

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เต็มสารเติมแต่ง

1) ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ และทำเตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ ค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ สันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อน ทดสอบการทนต่อแรงดึง และการทนทานต่อแรงกระแทก

2) จากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีค่าความหนืดต่ำ ดัชนีการไหลสูงมาก เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมจึงลดลง ส่งผลถึงค่าดัชนีการไหลด้วย

3) จากผลการทดสอบลักษณะสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสันฐานวิทยาของ PLA และ PBS บริสุทธิ์ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ และเมื่อนำพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 90:10, 80:20 และ 70:30 แสดงลักษณะสันฐานวิทยา พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

4) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1] และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสมวิเคราะห์โดยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าเติม PBS ใน PLA ทำให้ค่าความเป็นผลึกของ PLA เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก PBS ทำหน้าที่ Nucleating agent

5) จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 90:10 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของ PBS บนเมทริกซ์ของ PLA และเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS อัตราส่วน 80:20 และ 70:30 ที่มีการลดลงของมอดูลัสเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงในทิศทางที่เป็นเส้นตรงตามปริมาณของ PBS ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวที่ดีของ PBS บนเมทริกซ์ของ PLA แต่ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการรวมตัวระหว่างเฟสของ PLA และ PBS ดังนั้นสารเชื่อมประสานจึงมีความจำเป็นในระบบพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS

ค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อเติม PBS ลงใน PLA ค่าการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาค PBS บนเมทริกซ์ PLA เนื่องจาก PBS มีโครงสร้างของอิลาสโตเมอร์ที่ช่วยดูดซับแรงกระทำ ที่อัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 80:20 มีค่าการทนแรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 28.0 J/m^2 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างอณูที่พบว่าอัตราส่วนนี้ขนาดของอนุภาค PBS ที่กระจายตัวบนเมทริกซ์ PLA มีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี อนุภาค PBS จึงสามารถรับแรงกระแทกได้มากที่สุด

ตอนที่ 2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซักซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

1) การศึกษาสารเติมสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซักซิเนตที่อัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น โดยเลือกศึกษาสารเติมแต่ง 2 ชนิด ได้แก่ ทัลคัม ขนาดอนุภาค 5 ไมครอนและพอลิเอทิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 6,000 ซึ่งทำการเติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณ 10 wt% ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) และทำเตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อน ทดสอบการทนต่อแรงดึง และการทนทานต่อแรงกระแทก

2) ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ และที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล พบว่าการเติมทัลคัมในพอลิเมอร์ผสมนั้น ค่าดัชนีการไหลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กล่าวคือการเติมทัลคัมไม่มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลนั้น พบว่าค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นมากทุกอัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอล เป็น

พอลิเมอร์ที่มีค่าดัชนีการไหลสูง และผลจากการทดสอบยืนยันการรวมตัวของพอลิเอทธิลีนไกลคอลและพอลิเมอร์เมทริกซ์

3) พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิবিวิธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์ัม พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาในทุกตัวอย่างให้ผลเหมือนกัน คือผิวขรุขระ ไม่เรียบ ทาลค์ัมซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากทาลค์ัมประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นบางๆ [15]

ส่วนที่เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA:PBS ที่อัตราส่วน 80:20 ผิวขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิবিวิธิลีนซัคซิเนต แต่ลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10 และ 70:30 นั้น ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ แต่ยังคงเห็นการแยกเฟสของเนื้อพอลิเมอร์

4) การเติมทาลค์ัมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรม แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน นั้นหมายความว่า การเติมทาลค์ัม ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด เช่นเดียวกันการเติมพอลิเอทธิลีนไกลคอลในพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

5) สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่เติมทาลค์ัมนั้น พบว่าค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงขึ้น เนื่องจากทาลค์ัมทำหน้าที่เป็น Nucleating agent ทาลค์ัมมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม ซึ่งประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นบางๆ [15] แต่การเติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล ทำให้ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมลดลง เนื่องจากพอลิเอทธิลีนไกลคอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ การเติมลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้นิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลง

การทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์ัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล พบว่าแนวโน้มลดลงทั้งคู่ เนื่องจากทั้งทาลค์ัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอลมิได้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน จากลักษณะสัณฐานวิทยาแสดงถึงการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเติมแต่ง จึงส่งผลต่อสมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์ัมทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่การเติมพอลิเอทธิลีนไกลคอลที่อัตราส่วน

90:10 และ 80:20 ให้ค่าที่สูง อาจเนื่องมาจาก PEG เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลพลาสติก สามารถเข้าไปแทรกตัวในชั้น PEG แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นแบบบอสันฐานของพอลิเมอร์ผสมให้สามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 70:30 ค่าการทนต่อแรงกระแทกลดลงอย่างชัดเจน น่าจะเกิดจากการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมการกระจายตัวของพอลิเอทธิลีนไกลคอลในเมททริกซ์ไม่ดี

ตอนที่ 3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด

1) ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจริงในระดับอุตสาหกรรม ณ บริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด เป็นตลับบรรจุแป้งทาน้ำดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ผลิตภัณฑ์ตลับบรรจุแป้งทาน้ำ

2) ได้ทำการทดสอบมาตรฐานเบื้องต้นของทางบริษัท ได้แก่ ตรวจสอบตัวล็อกของชิ้นงาน ตรวจสอบการแตกหักของข้อพับของชิ้นงาน และตรวจสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์บนชิ้นงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทั้งพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทิลิน ซักซิเนตต่างก็เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่มีการนำผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ และมีการเติมตัวเชื่อมประสาน ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสม

5.2.2 ควรระวังเรื่องของความชื้นของวัตถุดิบ ควรมีการอบไล่ความชื้น และการจัดเก็บวัตถุดิบที่ดีด้วย เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทิลิน ซักซิเนตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อาจเกิดการไฮโดรไลซิส ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม