตราความร้อนครั้งที่ 1

2.6 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM) LEO รุ่น LEO 1450VP เส้นใยที่ได้จากกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง จะถูกตัดเป็นแผ่นเล็กๆ จากนั้นนำไปวางบน carbon tape ที่ติดกับ stub เคลือบสุญญากาศชิ้นงานด้วยทองคำ 20 นาโนเมตร เพื่อดูการกระจายตัวของเส้นใย และลักษณะของเส้นใย

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบการดึง (Tensile)

การทดสอบนี้เป็นการนำเอาชิ้นงานที่ได้จากการ electrospinning แล้วนำไปทำการดึงด้วยเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส ของชิ้นงานแต่ละตัวอย่างด้วยความเร็วในการดึง 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ PCL/PLA 0/100 (PLA 100%) มีความแข็งแรงมากต้องใช้แรงดึงมากที่สุดที่ 70 นิวตัน ในขณะที่อัตราส่วน 100/0 (PCL 100%) พบว่า PCL สามารถทนแรงดึงได้ประมาณ 40 นิวตัน และเมื่อทำการผสม PCL กับ PLA ในอัตราส่วน PLA ที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าการทนแรงดึงลดลง

อาจเกิดจากการแยกตัวกันของ PLA และ PCL ดังแสดงในผล การทดสอบสมบัติทางความร้อน

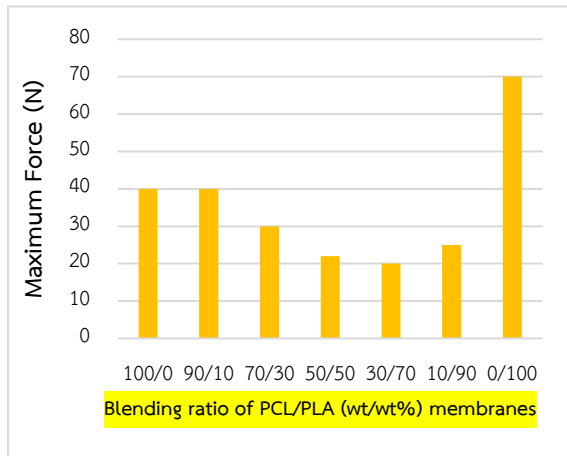


Figure 2 Maximum force of PCL/PLA blends

ในผลของระยะยืด ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1 จะเห็นได้ว่า PCL มีระยะยืดขาดที่ประมาณ 210 mm ในขณะที่ PLA ซึ่งเป็นวัสดุที่เปราะ มีระยะยืดขาดประมาณ 16 mm การผสม PCL ใน PLA ทำให้ PLA มีระยะยืดขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ชิ้นงาน PCL/PLA 90/10 ไม่สามารถยืดขาดได้และทนต่อแรงดึงได้สูงถึง 40 N อาจเกิดจาก พอลิเมอร์ PCL และ PLA สามารถเข้ากันได้ดีที่อัตราส่วนนี้ โดย PLA อาจเข้าไปแทรกตัวใน PCL ทำให้ระยะยืดขาดของ PCL เพิ่มขึ้น

Table 1 Maximum force and stroke of PCL/PLA

Sample PCL/PLA	Maximum Force (N)	Elongation at Break (mm)
100/0	40	210
90/10	40	not break
70/30	30	35
50/50	22	28
30/70	20	19
10/90	25	19
0/100	70	16

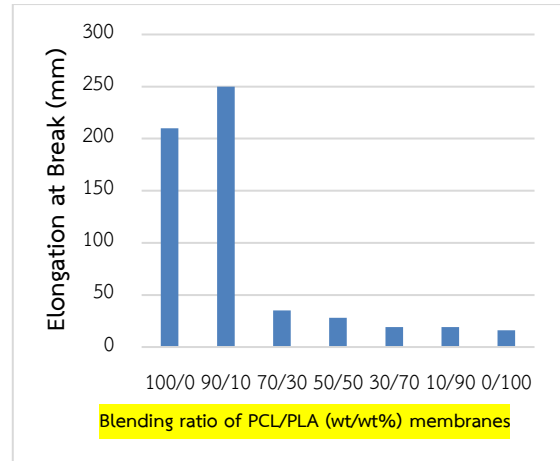


Figure 3 Elongation at Break of PCL/PLA blends

3.2 ผลการทดสอบการย่อยสลาย

จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยมีปัจจัยควบคุมคือ ทำการรดน้ำ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง และวางไว้ในที่ที่แสงแดดส่องถึงและเก็บผลการทดลองตามระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 เดือน 3 เดือน และ 6 เดือน จะได้ผลการทดลองดัง Table 2

จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สังเกตได้ จะเห็นได้ว่าในแต่ละเดือนเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ที่ระยะเวลา 1 เดือน พอลิเมอร์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลง พอลิเมอร์ทุกแผ่นยังสมบูรณ์ ที่ระยะเวลา 3 เดือน จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของ PCL เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์มีการย่อยสลายได้ดีขึ้น โดย PCL สามารถย่อยสลายได้ทั้งหมดที่ระยะเวลา 6 เดือน ในขณะที่ PLA มีการย่อยสลายบางส่วนและมีการแตกหักของพอลิเมอร์ PLA เกิดขึ้น ส่วนการผสมกันระหว่าง PCL/PLA คาดว่า ปริมาณ PCL ที่เพิ่มขึ้นทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น

3.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิควิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC) ได้ทำการทดลอง โดยนำชิ้นงานมาใส่ในเครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนและให้ความร้อน เริ่มจากที่อุณหภูมิ -10 °C จนถึง 200 °C กราฟของผลที่ได้จะแสดงใน Figure 4

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนในช่วงการให้ความร้อน -10 °C ถึง 200 °C ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 4 จากการทดสอบชิ้นงานพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ PCL และ PLA ในบางอัตราส่วนพอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เห็นได้จากค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์ทั้งสองที่แยกเฟสกันออกอย่างชัดเจน โดยพอลิเมอร์ PCL จะมีค่า T_m อยู่ที่ประมาณ 60 °C

[8] และพอลิเมอร์ PLA มีค่า T_m อยู่ที่ประมาณ 170 °C แต่ในขณะที่เดียวกันพอลิเมอร์ PCL และ PLA สามารถเข้ากันได้ดีที่สุด ในอัตราส่วนของ PCL/PLA : 90/10 เห็นได้จากช่วงของ T_m ระหว่าง PCL และ PLA มีแนวโน้มเข้าใกล้ชิดกันมากกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ และ PLA มีค่า $\Delta H_{(PLA)}$ ต่ำ เกิดการแยกเฟส น้อย จึงใช้พลังงานในการหลอมเหลวต่ำ ดังที่แสดงใน Figure 4 ส่งผลทำให้การผสมทุก ๆ อัตราส่วนยังคงเห็นพิศการ

หลอมเหลว 2 ตำแหน่ง (ทั้งของ PCL และ PLA) การที่วัสดุผสมในอัตราส่วน PCL/PLA เป็น 90/10 มีการยึดตัวได้มากที่สุด อาจเนื่องมาจากปริมาณ PCL ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถยึดหยุ่นได้สูง มีในปริมาณที่มากจึงทำให้วัสดุผสมมีสมบัติของ PCL ที่เด่นชัดกว่า คือยึดได้มากนั่นเอง ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 3

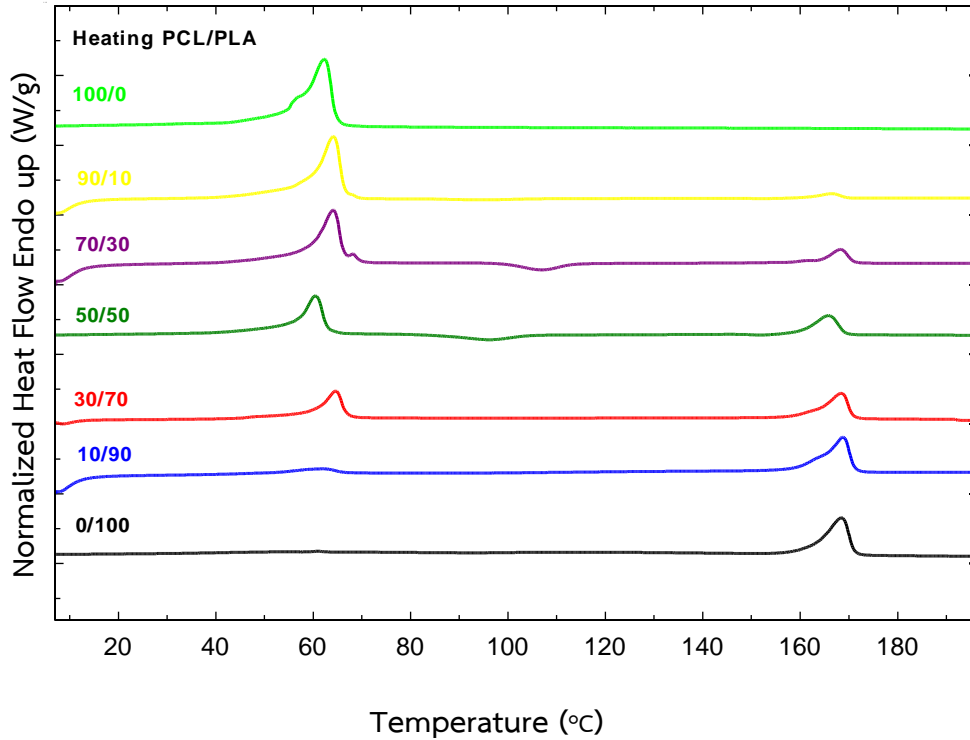


Figure 4 DSC thermograms of PCL/PLA blends

Table 2 Degradation of polymers in the environment naturally after 1, 3, and 6 months

Samples	1 month	3 months	6 months
100/0			
90/10			

Table 2 Degradation of polymers in the environment naturally after 1, 3, and 6 months (continued)

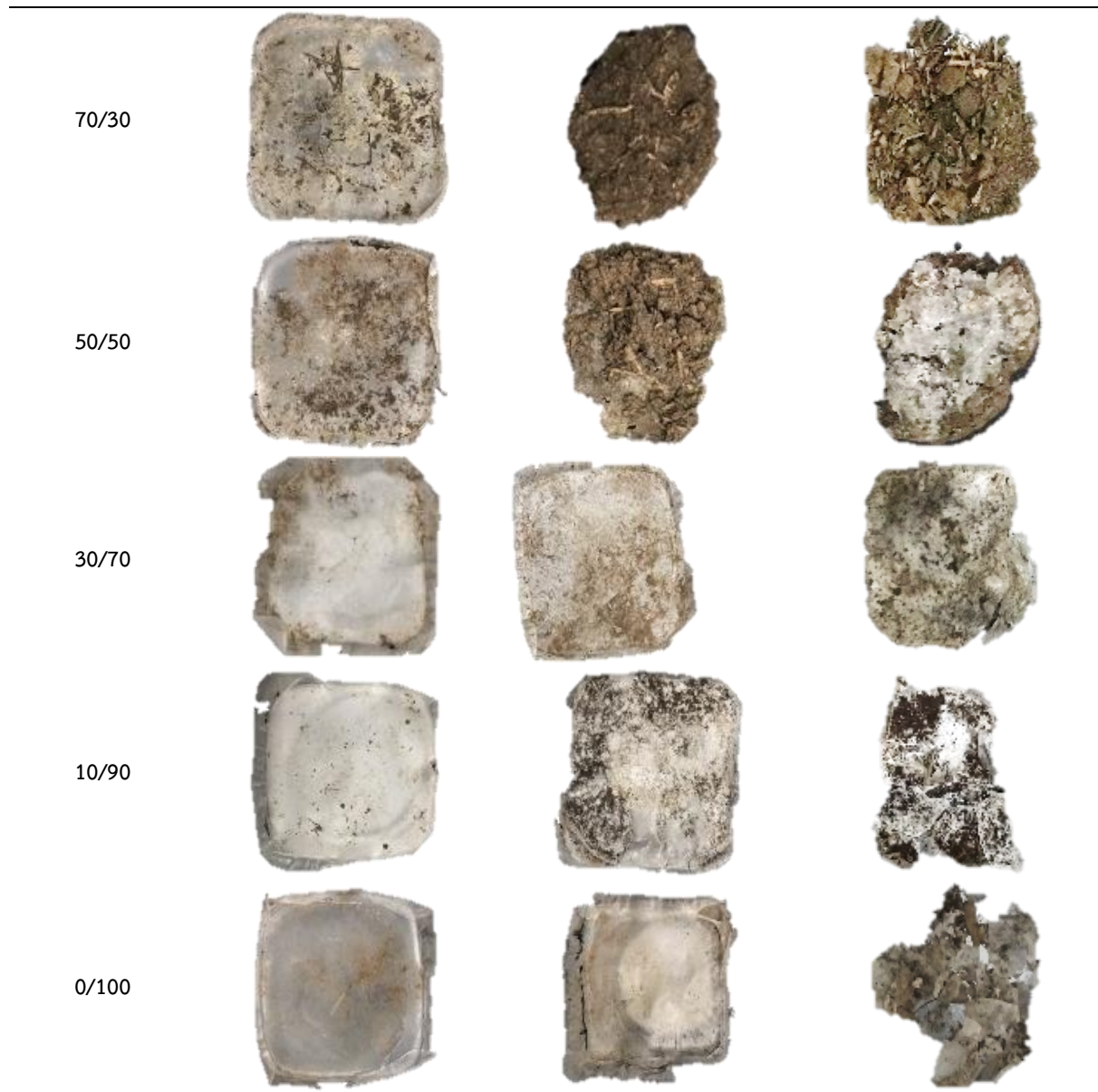


Table 3 Thermal properties of PLA/PBAT

Samples	Melting of PCL		Melting of PLA	
	T_{PCL} (°C) (Melting Temperature)	$\Delta H_{(PCL)}$ (J/g)	T_{PLA} (°C) (Melting Temperature)	$\Delta H_{(PLA)}$ (J/g)
100/0	62.22	78.4089	-	-
90/10	64.23	72.4748	166.56	4.3593
70/30	64.10	60.4533	168.23	10.9166
50/50	60.42	41.1601	165.80	20.6947
30/70	64.57	28.6449	168.41	26.2275
10/90	61.80	7.8767	168.71	36.4937
0/100	-	-	168.37	38.3411

3.4 ผลการทดสอบสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาการผลิตเส้นใยด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง พบว่าเมื่ออัตราส่วนของ PCL เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดของเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงมีขนาดใหญ่และหนาขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารละลาย โดยถ้าความเข้มข้นของสารละลายต่ำ (ปริมาณ PCL ต่ำ) สารละลายที่พุ่งออกมาได้ง่าย เนื่องจากต้านแรงตักยไฟฟ้าได้ต่ำ ทำให้เกิดเป็นเส้นใยบนวัสดุรองรับและระเหยได้เร็วกว่า [9] ดังแสดงใน Figure 5

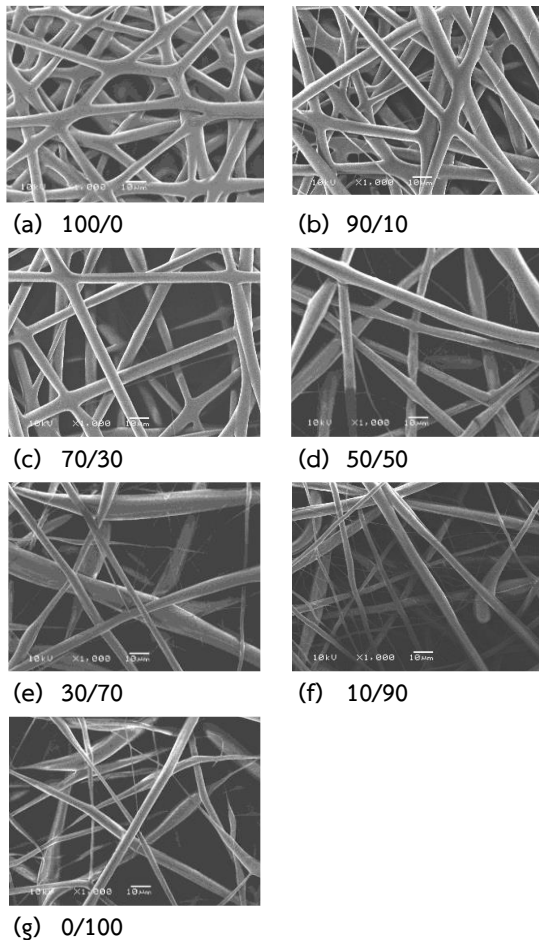


Figure 5 SEM images showing morphologies of PCL/PLA blend membranes.

4. ข้อสรุปและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ พอลิคาโพรแลคโตน (PCL) ผสมกับพอลิแลคไทด์ (PLA) ต่อสมบัติวัสดุ โดยการทำให้เส้นใยไม่โครเมตรด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง ซึ่งสามารถใช้ในอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ได้ โดยพอลิคาโพรแลคโตน และพอลิแลคไทด์ ถูกละลายในคลอโรฟอร์มที่

10% โดยน้ำหนัก อัตราส่วน PCL / PLA คือ 100/0, 90/10, 70/30, 50/50, 30/70, 10/90 และ 0/100 หลังจากละลายแล้วก็นำไปทำเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง มีปัจจัยที่มีค่าเหมาะสมคือ ระยะห่างระหว่างหลอดที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์กับวัสดุรองรับ 15 เซนติเมตร และมีแรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ นอกจากนี้ยังมีการทดลองการย่อยสลายในดิน ทดสอบทางความร้อนทดสอบสมบัติทางกลและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย จากการทดลองเมื่อนำเส้นใยผสมระหว่างพอลิคาโพรแลคโตน และพอลิแลคไทด์ มาทดสอบสมบัติทางกลพบว่าพอลิเมอร์พอลิแลคไทด์ระยะยัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่แรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง การทดสอบสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ บางอัตราส่วนพอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เห็นได้จากจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองที่แยกกันออกอย่างชัดเจน โดยพอลิเมอร์ PCL จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 60 °C และพอลิเมอร์ PLA จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 170 °C แต่ในขณะที่เดียวกันพอลิเมอร์ PCL และ PLA สามารถเข้ากันได้ดีในอัตราส่วนของ PCL/PLA : 90/10 เห็นได้จากจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองอยู่ในจุดเดียวกัน ส่งผลทำให้พอลิเมอร์ PCL/PLA : 90/10 ไม่สามารถยึดขาดได้ การทดสอบสัณฐานวิทยา พบว่าเมื่ออัตราส่วนของ PCL เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดของเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงมีขนาดใหญ่และหนาขึ้นตามไปด้วย และการทดสอบการย่อยสลาย พบว่าพอลิคาโพรแลคโตน สามารถย่อยสลายได้ดี แต่พอลิแลคไทด์ มีการย่อยสลายที่ช้ากว่า ทำให้วัสดุผสมพอลิคาโพรแลคโตน และพอลิแลคไทด์เกิดการย่อยสลายในเฉพาะส่วนที่เป็น PCL ก่อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการคณาจารย์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Paai, T. 2012. Preparation and properties of polymer blend/ bioglass® composite for bone tissue engineering application. M. Eng. Thesis, Silpakorn University. (in Thai)
- [2] Thitipong, W. 2013. Improve mechanical properties and morphology of pbs by pbs/pci reactive blending. M.S. Thesis, Silpakorn University. (in Thai)

- [3] Amornrat, L. 2011. Poly(lactic acid): polyester from renewable resources. **Kasetsart Engineering Journal (Thailand)**. 24(77): 99-110
- [4] Rujitanaroj, P. and et al. 2008. Wound-dressing materials with antibacterial activity from electrospun gelatin fiber mats containing silver nanoparticles. **Polymer**. 49(21): 4723-4732.
- [5] Premraj, R. and Mukeesh, D. 2005. Biodegradation of polymer. **Indian Journal of Biotechnology**. 4(2): 186-193.
- [6] Luu, Y. K. et al. 2003. Development of a nanostructured DNA delivery scaffold via electrospinning of PLGA and PLA-PEG block copolymers. **Journal of Controlled Release**. 89(2): 341-353.
- [7] Dassakron, A. and Srithep, Y. 2018. Production of Microfibers from Polylactide Stereocomplex by Electrospinning Process. **The 13th Mahasarakham University Research Conference**. Mahasarakham, Thailand. (*in Thai*)
- [8] Marianne, L. and Wim, T. 2009. Synthesis of polycaprolactone: a review. **Chemical Society Reviews**. 38(12): 3484-3504.
- [9] Venugopal, J., Zhang, Y.Z. and Ramakrishna, S. 2005. Electrospun nanofibres: Biomedical applications. **Mechanical and Industrial Engineering Micro and Nano Mechanics**. 218(1): 35-45.