

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ด
สารบัญแผนผัง	ป
อักษรย่อ	ผ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 พอลิเมอร์ที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพ	1
1.2 การนำพอลิเมอร์ที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพไปใช้งานทางการแพทย์	2
1.2.1 โครนียึดชั่วคราว	2
1.2.2 เครื่องกีดขวางชั่วคราว	2
1.2.3 แมทริกซ์จ่ายยา	3
1.3 สมบัติที่จำเป็นสำหรับวัสดุที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพ	4
1.4 กลไกของการสลายตัวทางชีวภาพ	5
1.4.1 โซลูบิไลเซชัน	6
1.4.2 ไอออนไนเซชันตามด้วยโซลูบิไลเซชัน	6
1.4.3 การใช้เอนไซม์เร่งการสลายตัวทางชีวภาพ	6
1.4.4 การไฮโดรไลซิสแบบธรรมดา	7
1.5 การออกแบบโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์สำหรับการใช้งานทางการแพทย์	10
1.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	11

บทที่ 2 พอลิเมอร์ไซคลิกแบบเปิดวงของไซคลิกมอนอเมอร์	13
2.1 แกลโทน	13
2.2 การพิจารณาทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของการเกิดพอลิเมอร์ไซคลิก	15
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์ไซคลิกแบบเปิดวง	18
2.3.1 โครงสร้างเคมีภายในวง (Internal Chemical Structure within the Ring)	18
2.3.2 ความเครียดของวง (Ring Strain)	19
2.3.3 การแทนที่บนวง (Ring Substitution)	22
2.3.4 ชนิดของตัวริเริ่มและตัวเร่งที่ใช้ (Type of Initiator/Catalyst Used)	23
2.3.5 ธรรมชาติของสภาวะที่ใช้ในปฏิกิริยา (Nature of Reaction Conditions Employed)	24
2.4 กลไกของการเกิดพอลิเมอร์ไซคลิก	25
2.4.1 กลไกแบบแคทไอออนิก (Cationic Mechanism)	25
2.4.2 กลไกแบบแอนไอออนิก (Anionic Mechanism)	27
2.4.3 กลไกแบบโคออร์ดิเนชัน (Coordination Mechanism)	28
2.4.4 กลไกแบบฟรีแรดิคัล (Free Radical Mechanism)	29
2.4.5 กลไกแบบการย้ายไฮโดรเจนที่ว่องไว (Active Hydrogen Transfer Mechanism)	30
2.5 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์โดยพอลิเมอร์ไซคลิกแบบเปิดวง	31
2.6 โคลิเมอร์ไซคลิกโดยการเปิดวงของไซคลิกมอนอเมอร์	33
2.6.1 โคลิเมอร์ไซคลิก	33
2.6.2 ชนิดของโคลิเมอร์	34
2.6.3 โคลิเมอร์แบบบล็อก	35
2.6.3.1 ระบบการเรียกชื่อ (nomenclature)	35
2.6.3.2 โคลิเมอร์แบบบล็อกที่มีการใช้งานทางการแพทย์	37
2.7 ไฮโดรพอลิเมอร์ของไกลคอลไคด์ แลคไทด์ และโคลิเมอร์	38
2.8 พอลิเอซีดีนไกลคอล	40

บทที่ 3 การทำสารเคมีให้บริสุทธิ์ การสังเคราะห์มอนอเมอร์ และเทคนิคที่ใช้ใน การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์	42
3.1 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์	42
3.1.1 สารเคมี	42
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	44
3.2 การทำสารเคมีให้บริสุทธิ์	45
3.2.1 การกลั่นโทลูอิน	45
3.2.2 การกลั่นเอทิลอะซิเตท	46
3.2.3 การกลั่นคลอโรฟอร์ม	47
3.3 การทำพอลิเอธิลีนไกลคอล ให้บริสุทธิ์	48
3.3.1 พอลิเอธิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 900 (PEG900)	48
3.3.2 พอลิเอธิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 4000 (PEG4000)	49
3.3.3 พอลิเอธิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 5600 (PEG5600)	49
3.4 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอธิลีนไกลคอล	49
3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ปลายสายโซ่	49
3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ปลายสายโซ่ของพอลิเอธิลีนไกลคอล	50
3.4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	51
3.4.2.2 ผลการทดลอง	51
3.4.3 การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอธิลีนไกลคอล	55
3.5 การสังเคราะห์มอนอเมอร์	59
3.5.1 การสังเคราะห์แอล-แลคไทด์	59
3.5.1.1 การทำแอล-แลคไทด์ให้บริสุทธิ์และการวิเคราะห์หา ความบริสุทธิ์	61
3.5.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของแอล-แลคไทด์ โดยเทคนิค อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	62
3.5.2 การสังเคราะห์ไกลคอลิด์	65

4.2.2.2 การวิเคราะห์พอลิเมอร์ด้วย ^{13}C -NMR สเปกโตรสโกปี	133
4.2.2.2.1 การวิเคราะห์ลำดับของมอนอเมอร์ในโครงสร้าง ระดับโมเลกุลของโคพอลิเมอร์	153
4.2.3 การวิเคราะห์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี	165
4.2.4 การวิเคราะห์ด้วยเทอร์โมกราวิเมตรี	173
4.2.5 การหาความหนืดของพอลิเมอร์ โดย dilute-solution viscometry	178
4.2.5.1 วิธีการทดลอง	178
4.2.5.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณค่าความหนืด	178
4.2.6 การวิเคราะห์ด้วยเจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี	192
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	199
5.1 การออกแบบโครงสร้างโมเลกุล	199
5.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์	201
5.3 การหาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์	211
5.3.1 องค์ประกอบของพอลิเมอร์ (Polymer Composition)	211
5.3.2 โครงสร้างระดับจุลภาคของเทอร์พอลิเมอร์ (Polymer Microstructure)	212
5.3.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ (Polymer Morphology)	213
5.3.4 ความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์ (Thermal Stability of Polymer)	215
5.3.5 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Polymer Molecular Weight)	216
ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงงานต่อไป	220
บรรณานุกรม	221
ภาคผนวก	226
ประวัติผู้เขียน	234

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ตัวอย่างพอลิเอสเทอร์ที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพที่ใช้งานทางการแพทย์	4
2.1 ความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบไฮคลิกเอสเทอร์	20
2.2 สัญลักษณ์ย่อของโคพอลิเมอร์แบบบล็อกชนิดต่างๆ	36
3.1 ชื่อสารเคมี หน้าที่ ความบริสุทธิ์ และบริษัทผู้ผลิตสารเคมี	42
3.2 ชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ บริษัทผู้ผลิตและรุ่น	44
3.3 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG900 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 1	52
3.4 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG900 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 2	52
3.5 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG4000 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 1	53
3.6 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG4000 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 2	53
3.7 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG5600 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 1	54
3.8 ผลการไตเตรทระหว่างสารละลาย KHP 0.25 M (25.00 ml) blank และ PEG5600 ด้วยสารละลาย methanolic NaOH 0.50 M ครั้งที่ 2	54
3.9 ผลการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน ($\bar{M}_n$) และดีกรีของพอลิเมอร์ไรเซชัน ($\overline{DP}_n$) ของพอลิเอธิลีน ไกลคอล จากการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	58
3.10 การเปรียบเทียบชนิดของการสั่นแบบหลักๆ ระหว่าง IR สเปกตรัมของ กรดแอส-แลคติก กับแอส-แลคไทด์	64
3.11 การเปรียบเทียบชนิดของการสั่นแบบหลักๆ ระหว่าง IR สเปกตรัมของ กรดไกลคอลิก กับไกลคอลไคด์	71
3.12 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางความหนืดในเทอมต่างๆ	84

4.1 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิ(แอล-แลคไทด์) และไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ของแอล-แลคไทด์ และพอลิเอธิลีนไกลคอล โดยมีสแตนนัสออกโทเอท เป็นตัวเร่ง ที่อุณหภูมิ 110 °C	92
4.2 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ไตรบล็อกเทอร์พอลิเมอร์ของแอล-แลคไทด์ ไกลคอลไลด์ และพอลิเอธิลีนไกลคอล โดยมีสแตนนัสออกโทเอท เป็นตัวเร่ง ที่อุณหภูมิ 110 °C	94
4.3 ร้อยละของผลผลิตและลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังการทำให้บริสุทธิ์ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ของแอล-แลคไทด์ และพอลิเอธิลีนไกลคอล	96
4.4 ร้อยละของผลผลิตและลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังการทำให้บริสุทธิ์ของไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ของแอล-แลคไทด์ ไกลคอลไลด์ และพอลิเอธิลีนไกลคอล	97
4.5 ความหมายของอินฟราเรดสเปกตรัมของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์ PG อ้างอิง และ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 900 4000 และ 5600	100
4.6 ความหมายของอินฟราเรดสเปกตรัมของ PLL-b-PEG-b-PLL	102
4.7 ความหมายของอินฟราเรดสเปกตรัมของ PLG-b-PEG-b-PLG	104
4.8 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 60 MHz ของ PEG น้ำหนักโมเลกุล 900 4000 และ 5600	108
4.9 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 200 MHz ของ PG อ้างอิง	109
4.10 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL	111
4.11 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	114
4.12 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	115
4.13 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	116
4.14 ความหมายของ ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	117

ตาราง

หน้า

4.15 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	122
4.16 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	123
4.17 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	124
4.18 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	125
4.19 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	126
4.20 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	127
4.21 ความหมายของ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	128
4.22 ผลการคำนวณหาองค์ประกอบของ PLL-b-PEG-b-PLL ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ โดยเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของโคมอนอเมอร์เริ่มต้น	130
4.23 ผลการคำนวณหาองค์ประกอบของ PLG-b-PEG-b-PLG ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ โดยเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของโคมอนอเมอร์เริ่มต้น	132
4.24 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL อ้างอิง	134
4.25 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ของ PEG อ้างอิง	135
4.26 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	138
4.27 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	139
4.28 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	140
4.29 ความหมายของ $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	141

4.30 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	146
4.31 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	147
4.32 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	148
4.33 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	149
4.34 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	150
4.35 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	151
4.36 ความหมายของ ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	152
4.37 ตำแหน่งพีคของคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ที่แสดงถึงลำดับของมอนอเมอร์ของ PLL และ PLG-b-PEG-b-PLG ไดรบล็อกเทอร์พอลิเมอร์	162
4.38 พารามิเตอร์ใน DSC เทอร์โมแกรมของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์ PEG อ้างอิง PEG น้ำหนักโมเลกุล 4000 และ 5600	167
4.39 พารามิเตอร์ใน DSC เทอร์โมแกรมของ PLL-b-PEG-b-PLL	169
4.40 พารามิเตอร์ใน DSC เทอร์โมแกรมของ PLG-b-PEG-b-PLG	172
4.41 พารามิเตอร์ใน TG เทอร์โมแกรมของ PLL PG อ้างอิง และ PEG น้ำหนักโมเลกุล 4000 และ 5600	175
4.42 พารามิเตอร์ใน TG เทอร์โมแกรมของ PLL-b-PEG-b-PLL และ PLG-b-PEG-b-PLG	177
4.43 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	179
4.44 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	180

ตาราง	หน้า
4.45 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	181
4.46 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	182
4.47 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	183
4.48 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	184
4.49 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	185
4.50 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	186
4.51 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	187
4.52 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	188
4.53 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	189
4.54 ค่าพารามิเตอร์ทางความหนืดของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$	190
4.55 ค่าความหนืดอินทรีนสิกของ PLL PLL-b-PEG-b-PLL และ PLG-b-PEG-b-PLG	191
4.56 สรุปน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบต่างๆ และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์จาก GPC โครมาโทแกรม	198
5.1 การเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการหาค่าความหนืดของสารละลายเจือจาง และการวิเคราะห์โดย GPC กับค่าทางทฤษฎี	218

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 การไฮโดรไลซิสแบบธรรมดาของพอลิเมอร์ประเภทพอลิเอสเทอร์	7
1.2 กระบวนการดูดซึมของพอลิเมอร์โดยการไฮโดรไลซิสแบบธรรมดา	9
2.1 ไซคลิกมอนอเมอร์ที่มีขนาดวงเท่ากัน	18
2.2 การเปลี่ยนแปลงจากการผลึกทางสเตอริกของหมู่ข้างเคียงในพอลิเมอร์เซชันแบบเปิดวง	22
2.3 ชนิดของไซคลิกมอนอเมอร์ประเภทเอสเทอร์	32
2.4 ชนิดของโคพอลิเมอร์แบบบล็อก	36
3.1 อุปกรณ์สำหรับการกลั่นแบบธรรมดา	46
3.2 เครื่อง rotary evaporator ที่ใช้ในการกลั่นตัวทำละลายให้บริสุทธิ์	47
3.3 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทำ PEG900 ให้บริสุทธิ์	48
3.4 อุปกรณ์ในการสังเคราะห์แอล-แลคไทด์	60
3.5 DSC เทอร์โมแกรมของแอล-แลคไทด์ (ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์)	61
3.6 ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของแอล-แลคไทด์ (ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์) โดยการพล็อตจากสมการ Van't Hoff	62
3.7 IR สเปกตรัมของกรดแอล-แลคติกที่ใช้ในงานวิจัย	62
3.8 IR สเปกตรัมของกรดแอล-แลคติกจากแหล่งอ้างอิง	63
3.9 IR สเปกตรัมของแอล-แลคไทด์ที่ใช้ในงานวิจัย	63
3.10 IR สเปกตรัมของแอล-แลคไทด์จากแหล่งอ้างอิง	64
3.11 DSC เทอร์โมแกรมของไกลคอล์ไคด์ (ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์)	67
3.12 ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของไกลคอล์ไคด์ (ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์) โดยการพล็อตจากสมการ Van't Hoff	68
3.13 IR สเปกตรัมของกรดไกลคอล์กที่ใช้ในงานวิจัย	69
3.14 IR สเปกตรัมของกรดไกลคอล์กจากแหล่งอ้างอิง	69
3.15 IR สเปกตรัมของไกลคอล์ไคด์ที่ใช้ในงานวิจัย	70

รูป	หน้า
3.16 IR สเปกตรัมของไกลคอไลด์จากแหล่งอ้างอิง	70
3.17 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ DSC	76
3.18 เทอร์โมแกรมของ DSC	76
3.19 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ TG	78
3.20 เทอร์โมแกรมของ TG	79
3.21 วิสโคมิเตอร์ (ก) ออสท์วาลด์ วิสโคมิเตอร์ และ (ข) ยูเบโลยด์ วิสโคมิเตอร์	81
3.22 การหาค่าความหนืดอินทรีนสิก	83
3.23 การแยกขนาดของพอลิเมอร์โมเลกุลใน GPC คอลัมน์	86
3.24 กราฟ calibration ตามกลไกของ size exclusion	87
3.25 กราฟ GPC universal calibration	88
4.1 การจัดตั้งอุปกรณ์ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์	90
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์	98
4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PG อ้างอิง	99
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PEG ที่มีน้ำหนัก โมเลกุล 900 4000 และ 5600	99
4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PLL-b-PEG-b-PLL	101
4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PLG-b-PEG-b-PLG	103
4.7 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 60 MHz ของ PEG900	106
4.8 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 60 MHz ของ PEG4000	107
4.9 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 60 MHz ของ PEG5600	107
4.10 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 200 MHz ของ PG อ้างอิง	109
4.11 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์	111
4.12 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	112
4.13 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	112
4.14 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	113
4.15 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	113

รูป	หน้า
4.16 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	118
4.17 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	118
4.18 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	119
4.19 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	119
4.20 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	120
4.21 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	120
4.22 ¹ H-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	121
4.23 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL อ้างอิง	133
4.24 ¹³ C-NMR สเปกตรัมของ PEG อ้างอิง	135
4.25 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	136
4.26 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	136
4.27 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	137
4.28 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	137
4.29 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	142
4.30 ¹³ C-NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	142

รูป	หน้า
4.31 ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	143
4.32 ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	143
4.33 ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	144
4.34 ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	144
4.35 ^{13}C -NMR สเปกตรัม ความถี่ 300 MHz ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	145
4.36 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLL อ้างอิง	154
4.37 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	155
4.38 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	156
4.39 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	157
4.40 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	158
4.41 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	159
4.42 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	160
4.43 ภาพขยายของพีคคาร์บอนิลคาร์บอนใน ^{13}C -NMR สเปกตรัม ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	161
4.44 DSC เทอร์โมแกรมของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์	165
4.45 DSC เทอร์โมแกรมของ PG อ้างอิง	166
4.46 DSC เทอร์โมแกรมของ PEG น้ำหนักโมเลกุล 4000 และ 5600	166

4.47 DSC เทอร์โมแกรมของ PLL-b-PEG-b-PLL ในการวิเคราะห์ first run	167
4.48 DSC เทอร์โมแกรมของ PLL-b-PEG-b-PLL ในการวิเคราะห์ second run	168
4.49 DSC เทอร์โมแกรมของ PLG-b-PEG-b-PLG ในการวิเคราะห์ first run	170
4.50 DSC เทอร์โมแกรมของ PLG-b-PEG-b-PLG ในการวิเคราะห์ second run	170
4.51 TG เทอร์โมแกรมของ PLL ที่ได้จากการสังเคราะห์	173
4.52 TG เทอร์โมแกรมของ PG อ้างอิง	174
4.53 TG เทอร์โมแกรมของ PEG น้ำหนักโมเลกุล 4000 และ 5600	174
4.54 TG เทอร์โมแกรมของ PLL-b-PEG-b-PLL	176
4.55 TG เทอร์โมแกรมของ PLG-b-PEG-b-PLG	176
4.56 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLL	179
4.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	180
4.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	181
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	182
4.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	183
4.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	184
4.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	185
4.63 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	186
4.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	187
4.65 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	188

รูป	หน้า
4.66 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	189
4.67 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} และ η_{inh} กับความเข้มข้น (c) ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	190
4.68 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLL	192
4.69 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLL-b-PEG900-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG900 = 99 : 1	192
4.70 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLL-b-PEG4000-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG4000 = 99 : 1	193
4.71 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99.9 : 0.1	193
4.72 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLL-b-PEG5600-b-PLL ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : PEG5600 = 99 : 1	194
4.73 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 84 : 15 : 1	194
4.74 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG900-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG900 = 74 : 25 : 1	195
4.75 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 90 : 9.9 : 0.1	195
4.76 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 84 : 15 : 1	196
4.77 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG4000-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG4000 = 74 : 25 : 1	196
4.78 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 90 : 9.9 : 0.1	197
4.79 GPC โคโรมาโทแกรม ของ PLG-b-PEG5600-b-PLG ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ LL : G : PEG5600 = 74 : 25 : 1	197

สารบัญแผนผัง

แผนผัง

หน้า

- | | |
|---|-----|
| 5.1 กลไกของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของ
ไซคลิกเอสเทอร์มอนอเมอร์ | 202 |
| 5.2 กลไกของปฏิกิริยาการตัดสายโซ่ | 207 |

อักษรย่อ

ชื่อย่อ

ชื่อเต็ม

PLL	พอลิ(แลค-แลคไทด์) (Poly(L-lactide))
PG	พอลิไกลคอลได์ (Poly(glycolide))
PEG	พอลิเอทิลีน ไกลคอล (Poly(ethylene glycol))
PLL-b-PEG-b-PLL	พอลิ[(แลค-แลคไทด์)-บล็อก-พอลิเอทิลีน ไกลคอล-บล็อก-(แลค-แลคไทด์)] [Poly(L-lactide)-block-poly(ethylene glycol)-block-(L-lactide)]
PLG-b-PEG-b-PLG	พอลิ[(แลค-แลคไทด์-โค-ไกลคอลได์)-บล็อก-พอลิเอทิลีน ไกลคอล-บล็อก- (แลค-แลคไทด์-โค-ไกลคอลได์)] [Poly(L-lactide-co-glycolide)-block- poly(ethylene glycol)-block-(L-lactide-co-glycolide)]
IR	อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared Spectroscopy)
¹ H-NMR	โปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ (Proton-Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)
¹³ C-NMR	คาร์บอน13-เอ็นเอ็มอาร์ (Carbon13-Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry)
TG	เทอร์โมกราวิเมตรี (Thermogravimetry)
GPC	เจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography)
T _g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature)
T _c	อุณหภูมิของการเกิดผลึก (crystallisation temperature)
T _m	อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (crystalline melting temperature)
T _d	อุณหภูมิของการสลายตัว (decomposition temperature)
$\bar{M}_n$	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number-average molecular weight)
$\bar{M}_v$	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจากการคิดค่าความหนืด (viscosity-average molecular weight)
$\bar{M}_w / \bar{M}_n$	การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution)

ชื่อย่อ

ชื่อเต็ม

°C	องศาเซลเซียส (degree celcius)
J	จูล (joule)
g	กรัม (gram)
mg	มิลลิกรัม (milligram)
ml	มิลลิลิตร (millilitre)
g/dl	กรัมต่อเดซิลิตร (gram per decilitre)
μl	ไมโครลิตร (microlitre)
ppm	parts per million
mmHg	มิลลิเมตรปรอท