สารบาญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ฉ
สารบาญ		ซ
สารบาญตาราง		ฌ
สารบาญภาพ		ฎ
อักษรย่อ		ต
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	พอลิเมอร์ที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ	1
1.2	การประยุกต์พอลิเมอร์ที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพในทางการแพทย์	1
1.2.1	โครงสร้างเชื่อมกระดูก	3
1.2.2	ท่อนำเส้นประสาท	4
1.2.3	ไหมละลาย	4
บทที่ 2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์		9
2.1	สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	9
2.2	โครงสร้างสัณฐานของพอลิเมอร์ (Morphology of Polymers)	19
2.3	การดึงยืดขณะร้อน (Hot- Drawing)	25
2.4	การแอนนีล (Annealing)	26
บทที่ 3 การสังเคราะห์และวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะเทอร์และโคพอลิเมอร์		27
3.1	สารเคมี เครื่องมือ และ อุปกรณ์	27
3.1.1	สารเคมี	27
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

3.2	การทำสารเคมีให้บริสุทธิ์	30
	3.2.1 การกลั่น ε-caprolactone	30
	3.2.2 การกลั่นเอธิลอะซิเตท	30
	3.2.3 การกลั่นคลอโรฟอร์ม	31
3.3	การสังเคราะห์	31
	3.3.1 วิธีการเตรียมมอนอเมอร์ และทำให้บริสุทธิ์	31
	3.3.1.1 การสังเคราะห์ L-lactide	32
	3.3.1.2 การสังเคราะห์ Gycolide	34
3.4	การสังเคราะห์โคและเทอร์พอลิเมอร์	37
3.5	การหาลักษณะเฉพาะของโคและเทอร์พอลิเมอร์	39
	3.5.1 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared Spectroscopy, IR)	39
	3.5.2 นิวเคลียร์แมกนีติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรสโคปี (Necaler Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)	44
	3.5.3 การหาความหนืดของสารละลายเจือจาง (Dilute Solution Viscometry)	56
	3.5.4 เจลเพอร์มีเอชันโครมาโตกราฟี (Gel Permeation Chromatography, GPC)	60
	3.5.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ (Thermal Analyses)	62
	3.5.5.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)	62
	3.5.5.2 เทอร์โมกราวิเมตรี (Thermogravimetry, TG)	66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

บทที่ 4 การทดลอง 69

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 69

4.2 การผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ 70

4.3 การหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยปั่นหลอม 74

4.3.1 การวิเคราะห์เส้นใยปั่นหลอมด้วยเทคนิค DSC 74

4.3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล 77

4.4 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์ 80

4.4.1 การดึงยืดขณะร้อน 80

4.4.2 การแอนนีล (Annealing) 90

4.4.3 การดึงยืดขณะร้อนหลังการแอนนีล 93

บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 100

5.1 การสังเคราะห์และวิเคราะห์โคและเทอร์พอลิเมอร์ 100

5.2 การผลิตเส้นใยโคและเทอร์พอลิเมอร์ด้วยกระบวนการปั่นหลอม 101

5.3 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเส้นใยปั่นหลอม 101

ภาคผนวก1 การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ทางทฤษฎี 110

ภาคผนวก2 ผลงานทางวิชาการ 113

ประวัติผู้เขียน 140

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเทอร์ที่นำมาประยุกต์ทางการแพทย์	2
1.2	USP Size ของไหมผ่าตัดชนิดต่างๆ	6
2.1	ความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์กับค่าที่ได้จากการทดลอง	16
3.1	ชื่อสารเคมี ลักษณะการใช้งาน ความบริสุทธิ์ และบริษัทผู้ผลิตสารเคมี	27
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3	ปริมาณของมอนอเมอร์และตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์พอลิเมอร์	39
3.4	ตำแหน่งและลักษณะของพีคในสเปกตรัมอินฟาเรด จากรูป 3.8-3.12	43
3.5	ตำแหน่งโปรตอนที่ให้พีคในสเปคตรัม ^{1}H-NMR ของ P(LL-co-CL)	48
3.6	ตำแหน่งโปรตอนที่ให้พีคในสเปคตรัม ^{1}H-NMR ของ P(LL-co-CL-co-G)	49
3.7	ตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ^{13}C-NMR ของ P(LL-co-CL)	52
3.8	ตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ^{13}C-NMR ของ P(LL-co-CL-co-G)	53
3.9	ตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ^{13}C-NMR ที่ขยายเพื่อแสดงตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลของ P(LL-co-CL)	54
3.10	ตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ^{13}C-NMR ที่ขยายเพื่อแสดงตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลของ P(LL-co-CL-co-G)	55
3.11	ความยาวลำดับต่อเนื่องเฉลี่ยของมอนอเมอร์ในโคและเทอร์พอลิเมอร์	56
3.12	ความหนืดชนิดต่างๆของสารละลายพอลิเมอร์	58
3.13	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและค่าการกระจายของ P(LL-co-CL) และP(LL-co-CL-co-G) จากโครมาโทแกรม GPC	62
4.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	69
4.2	เงื่อนไขการผลิตเป็นเส้นใยโมโนฟิลาเมนต์ของโคและเทอร์พอลิเมอร์	69
4.3	ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยปั่นหลอมโคและเทอร์พอลิเมอร์	74
4.4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของโคและเทอร์พอลิเมอร์	104

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	(ก) โครงสร้างเชื่อมกระดูก ในรูปแบบต่าง ๆ	3
	(ข) ลักษณะการใช้พอลิเมอร์เป็นวัสดุทดแทนเชื่อมกระดูกแบบแผ่น	3
1.2	ลักษณะการใช้ท่อนำเส้นประสาทและแสดงทิศทางการงอกของเส้นประสาทภายในท่อ	4
1.3	ลักษณะทางกายภาพของ (ก) ไหมละลายชนิดหลายเส้นพันกัน	
	(ข) ไหมละลายชนิดเส้นเดี่ยว	5
1.4	โครงสร้างโมเลกุลของมอนอเมอร์ L-lactide, Ɛ-caprolactone และ glycolide	7
1.5	โครงสร้างย่อยโคและเทอร์พอลิเมอร์ (ก) แบบสุ่ม (ข) แบบไตรบล็อค	9
2.1	ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์บางชนิด	12
2.2	กราฟเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด และเส้นสัมผัสเริ่มแรกที่ใช้หาค่ามอดูลัส (E)	15
2.3	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแสดงพฤติกรรมเชิงกลของพอลิเมอร์ในลักษณะต่าง ๆกัน	16
2.4	ความเครียดของวัสดุภายใต้ (ก) แรงดึง (ข) แรงอัด และ (ค) แรงเฉือน	18
2.5	(ก) พฤติกรรมการทนแรงดึงของ PVC ด้วยอัตราการดึงที่ต่างกัน	18
	(ข) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเซลลูโลส แอซิเตท ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	18
2.6	รูปแบบ fringed-micelle	20
2.7	(ก) รูปแบบ folded-chain lamellar	21
	(ข) ไดอะแกรมแสดง folded-chain lamealae แทรกตัวอยู่ในส่วนอสัณฐาน	21
2.8	(ก) รูปถ่าย spherulites จากกล้องจุลรรศน์ที่มีโพลาลอยด์แสดงลักษณะเมื่อเริ่มเกิด spherulites และขยายตัวมากขึ้นในเวลาต่อมา	22
	(ข) ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างภายใน spherulites	22
2.9	รูปแบบ shish-kabab	23

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
2.10	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสัณฐานแบบสเฟียรูไลท์ขณะดึงยืด สัมพันธ์กับเส้นค้งความ เค้น-ความเครียด (สัญลักษณ์ – ในสเฟียรูไลท์ แสดงถึง lamellae ของผลึก)	24
2.11	ไดอะแกรมแสดงผลการดึงยืดต่อโครงสร้างสัณฐานในระดับ lamellae ในทิศทางต่างๆ	25
2.12	การเกิดคอขวด (necking) ขณะดึงยืด	26
3.1	การจัดอุปกรณ์การกลั่น ε-caprolactone ภายใต้สุญญากาศ	30
3.2	ขั้นตอนการสังเคราะห์ L-lactide (ก) ขั้นตอนที่ 1 (ข) ขั้นตอนที่ 2	32
3.3	DSC เทอร์โมแกรมของ L-lactide ที่ผ่านการตกผลึกให้บริสุทธิ์ 4 ครั้ง	33
3.4	ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของ L-lactide โดยการพล็อตจากสมการ van't Hoff	34
3.5	DSC เทอร์โมแกรมของ glycolide ที่ผ่านการตกผลึกให้บริสุทธิ์ 4 ครั้ง	36
3.6	ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของ glycolide โดยการพล็อตจากสมการ Van't Hoff	36
3.7	การจัดอุปกรณ์ในการสังเคราะห์โคและเทอร์พอลิเมอร์แบบสุ่ม	38
3.8	IR สเปกตรัม ของ poly (L-lactide), PLL	40
3.9	IR สเปกตรัม ของ poly (ε-caprolactone), PCL	41
3.10	IR สเปกตรัม ของ polyglycolide , PG	41
3.11	IR สเปกตรัม ของ P(LL-co-CL) ที่สังเคราะห์ได้	42
3.12	IR สเปกตรัม ของ P(LL-co-CL-co-G) ที่สังเคราะห์ได้	42
3.13	สเปกตรัม 400 MHz ^{1}H-NMR ของ P(LL-co-CL)	48
3.14	สเปกตรัม 400 MHz ^{1}H-NMR ของ P(LL-co-CL-co-G)	49
3.15	สเปกตรัม 100 MHz ^{13}C-NMR ของ P(LL-co-CL)	52
3.16	สเปกตรัม 100 MHz ^{13}C-NMR ของ P(LL-co-CL-co-G)	53
3.17	สเปกตรัม 100 MHz ^{13}C-NMR ที่ขยายเพื่อแสดงตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลของ P(LL-co-CL)	54
3.18	สเปกตรัม 100 MHz ^{13}C-NMR ที่ขยายเพื่อแสดงตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลของ P(LL-co-CL-co-G)	55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
3.19	อุปกรณ์วัดความหนืด (viscometer) (ก) Ostwald และ (ข) Ubbelohde	57
3.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} หรือ η_{inh} กับความเข้มข้นของสารละลาย P(LL-co-CL) ในตัวทำละลาย tetrahydrofluran ที่อุณหภูมิ 40 °C	59
3.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η_{red} หรือ η_{inh}กับความเข้มข้นของสารละลาย P(LL-co-CL-co-G) ในตัวทำละลาย tetrahydrofluran ที่อุณหภูมิ 40 °C	59
3.22	โครมาโทแกรม GPC ของ P(LL-co-CL)	61
3.23	โครมาโทแกรม GPC ของ P(LL-co-CL-co-G)	61
3.24	เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ทั่วไปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC	63
3.25	เทอร์โมแกรม DSC ของ P(LL-co-CL)	65
3.26	เทอร์โมแกรม DSC ของ P(LL-co-CL-co-G)	65
3.27	เทอร์โมแกรม TGA ของ P(LL-co-CL)	67
3.28	เทอร์โมแกรม TGA ของ P(LL-co-CL-co-G)	67
4.1	พอลิเมอร์อัดเป็นทรงกระบอก	70
4.2	(ก) กระบอกปั่นหลอมที่ประกอบแล้ว	72
	(ข) ส่วนประกอบของกระบอกปั่นหลอม	72
4.3	เครื่องปั่นหลอมขนาดเล็ก (Small - Scale Melt Spinning)	73
4.4	เส้นใยปั่นหลอม	73
4.5	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใยปั่นหลอม P(LL-co-CL)	75
4.6	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใยปั่นหลอม P(LL-co-CL-co-G)	76
4.7	เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Mechanical Testing Machine)	78
4.8	ลักษณะการพันเส้นใยบน bollard grips	78
4.9	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปั่นหลอม P(LL-co-CL)	79
4.10	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปั่นหลอม P(LL-co-CL-co-G)	79
4.11	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยอัตราเร็ว 6500-8300 % min^{-1} จนได้ λ = 6.0-6.7	81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
4.12	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยอัตราเร็ว 8600-14400 % min^{-1} จนได้ λ = 7.2-7.4	82
4.13	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยอัตราเร็วในการดึงยืด 12900-16500 % min^{-1} จนได้ λ = 8.5-9.2	82
4.14	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 80 °C ด้วยอัตราเร็ว 16900-21000 % min^{-1} จนได้ λ = 9.1-9.5	83
4.15	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50°C ด้วยอัตราเร็ว 2600-2700 % min^{-1} จนได้ λ = 6.0-6.3	83
4.16	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยอัตราเร็ว 3600-3800 % min^{-1} จนได้ λ = 6.1-6.4	84
4.17	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(CL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยอัตราเร็ว 5600-6400 % min^{-1} จนได้ λ = 7.4-7.6	84
4.18	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(CL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 80 °C ด้วยอัตราเร็ว 7500-8000 % min^{-1} จนได้ λ = 8.0-8.5	85
4.19	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50°C	85
4.20	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60°C	86
4.21	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 70 °C	86
4.22	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 80°C	87
4.23	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50°C	87

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
4.24	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืด ที่อุณหภูมิ 60 °C	88
4.25	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืด ที่อุณหภูมิ 70°C	88
4.26	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G)หลังถูกดึงยืด ที่อุณหภูมิ 80°C	89
4.27	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) ที่ถูกดึงยืด ที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วย อัตราเร็ว 6800-7600 %min^{-1} จนได้ λ = 6.4-6.6 แล้วทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	91
4.28	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืด ที่อุณหภูมิ 50°C ด้วยอัตราเร็ว 2600-2800 %min^{-1} จนได้λ = 6.2-6.3 แล้วทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	91
4.29	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50°C และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	92
4.30	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50 °C และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	92
4.31	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) ถูกดึงยืดครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยอัตราเร็ว 4400-4600 %min จนได้ λ = 7.3-7.5 หลังการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	93
4.32	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) ถูกดึงยืดครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยอัตราเร็ว 3700-4000 %min จนได้ λ = 6.4-6.6 หลังการแอนนีลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	94
4.33	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังถูกดึงยืด 2 ครั้ง	94
4.34	เทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังถูกดึงยืด 2 ครั้ง	95
4.35	การเปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL) หลังการปรับปรุงสมบัติเชิงกลในแต่ละขั้นตอน	96

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
4.36	การเปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใย P(LL-co-CL-co-G) หลังการปรับปรุงสมบัติเชิงกลในแต่ละขั้นตอน	97
4.37	การเปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเส้นใยที่ผลิตได้กับไหมละลายเชิงพาณิชย์	97
4.38	การเปรียบเทียบเส้นโค้งแรง-ความเครียดของเส้นใยที่ผลิตได้กับไหมละลายเชิงพาณิชย์	98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ชื่อย่อ/สัญลักษณ์	ชื่อเต็ม
P(LL-co-CL)	พอลิ(แอล-แลคไทด์-โค-เอปซิลอน-แคโพรแลคโทน) Poly((L-lactide-co-ε-caprolactone)
P(LL-co-CL-co-G)	พอลิ(แอล-แลคไทด์-โค-เอปซิลอน-แคโพรแลคโทน-โค-ไกลคอไลด์) Poly((L-lactide-co-ε-caprolactone-co-glycolide)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคัลลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry)
TGA	เทอร์โมกราวิเมทรีแอนนาไลเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer)
T_g	อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature)
T_c	อุณหภูมิของการเกิดผลึก (crystalline temperature)
T_m	อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (crystalline melting temperature)
T_d	อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature)
ΔH_m	ขนาดความร้อนของการหลอมเหลว (heat of melting)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อย่อ/สัญลักษณ์	ชื่อเต็ม
ml	มิลลิลิตร (milliliter)
mm	มิลลิเมตร (millimeter)
MPa	เมกะปาสคาล (megapascal)
min^{-1}	ต่อนาที (per minute)
J/g	จูลต่อกรัม (joule per gram)
°C	องศาเซลเซียส (degree celcius)
mol %	โมลเปอร์เซนต์ (mole percentage)
$\overline{M}_n$	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number-average molecular weights)
$\overline{M}_w$	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (weight-average molecular weights)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved