



ผลของเวลาและอุณหภูมิในการผสมที่มีต่อสมบัติและความเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดกับแป้งเทอร์โมพลาสติกสติกมาลิเอต

Effects of Blending Time and Temperature on the Properties and Compatibilities of Poly(lactic acid)/Maleated Thermoplastic Starch Blends

นัตตลา วงศ์ตะ*, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, อภิสัทธี โนมิตชัยยงค์, จตุพร วุฒิกนกกาญจน์

Nattula Wongta*, Narongrit Sombatsompop, Apisit Kositchaiyong, Jatuphorn Wootthikanokkhan

Division of Materials Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

*e-mail : frenzyboys@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมและศึกษาสมบัติของแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอตผสมกับพอลิแลคติกแอซิด โดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิในการผสมที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอตเตรียมได้จากการผสมกลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณ 2.5 ส่วนในร้อยละ โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิ 130 °C จากนั้นนำพอลิแลคติกแอซิดผสมกับแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอตที่เวลาในการผสม 7, 12 นาทีและอุณหภูมิการผสม 170, 180, 190 °C ไปขึ้นรูปและวิเคราะห์โครงสร้างสมบัติทางกล โครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติการไหลด้วยเทคนิค FTIR, ทดสอบการทนแรงดึง, SEM และ MFI ตามลำดับ จากผลการวิจัยในเบื้องต้นพบว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิผสมมากขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นโดยสังเกตจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอน อย่างไรก็ตาม เวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมแยลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค MFI

Abstract: This research has concerned a study on properties of maleated thermoplastic starch (MTPS)/poly(lactic acid) (PLA) blends. The aim of this research is to investigate the effects of blending time and blending temperature on properties of the polymer blends. MTPS was prepared by blending the starch (75 %wt) with glycerol (25 %wt) and maleic anhydride (2.5 pph), using an Internal mixer at 130 °C. After that, the MTPS was blended with PLA under various blending time (7, 12 minute) and blending temperature (170, 180, 190 °C). Finally, chemical structure, mechanical, morphological and rheological properties of blends were determined by FTIR, Tensile test, SEM and MFI techniques, respectively. From the results, it was found that as the blending time and temperature increased, the blends became more homogeneous. This was supported by SEM images of the various samples. However, tensile properties of the blends also decreased with the time and temperature. The above changes were related to decrease in viscosity of the blends which was confirmed by MFI test results.





บทนำ

ด้วยปัญหาสิ่งแวดล้อมในเมืองไทย เช่น ปัญหาขยะมูลฝอย ที่มีความรุนแรงขึ้นทั้งในแง่การกำจัด , บำบัด และสุขอนามัย โดยเฉพาะขยะพลาสติกใช้เวลาในการย่อยสลายถึง 450 ปี [1] จึงได้มีการพัฒนาพลาสติกชีวภาพมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมี แต่อย่างไรก็ตามการใช้พลาสติกชีวภาพในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชนิดนี้ยังราคาสูง ประกอบกับผู้บริโภคภายในประเทศยังไม่คำนึงถึงความสำคัญของการใช้พลาสติกชีวภาพมากนัก จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาสูตรผสมพอลิแลคติกแอซิดคอมพาวด์ที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติด้านความแข็งแรงของพอลิเมอร์หลอมที่ดีและสามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการเป่าเป็นฟิล์ม [2] แต่อย่างไรก็ตามเม็ดพอลิแลคติกแอซิดคอมพาวด์ที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวยังคงมีราคาสูง ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้จากการผลิตยังไม่สามารถแข่งขันในเชิงพาณิชย์ได้ [3] ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการลดต้นทุนการผลิตพลาสติกชีวภาพให้มีราคาที่ลดลง โดยการนำพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมีราคาถูก เช่น แป้งมันสำปะหลัง [4] มาทำการผสมกับพอลิแลคติกแอซิด (PLA) เพื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในการผสมแป้งกับ PLA และการใช้งานเป็นวัสดุ คือแป้งมีแนวโน้มที่จะผสมเข้ากับพลาสติกชนิดอื่น เช่น PLA ได้ไม่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะปรับปรุงความสามารถในการผสมเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับ PLA โดยการนำมาลิกแอนไฮไดรด์ (MA) มาทำปฏิกิริยากับแป้งเพื่อให้ได้แป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิกแอต (MTPS) [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าได้มีการผสม MTPS กับ Polybutylene adipate-co-terphthalate (PBAT) พบว่ามีความเข้ากันได้มากขึ้นเนื่องจาก MTPS กระจายตัวใน PBAT ได้ดีและสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น [6] ในทำนองเดียวกัน Shin และคณะฯ ได้ทำการผสมแป้งดัดแปร (MTPS) เข้ากับ PLA พบว่า พอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีความเข้ากันได้มากขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อผสมแป้งดัดแปรดังกล่าวมากขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง [7] สำหรับในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิในการผสมที่มีต่อสมบัติและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ MTPS

วิธีการทดลอง

วัสดุและสารเคมี

พอลิแลคติกแอซิด (NatureWork2002D, NatureWork Co.Ltd.), แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลาไทยห้าดาว, บริษัท E.C.T. international Co.Ltd.), กลีเซอรอล (Commercial grade, E.C.T. international Co.Ltd.), กลีเซอรอลไตรอะซิเตด (Triacetin food grade, Eastman Co.Ltd.), มาลิกแอนไฮไดรด์ (Laboratory grade 98% (NT), Fluka analytical/ACS Co.Ltd.), สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Luperox231, Arkema Co.Ltd.)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องผสมระบบปิด ไบควนแบบ Roller blades Volume 370 cm³ (Brabender, 350/350E), เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Brabender, DSE20), เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Labtech, T16)





การเตรียมพอลิแลคติกแอซิดคอมปาวด์

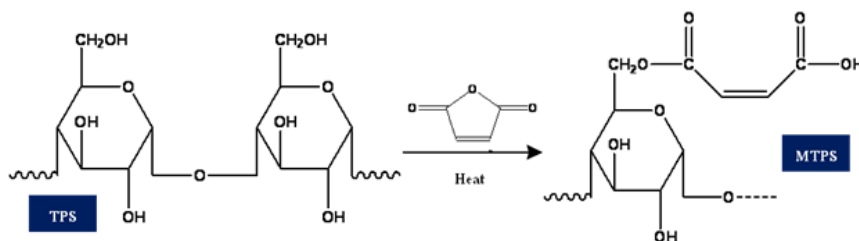
เริ่มจากการเตรียมพอลิแลคติกแอซิดมาสเตอร์แบช โดยอบเม็ดพอลิแลคติกแอซิดในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นผสมกับกลีเซอรอลไตรอะซิเทตในปริมาณ (50 ppb) โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด หลังจากนั้นเตรียมพอลิแลคติกแอซิดคอมปาวด์โดยเติมผสมพอลิแลคติกแอซิดเพิ่มเข้าไปในพอลิแลคติกแอซิดมาสเตอร์แบช เพื่อทำการเจือจางให้คอมปาวด์ที่ได้รับมีปริมาณกลีเซอรอลไตรอะซิเทตเท่ากับ (15 ppb) พร้อมกับการเติมสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (0.75 ppb) ลงไป โดยใช้เครื่องผสมอัดรีดแบบสกรูคู่ (Brabender, DSE20) อุณหภูมิผสมในแต่ละช่วงตั้งแต่บริเวณ feed zone ถึง die zone เท่ากับ 80/160/165/165/145/135 ตามลำดับ และใช้ความเร็วในการหมุนของสกรูเท่ากับ 100 รอบต่อนาที

การเตรียมแป้งเทอร์โมพลาสติก

อบแป้งมันสำปะหลัง ในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำไปผสมกับกลีเซอรอล โดยใช้สัดส่วนแป้งต่อกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 75/25 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิผสม 130 °C เวลาในการผสม 20 นาที และความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที หลังจากนั้นนำแป้งดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR (Perkin Elmer, Spectrum One) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DMTA (Netzsch, 242) วิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM (Jeol, JSM-5800) และหาปริมาณหมู่แทนที่ด้วยเทคนิคการไตเตรต

การเตรียมแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิต

อบแป้งมันสำปะหลังในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นผสมเข้ากับกลีเซอรอล (25 ppb) และมาลิกแอนไฮไดรด์ (2.5 ppb) โดยใช้เครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิผสม 130 °C เวลาในการผสม 20 นาที ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที จากนั้นนำแป้งดังกล่าวไปทำการสกัดให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยการล้างด้วยอะซิโตน [6] พร้อมกับการวัดค่า pH จนกระทั่งคงที่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 วันและทำการวิเคราะห์เหมือนกับแป้งเทอร์โมพลาสติก ก่อนที่จะนำไปผสมในขั้นตอนต่อไป สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับแป้ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างแป้งกับมาลิกแอนไฮไดรด์

การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

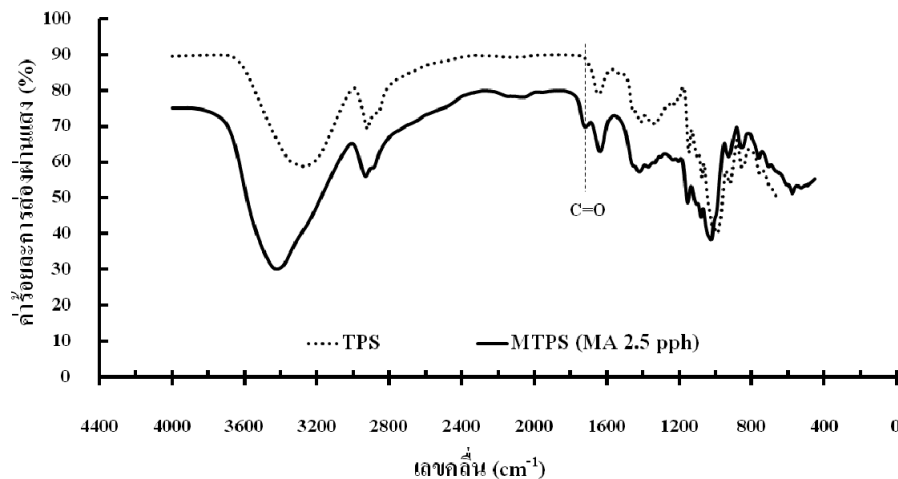




นำพอลิแลคติกแอซิดคอมพาวด์และแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต อบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำมาผสมกัน ซึ่งก่อนหน้านี้นี้ได้มีการทดลองในหลายสัดส่วนการผสม แต่ผู้วิจัยเลือกสัดส่วนผสม 70/30 โดยน้ำหนักเพราะต้องการผสมแป้งคัดแปรเข้ากับ PLA ให้ได้มากที่สุดและยังคงมีสมบัติที่นำไปใช้งานได้ ซึ่งการผสมแป้งคัดแปรมากเกินไปจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลแย่ง ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนการผสม 70/30 โดยน้ำหนัก เวลาในการผสม 7 และ 12 นาที อุณหภูมิในการผสม 170, 180 และ 190 °C โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Brabender, 350/350E) หลังจากนั้นทำการบดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อทดสอบดัชนีการไหลตามมาตรฐาน ASTM D1238 ที่อุณหภูมิ 190 °C, น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัมและทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Labtech, T16) เพื่อที่จะนำชิ้นงานดังกล่าวไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน (ASTM D638) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DMTA รูปแบบการทดสอบแบบยืดและใช้อุณหภูมิในการทดสอบตั้งแต่ (-70) ถึง (70) °C และวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM (Jeol, JSM-5800) โดยเตรียมชิ้นงานด้วยการหักชิ้นงานภายใต้ไนโตรเจนเหลวและนำไปกัด (etching) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 ก็น และให้ความร้อนประมาณ 120 °C เวลา 20 นาที เพื่อกัดเอาส่วนของแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอตออก และเคลือบชิ้นงานดังกล่าวด้วยทอง ก่อนที่จะนำไปทดสอบ

ผลการทดลอง วิจารณ์การทดลอง

รูปที่ 2 แสดงสเปกตรัม FTIR ของแป้งเทอร์โมพลาสติก (TPS) และแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต (MTPS) ซึ่งจากรูปปรากฏฟีกใหม่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1718 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นแบบยืดของพันธะคาร์บอนิลในหมู่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (C=O, V) ที่เกาะติดอยู่กับสายโซ่โมเลกุลของแป้ง ซึ่งฟีกดังกล่าวไม่ปรากฏในสเปกตรัม FTIR ของแป้งเทอร์โมพลาสติก (TPS)



รูปที่ 2 สเปกตรัม FT-IR ของแป้งเทอร์โมพลาสติก (TPS) และแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต (MTPS)

ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณหมู่แทนทีในแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต ซึ่งเห็นว่าแป้งดังกล่าวมีปริมาณหมู่แทนทีมาลิเอตที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสมากขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งเทอร์โมพลาสติกแบบปกติ พบว่าเป็นไปตามแนวโน้มที่คาดไว้และสอดคล้องกับผลจากสเปกตรัม FTIR ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้นี้ แต่อย่างไรก็ตาม



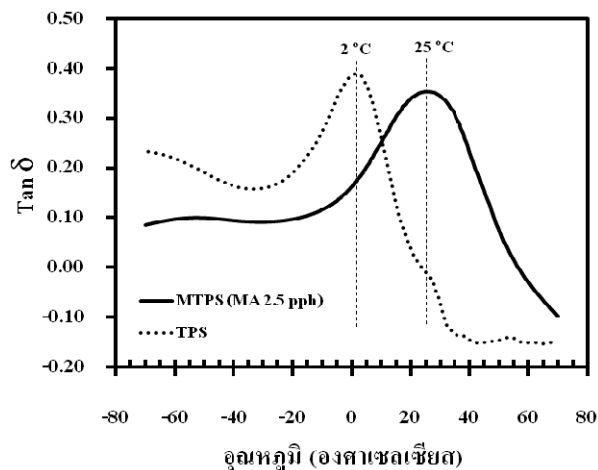


ตามมีข้อสังเกตว่าแป้ง ก्लीเซอร์อลและแป้งเทอร์โมพลาสติก ยังคงมีผลจากการไตรเตรตด้วยเช่นกัน แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าแป้งคัดแปร ซึ่งคาดว่าอาจจะเกิดจากหมู่ไฮดรอกซีที่อยู่บนโครงสร้างโมเลกุลของแป้งและหรืออาจเกิดจากหมู่ไฮดรอกซีที่อยู่ในโมเลกุลสารก्लीเซอร์อลที่ใช้ผสมเข้าไปในแป้งเพื่อเตรียมเป็นแป้งเทอร์โมพลาสติก

ตารางที่ 1 ปริมาณหมู่แทนที่ในวัสดุทดสอบชนิดต่างๆ

วัสดุทดสอบ	ปริมาณ MA ที่ใช้ทำปฏิกิริยา (pph)	ปริมาณหมู่แทนที่ (DS Value)
1. แป้งมันสำปะหลัง	0	0.25
2. ก्लीเซอร์อล	0	0.27
3. แป้งเทอร์โมพลาสติก (TPS)	0	0.25
4. แป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต (MTPS)	2.5	0.45

รูปที่ 3 แสดง DMTA เทอร์โมแกรมของแป้งเทอร์โมพลาสติก และแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต เห็นได้ว่ากราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงพิกของ $\tan\delta$ ที่ตำแหน่ง 2°C และ 25°C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยามาลิเอชัน ส่งผลให้แป้งคัดแปรที่ได้มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) สูงขึ้นเนื่องจากแป้งคัดแปรดังกล่าวเกิดโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงส่งผลทำให้สายโซ่ของแป้งคัดแปรสามารถเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน



รูปที่ 3 DMTA เทอร์โมแกรมของแป้งเทอร์โมพลาสติก (TPS) แป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอต (MTPS)

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสมบัติด้านการทนแรงดึงของ PLA/MTPS จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิผสมมากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการยืดตัวและความเหนียวลดลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาการขาดออกของสายโซ่ PLA ระหว่างผสมโดยผ่านกลไกแบบไฮโดรไลซิส [6] เนื่องจากผลของความร้อน การมีหมู่กรดคาร์บอกซิลิก(รูปที่ 1) และความชื้นปนเปื้อนในระหว่างการผสม





ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสมบัติด้านการทนแรงดึง PLA/MTPS ที่สภาวะต่างๆ

ชิ้นงานทดสอบ	ปริมาณ MTPS (%)	เวลาในการผสม (นาที)	อุณหภูมิในการผสม (°C)	Tensile strength (MPa)	% Elongation	Modulus (MPa)	Toughness (J)
1.PLA/TPS, 70/30	-	7	170	13.50 ± 0.80	8.7 ± 0.34	296.24 ± 20.9	0.06 ± 0.01
2.PLA/MTPS	30	7	170	9.0 ± 0.78	376.9 ± 31.86	134.9 ± 13.77	2.3 ± 0.29
	30	12	170	8.7 ± 0.48	212.1 ± 11.38	92.4 ± 4.86	1.2 ± 0.10
	30	12	180	13.8 ± 0.69	149.2 ± 25.39	113.5 ± 25.51	0.6 ± 0.41
	30	12	190	13.0 ± 1.68	79.4 ± 19.65	141.0 ± 18.37	0.5 ± 0.08

ตารางที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมชนิดต่างๆ ตามเวลาและอุณหภูมิในการผสมที่เปลี่ยนไป พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถไหลได้ง่ายขึ้น แสดงให้เห็นถึงความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของ PLA ที่ลดลง ในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมไหลได้ง่ายขึ้น ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับอิทธิพลของเวลา

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ (ทดสอบที่ 190 °C/ 2.16 กิโลกรัม)

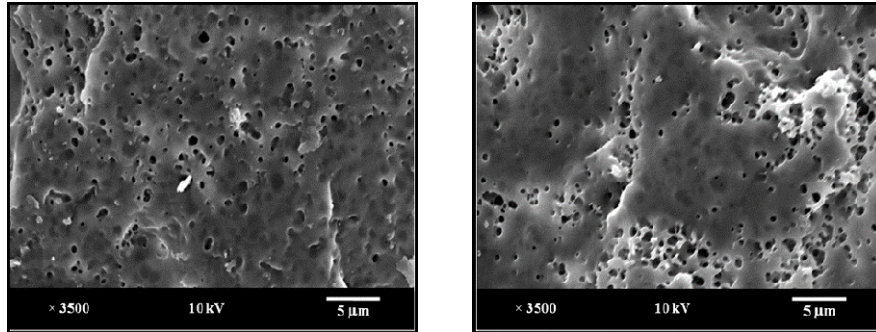
วัสดุทดสอบ	ปริมาณ MTPS (%)	เวลาผสม (นาที)	อุณหภูมิการผสม (°C)	ดัชนีการไหล
1.PLA Compound	-	5	170	8.76 ± 0.66
2.PLA/MTPS	30	7	170	23.28 ± 3.34
	30	12	170	29.04 ± 5.14
	30	12	180	44.70 ± 6.31
	30	12	190	57.00 ± 6.23

รูปที่ 4 เปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/MTPS ที่เวลาต่างกันคือเวลาผสม 7 นาที และ 12 นาที อุณหภูมิในการผสม 170 °C พบว่ามีบริเวณที่มีลักษณะเป็นรู ซึ่งแสดงถึงเฟสของแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลิเอตที่ถูกกัดออก นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการผสมมากขึ้น จะทำให้ลักษณะ



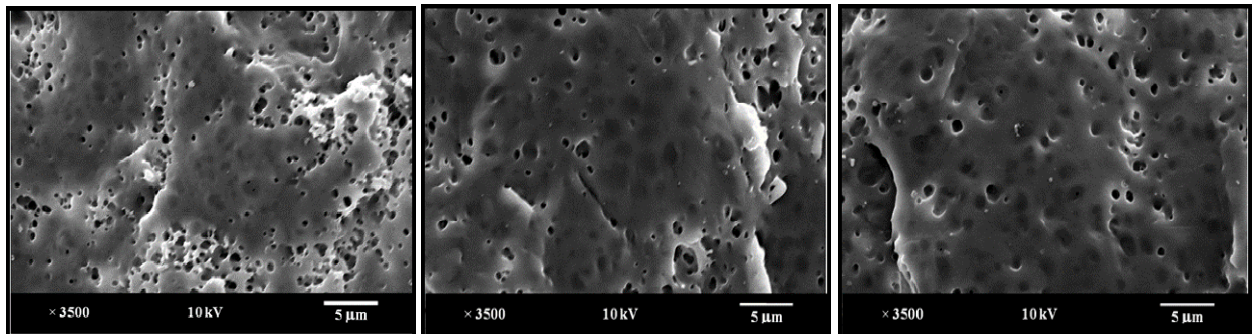


สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีการแยกกันระหว่างเฟสของพอลิแลคติกแอซิดคอมพาวด์และแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลีเอตน้อยลง ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันและแสดงถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มากขึ้น



รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/MTPS (สัดส่วนผสมร้อยละ 70/30 โดยน้ำหนัก) กำลังขยาย 3500 เท่า อุณหภูมิในการผสม 170 °C

รูปที่ 5 เปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/MTPS ที่ผ่านการผสมโดยใช้ อุณหภูมิต่างกัน เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมมากขึ้น ทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและมีการแยกกันระหว่างเฟสน้อยลง



a) อุณหภูมิ 170 °C

b) อุณหภูมิ 180 °C

c) อุณหภูมิ 190 °C

รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/MTPS (สัดส่วนผสมร้อยละ 70/30 โดยน้ำหนัก) กำลังขยาย 3500 เท่า เวลาในการผสม 12 นาที

สรุปผลการทดลอง

เวลาและอุณหภูมิในการผสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลีเอต เมื่อทำการเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการผสมมากขึ้น พอลิเมอร์ผสมจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ในขณะที่สมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าดัชนีการไหลที่เพิ่มขึ้นและอธิบายได้ในเชิงการลดลงของความหนืดและน้ำหนักโมเลกุล

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. ขยะมูลฝอย. http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_rubbish.htm : 2553.
- [2] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, ณรงค์ชัย โอเจริญ, เจษฎา วงษ์อ่อน,





สิริอร อิศรางกูร ณ อยุธยา และ อภิสัทธี โหมยิตชัยขงค์, รายงานโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากพอลิแลคติกแอซิด, สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท, 2552, 1-51.

[3] กล้าณรงค์ ศรีรอด. ปัญหาและอุปสรรคการพัฒนาพลาสติกชีวภาพ. <http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201009§ion=1>: 2553.

[4] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, เทคโนโลยีแป้ง, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, 2543.

[5] J.M. Raquez, Y. Nabar, M. Srinivasan, B.Y. Shin, R. Narayan, P. Dubois, Maleated thermoplastic starch by reactive extrusion, Carbohydrate Polymers. 74 (2008) 159-169.

[6] J.M. Raquez, Y. Nabar, R. Narayan, P. Dubois, In Situ Compatibilization of Maleated Thermoplastic Starch/Polyester Melt-Blends by Reactive Extrusion, Polymer Engineering & Science. 48 (2008) 1747-1754.

[7] B.Y. Shin, S.H. Jang, B.S. Kim, Thermal, Morphological, and Mechanical Properties of Biobased & Biodegradable Blends of Poly(lactic acid) & Chemically Modified Thermoplastic Starch. Polymer Engineering & Science. 51 (2011) 826-834.

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. ที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนสถานที่ในการปฏิบัติงาน

คำสำคัญ: Polymer blends, Thermoplastic starch, Poly(lactic-acid), Mechanical properties.

