ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ด้วยกระบวนการเมลต์โบลวน์

Preparation and Characterization of Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) Blend Fibers by Melt-Blown Process

อารีรัตน์ มากมี*
Areerut Magmee
เบญจมาภรณ์ ตั้งนรวิชญ์**
Benchamaporn Tangnorawich
หยาดนภา ผาเจริญ***
Yardnapar Parcharoen
นรรจพร เรืองไพศาล****
Nanjaporn Roungpaisan
ชิราวุฒิ เพชรเย็น*****
Chiravoot Pechyen
สุรเชษฐ์ ตุ้มมี******
Surachet Toommee

Received : November 2, 2022
Revised : September 27, 2023
Accepted : March 1, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเตรียมเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยกระบวนการเมลโบลวน์ (Melt blown) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความรวดเร็ว ต้นทุนต่ำและเส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กละเอียด (ระดับนาโนเมตร ถึงไมโครเมตร) โดยจะขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิหัวฉีด (Die) ที่ 270 องศาเซลเซียส และมีสภาวะการปรับแต่งขึ้นรูปดังนี้ อัตราการป้อนพอลิเมอร์ที่ 13.2 กรัม/รู/นาที ความดันลม (ATR) ที่ 0.4 เมกะปาสคาล และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดถึงตัวเก็บเส้นใย 45 เซนติเมตร ศึกษาสัณฐานวิทยา ศึกษาสมบัติเชิงกล ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนและโครงสร้างผลึก จากการทดลองพบว่าลักษณะเส้นใยจะไม่ต่อเนื่อง และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีผลต่อขนาดของเส้นใยเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย (DSC) แสดงอุณหภูมิการตกผลึกแบบเย็น (T_{cc}) ของพอลิแลคติกแอซิดที่ 105.8 องศาเซลเซียส และแผ่นเส้นใยผสมอยู่ที่ 91.7 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเติมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตลงไปอาจมีผลต่อการตกผลึกของพอลิแลคติกแอซิดได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ที่พบการ

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

เป็นผลึกเพิ่มขึ้นของพอลิแลคติกแอซิดเมื่อเติมพอลิบิวทีลีนซัควิเนต 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก และยังพบว่าการเพิ่มพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตยังช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานแรงดึงอีกด้วย

คำสำคัญ : พอลิแลคติกแอซิด / พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต / เมลต์โบลวน์ / ผ้าแบบไม่ถักทอ

---

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Master of Science program students, Department of Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University(Corresponding Author) e-mail: s.toommee@gmail.com
**อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University
***อาจารย์ประจำวิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer at Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University
****อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเคมีและสิ่งทอและเส้นใย คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี
Lecturer in Chemical and Textile and Fiber Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
*****อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer in Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University
******อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Lecturer at Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

ABSTRACT

In this research, polylactic acid (PLA) and polybutylene succinate (PBS) blended fibers were studied and prepared at different ratios by Melt Blown process. Which is a fast technique, low cost and the resulting fiber is small and fine (nanometer to micrometer). It will be molded with a nozzle temperature at 270 °C and the condition of adjusting the forming is Polymer feed rate of 13.2 g/hole/min, air pressure (ATR) of 0.4 MPa, and distance between nozzle tip and fiber collector 45 cm. Then the physical, Thermal, mechanical properties and crystallization structure were studied. From the experiment, it was found that the fiber characteristics were not continuous and polybutylene succinate effects the fiber size as the volume increases. The thermal properties (DSC) showed the cold crystallization temperature (T_{cc}) of the polylactic acid at 105.8 °C and the composite fiber sheet at 91.7 °C. This suggests that the addition of polybutylene succinate may effect polylactic acid crystallization. This corresponds to the results of the X-ray diffraction test (XRD) which revealed increased crystallinity of polylactic acid when 10 %wt. of polybutylene succinate was added. It was also found that the addition of polybutylene succinate also increased the tensile properties. The results of this experiment, it is expected that the synthesized fibers will be useful for further development in the textile industry.

Keywords : Poly (lactic acid) / Poly (butylene succinate) / Melt blown / Nonwoven

บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอถือเป็นอุตสาหกรรมที่เติบโตอย่างรวดในปัจจุบันเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมในด้านอื่นๆ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่เน้นการปรับปรุงสมบัติและสมรรถนะทางด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์มากกว่ารูปร่างหรือความสวยงาม สิ่งทอจึงเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนางานในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ เป็นต้น (เข็มชัย, 2549) และหนึ่งในสิ่งทอที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากคือ ผ้าแบบไม่ถักทอ (Nonwoven) ซึ่งเป็นผ้าที่ขึ้นรูปจากเส้นใยโดยตรงที่อาศัยกลไกทางความร้อนหรือทางเคมี โดยที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องทอผ้าในกระบวนการผลิตแต่มีรูปลักษณ์และสมบัติเชิงกลใกล้เคียงหรือเหนือกว่าผ้าแบบทอ นอกจากนี้ผ้าแบบไม่ถักทอยังมีจุดเด่นตรงที่สามารถออกแบบให้มีลักษณะและสมบัติที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกันไป (สมจิตต์, ขนิษฐา และพรทิพย์, 2549) กระบวนการขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักทอมีหลายวิธี เช่น การปั่นด้วยไฟฟ้า (Electrospinning) การปั่นด้วยแรง (Force spinning) กระบวนการปั่นหลอม (Melt spinning) การสปันบอนด์ (Spun bond) และการเป่าหลอม (Melt blown) เป็นต้น

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

กระบวนการเมลต์โบลวน์ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากสามารถผลิตเส้นใยที่มีขนาดเล็กละเอียด (ระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร) มีสมบัติการกรองที่ดี สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ประหยัดเวลา ไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำและนำไปใช้งานร่วมกับผ้าแบบไม่ทักทอชนิดอื่นได้ สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น แผ่นกรองด้านในหน้ากากอนามัย และผลิตภัณฑ์ทางด้านการแพทย์แบบใช้แล้วทิ้ง เป็นต้น (จุรีรัตน์, 2552) นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการผลิตที่สามารถเข้ากับเม็ดพอลิเมอร์ได้หลายชนิด เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิสไตรีน (Polystyrene) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) เป็นต้น (Duran, el al., 2013) แต่เนื่องด้วยปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความสำคัญในปัจจุบัน การใช้พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันคือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid หรือ PLA) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้มาจากทรัพยากรหมุนเวียน ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ มีความคงตัวทางความร้อนที่ดี พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเอสเตอร์อเนกประสงค์ที่ใช้งานได้หลากหลายด้าน แต่ยังคงมีจุดอ่อนที่สำคัญคือความเปราะ และความเป็นผลึกที่ต่ำ ซึ่งจุดอ่อนเหล่านี้ยังคงกลายเป็นปัญหาหลักของการประยุกต์ใช้งาน (Yuanyuan, el al., 2016)

การปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของพอลิแลคติกแอซิดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมอนุภาคนาโนของสารอนินทรีย์ อาศัยกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ และอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้คือการผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่นเข้าไปเพื่อทำการปรับปรุงสมบัติเพราะเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถปรับปรุงโครงสร้างได้เป็นอย่างดี (Huiqin et al., 2020) โดยพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นจะต้องเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว มีความยืดหยุ่นเพื่อที่จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ โดยจากการศึกษาของ Elwathig Hassan, et al. (2018) ที่ศึกษาเส้นใยผสมของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัค-ซิเนต (Polybutylene succinate หรือ PBS) โดยกระบวนการปั่นหลอม พบว่าเส้นใยผสมพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีความเข้ากันได้สูง และมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเติมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 12 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ในพอลิแลคติกแอซิดทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง 39 เปอร์เซ็นต์ และค่าการยืดตัว (Elongation) เพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ (Elwathig, et al. 2018) นอกจากนี้ Nikoleta, et al. (2014) ยังได้ศึกษาการผลิตเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่ต่างกัน ผ่านกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนและโครงสร้างผลึกแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตจะทำให้อุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ลดลง และเส้นใยมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตยังแสดงผล พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer effect) ซึ่งทำให้เส้นใยมีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น ทนต่อความร้อนและสภาวะกรดด่างเพิ่มขึ้น (Nikoleta, et al., 2014) เช่นเดียวกันกับ Tadashi Yokohara, et al. (2008) ที่พบว่าการเพิ่มพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต จะช่วยเพิ่มอัตราการตกผลึกของพอลิแลคติกแอซิด นอกจากนี้อุณหภูมิของการตกผลึกแบบเย็น (Cold-crystallization) ของสารผสมจะต่ำกว่าอุณหภูมิของพอลิแลคติกแอซิดปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการสร้างนิวเคลียสของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่นำไปสู่การสร้างผลึกของพอลิแลคติกแอซิดระหว่างเย็นตัว (Tadashi & Masayuki, 2008) จากงานวิจัยข้างต้น

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate หรือ PBS) ถือเป็นหนึ่งทางเลือกที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพอลิแลคติกแอซิดได้ดี เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) รวมถึงเป็นวัสดุชีวภาพที่หาได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำอีกด้วย (Shen, Rodion, Sengul & Stephan, 2019)

ในงานวิจัยนี้ กระบวนการเมลต์โบลวน์ถูกนำมาใช้เพื่อผลิตผ้าแบบไม่ถักทอของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ และพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นศึกษาสัณฐานวิทยา ศึกษาสมบัติเชิงกล ศึกษาสมบัติทางความร้อนและโครงสร้างผลึกของเส้นใยเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาในอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

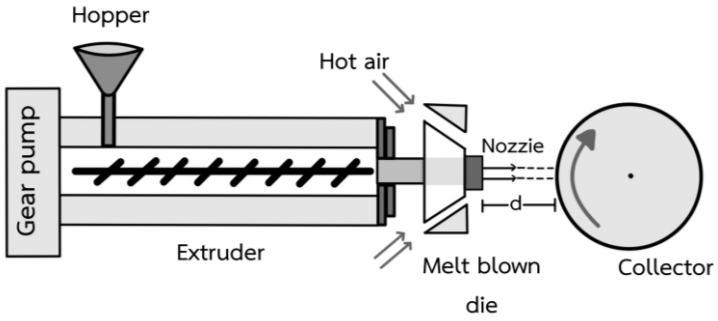
สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid); PLA, Ingeo^{TM} Biopolymer 3251D, Nature Works, LLC, USA; MFI 24 g/10 min, density 1.24 g cm^{-3}) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate); PBS, Biopolymer^{TM} FZ78TM, PTT MCC Biochem, Thailand; MFI 27.96 g/10 min, density 1.31 g cm^{-3}) เครื่องผลิตผ้าเมลต์โบลวน์ (Melt blown machine)

การเตรียมเม็ดพอลิเมอร์และการขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักทอด้วยกระบวนการเมลต์โบลวน์

การเตรียมเม็ดพอลิเมอร์โดยจะนำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดและเม็ดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ทำการผสมเม็ดพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยใช้อัตราส่วนของเม็ดพอลิแลคติกแอซิดต่อพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ดังนี้ 100/0, 97.5/2.5, 95/5, 90/10 และ 0/100 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการเมลต์โบลวน์ กระบวนการเมลต์โบลวน์ เป็นกระบวนการเป่าหลอมที่ขึ้นรูปจากเม็ดพอลิเมอร์โดยตรง โดยเม็ดพอลิเมอร์จะถูกป้อนผ่านเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ตัวถังใส่พอลิเมอร์ (Hopper) จนถึงหัวฉีดอยู่ที่ประมาณ 170 ถึง 270 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวจนได้อุณหภูมิและความหนืดที่เหมาะสม จากนั้นพอลิเมอร์จะถูกป้อนด้วยอัตราการป้อนเนื้อพอลิเมอร์ (Throughput Rate: TP) อยู่ที่ 13.2 กรัมต่อรูต่อนาที แล้วถูกเป่าด้วยความดันลมที่ 0.4 เมกะปาสคาล เข้าสู่แม่พิมพ์แบบสามรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างหัวฉีดถึงตัวเก็บผ้าคือ 45 เซนติเมตร และอัตราการไหลของไนโตรเจนอยู่ที่ 40 มิลลิลิตรต่อนาที โดยแสดงกระบวนการขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักทอ ดังภาพที่ 1 หลังจากนั้นจะได้แผ่นผ้าไม่ถักทอที่ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่ต่างกันบนตัวเก็บเส้นใย และนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นผ้าต่อไป

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)



ภาพที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปเส้นใยของเมลต์โบลวน์

การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของแผ่นผ้าแบบไม่ถักทอระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต หลังจากขึ้นรูปแผ่นเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการเมลต์โบลวน์ทั้ง 5 อัตราส่วน ในสภาวะที่กำหนดแล้ว จึงนำแผ่นเส้นใยมาศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่ 20 กิโลโวลต์ กำลังขยาย ×1000 เท่า และ ×5000 (Low vacuum mode) ขนาดตัวอย่าง 1x1 เซนติเมตร

2. ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Instron universal testing machine (INSTRON 5560) ตามมาตรฐาน ASTM-D638 ที่อัตราการดึง 10 มิลลิเมตร/นาที โดยจะใช้ตัวอย่างขนาด 1×10 เซนติเมตร

3. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimetry analyzer: DSC) ตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 ถึง 200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน (อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที) และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

4. ศึกษาโครงสร้างผลึกของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction: XRD) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cu Kα ในช่วงมุมการเลี้ยวเบนตั้งแต่ 5 ถึง 40 องศา

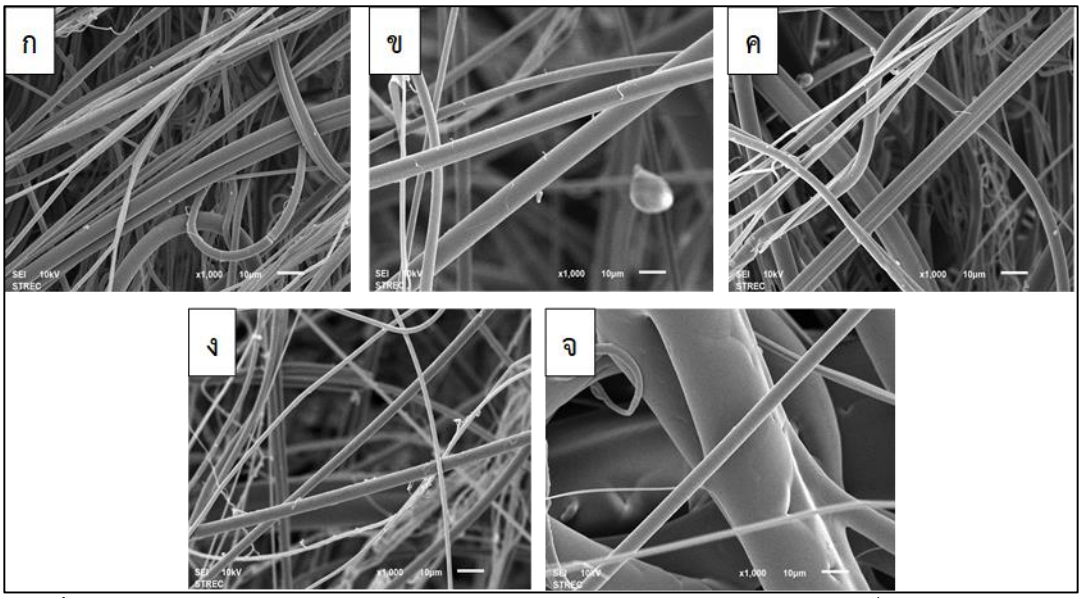
ผลการวิจัย

การทดสอบสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าลักษณะของเส้นใยที่ได้ของแต่ละอัตราส่วนจะเป็นลักษณะของเส้นใยที่ไม่ต่อเนื่องและไม่สม่ำเสมอ เหตุเพราะเป็นการขึ้นรูปในลักษณะฉีดพ่นด้วยลมร้อนที่มีความเร็วสูงทำให้เส้นใยไม่มีโอกาสไหลผ่านรูหัวฉีดอย่างต่อเนื่องและดึงยืดยาวเหมือนกันขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักทอวิธีอื่น ส่งผลทำให้แผ่นเส้นใยมีความแข็งแรงน้อย (จุรีรัตน์, 2552) และสังเกตว่าที่บริเวณเส้นใยจะพบเศษของพอลิเมอร์ติดอยู่จึงสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากผลความเร็วลมที่สูงจึงทำให้เกิดการแตกของของพอลิเมอร์ที่

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

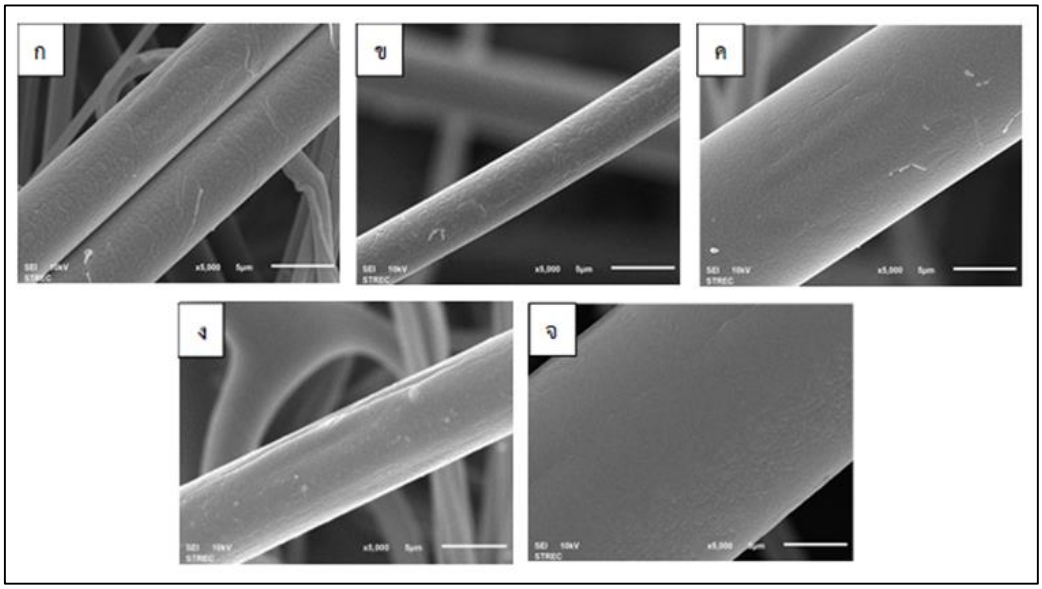
ถูกหลอมก่อนที่จะถูกทำให้เป็นเส้นใย (Monika et al., 2011) และการศึกษาขนาดของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต พบว่าแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 2.26 ไมโครเมตร และแผ่นเส้นใยพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ 6.46 ไมโครเมตร และแผ่นเส้นใยผสมที่มีอัตราส่วนของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 2.5 5 และ 10 ร้อยละโดยน้ำหนักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ 4.21 3.30 และ 3.10 ไมโครเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทำให้แผ่นเส้นใยมีขนาดที่เล็กลงเมื่อปริมาณของพอลิบิวทิลีนเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ×1000 เท่า; (ก) 100/0, (ข) 97.5/2.5, (ค) 95/5, (ง) 90/10 และ (จ) 0/100

นอกจากนี้ยังศึกษาลักษณะความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสอง พบว่าเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์มีพื้นผิวเรียบเช่นเดียวกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เมื่อพิจารณาแผ่นเส้นใยผสม พบว่า ในขณะที่เฟสพอลิบิวทิลีน-ซัคซิเนตมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมออยู่ในองค์ประกอบทั้งหมดของเส้นใยผสมทั้งหมด เนื่องจากไม่พบการแยกเฟสที่ชัดเจนของส่วนประกอบรวมถึงไม่พบรูพรุน ซึ่งบ่งชี้ได้ถึงความเข้ากันของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิ-ลีนซัคซิเนต การเพิ่มปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตลงไป จะทำให้เฟสการกระจายตัวของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตชัดเจนขึ้นโดยมีการรวมตัวของอนุภาคน้อยลงในส่วนผสม และลักษณะโดยทั่วไปจะหยาบขึ้นเมื่อมีปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

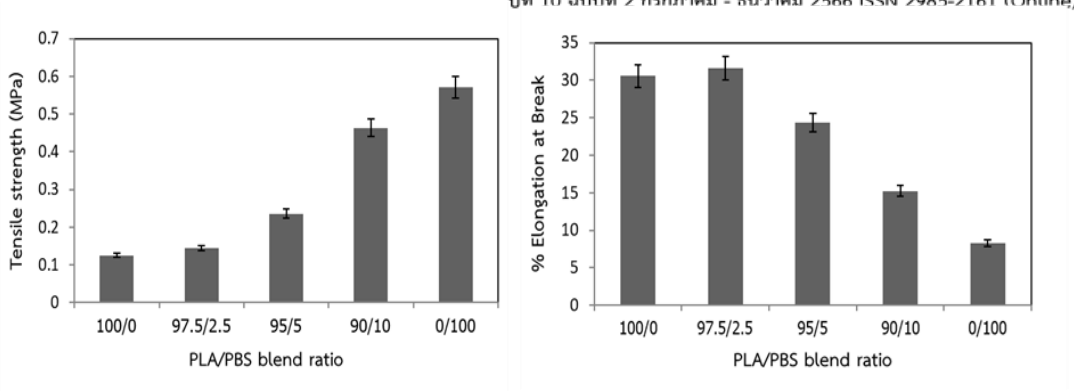


ภาพที่ 3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย ×5000 เท่า ; (ก) 100/0, (ข) 97.5/2.5, (ค) 95/5, (ง) 90/10 และ (จ) 0/100

การทดสอบความทนต่อแรงดึง

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Instron universal testing machine พบว่าความต้านทานแรงตึง (Tensile strength) ของแผ่นเส้นใยพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์มีค่าสูงกว่าแผ่นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ และการเพิ่มปริมาณพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตลงไปส่งทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงตึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ดังภาพที่ 4 ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดแตกหัก (% Elongation at break) ของแผ่นเส้นใยพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์มีค่าการยืดตัวที่จุดแตกหักต่ำกว่าแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตลงไปค่าความยืดตัวที่จุดแตกหักจะค่อยๆ ลดลง ตามปริมาณของพอลิบิวทิลีน-ซัคซิเนตที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4 ผลที่ได้ทั้งหมดมีความแตกต่างจากงานของ (Elwathig, Salah, You & Muhuo, 2018) ที่ศึกษาคุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยกระบวนการเมลต์โบลวน์ พบว่าพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์มีค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ในขณะที่ค่าการยืดตัวของพอลิแอคติกแอซิดมีค่าต่ำสุด และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Elwathig, Salah, You & Muhuo, 2018) ซึ่งเป็นไปได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้อาจแตกต่างกันไปตามเกรดของวัสดุและวิธีการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยที่แตกต่างกัน (Phiriyawirut, Sarapat, Sirima, & Prasertchol, 2019) หรือลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

การทดสอบสมบัติทางความร้อน

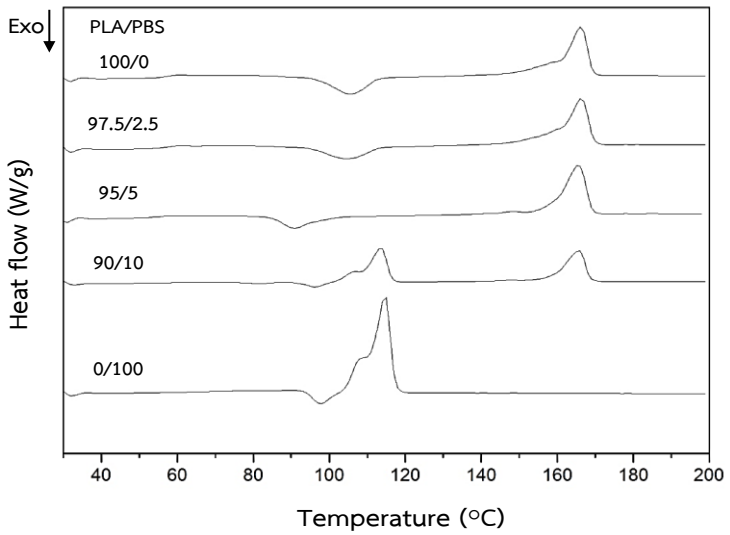
การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (DSC) ของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ และเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยอัตราการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงไว้ดังภาพที่ 5 และสรุปข้อมูลไว้ในตารางที่ 1 จากการทดสอบพบว่าเส้นใยของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อยู่ที่ 60.5 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิการตกผลึกแบบเย็น (T_{cc}) ที่ 105.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) โดยประมาณอยู่ที่ 166 องศาเซลเซียส ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การตกผลึกที่ 18 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เส้นใยพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีอุณหภูมิการตกผลึกแบบเย็น (T_{cc}) อยู่ที่ 97.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อยู่ที่ 114.8 องศาเซลเซียส และมีเปอร์เซ็นต์การตกผลึกที่ 41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเป็นผลึกสูงมากเมื่อเทียบกับเส้นใยของพอลิแลคติกแอซิด สามารถยืนยันโดย XRD ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของค่าสูงสุดของการเลี้ยวแบนอย่างชัดเจน

ตารางที่ 1 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวแผ่นเส้นใยผสมพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ในอัตราส่วนต่างๆ

PLA/PBS blend ratio	PLA phase				PBS phase		
	T_g (°C)	T_m (°C)	T_{cc} (°C)	ΔH_m (J/g)	T_m (°C)	T_{cc} (°C)	ΔH_m (J/g)
100/0	60.7	166.3	105.8	51.2	-	-	-
97.5/2.5	60.5	166.3	104.5	52.4	-	-	-
95/5	60.2	166.5	96.2	51.8	-	-	-
90/10	59.4	165.6	91.7	26.2	113.5	96.2	30.0
0/100	-	-	-	-	114.6	97.8	81.6

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

สำหรับเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PLA/PBS) กราฟ แสดงเฉพาะสมบัติทางความร้อนของเฟสพอลิแลคติกแอซิด เมื่อปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตอยู่ในช่วง 2.5 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็น 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก กราฟ DSC จึงจะแสดงสมบัติทางความร้อนของทั้งเฟสพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตยังส่งผลให้อุณหภูมิการตกผลึกแบบเย็น (T_{cc}) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความสามารถในการสร้างนิวเคลียสของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่นำไปสู่การสร้างผลึกของพอลิแลคติกแอซิดระหว่างเย็นตัว (Nikoleta, et al., 2014) ในขณะที่อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก



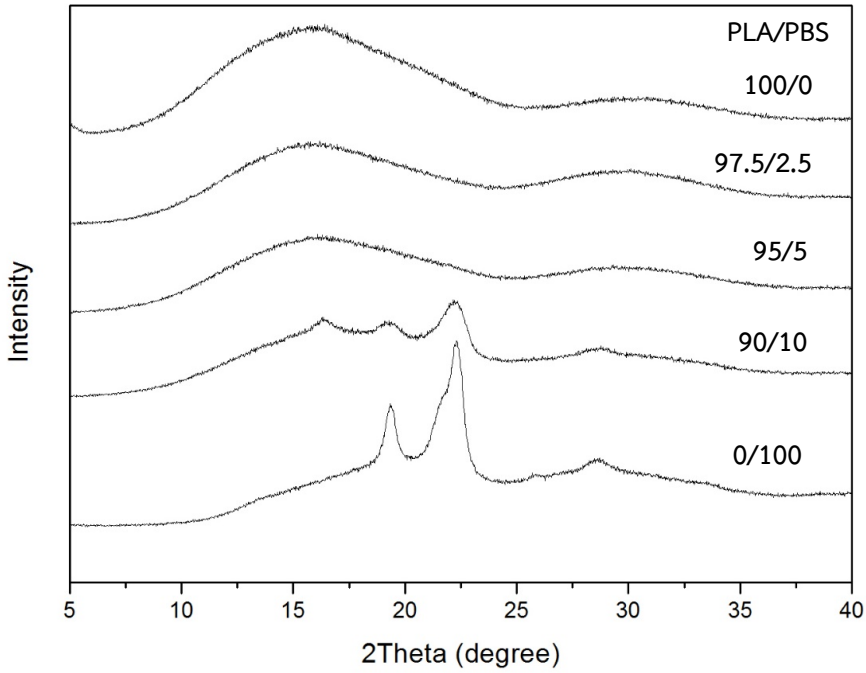
ภาพที่ 5 กราฟ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่ต่างกัน

การทดสอบความเป็นผลึก

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction: XRD) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cu Kα ในช่วงมุมการเลี้ยวเบน (2θ) ตั้งแต่ 5 ถึง 40 องศา ของแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ และแผ่นเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ดังภาพที่ 6 จากผลการวิเคราะห์พบว่าแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ ไม่แสดงพีคการเลี้ยวเบนที่ชัดเจน ส่วนใหญ่จะแสดงลักษณะของพีคที่กว้าง (Broad) แสดงถึงความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) หรือมีปริมาณผลึกน้อย ซึ่งแสดงมุมการเลี้ยวเบนที่มุม 2θ ประมาณ 16.2 องศา และ 31.2 องศา ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ (Nikoleta, et al., 2014) ส่วนแผ่นเส้นใย

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ แสดงพีคที่ตำแหน่ง 2 ที่มุม 19.4 22.3 และ 29.1 องศา ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกหรือแอลฟา (Monoclinic, α) (Jeong, Seung & Ji, 2005)



ภาพที่ 6 การเลี้ยวบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่ต่างกัน

สำหรับแผ่นเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต จากการวิเคราะห์พบว่าแผ่นเส้นใยที่มีปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตอยู่ที่ 2.5 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่ปรากฏพีคของความเป็นผลึกแต่แสดงให้เห็นเฉพาะการมีอยู่ของอสัณฐานเช่นเดียวกับแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด แต่ความเข้มข้นของพีคที่ 2θ ประมาณ 16.2 และ 31.2 องศา มีค่าลดลง ซึ่งบ่งบอกได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตปริมาณ 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่ามีพีคเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 19.4 และ 29.1 องศา เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ แสดงว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตสามารถเพิ่มความเป็นผลึกของพอลิแลคติกแอซิดได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบทางความร้อน (DSC) ที่เมื่อเติมพอลิบิวทิ-ลีนซัคซิเนตลงไปทำให้อุณหภูมิการตกผลึก (T_{cc}) ของพอลิแลคติกแอซิดลดลงและอาจส่งผลต่ออัตราการเกิดผลึกได้ดังที่กล่าวมาข้างต้น

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า เส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ถูกเตรียมโดยกระบวนการเป่าหลอม ซึ่งได้ทำการศึกษาพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PLA/PBS) ที่อัตราส่วนดังนี้ 100/0, 97.5/2.5, 95/5, 90/10 และ 0/100 ร้อยละโดยน้ำหนัก จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่าเส้นใยจะไม่ต่อเนื่อง โดยกระบวนการเป่าหลอมไม่สม่ำเสมอและมีเศษพอลิเมอร์หลงเหลืออยู่เล็กน้อยตามเส้นใย เนื่องจากผลของกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าหลอมที่อาศัยลมร้อนความเร็วสูงในการขึ้นรูป เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยผสมมีขนาดลดลงตามปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เพิ่มขึ้น และสารทั้งสองมีความเข้ากันได้โดยไม่แยกเฟส นอกจากนี้การเพิ่มพอลิบิวลีนซัคซิเนตลงไปยังช่วยเพิ่มความเป็นผลึกของพอลิแลคติกแอซิด โดยมีผลกับอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) เพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ที่พบความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นของพอลิแลคติกแอซิดที่ปริมาณพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ความ สามารถในการยืดตัวที่จุดแตกหักกลับมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุปแล้วเส้นใยผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการปั่นหลอม เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนพัฒนาบัณฑิต (วช.) จากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัย

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 ISSN 2985-2161 (Online)

เอกสารอ้างอิง

เข็มชัย เหมะจันทร. (2549). **สิ่งทอเทคนิค.** กรุงเทพฯ : ออฟเซ็ต ครีเอชั่น.

จุรีรัตน์ ประสาร. (2552). **นอนวูฟเวน : ผ้าไม่ถักไม่ทอ.** [Online]. Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/246_21_27.pdf [2565, กุมภาพันธ์ 14].

สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา, ขนิษฐา อัศวชัยนรงค์ และพรทิพย์ ลามอ. (2549). ผ้าไม่ทอ (Nonwoven). **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 54**(171), 35-36.

Duran K., Deniz D., Gurkan O. & Kevser K. (2013). Investigation of the physical properties of melt blown nonwovens for air filtration. **Journal of textile & apparel, 23**(2), 136-142.

Elwathig, H., Salah, E.E., You, W. & Muhuo, Y. (2018). Biodegradable poly (lactic acid)/poly butylene succinate) fibers with high elongation for health care products. **Textile Research Journal, 88**(15), 1735-1744.

Huiqin, H., Guo, X., Gu, J., Zhang, Y., Chen, Q. & Wei, Z. (2020). Biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene succinate) nanofibrous membrane with core-shell structure and high density for improved mechanical properties. **Journal of Polymer Research, 27**(9), 279-291.

Jeong, E.H., Seung, S. & Ji, H. (2005). Electrospinning and structural characterization of ultrafine poly (butylene succinate) fibers. **Polymer, 46**(23), 9538-9543.

Monika, R., Joanna, G., Janusz, F., Janusz, J. & Jaroslaw, J. (2011). PLA melt-blown fibrous structures for potential biomedical applications. **Engineering of Biomaterials, 104**(1), 5-7.

Nikoleta, S., Dilyana, P., Rosica, M., Antoniya, T., Nevena, M., Philippe, D. & Iliya, R. (2014). Poly(L-lactide) and poly (butylene succinate) immiscible blends: From electrospinning to biologically active materials. **Materials Science & Engineering Materials for Biological Applications, 41**(1), 119-126.

Phiriyawirut, M., Sarapat, K., Sirima, S. & Prasertchol, A. (2019). Porous electrospun nanofiber from biomass-based polyester blends of polylactic acid and polybutylene succinate. **Journal of Polymer Chemistry, 9**(1), 1-15.

Shen, S., Rodion, K., Sengül, T. & Stephan, K. (2019). Polylactide (PLA) and its blends with poly (butylene succinate) (PBS): A Brief review. **Polymers, 11**(1193), 7-28.

Tadashi, Y. & Masayuki, Y. (2008). Structure and properties for biomass-based polyester blends of PLA and PBS. **European Polymer Journal, 44**(3), 677-685.

Vol.10 No.2 July - December 2023 ISSN 2985-2161 (Online)

Yuanyuan, C., Luke, M.G., John, A.K., John, G.L., Clement, L.H. & Declan, M.D. (2016). Review of multifarious applications of poly (lactic acid). **Polymer-Plastics Technology and Engineering, 55**(10), 1057-1075.