

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญตาราง	ฑ
สารบัญภาพ	ด
รายการอักษรย่อและสัญลักษณ์	ธ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 พอลิ(แลคติก แอซิด)	3
1.3 สเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์	8
1.4 การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	14
1.5 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
1.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	28
1.7 แผนการดำเนินงาน ขอบเขตงานวิจัยและวิธีวิจัย	28
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	
2.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	30
2.2 การทำตัวเร่งปฏิกิริยาสแตนนัส ออกโทเอต (stannous octoate; $\text{Sn}(\text{Oct})_2$) ให้บริสุทธิ์	32
2.3 การสังเคราะห์หมอนอเมอร์แอล-แลคไทด์ ดี-แลคไทด์และการหาลักษณะเฉพาะ	32
2.3.1 การสังเคราะห์หมอนอเมอร์แอลแลคไทด์ ดี-แลคไทด์และการทำบริสุทธิ์	32
2.3.2 การหาลักษณะเฉพาะของหมอนอเมอร์แอลและดี-แลคไทด์	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2.1	การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างโดยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (FTIR) และ โปรตอนเอ็นเอ็มอาร์ สเปกโตรสโกปี (¹ H-NMR)	38
2.3.2.2	การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความบริสุทธิ์โดย เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริเมตรี (differential scanning calorimetry, DSC)	38
2.4	การสังเคราะห์พอลิ(แอล-แลคไทด์) (poly(L-lactide; PLL) พอลิ(ดี-แลคไทด์) (poly(D-lactide; PDL) และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์พอลิ(ดี-แลคไทด์)-พอลิเอธีลีน ไกลคอล (poly(ethylene glycol); PEG)-พอลิ(ดี-แลคไทด์)	38
2.4.1	การสังเคราะห์พอลิ(แอล-แลคไทด์) และการทำบริสุทธิ์	38
2.4.2	การสังเคราะห์พอลิ(ดี-แลคไทด์) และการทำบริสุทธิ์	39
2.4.3	การสังเคราะห์ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์พอลิ(ดี-แลคไทด์)-พอลิเอธีลีน ไกลคอล-พอลิ(ดี-แลคไทด์) (PDL-PEG-PDL)	40
2.5	การเตรียมสเตรีย ไอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์และการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบ สารละลาย (solution casting)	40
2.5.1	การเตรียมสเตรีย ไอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์ระหว่างพอลิ(แอล-แลคไทด์) และพอลิ(ดี-แลคไทด์) (PLL/PDL)	40
2.5.1.1	การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิ(แอล-แลคไทด์) และ พอลิ(ดี-แลคไทด์) ที่มีต่อสมบัติของสเตรีย ไอคอมเพล็กซ์- พอลิแลคไทด์	40
2.5.2	การเตรียมสเตรีย ไอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์ระหว่างพอลิ(แอล-แลคไทด์) และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ (PLL/PDL-PEG-PDL)	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2.1	การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิ(แอล-แลคไทด์) และ ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของสเตอริโอคอมเพล็กซ์-พอลิแลคไทด์ พร้อมทั้งหาอัตราส่วนที่เหมาะสม	41
2.5.2.2	การศึกษาผลของความยาวสายโซ่ด้านข้าง (side-chain length) ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์	41
2.6	การหาลักษณะเฉพาะของพอลิ(แอล-แลคไทด์) และพอลิ(ดี-แลคไทด์) และการทดสอบสมบัติของสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์และแผ่นฟิล์ม	42
2.6.1	การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างและองค์ประกอบโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (FTIR) โปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปี (¹ H-NMR)	42
2.6.2	การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดโดยเทคนิคการวัดค่าความหนืดของสารละลายเจือจาง (diluted-solution viscometry)	42
2.6.3	การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึกโดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมตรี (differential scanning calorimetry, DSC)	43
2.6.4	การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิคเทอโมกราวิเมตรี (thermogravimetric analysis, TGA)	44
2.6.5	การทดสอบสมบัติเชิงกลโดยเครื่องทดสอบแรงดึง (tensile testing machine)	45
2.7	การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolytic degradation)	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลกไทด์ผ่านกระบวนการคอมโพสท์ (composting)	48
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
3.1 ผลการทำตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ ให้บริสุทธิ์	54
3.2 ผลการวิเคราะห์ห้อนอมเมอร์แอล-แลกไทด์และดี-แลกไทด์	54
3.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง	56
3.2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความบริสุทธิ์	58
3.3 ผลการวิเคราะห์ PLL PDL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	60
3.3.1 ผลการสังเคราะห์ PLL PDL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	60
3.3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างและองค์ประกอบ	61
3.3.3 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด	66
3.3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึก	69
3.3.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	72
3.3.6 ผลการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อน	72
3.4 ผลการเตรียมสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลกไทด์และการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบ	
สารละลาย	76
3.4.1 ผลการเตรียมสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลกไทด์ระหว่าง PLL/PDL ที่อัตราส่วนต่างๆ	76
3.4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึก	76
3.4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	76
3.4.1.3 ผลการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อน	79
3.4.2 ผลการเตรียมสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลกไทด์ระหว่าง PLL/PDL-PEG-PDL	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง PLL/PDL-PEG-PDL	81
3.4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึก	81
3.4.2.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	82
3.4.2.2 ผลของความยาวสายโซ่ด้านข้างของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	84
3.4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึก	84
3.4.2.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	85
3.5 ผลการทดสอบการย่อยสลายผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส	87
3.6 ผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพผ่านการทำคอมโพสท์	89
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	92
เอกสารอ้างอิง	97
รายการสิ่งตีพิมพ์เผยแพร่	101
ประวัติผู้เขียน	104

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	สมบัติของ L-lactide, D-lactide, meso-lactide และ rac-lactide 6
ตารางที่ 1.2	แสดงสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ธรรมชาติ และพอลิเมอร์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่นิยมใช้ 9
ตารางที่ 2.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ความบริสุทธิ์ หน้าที่การใช้งานและบริษัท ผู้ผลิต 30
ตารางที่ 2.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง รุ่นที่ใช้และบริษัทผู้ผลิต 31
ตารางที่ 2.3	ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น ที่เวลาต่างๆ ของกรดแอล-แลกติก แอซิด โดยมี $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ 0.27 %w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 36
ตารางที่ 2.4	ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น ที่เวลาต่างๆ ของกรดดี-แลกติก แอซิด โดยมี $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ 0.27 %w/w เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา 37
ตารางที่ 2.5	สภาวะที่ใช้ในการทดลองการย่อยสลายแบบไฮโดรไลซิสของแผ่นฟิล์ม PLL PDL และสเตอร์ไอคอมเพล็กซ์พอลิแลกไทด์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค การหล่อแบบสารละลาย 46
ตารางที่ 2.6	แสดงรายละเอียดของตัวอย่างในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ ในงานวิจัย 53
ตารางที่ 3.1	การสังเคราะห์มอนอเมอร์แอล-แลกไทด์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ปริมาตร 4000 มิลลิลิตร 54
ตารางที่ 3.2	การสังเคราะห์มอนอเมอร์ดี-แลกไทด์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร 55
ตารางที่ 3.3	แสดงตำแหน่งสัญญาณ FTIR ของมอนอเมอร์ L-lactide และ D-lactide 56
ตารางที่ 3.4	แสดงตำแหน่งสัญญาณ $^1\text{H-NMR}$ ของมอนอเมอร์ L-lactide และ D-lactide 58
ตารางที่ 3.5	แสดงตำแหน่งสัญญาณ FTIR ของ PLL และ PDL 61
ตารางที่ 3.6	แสดงตำแหน่งสัญญาณ FTIR ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ 63
ตารางที่ 3.7	แสดงตำแหน่งสัญญาณ $^1\text{H-NMR}$ ของ PLL และ PDL 63
ตารางที่ 3.8	แสดงตำแหน่งสัญญาณ $^1\text{H-NMR}$ ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ 65

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.9 อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง PDL และ PEG ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ โดยมี SnOct_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	65
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าความหนืดที่แท้จริงและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดของพอลิเมอร์	69
ตารางที่ 3.11 แสดงสมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของ PLL PDL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	70
ตารางที่ 3.12 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และยังมีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม PLL PDL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	72
ตารางที่ 3.13 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุด ค่าอุณหภูมิการสลายตัว และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ตัวอย่าง	73
ตารางที่ 3.14 แสดงสมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของ Sc-PL	77
ตารางที่ 3.15 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และยังมีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม Sc-PL	79
ตารางที่ 3.16 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุด ค่าอุณหภูมิการสลายตัว และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์ตัวอย่าง	80
ตารางที่ 3.17 แสดงสมบัติทางความร้อนของ PLL/PDL ₈₇ -PEG ₁₈₂ -PDL ₈₇ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC	81
ตารางที่ 3.18 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และยังมีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม PLL/PDL ₈₇ -PEG ₁₈₂ -PDL ₈₇ ที่อัตราส่วนต่างๆ	83
ตารางที่ 3.19 แสดงค่าสมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของ PLL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ (2:1 และ 4:1)	85
ตารางที่ 3.20 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และยังมีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม PLL/PDL-PEG-PDL ที่ความยาวสายโซ่ด้านข้างแตกต่างกัน	87
ตารางที่ 3.21 แสดงค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและร้อยละน้ำหนักที่คงอยู่ของ PLL PDL และ PLL/PDL ₈₇ -PEG ₁₈₂ -PDL ₈₇ ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิห้อง และ 90°C	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.22 แสดงค่าร้อยละการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุทดสอบเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่สภาวะการทดสอบ $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $58\pm 2^{\circ}\text{C}$

90



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	แสดงการเกิดสเตอริโอคอมเพล็กซ์พอลิแลคไทด์ จากการผสมคู่ อีแนนทิโอเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ
ภาพที่ 1.2	แสดงปฏิกิริยาการผันกลับของการสังเคราะห์ PLLA และมอนอเมอร์
ภาพที่ 1.3	แสดงการสังเคราะห์ PLA ผ่านปฏิกิริยา ROP จากแลคไทด์มอนอเมอร์
ภาพที่ 1.4	แสดงกลไกการทำงานของ SnOct_2 แบบโคออร์ดิเนชันในการสังเคราะห์ PLA
ภาพที่ 1.5	แสดงสเตอริโอไอโซเมอร์ของแลคติก แอซิด
ภาพที่ 1.6	แสดงลักษณะทางโครงสร้างของแลคไทด์ทั้ง 3 ชนิด
ภาพที่ 1.7	แสดงการบิดเกลียวของสายโซ่ PLLA (a) การบิดเกลียวของ Sc-PL (b1) และลักษณะโครงสร้างผลึกสเตอริโอคอมเพล็กซ์เมื่อมองในแนวตั้งฉาก (b2,b3)
ภาพที่ 1.8	แสดงรูปแบบการเลี้ยงเบนรังสีเอกซ์ของ PLLA และ Sc-PL
ภาพที่ 1.9	แสดงรูปแบบของไดบล็อกโคพอลิเมอร์และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ของ PLLA และ PEG
ภาพที่ 1.10	แสดงการเตรียมแผ่นฟิล์มสเตอริโอคอมเพล็กซ์ระหว่าง PLLA/ PDLA-PEG-PDLA ผ่านกระบวนการหล่อแบบสารละลาย
ภาพที่ 1.11	แสดงสังเคราะห์ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ระหว่าง LLA และ PEG ผ่าน ปฏิกิริยาการควบแน่น
ภาพที่ 1.12	การทำคอมโพสิตในระดับอุตสาหกรรม
ภาพที่ 1.13	การทำคอมโพสิตในระดับครัวเรือน
ภาพที่ 1.14	กลไกการไฮโดรไลซิส PLA ในสภาวะเบส
ภาพที่ 1.15	กลไกการไฮโดรไลซิส PLA ในสภาวะกรด
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของสแตนนัส ออกโทเอต
ภาพที่ 2.2	ขั้นตอนการสังเคราะห์มอนอเมอร์แอล-แลคไทด์และดี-แลคไทด์
ภาพที่ 2.3	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มอนอเมอร์แอล-แลคไทด์และ ดี-แลคไทด์
ภาพที่ 2.4	ภาพถ่ายเครื่องปฏิกรณ์ปริมาตร 5 ลิตรที่ใช้ในการสังเคราะห์มอนอเมอร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.5	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ PLL และ PDL 39
ภาพที่ 2.6	อุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ PLL และ PDL 39
ภาพที่ 2.7	อุปกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ PDL-PEG ₈₀₀₀ -PDL 40
ภาพที่ 2.8	การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์และอุปกรณ์สำหรับเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ 41
ภาพที่ 2.9	เครื่องวัดค่าความหนืดอัตโนมัติ (Schott-Gerate AVs Automatic viscosity measuring system) และวิสโคมิเตอร์แบบ Ubbelohde ขนาด 25ml 43
ภาพที่ 2.10	เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รุ่น DSC 7 บริษัท Perkin-Elmer 44
ภาพที่ 2.11	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอแนไลเซอร์ รุ่น TGA7 บริษัท Perkin-Elmer 45
ภาพที่ 2.12	เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล รุ่น LRX บริษัท LLOYD Instrument 46
ภาพที่ 2.13	แผนภาพตัวอย่างแสดงระบบการย่อยสลายทางชีวภาพตามมาตรฐาน ISO 14855-1 53
ภาพที่ 3.1	Sn(Oct) ₂ หลังผ่านการกลั่น 54
ภาพที่ 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดำเนินไปของปฏิกิริยา (p) กับ เวลา (time) ในการสังเคราะห์ L-lactide (ก) และ D-lactide (ข) โดยมี Sn(Oct) ₂ 0.27 %w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 55
ภาพที่ 3.3	ลักษณะทางกายภาพของมอนอเมอร์แอล-แลกไทด์ (ก) และดี-แลกไทด์ (ข) 55
ภาพที่ 3.4	FTIR spectrum ของมอนอเมอร์ L-lactide 57
ภาพที่ 3.5	FTIR spectrum ของมอนอเมอร์ D-lactide 57
ภาพที่ 3.6	¹ H-NMR ของมอนอเมอร์ L-lactide และ D-lactide 58
ภาพที่ 3.7	DSC thermogram ของ L-lactide ที่สังเคราะห์โดยมี Sn(Oct) ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 59
ภาพที่ 3.8	กราฟ Van't Hoff และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและค่าความบริสุทธิ์ของ L-lactide โดยมี Sn(Oct) ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 59
ภาพที่ 3.9	ลักษณะทางกายภาพของ (ก) PLL และ (ข) PDL หลังผ่านการทำให้บริสุทธิ์ 60
ภาพที่ 3.10	ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ PDL/PEG ในอัตราส่วน (ก) 1:1 (ข) 2:1 และ (ค) 4:1 60
ภาพที่ 3.11	FTIR spectrum ของ PLL 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 3.12	FTIR spectrum ของ PDL	62
ภาพที่ 3.13	FTIR spectrum ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	62
ภาพที่ 3.14	¹ H-NMR ของ PLL และ PDL	64
ภาพที่ 3.15	¹ H-NMR ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	64
ภาพที่ 3.16	¹ H-NMR ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ	65
ภาพที่ 3.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_{red} และ n_{inh} ของ PLL	66
ภาพที่ 3.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_{red} และ n_{inh} ของ PDL	67
ภาพที่ 3.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_{red} และ n_{inh} ของ Triblock copolymer 1:1	67
ภาพที่ 3.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_{red} และ n_{inh} ของ Triblock copolymer 2:1	68
ภาพที่ 3.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_{red} และ n_{inh} ของ Triblock copolymer 4:1	68
ภาพที่ 3.22	DSC thermogram ของ PLL	70
ภาพที่ 3.23	DSC thermogram ของ PDL	71
ภาพที่ 3.24	DSC thermogram ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	71
ภาพที่ 3.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดกับค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของ PLL PDL และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์	73
ภาพที่ 3.26	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์ม PLL	74
ภาพที่ 3.27	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์ม PDL	74
ภาพที่ 3.28	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ 1:1	75
ภาพที่ 3.29	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ 2:1	75
ภาพที่ 3.30	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ 4:1	76
ภาพที่ 3.31	DSC thermogram ของ Sc-PL ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่หนึ่ง	78
ภาพที่ 3.32	DSC thermogram ของ Sc-PL ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่สอง	78
ภาพที่ 3.33	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดกับค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาดของ PLL และ Sc-PL ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	79
ภาพที่ 3.34	TGA thermogram ของ PLL และ Sc-PL ที่อัตราส่วนต่างๆ	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 3.35	DSC thermogram ของ Sc-PL ระหว่าง PLL/ PDL ₈₇ -PEG ₁₈₂ -PDL ₈₇ ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่หนึ่ง	82
ภาพที่ 3.36	DSC thermogram ของ Sc-PL ระหว่าง PLL/ PDL ₈₇ -PEG ₁₈₂ -PDL ₈₇ ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่สอง	83
ภาพที่ 3.37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของ PLL และ PLL/PDL-PEG ₈₀₀₀ -PDL (1:1)	84
ภาพที่ 3.38	DSC thermogram ของ PLL/triblock copolymer 2:1 และ 4:1 ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่หนึ่ง	86
ภาพที่ 3.39	DSC thermogram ของ PLL/triblock copolymer 2:1 และ 4:1 ในการวิเคราะห์โดยการให้ความร้อนรอบที่สอง	86
ภาพที่ 3.40	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดกับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของ PLL และ PLL/PDL-PEG ₈₀₀₀ -PDL 2:1 และ 4:1	88

รายการอักษรย่อ

LL	แอล-แลคไทด์ (L-lactide)
CL	เอปซิลอน-แคโพรแลกโตน (ϵ -caprolactone)
PLL	พอลิ(แอล-แลคติก แอซิด) (poly(L-lactic acid))
PDL	พอลิ(ดี-แลคติก แอซิด) (poly(D-lactic acid))
PGA	พอลิ(ไกลโคลิก แอซิด) (poly(glycolic acid))
PG	พอลิไกลโคไลด์ (polyglycolide)
PL	พอลิแลคไทด์ (polylactide)
Sn(Oct) ₂	สแตนนัสออกโทเอท (stannous octoate)
Sn(OnBu) ₂	ทิน(II) บิวทอกไซด์ (Tin(II) <i>n</i> -butoxide)
ROP	ปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (ring-opening polymerization)
FTIR	ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (fourier-transform infrared spectroscopy)
NMR	นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (nuclear magnetic resonance spectroscopy)
¹ H-NMR	โปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (nuclear magnetic resonance spectroscopy)
¹³ C-NMR	คาร์บอน 13 - นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (nuclear magnetic resonance spectroscopy)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (differential scanning calorimetry)
TGA	เทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (thermogravimetric analysis)
pH	พีเอช (pH)
T _g	อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature)
T _c	อุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature)
T _m	อุณหภูมิหลอมผลึก (melting temperature)
T _d	อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature)
ΔH_m	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก (heat of melting)
ΔH_c	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดผลึก (heat of crystallization)
η_{inh}	ค่าความหนืดอินเฮเรนต์ (inherent viscosity)

η_{inh}	ค่าความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity)
$[\eta]$	ค่าความหนืดที่แท้จริง (intrinsic viscosity)
cm	เซนติเมตร (centimeter)
cm^{-1}	ต่อเซนติเมตร (per centimeter)
mm	มิลลิเมตร (millimeter)
mm/min	มิลลิเมตรต่อนาที (millimeter per minute)
MPa	เมกะปาสคาล (megaPascal)
GPa	จิกะปาสคาล (gigaPascal)
Pa	ปาสคาล (Pascal)
g	กรัม (gram)
mg	มิลลิกรัม (milligram)
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส (degree Celsius)
$^{\circ}C/min$	องศาเซลเซียสต่อนาที (degree Celsius per minute)
ml	มิลลิลิตร (millileter)
ml/min	มิลลิลิตรต่อนาที (millileter per minute)
J/g	จูลต่อกรัม (joule per gram)
mmHg	มิลลิเมตรปรอท (millimeter of mercury)
dl/g	เดซิลิตรต่อกรัม (deciliter per gram)
g/dl	กรัมต่อเดซิลิตร (gram per deciliter)
mol%	โมลเปอร์เซ็นต์ (mole percentage)
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (part per million)
hrs	ชั่วโมง (hour)
MHz	เมกะเฮิรตซ์ (megahertz)