# สารบัญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย) | | ค |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) | | ง |
| กิตติกรรมประกาศ | | จ |
| สารบัญ | | ฉ |
| สารบัญตาราง | | ซ |
| สารบัญรูป | | ญ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | | ฐ |
| บทที่ 1 | บทนำ | 1 |
| | 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| | 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| | 1.3 ขอบเขต | 2 |
| | 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 | ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| | 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| | 2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ | 6 |
| | 2.3 พอลิแลคติกแอซิด(Polylactic Acid) | 11 |
| | 2.4 พอลิบิวธิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate), PBS) | 16 |
| | 2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) | 16 |
| | 2.6 เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder) | 19 |
| | 2.7 เทคนิคการอัด (Compression Molding) | 20 |
| บทที่ 3 | 3.1 แผนการดำเนินงาน | 22 |
| | 3.2 วัตถุดิบและเครื่องมือ | 23 |
| | 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 24 |
| | 3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล | 27 |

**สารบัญ (ต่อ)**


| | | หน้า |
|---|---|---|
| บทที่ 4 | ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง | 32 |
| | 4.1 ผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ | 32 |
| | 4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง | 32 |
| | 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง | 35 |
| | 4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง | 38 |
| | 4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง | 42 |
| | 4.6 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง | 45 |
| | 4.7 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง | 48 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 53 |
| | 5.1 สรุปผลการทดลอง | 53 |
| | 5.2 ข้อเสนอแนะ | 56 |
| บรรณานุกรม | | 60 |
| ภาคผนวก ก | | 62 |
| | เครื่องมือในการปฏิบัติงาน | 63 |
| ภาคผนวก ข | | 67 |
| | ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก | 68 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด สำหรับกระบวนฉีดขึ้นรูป | 13 |
| 2.2 | สมบัติของพอลีบิวทิลีนซักซิเนต สำหรับกระบวนการฉีด | 16 |
| 4.1 | ผลการทดสอบดัชนีการไหล ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS | 33 |
| 4.2 | สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 35 |
| 4.3 | ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 37 |
| 4.4 | ผลการทดสอบค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS | 38 |
| 4.5 | ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 39 |
| 4.6 | การทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 40 |
| 4.7 | ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA : PBS ที่อัตราส่วน ต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล | 42 |
| 4.8 | สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมที่ปริมาณ 10 wt% | 46 |
| 4.9 | สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอลที่ปริมาณ 10 wt% | 47 |
| 4.10 | ผลการทดสอบค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% | 49 |
| 4.11 | ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% | 49 |
| 4.12 | ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% | 51 |

**สารบัญตาราง (ต่อ)**


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ข.1 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิด | 68 |
| ข.2 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมทัลคัม10wt% | 69 |
| ข.3 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 | 70 |
| ข.4 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 และเติมทัลคัม 10 wt% | 71 |
| ข.5 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 80:20 | 72 |
| ข.6 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 80:20 และเติมทัลคัม 10 wt% | 73 |
| ข.7 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 70:30 | 74 |
| ข.8 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 70:30 และเติมทัลคัม 10 wt% | 75 |
| ข.9 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมทัลคัม | 76 |
| ข.10 | ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวธิลีนซัคซิเนตที่เติมทัลคัม 10 wt% | 77 |

# สารบัญรูป


| | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | สูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด | 11 |
| 2.2 | กระบวนการสังเคราะห์ PLA แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์ | 12 |
| 2.3 | โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของแลกติกแอซิด | 12 |
| 2.4 | ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ผลิตขึ้น | 15 |
| 2.5 | ลักษณะการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่เกิดขึ้น | 15 |
| 2.6 | โครงสร้างทางเคมีของ PBS | 16 |
| 2.7 | แบบเกลียวสกรูภายในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ | 19 |
| 2.8 | ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) | 21 |
| 3.1 | ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม | 24 |
| 3.2 | ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS | 25 |
| 3.3 | ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป | 26 |
| 3.4 | ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงดึง | 29 |
| 3.5 | ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก | 30 |
| 4.1 | พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS อัตราส่วนต่างๆ | 32 |
| 4.2 | การทดสอบต่อค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 33 |
| 4.3 | ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 34 |
| 4.4 | เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 36 |
| 4.5 | ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 38 |
| 4.6 | ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 39 |
| 4.7 | ค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ | 41 |
| 4.8 | ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA : PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล | 43 |

**สารบัญรูป (ต่อ)**


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.9 | ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 10 %โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า) | 44 |
| 4.10 | ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณพอลิเอทธิลีนไกลคอล 10 %โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า) | 45 |
| 4.11 | เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 10 wt% | 46 |
| 4.12 | เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณพอลิเอทธิลีนไกลคอล 10 wt% | 48 |
| 4.13 | ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10wt% | 50 |
| 4.14 | การทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัม และพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% | 50 |
| 4.15 | การทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10wt% | 52 |
| 4.16 | ปรึกษาและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ณ บริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด | 53 |
| 4.17 | ผลิตภัณฑ์ตลับบรรจุแป้งทาหน้า | 53 |
| 4.18 | บริเวณที่ตรวจสอบการพับงอ | 54 |
| 4.19 | ชิ้นงานที่พิมพ์ลวดลายแล้ว | 55 |
| 5.1 | ผลิตภัณฑ์ตลับบรรจุแป้งทาหน้า | 59 |
| ก.1 | เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) | 63 |
| ก.2 | เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) | 63 |
| ก.3 | เครื่องวัดดัชนีการไหล (Melt flow index) | 64 |
| ก.4 | เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ (Differential scanning calorimetry; DSC) | 64 |

## สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก.5 | เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) | 65 |
| ก.6 | เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Izod impact tester) | 65 |
| ก.7 | เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness) | 66 |
| ก.8 | กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) | 66 |