

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการ	6
2.1 กระบวนการปั่นหลอม	6
2.2 กระบวนการดัดยัดขณะร้อน	7
2.3 กระบวนการแอนนีส	10
2.4 กระบวนการวิเคราะห์ทางความร้อน	10
2.4.1 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคัลลอริเมตรี	10
2.4.2 เทอร์โมกราวิเมตรี	12
2.5 กระบวนการสลายตัวทางชีวภาพ	13
2.5.1 การไฮเดรชัน (Hydration)	16
2.5.2 การสูญเสียความแข็งแรง (Loss of strength)	16
2.5.3 การสูญเสียรูปร่างรวม (Loss of mass integrity)	17
2.5.4 การสูญเสียน้ำหนักโดยการละลาย (Solubilization)	17
บทที่ 3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	18
3.1 สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)	18

	หน้า
3.2 โครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ (Morphology of Polymer)	23
3.2.1 รูปแบบ fringed-micelle	23
3.2.2 รูปแบบ folded-chain lamellae	24
3.2.3 รูปแบบ spherulites	26
3.2.4 รูปแบบ extended-chain crystals	28
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์	29
บทที่ 4 การสังเคราะห์ poly(L-lactide-co-ε-caprolactone)	32
4.1 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์	32
4.1.1 สารเคมี	32
4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	34
4.2 วิธีการสังเคราะห์	35
4.2.1 วิธีการเตรียมโมโนเมอร์	35
4.2.1.1 การสังเคราะห์ L-lactide	35
4.2.1.2 การทำ ε-caprolactone ให้บริสุทธิ์	37
4.2.2 วิธีการสังเคราะห์ poly(L-lactide-co-ε-caprolactone)	38
4.2.3 วิธีการทำพอลิเมอร์ให้บริสุทธิ์	40
4.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์	42
4.3.1 พูรีयरทราเนสฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	42
4.3.2 พูรีयरทราเนสฟอร์ม-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี	46
4.3.2.1 การวิเคราะห์ ¹ H-NMR สเปกตรัม ของ	
poly(L-lactide-co-ε-caprolactone)	46
4.3.2.2 การวิเคราะห์ ¹³ C-NMR สเปกตรัม ของ	
poly(L-lactide-co-ε-caprolactone)	53
4.3.3 เจล เพอร์มิเอชัน โครมาโตกราฟี	60
4.3.4 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคัลลอริเมตรี	61
4.3.5 เทอร์โมกราวิเมตรี	63

4.4 สรุปผลการทดลอง	64
บทที่ 5 การผลิตและปรับปรุงคุณภาพของไหมละลาย	65
5.1 สารเคมีและอุปกรณ์	65
5.1.1 สารเคมี	65
5.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	66
5.2 วิธีการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของไหมละลาย	67
5.2.1 การปั่นหลอมเส้นใยและศึกษาลักษณะทางกายภาพ	68
5.2.1.1 การปั่นหลอมเส้นใย	68
5.2.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใย	71
5.2.2 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเส้นใยโดยการดึงยืดและแอนนิล	77
5.2.2.1 ศึกษาผลของการแอนนิล	77
5.2.2.2 ศึกษาผลของอัตราเร็วในการดึงยืด	81
5.2.2.3 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการดึงยืด	84
5.2.2.4 ศึกษาผลของอัตราส่วนการยืด	93
5.2.2.5 ศึกษาผลของการแอนนิลเส้นใยที่ดึงยืด	98
5.2.2.6 ศึกษากระบวนการแอนนิลพร้อมกับการดึงยืดโดยการถ่วงน้ำหนัก	104
5.2.3 การศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใย	107
5.2.3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยหลังจากการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิต่างๆ	108
5.2.3.2 ผลของการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายที่อุณหภูมิต่างๆ	111
บทที่ 6 วิจัยรณและสรุปผลการทดลอง	122
6.1 การสังเคราะห์ P(LLA-co-CL) 8 : 2	122
6.2 การผลิตและปรับปรุงคุณภาพของไหมละลาย	122
6.3 การศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใย	125
บรรณานุกรม	129
ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่สามารถสลายตัวทางชีวภาพที่มีการใช้งานทางการแพทย์	3
2.1 ขั้นตอนการสลายตัวทางชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย	15
4.1 สารเคมี ความบริสุทธิ์ ลักษณะการใช้งาน และบริษัทผู้ผลิต	32
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
4.3 ปริมาณของโมโนเมอร์และตัวเร่งปฏิกิริยา	38
4.4 ตำแหน่งของพีคในอินฟราเรดสเปกตรัมจากรูป 4.5-4.8	45
4.5 ตำแหน่งโปรตอนที่ให้พีคใน $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ poly(L-lactide-co- ϵ -caprolactone)	47
4.6 ตำแหน่งโปรตอนที่ให้พีคใน $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ poly(L-lactide)	49
4.7 ตำแหน่งโปรตอนที่ให้พีคใน $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ poly(ϵ -caprolactone)	51
4.8 ตำแหน่งคาร์บอนใน P(LLA-co-CL) 8 : 2	54
4.9 ตำแหน่งคาร์บอนใน PLLA	55
4.10 ตำแหน่งคาร์บอนใน PCL	57
4.11 การเรียงลำดับของโมโนเมอร์สำหรับพีคหมู่คาร์บอนิลที่ปรากฏในภาพขยาย ของสเปกตรัมของ $^{13}\text{C-NMR}$	59
4.12 น้ำหนักโมเลกุลจาก GPC โคโรมาโตแกรมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	60
5.1 สารเคมี ความบริสุทธิ์ ลักษณะการใช้งาน และบริษัทผู้ผลิต	65
5.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	66
5.3 ผลการศึกษาจาก DSC และสมบัติเชิงกลของเส้นใยปั่นหลอมก่อนแอนนิลและหลัง แอนนิลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	79
5.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยปั่นหลอมที่ถูกดึงยืดด้วยอัตราการดึงยืด ต่างๆ กันจนได้ $\lambda = 5$ ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	82
5.5 ผลการศึกษา DSC และสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนได้ $\lambda = 4$	86

	หน้า
5.6 ผลการศึกษาจาก DSC และสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนมีอัตราส่วนการยืดต่างๆ กัน	94
5.7 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ถูกดึงยืด 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนมีอัตราส่วนการยืด 4x2 และแอนนิลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน	96
5.8 ผลการศึกษาจาก DSC และสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ดึงยืดหลังการแอนนิลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 วัน	100
5.9 ผลการศึกษาจาก DSC และสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ดึงยืดสลับกับการแอนนิลอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน	102
5.10 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่แอนนิลและถ่วงน้ำหนักที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน	105
5.11 ผลการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	111
5.12 ผลการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	114
5.13 ผลการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	117
5.14 ผลการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	119
6.1 การเปรียบเทียบการสลายตัวทางชีวภาพภายนอกร่างกายของเส้นใย P(LLA-co-CL) กับ PDS II	126

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 แผนภาพกระบวนการปั่นหลอม	6
2.2 แผนภาพการดึงยืดขณะร้อน	7
2.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลระหว่างดึงยืด	9
2.4 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์กิ่งผลึก	11
2.5 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมกราวิเมตรี	12
2.6 การสลายตัวทางชีวภาพของไหมละลาย	15
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain สำหรับวัสดุที่มีสมบัติต่างกัน	19
3.2 ไดอะแกรมแสดงทิศของแรงเมื่อวัสดุถูกโค้งงอ	20
3.3 Stress-strain curves แสดงพฤติกรรมเชิงกลของพอลิเมอร์ในลักษณะต่างๆ กัน	21
3.4 รูปแบบ fringed-micelle	24
3.5 รูปแบบ folded-chain lamellae	24
3.6 รูปแบบผสมของ folded-chain lamellae	25
3.7 รูปแบบสเฟียรูไลต์	27
3.8 รูปแบบ shish-kabab	28
3.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขณะดึงยืด	29
3.10 รูปแบบลักษณะการเปลี่ยนแปลง lamellae ในส่วนต่างๆ ของสเฟียรูไลต์	30
3.11 การเรียงตัวขนานกันของ lamellae เป็นแบบ fibril structure	31
4.1 การจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อเตรียม L-lactide	36
4.2 การจัดอุปกรณ์การกลั่นภายใต้สุญญากาศเพื่อทำ ϵ -caprolactone ให้บริสุทธิ์	37
4.3 การจัดอุปกรณ์การสังเคราะห์พอลิเมอร์	40
4.4 การจัดอุปกรณ์การทดลองสำหรับทำพอลิเมอร์ให้บริสุทธิ์	41
4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	43
4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2 [6]	43
4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PLLA [6]	44

4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PCL [6]	44
4.9 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	46
4.10 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ PLLA	48
4.11 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ PCL	50
4.12 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	53
4.13 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมของ PLLA	55
4.14 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมของ PCL	56
4.15 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมที่ขยายหมู่คาร์บอนิล	58
4.16 GPC โคโรมาโตแกรมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	60
4.17 เครื่องดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งคัลลอริมิเตอร์	61
4.18 DSC เทอร์โมแกรมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	62
4.19 TG เทอร์โมแกรมของ P(LLA-co-CL) 8 : 2	63
5.1 ชุดอุปกรณ์ประกอบกระบอปปั่นหลอดเส้นใย	69
5.2 เครื่องปั่นหลอด	70
5.3 ลักษณะการวางเส้นใยบนแผ่นสไลด์	71
5.4 จุดบกพร่องต่างๆ ที่พบในเส้นใยที่ได้ และเส้นใยที่ถูกดึงยืดแล้ว	72
5.5 จุดบกพร่องต่างๆ ที่พบในเส้นใยที่ถูกดึงยืดแล้ว	73
5.6 จุดบกพร่องต่างๆ ที่พบในเส้นใยที่ถูกดึงยืดแล้ว	74
5.7 ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์หลอมบนแผ่นสไลด์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	75
5.8 ลักษณะเส้นใยที่ผลิตจากแท่งพอลิเมอร์ซึ่งกำจัดตัวทำละลายที่ตกค้างออก	76
5.9 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล	78
5.10 ลักษณะการพันเส้นใยบน ballard glips พร้อมไดอะแกรมก่อนทดสอบ	78
5.11 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยปั่นหลอดหลังการแอนนิลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน โดยเปรียบเทียบกับเทอร์โมแกรม DSC ของเส้นใยปั่นหลอดก่อนแอนนิล	79
5.12 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยปั่นหลอด	80
5.13 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยที่ถูกดึงด้วยอัตราการดึงยืดต่างๆ กันจนมี $\lambda = 5$ ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	83

	หน้า
5.14 แผนภาพกระบวนการดึงยืดขณะร้อน	85
5.15 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนได้ $\lambda = 4$	87
5.16 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนได้ $\lambda = 4$	88
5.17 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนได้ $\lambda = 4$	89
5.18 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยที่ถูกดึงยืดขณะร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนมี $\lambda = 4$ โดยไม่ผ่านการแอนนิล	90
5.19 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยที่ถูกดึงยืดขณะร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ด้วยอัตราการดึงยืดคงที่ที่ 300% ต่อนาที จนมี $\lambda = 4$ และแอนนิลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน	91
5.20 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ถูกดึงยืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีอัตราส่วนการยืดต่างๆ กัน	94
5.21 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยที่มีอัตราส่วนการยืดต่างๆ กัน	95
5.22 Stress-strain curves ของเส้นใยที่ถูกดึงยืด 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีอัตราส่วนการยืด 4x2 และแอนนิลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน	97
5.23 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ถูกดึงยืด 2 ครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีอัตราส่วนการยืด 4x2 และแอนนิลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน	97
5.24 การตรึงเส้นใยบนแท่นความร้อน	99
5.25 การตรึงเส้นใยบนโครงเหล็ก	99
5.26 Stress-strain curves ของเส้นใยที่ดึงยืดหลังการแอนนิลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 วัน	101
5.27 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ดึงยืดหลังการแอนนิลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 วัน	101
5.28 Stress-strain curves สำหรับเส้นใยที่ดึงยืดสลับกับการแอนนิลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน	103

5.29 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่ดึงยึดสลับกับการแอนนิลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ กัน	103
5.30 Stress-strain curves ของเส้นใยที่แอนนิลและถ่วงน้ำหนักที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คีน	105
5.31 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยที่แอนนิลและถ่วงน้ำหนักที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คีน	106
5.32 ลักษณะของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (กำลังขยาย 100 เท่า)	109
5.33 ลักษณะของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (กำลังขยาย 100 เท่า)	109
5.34 ลักษณะของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (กำลังขยาย 100 เท่า)	110
5.35 ลักษณะของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (กำลังขยาย 100 เท่า)	110
5.36 Stress-strain curves ของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	112
5.37 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	113
5.38 ผลการทดสอบเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	113
5.39 Stress-strain curves ของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	115
5.40 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	115
5.41 ผลการทดสอบเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	116
5.42 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	117

	หน้า
5.43 ผลการทดสอบเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	118
5.44 DSC เทอร์โมแกรมของเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	119
5.45 ผลการทดสอบเส้นใยหลังการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	120
6.1 Stress-strain curves การทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใย P(LLA-co-CL) กับ PDS II	124
6.2 ลักษณะโครงสร้างกิ่งผลึกก่อนและหลังเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส.	126

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ชื่อย่อ/สัญลักษณ์

ชื่อเต็ม

PLLA	พอลิแลคเตดิกเอซิด (poly L-lactic acid)
PCL	พอลิคาโปรแลคโตน (poly ϵ -caprolactone)
P(LLA-co-CL)	พอลิแลคเตดไทด์-โค-คาโปรแลคโตน (poly(L-lactide-co- ϵ -caprolactone))
IR	อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared Spectroscopy)
NMR	นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)
$^1\text{H-NMR}$	โปรตอน – เอ็นเอ็มอาร์ (Proton NMR)
$^{13}\text{C-NMR}$	คาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ ($^{13}\text{C-NMR}$)
GPC	เจลเพอร์เมชันโครมาโตกราฟี (Gel Permeation Chromatography)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนิงคัลลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry)
TG	เทอร์โมกราวิเมตรี (Thermogravimetry)
PTSA	กรดพารา-ทูลูอิน ซัลโฟนิก (p-toluene sulfonic acid)
Sb_2O_3	แอนติโมนี ไตรออกไซด์ (antimony trioxide)
$\text{Sn}(\text{Oct})_2$	สแตนนัสออกโตเอต (stannous octoate) หรือ (tin(II) bis (2-ethylhexanoate))
T_m	อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (crystalline melting temperature)
ΔH_m	ขนาดความร้อนของการหลอมเหลว (heat of melting)
T_c	อุณหภูมิการตกผลึก (crystallization temperature)
ΔH_c	ขนาดความร้อนของการตกผลึก (heat of crystallization)
T_g	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (glass transition temperature)
σ_B	ความเค้นที่จุดขาด (stress at break)
ϵ_B	ระยะยืดที่จุดขาด (elongation at break)

ชื่อย่อ/สัญลักษณ์

ชื่อเต็ม

 λ

อัตราส่วนการยืด (draw ratio)

 $\overline{M}_v$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (viscosity-average molecular weight)

 $\overline{M}_n$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number-average molecular weight)

 $\overline{M}_w$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (weight-average molecular weight)