

พอลิเมอร์ Polymer

อินตาภรณ์ รัชเวทย์
วท.อ.(เคมี)

หนังสือเล่มนี้ ให้ความเข้าใจเกี่ยวกับ วิชา พอลิเมอร์

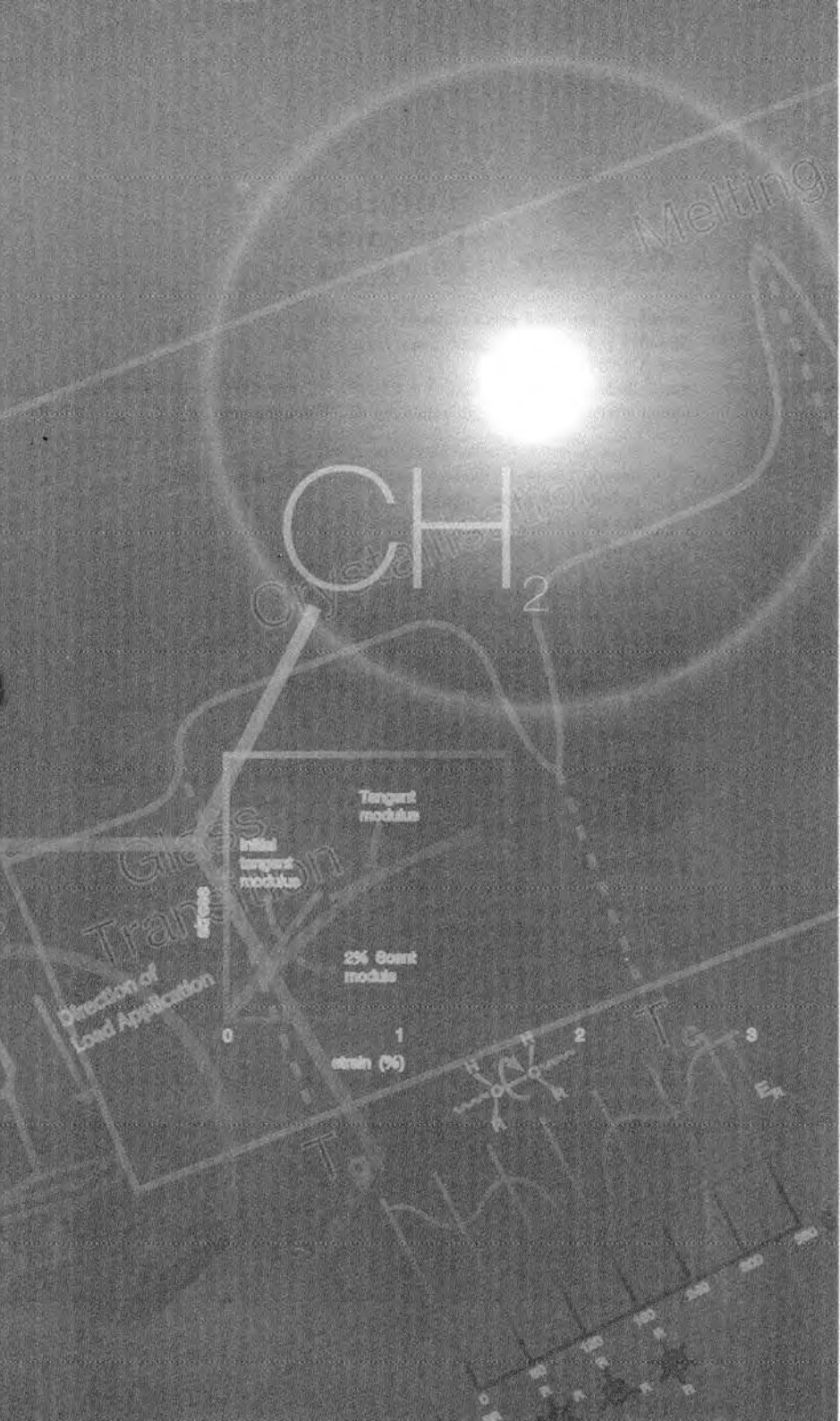
- ความเป็นมา โครงสร้าง และคุณสมบัติต่างๆ
- วิธีการใช้พอลิเมอร์ ในชีวิตประจำวัน

เหมาะเป็นคู่มือ หลักสูตรปริญญาตรี (CHEM 3209) วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาเคมี ภาควิชาเคมี และห้องสมุดทั่วประเทศ



ดวงกมลพิมพ์ลิขสิทธิ์
ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Waters Polymers



คำนำสำนักพิมพ์

หนังสือพอลิเมอร์เล่มนี้ อาจารย์ท่านผู้เขียนได้เรียบเรียง บรรจุเนื้อหาสาระ ไว้อย่างน่าอ่าน น่าสนใจ ลำดับความเป็นมาก่อนหลังได้อย่างดี อ่านแล้วเข้าใจง่าย อ่านหนังสือเล่มนี้แล้ว สามารถนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันได้เลย

สำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยทั่วประเทศ ซึ่งตรงกับหลักสูตรวิชา CHEM 3209 อาจารย์สามารถนำไปเป็นคู่มือการเรียนการสอนได้ตรงตามหลักสูตรปริญญาตรีในสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขอท่านผู้อ่านช่วยชี้แนะกลับมายังสำนักพิมพ์ด้วย จักขอบพระคุณอย่างสูง

สำนักพิมพ์ ดวงกลมพัลลภลิขิต

คำนำผู้แต่ง

ตำราพอลิเมอร์เล่มนี้ ได้เรียบเรียงเพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนรายวิชาพอลิเมอร์ (CHEM 3209) สำหรับนักศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ในการเรียบเรียงตำราเล่มนี้ ผู้เขียนมุ่งหวังให้ผู้เรียนได้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับพอลิเมอร์ ตั้งแต่ความเป็นมา โครงสร้างและคุณสมบัติจนถึงการใช้พอลิเมอร์ ในชีวิตประจำวัน โดยเนื้อหาของตำราเล่มนี้จะครอบคลุมเนื้อหาวิชาพอลิเมอร์ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 8 บท ประกอบด้วย บทที่ 1 บทนำ บทที่ 2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ บทที่ 3 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ บทที่ 4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ บทที่ 5 เทคนิคพอลิเมอร์เซชัน บทที่ 6 พอลิเมอร์ในชีวิตประจำวัน บทที่ 7 สารเติมแต่งในพอลิเมอร์ บทที่ 8 กระบวนการแปรรูปพลาสติก นอกจากนี้ยังได้ผนวกข้อมูลเกี่ยวกับชื่อย่อของพอลิเมอร์เพื่อความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า

จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเล่มนี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญ ในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ของนักศึกษาได้เป็นอย่างดี และสุดท้ายผู้เขียนใคร่กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ณ ภาควิชาเคมีและภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านพอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.โรเบิร์ต มอลลอย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านศาสตร์ทางพอลิเมอร์แก่ ผู้เขียน รวมทั้งให้โอกาสในการเจริญก้าวหน้าทั้งทางการเรียน การงาน รวมถึง ผศ. สุพจน์ บุญแรง ในการให้คำแนะนำ ตรวจสอบความเรียบร้อย ให้กำลังใจยามท้อแท้และที่ขาดไม่ได้คือคุณพ่อ คุณแม่ และลูกทั้งสองที่สนับสนุนและให้ความรัก กำลังใจมาโดยตลอด ดังนั้นจึงใคร่ขอยกคุณงามความดีของหนังสือเล่มนี้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อนิธนาธิ์ รัชเวทย์

29 เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
คำนำสำนักพิมพ์	-2-
คำนำผู้แต่ง	-3-
สารบัญ	-5-
สารบัญรูป	-12-
สารบัญตาราง	-16-



บทที่ 1 บทนำ

19

1.1	ความเป็นมาของวิทยาศาสตร์ พอลิเมอร์	19
1.2	นิยามเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์	20
1.3	ประเภทของพอลิเมอร์	22
1.3.1	การจำแนกตามแหล่งที่มา	22
1.3.2	การจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล	23
1.3.3	การจำแนกตามจำนวนชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุล	27
1.3.4	การจำแนกตามลักษณะการใช้งาน	29
1.4	แหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์	31
	บทสรุป	34
	คำถามท้ายบท	35
	เอกสารอ้างอิง	36

2

บทที่ 2

โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์

37

2.1	โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์	37
2.2	การจัดเรียงตัวในโมเลกุลของพอลิเมอร์	38
2.2.1	โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์	38
2.2.2	รูปแบบโมเลกุลของพอลิเมอร์	40
2.3	พันธะเคมีของพอลิเมอร์	47
2.3.1	พันธะปฐมภูมิ	47
2.3.2	พันธะทุติยภูมิ	48
2.4	ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์	51
2.5	พฤติกรรมของการละลายของพอลิเมอร์	52
2.5.1	ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของพอลิเมอร์	53
2.6	สัณฐานวิทยาพอลิเมอร์	61
2.6.1	สมบัติความเป็นผลึกและอสัณฐาน	61
2.7	การเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์	69
2.7.1	การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว	70
2.7.2	การหลอมตัวของผลึก	71
2.7.3	การหาค่า T_g และ T_m	73
2.7.4	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า T_g ของพอลิเมอร์	78
2.7.5	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า T_m ของพอลิเมอร์	82
2.8	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	84
2.8.1	เส้นโค้ง ความเค้น – ความเครียด	85
	บทสรุป	91
	คำถามท้ายบท	93
	เอกสารอ้างอิง	95

3

บทที่ 3 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

97

3.1	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย	98
3.1.1	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน	98
3.1.2	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก	100
3.1.3	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด	102
3.2	วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย	107
3.2.1	การวิเคราะห์หมู่ปลาย	108
3.2.2	การวัดสมบัติคอลลิเกทิฟ	109
3.2.3	การวัดการกระเจิงของแสง	118
3.2.4	เทคนิคอัลตราเซนตริฟิวเกชัน	120
3.2.5	การวัดความหนืดของสารละลายเจือจาง	121
3.2.6	เจลเพอร์มีเอชันโครมาโตกราฟี	126
	บทสรุป	130
	คำถามท้ายบท	131
	เอกสารอ้างอิง	133

4

บทที่ 4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์

135

4.1	ฟังก์ชันแนลลิตี	135
4.2	พอลิเมอร์ไอโซเมอร์แบบขั้น	137
4.2.1	กลไกของพอลิเมอร์ไอโซเมอร์แบบขั้น	138
4.2.2	จลนพลศาสตร์ของพอลิเมอร์ไอโซเมอร์แบบขั้น	141

4.2.3	การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เชชันแบบขั้น	146
4.3	พอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่	148
4.3.1	ประเภทของพอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่	149
4.3.2	การเปรียบเทียบพอลิเมอร์เชชันแบบขั้นกับแบบลูกโซ่	149
4.4	พอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระ	150
4.4.1	กลไกของพอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระ	150
4.4.2	จลนพลศาสตร์ของพอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระ	155
4.4.3	ความยาวสายโซ่จลนพลศาสตร์เฉลี่ย	161
4.4.4	การย้ายสายโซ่	163
4.4.5	การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลโดยการย้ายสายโซ่	165
4.4.6	การยับยั้งและการหน่วง	167
4.5	พอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่ไอออนิก	168
4.5.1	พอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่ไอออนบวก	172
4.5.2	พอลิเมอร์เชชันแบบลูกโซ่ไอออนลบ	181
4.6	พอลิเมอร์เชชันแบบโคออร์ดิเนชัน	189
4.6.1	ตัวเร่งของซีเกลอร์ – แนต์ตา	190
4.6.2	กลไกของพอลิเมอร์เชชันแบบโคออร์ดิเนชันโดยใช้ตัวเร่ง ซีเกลอร์ – แนต์ตา	192
4.6.3	จลนพลศาสตร์ของพอลิเมอร์เชชันแบบโคออร์ดิเนชันโดยมีตัวเร่ง ซีเกลอร์ - แนต์ตา	194
	บทสรุป	200
	คำถามท้ายบท	203
	เอกสารอ้างอิง	204

5

บทที่ 5
เทคนิคพอลิเมอร์ไอโซเซชัน

205

5.1	พอลิเมอร์ไอโซเซชันแบบบัลค์	206
5.2	พอลิเมอร์ไอโซเซชันแบบสารละลาย	207
5.3	พอลิเมอร์ไอโซเซชันแบบแขวนลอย	209
5.4	พอลิเมอร์ไอโซเซชันแบบอิมัลชัน	210
5.5	เทคนิคพอลิเมอร์ไอโซเซชันแบบอื่นๆ	214
	บทสรุป	216
	คำถามท้ายบท	218
	เอกสารอ้างอิง	219

6

บทที่ 6
พอลิเมอร์ในชีวิตประจำวัน

221

6.1	พลาสติก	221
6.1.1	เทอร์โมพลาสติก	222
6.1.2	เทอร์โมเซตติ	230
6.2	อีลาสโตเมอร์	234
6.2.1	ยางธรรมชาติ	235
6.2.2	พอลิบูตาไดเอน หรือ ยางบูตาไดเอน	236
6.2.3	โคพอลิเมอร์ของสไตรีน-บูตาไดเอน หรือยางสไตรีน-บูตาไดเอน	237
6.2.4	โคพอลิเมอร์ของเอทิลีน-พโรพิลีน หรือยางเอทิลีน-พโรพิลีน	238

6.2.5	ยางบิวทิล	238
6.3	เส้นใย	239
6.3.1	พอลิเอไมด์ หรือไนลอน	240
6.3.2	เส้นใยฝ้าย	241
	บทสรุป	243
	คำถามท้ายบท	244
	เอกสารอ้างอิง	245

7

บทที่ 7 สารเติมแต่งในพอลิเมอร์

247

7.1	ประเภทสารเติมแต่งตามสมบัติที่ดัดแปร	247
7.1.1	สารดัดแปรสมบัติเชิงกล	247
7.1.2	สารดัดแปรสมบัติทางเคมี	248
7.1.3	สารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิต	248
7.1.4	สารดัดแปรเพื่อความสวยงาม	248
7.2	ฟิลเลอร์	249
7.2.1	ขนาดและการกระจายของขนาด ของอนุภาคฟิลเลอร์	249
7.2.2	ความพรุนและรูปร่างของอนุภาคฟิลเลอร์	250
7.2.3	ธรรมชาติทางเคมีที่พื้นผิวของอนุภาคฟิลเลอร์	250
7.2.4	สารเจือปนในฟิลเลอร์	251
7.3	พลาสติกไซเซอร์	252
7.3.1	พลาสติกไซเซอร์ชนิดที่ใช้กันทั่วไป	253
7.3.2	พลาสติกไซเซอร์ชนิดพิเศษ	253

7.4	แอนติออกซิแดนซ์	254
7.4.1	แอนติออกซิแดนซ์ปฐมภูมิ	256
7.4.2	แอนติออกซิแดนซ์ทุติยภูมิ	257
7.5	สารหน่วงการติดไฟ	258
7.5.1	ประเภทที่ให้ก๊าซที่ขับไล่ออกซิเจน	258
7.5.2	ประเภทที่ให้ก๊าซที่ไม่ติดไฟ	259
7.6	สารให้สี	259
7.6.1	สีผง	260
7.6.2	สีย้อม	260
7.7	สารคงสภาพต่อแสงอัลตราไวโอเลต	261
7.7.1	สารดูดกลืนแสง UV	261
7.7.2	สารเควินเซอร์	261
7.8	สารเติมแต่งชนิดอื่นที่สำคัญ	262
	บทสรุป	263
	คำถามท้ายบท	264
	เอกสารอ้างอิง	265

8

บทที่ 8

กระบวนการแปรรูปพลาสติก

267

8.1	กระบวนการรีด	267
8.1.1	เครื่องรีด	268
8.2	กระบวนการฉีดเข้าแม่แบบชนิดปิด	271
8.2.1	เครื่องฉีดเข้าแม่แบบชนิดปิด	271
8.4	กระบวนการเป่าขึ้นรูป	276
8.4.1	กระบวนการรีดเป่าขึ้นรูป	277
8.4.2	กระบวนการฉีดเป่าขึ้นรูป	278

8.4.3	กระบวนการฉีดเป่าขึ้นรูปที่ทำการดึงขณะเป่า	279
8.5	กระบวนการเป่าฟิล์ม	280
8.6	กระบวนการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก	282
8.6.1	แบบอัดด้วยแม่แบบ	282
8.6.2	แบบสูญญากาศ	283
8.6.3	แบบอัดลม	283
8.7	กระบวนการอัดขึ้นรูป	284
8.7.1	แบบอัดชนิด Flash Mold	285
8.7.2	แบบอัดชนิด Fully Positive Mold	286
8.7.3	แบบอัดชนิด Semi-Positive Mold	286
	บทสรุป	288
	คำถามท้ายบท	289
	เอกสารอ้างอิง	290
	ภาคผนวก	290
	ภาคผนวก ก	292
	ภาคผนวก ข	295
	บรรณานุกรม	301
	ประวัติผู้แต่ง	305

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ลักษณะโครงสร้างต่างๆ ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ แสดงเป็น 2 มิติ
1.2	ลักษณะโครงสร้างแบบอื่นๆ ของโมเลกุลพอลิเมอร์
1.3	แผนผังแสดงการผลิตพอลิเมอร์บางชนิด จากแหล่งวัตถุดิบน้ำมัน
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของ n-butane ที่เกิดจาก การหมุนพันธะเดี่ยวของคาร์บอน อะตอมที่ 2 และ 3 (C_2 และ C_3)
2.2	การหมุนรอบพันธะ C – C ของพันธะเดี่ยว ของโมเลกุลพอลิเมอร์
2.3	การหาค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์ โดยใช้การบวกตัวของสารตัวอย่างพวกที่มีร่างแห ในตัวทำละลายต่างๆ
2.4	รูปแบบผลึกพรีนจด์-ไมเซลล์ของพอลิเมอร์
2.5	ลักษณะการพับงอของสายโซ่พอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอ เป็นระเบียบ
2.6	ลักษณะการพับงอของสายโซ่พอลิเมอร์แบบสวิตช์บอร์ด
2.7	การจัดรูปร่างของโครงสร้างพอลิเมอร์ภายในสเฟอรูล์ ในพอลิเมอร์ที่เกิดผลึกหลังจากเกิดการหลอมแล้วเย็นตัวลง
2.8	ลักษณะของสเฟอรูล์
2.9	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์
2.10	การเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาตรจำเพาะของพอลิเมอร์ กับอุณหภูมิของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

2.11	กราฟของเทคนิค DTA ที่ให้ค่า T_g และ T_m ของพอลิเมอร์	76
2.12	กราฟของเทคนิค DSC ที่ให้ค่า T_g และ T_m ของพอลิเมอร์	77
2.13	เทอร์โมแกรมของ DSC ตัวอย่าง	78
2.14	เส้นโค้ง ความเค้น – ความเครียด ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	85
2.15	ค่ามอดุลัสแบบต่างๆ ของพอลิเมอร์	86
2.16	การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ที่เส้นโค้ง ความเค้น-ความเครียดที่จุดเริ่มต้น จุดคราก และการเกิดการดึงแบบเย็น (cold drawing)	87
2.17	การทดสอบความแข็งแรงในการทนแรงอัดของพอลิเมอร์	89
2.18	เครื่องทดสอบการทนต่อการตกกระทบโดยดุน้ำหนัก	89
2.19	การทดสอบความแข็งแรงในการทนต่อการโค้งงอ ของพอลิเมอร์	90
3.1	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบต่างๆ ของพอลิเมอร์ ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแบบหลายขนาด	102
3.2	การหาความดันออสโมติกที่จุดสมดุล	114
3.3	องค์ประกอบหลักของเครื่องออสโมมิเตอร์ ชนิดหาความดันไอ	118
3.4	กราฟ Zimm plot ที่ได้จากเทคนิคการวัด การกระเจิงของแสง	120
3.5	วิสโคมิเตอร์ ก) ออสท์วาลด์ วิสโคมิเตอร์ และ ข) อับเบโลสต์ วิสโคมิเตอร์	121
3.6	การไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเจลที่มีช่องว่างขนาดต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน	127

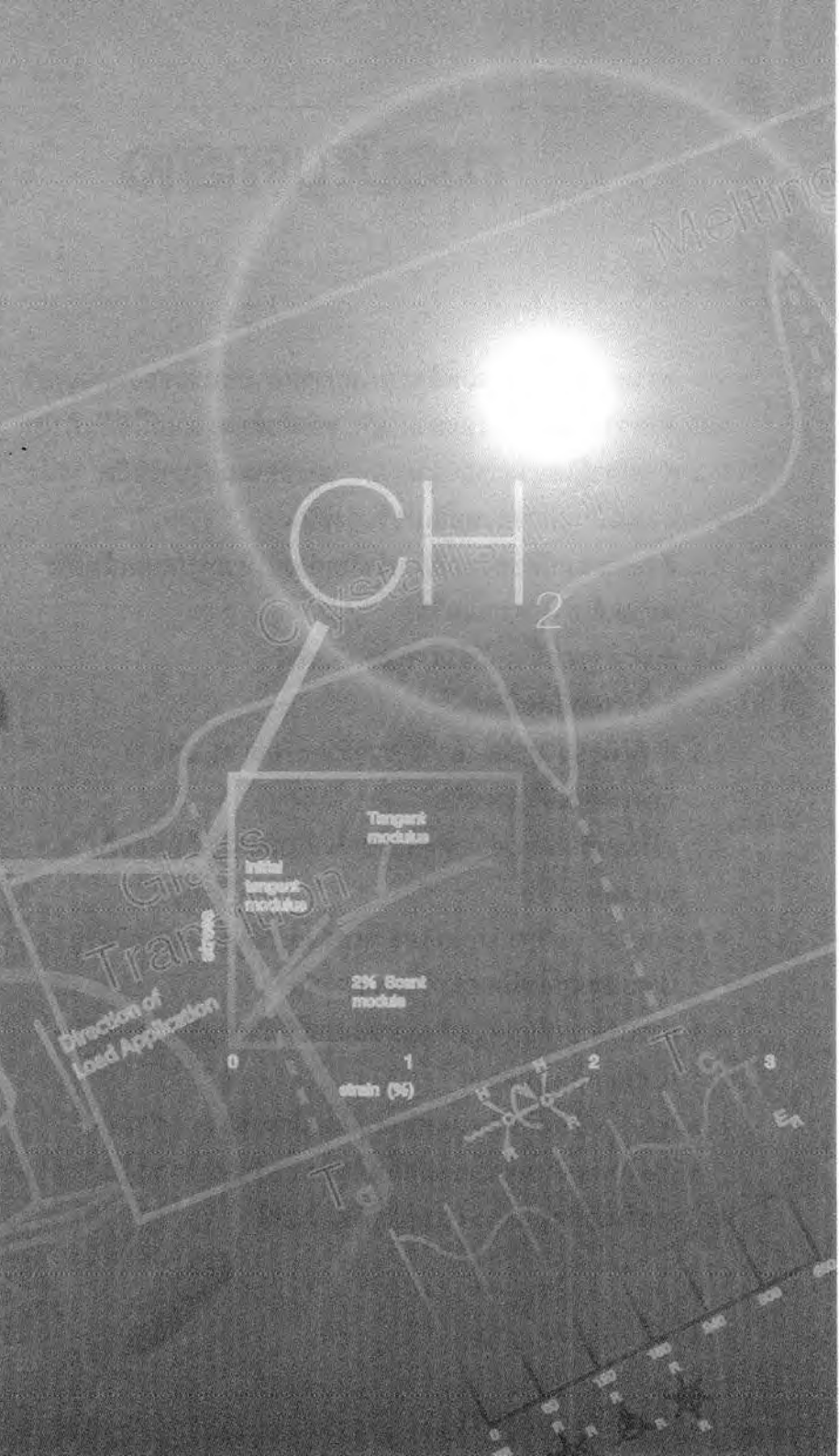
- 3.7 Elution curves ของสารพอลิเมอร์มาตรฐาน
ที่มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีน้ำหนัก
โมเลกุลต่างๆ กัน 128
- 3.8 การทำมาตรฐานสำหรับเทคนิค GPC
โดยใช้พอลิเมอร์สไตรีนมาตรฐาน
ที่ทราบค่าน้ำหนักโมเลกุล (M_s) แล้วทำการหาค่า
elution volume (V_e) 129
- 4.1 (a) กราฟระหว่าง $1/(1-p)$ กับเวลา (t)
ของการพอลิเมอไรเซชันของเดคะ-เมทิลีนไกลคอล
(decamethyleneglycol) กับกรดอะดิพิก (adipic acid)
โดยมี p-toluene sulphonic acid เป็นตัวเร่ง และ (b)
กราฟระหว่าง $1/(1-p)$ กับเวลา (t)
ของการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนไกลคอล
(ethyleneglycol) กับกรดอะดิพิก 146
- 4.2 ผลของตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่เป็น
ตัวย่ำสายโซ่ที่มีต่อค่า $\overline{DP}_n$ ของการพอลิเมอไรเซชัน
พอลิสไตรีนที่ 100°C 166
- 4.3 ผลของตัวยับยั้งและตัวหน่วงที่มีต่ออัตราการเกิด
พอลิเมอไรเซชัน 168
- 5.1 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบต่างๆ 205
- 5.2 การเตรียมไนลอนโดยเทคนิคพอลิเมอไรเซชัน
แบบระหว่างหน้าวิภาค 208
- 5.3 แผนภาพแสดงระบบของเทคนิคพอลิเมอไรเซชัน
แบบอิมัลชัน 212
- 6.1 ภาพสัญลักษณ์สำหรับพลาสติกแปรใช้ใหม่
(recycle plastics) 222
- 8.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องรีด (extruder) 269

8.2	ส่วนต่างๆ ของเกลียวรีดของเครื่องรีด	269
8.3	การผลิตสายไฟฟ้าหุ้มพลาสติกโดยกระบวนการรีด	270
8.4	เครื่องฉีดระบบลูกสูบ	272
8.5	เครื่องฉีดระบบเกลียวหมุน	272
8.6	การทำงานของวงแหวนกันการไหลย้อนกลับ ของเครื่องฉีดระบบเกลียวหมุน	273
8.7	กระบวนการเป่าขึ้นรูป	276
8.8	กระบวนการรีดเป่าขึ้นรูป	278
8.9	เครื่องฉีดเป่าขึ้นรูป	279
8.10	กระบวนการฉีดเป่าขึ้นรูปที่ทำการดึงขณะเป่า	280
8.11	กระบวนการเป่าฟิล์ม	281
8.12	กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบอัดด้วยแม่แบบ	282
8.13	กระบวนการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกแบบสุญญากาศ	283
8.14	กระบวนการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกแบบอัดลม	284
8.15	เครื่องอัดขึ้นรูป	285
8.16	กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่แบบชนิดต่างๆ	287

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความยาวพันธะและพลังงานในการสลายพันธะของพอลิเมอร์	50
2.2 ค่าพารามิเตอร์การละลาย (δ) ของตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไป	58
2.3 ค่าพารามิเตอร์การละลาย (δ) ของพอลิเมอร์บางชนิด	59
2.4 ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์บางชนิด	62
2.5 ลักษณะสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ จากรูปแบบเส้นโค้ง ความเค้น – ความเครียด	88
3.1 ค่าต่างๆของน้ำหนักโมเลกุลพอลิเอทิลีน	104
3.2 ค่าความหนืดชนิดต่างๆ	122
3.3 ค่าคงที่ของ มาร์ค-เฮาวิง-ซากุราดะ (ค่า K และ a) ของพอลิเมอร์บางชนิด	125
4.1 เปรียบเทียบลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์โรเซชันแบบขั้น และแบบลูกโซ่	151
4.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์โรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระ และแบบลูกโซ่ไอออนิกที่แตกต่างกัน	170
4.3 การเปรียบเทียบตัวอย่างมอนอเมอร์ที่เกิดพอลิเมอร์โรเซชัน แบบลูกโซ่แบบต่างๆ	171
5.1 สรุปข้อดีข้อเสียของเทคนิคพอลิเมอร์โรเซชันแบบต่างๆ	213
5.2 เทคนิคพอลิเมอร์โรเซชันที่นิยมใช้ในการผลิตที่สำคัญในเชิงการค้า	215
8.1 เวลาในขั้นตอนต่างๆ ในการฉีดแผ่นซีดี	275

WetStar[®] Polymers



1

บทที่ 1 บทนำ

เมื่อกล่าวถึงคำว่า “พอลิเมอร์” หลายคนอาจนึกถึง เส้นใย เส้นไหม หรือยาง ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของแต่ละคนว่าคุณเคยกับสิ่งใด เพราะพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันมากมาย สำหรับเนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ นิยามเบื้องต้น การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ และแหล่งวัตถุดิบพอลิเมอร์ที่มนุษย์ได้นำมาใช้ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นแหล่งจากธรรมชาติทั้งสิ้น เพียงแต่มีการคิดค้นวิธีการปรับปรุงสมบัติด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น แก๊สธรรมชาติ น้ำมันดิบ และอื่นๆ รวมถึงวัตถุดิบสังเคราะห์ เพื่อจะสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อให้พอลิเมอร์มีสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้ได้มากขึ้นต่อไป

1.1 ความเป็นมาของวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

มีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ว่า มนุษย์ได้มีการใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติมาเป็นเวลาหลายพันปีแล้ว ทั้งที่ยังไม่มีการบัญญัติคำว่า “พอลิเมอร์” พอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มนุษย์ใช้ได้แก่ ขนสัตว์ ไผ่ฝ้าย และใยไหม โดยนำมาทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม และน้ำยางธรรมชาติที่นำมาทำเป็นรองเท้ายางกันน้ำ และภาชนะใส่ของ เป็นต้น แม้ว่าพอลิเมอร์จะถูกนำมาใช้เป็นประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว แต่ก็ยังไม่มีการทำความเข้าใจในโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ ดังนั้นการศึกษาเพื่อนำพอลิเมอร์มาใช้ประโยชน์

ขณะนั้น จึงเป็นการศึกษาแบบลองผิดลองถูกเพราะความรู้ที่มีเกี่ยวกับสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น ความรู้เกี่ยวกับการตกผลึก จุดเดือดและจุดหลอมเหลว ฯลฯ ไม่สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมและสมบัติของพอลิเมอร์ได้

จนกระทั่งปี ค.ศ. 1920 นักเคมีชาวเยอรมัน ชื่อ สตอยดิงเจอร์ (Staudinger) ได้เสนอสมมติฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์ว่า พอลิเมอร์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจำนวนมากที่ยึดกันอยู่ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) และมีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) สูงกว่าสารประกอบอินทรีย์ทั่วไป ความคิดของเขายังไม่เป็นที่ยอมรับทั่วไปในขณะนั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1929 แครโรเธอร์ส (Carothers) ได้ดำเนินการทดลองหาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray) ได้สำเร็จจนสามารถยืนยันสมมติฐานของสตอยดิงเจอร์ได้ เป็นผลให้สตอยดิงเจอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ในปี ค.ศ. 1953 จึงถือได้ว่า สตอยดิงเจอร์ เป็นผู้บุกเบิกวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ (Polymer Sciences) จนได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ต่อมา มาร์ค (Mark) และ ฟลอรี (Flory) ได้เป็นผู้บุกเบิกวิธีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของพอลิเมอร์ทั้งในสถานะของแข็งและของเหลว ทำให้ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1968 ต่อจากนั้นมาวิทยาการด้านพอลิเมอร์ก็เจริญขึ้นอย่างมาก จนสามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการได้ในปัจจุบัน

1.2 นิยามเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์

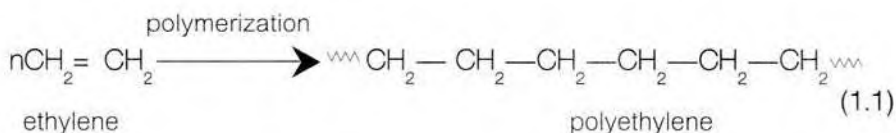
“พอลิเมอร์” เป็นคำทับศัพท์ คำภาษาอังกฤษ คือ “polymer” มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า “poly” ที่แปลว่า จำนวนมาก (many) กับคำว่า “meros” ที่แปลว่า ส่วนหรือหน่วย (part) ดังนั้นคำว่า “พอลิเมอร์” จึงหมายถึง สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยหน่วยของโมเลกุลที่ซ้ำๆ กัน (repeating unit) ที่เรียกว่าเมอร์ (mer) มาเชื่อมต่อ

กัน ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ได้เป็นโมเลกุลขึ้น

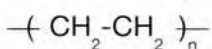
เนื่องจาก พอลิเมอร์ เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงกล่าวได้ว่า พอลิเมอร์ เป็นแม่โครโมเลกุล (macromolecule) ชนิดหนึ่ง ซึ่งแม่โครโมเลกุล (macromolecule) ก็คือ โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม สารแม่โครโมเลกุลบางชนิด เช่น พวกรดนิวคลีอิก (DNA, RNA) ไม่ใช่พอลิเมอร์ เนื่องจาก โมเลกุลของกรดนิวคลีอิกไม่ได้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน มาเชื่อมต่อกัน ดังนั้น สารแม่โครโมเลกุลอาจเป็นหรือไม่เป็นพอลิเมอร์ก็ได้ แต่พอลิเมอร์ทุกชนิดเป็นสารแม่โครโมเลกุลเสมอ

พอลิเมอร์สามารถเตรียมได้ โดยการทำปฏิกิริยาเคมีของมอนอเมอร์ (monomer) ด้วยกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ หรือ พอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อทำให้มอนอเมอร์เกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ เกิดเป็นโมเลกุลของพอลิเมอร์

มอนอเมอร์ เป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ (organic molecules) ทั่วไป ที่มีกลุ่มฟังก์ชันที่ว่องไว (active functional group) ต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างน้อย 2 กลุ่ม หรือ มีพันธะคู่ (double bond) โดยการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์จะเกิดที่ตำแหน่งของกลุ่มฟังก์ชันที่ว่องไวหรือพันธะคู่ (double bond) ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ดังแสดงตัวอย่างของเอทิลีน (ethylene) ที่เป็นมอนอเมอร์ ในการเตรียม พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ในสมการที่(1.1)



เมื่อ n เป็นจำนวนโมเลกุลหรือ จำนวนโมลของเอทิลีน จากสมการที่ (1.1) จะได้พอลิเอทิลีน ที่มีจำนวนเมอร์ของเอทิลีนเท่ากับ n เมอร์ ซึ่งนิยมเขียนสูตรโครงสร้างด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน ในโมเลกุล ดังนี้



สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของพอลิเมอร์ไม่นิยมแสดงหมู่ฟังก์ชันที่ปลาย (end functional groups) ของโมเลกุล เนื่องจากโดยทั่วไปพอลิเมอร์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติและลักษณะของหมู่ฟังก์ชันปลายยังไม่เป็นที่เข้าใจชัดเจนนัก และธรรมชาติรวมทั้งลักษณะของหมู่ฟังก์ชันปลาย ส่งผลกระทบต่อสมบัติที่สำคัญของพอลิเมอร์น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมแสดงหมู่ฟังก์ชันปลายในสูตรโครงสร้างของพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชันปลาย ยังมีความสำคัญต่อการศึกษากลไกของกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (mechanism of polymerization) ให้ชัดเจนมากขึ้น

1.3 ประเภทของพอลิเมอร์

วิธีที่ใช้ในการจำแนกพอลิเมอร์มีหลายวิธี โดยมีวิธีที่สำคัญ 4 วิธี คือ การจำแนกตามแหล่งที่มา ตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล ตามจำนวนชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุล และตามลักษณะการใช้งาน ที่มีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1.3.1 การจำแนกตามแหล่งที่มา

การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ตามแหล่งที่มาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยได้ดังนี้

1.3.1.1 พอลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymers) พอลิเมอร์ประเภทนี้มีอยู่แล้วในสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติและมนุษย์ได้นำเอามาดัดแปลงหรือปรับปรุงเพื่อใช้ประโยชน์ ได้แก่ ไหม ปอ ฝ้าย และน้ำยางธรรมชาติ เป็นต้น

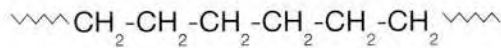
1.3.1.2 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymers) พอลิเมอร์ประเภทนี้ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ เนื่องจากพอลิเมอร์ธรรมชาติมีปริมาณ สมบัติและขอบเขตการใช้งานมีขีดจำกัด ดังนั้นพอลิเมอร์สังเคราะห์จึงมีบทบาทมากขึ้น ตัวอย่างพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้แก่ พอลิเอทิลีน (poly

ethylene, PE) และพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) เป็นต้น

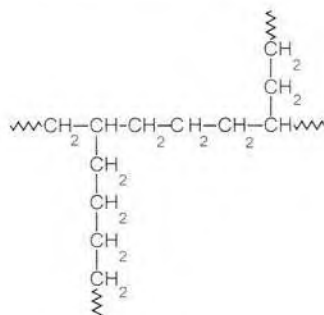
1.3.2 การจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล

ลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นเกณฑ์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.3.2.1 พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (linear polymers) โมเลกุลของพอลิเมอร์ประเภทนี้เป็นเส้นหรือสายโซ่ (chain) ยาวที่ไม่มีกิ่งก้านหรือสาขาแยกออกมาจากสายโซ่หลัก (main chain) ของโมเลกุล โดยมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล ดังแสดงในรูป 1.1 (ก) ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนแบบเชิงเส้น (linear polyethylene) ที่มีโครงสร้าง ดังนี้



1.3.2.2 พอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้านหรือสาขา (branched polymers) โมเลกุลของพอลิเมอร์ประเภทนี้มีกิ่งก้านหรือสาขาแยกออกมาจากสายโซ่หลักของโมเลกุล ที่จุดแยกกิ่งก้าน (branch points) โดยมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล ดังแสดงในรูป 1.1(ข) ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนแบบมีกิ่งก้าน (branched polyethylene) ที่มีโครงสร้างดังนี้



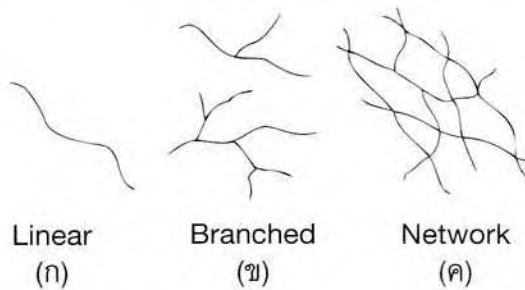
โดยมีข้อควรสังเกตว่าหากเป็นพอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้านนี้ กิ่งที่แยกออกมาจากสายโซ่หลักจะต้องมีหน่วยซ้ำหรือมอนอเมอร์เช่นเดียวกับหน่วยซ้ำในสายโซ่หลัก แต่ถ้ามีหมู่แทนที่มาต่อกับสายโซ่หลัก เช่น หมู่ $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_6\text{H}_5$ จะไม่ถือว่าเป็นพอลิเมอร์แบบมีกิ่งสาขา เช่น พอลิพروพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น

จะเห็นว่าหมู่ $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_6\text{H}_5$ เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลมอนอเมอร์โดยตรง มิได้เป็นกิ่งก้านสาขาที่มีหน่วยซ้ำเช่นเดียวกับหน่วยซ้ำในสายโซ่หลัก จึงถือว่าพอลิเมอร์พวกนี้เป็นพอลิเมอร์แบบสายตรงเช่นกัน โดยพอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้านสาขานี้ นอกจากจะมีลักษณะการแยกกิ่งแบบสุ่ม ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้น ยังสามารถแบ่งการแยกกิ่งเป็นรูปร่างที่สำคัญอีก 2 ลักษณะ คือ

(1) พอลิเมอร์รูปดาว (star polymer) จะมีลักษณะการแยกกิ่งออกจากศูนย์กลางประมาณ 3 – 4 สาย ดังแสดงในรูปที่ 1.2.(ก)

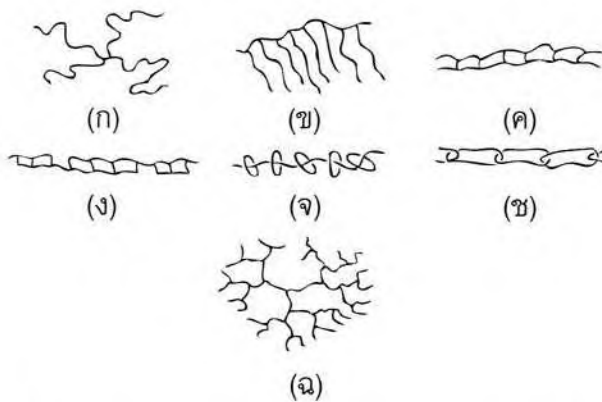
(2) พอลิเมอร์รูปหวี (comb polymer) ซึ่งจะประกอบขึ้นจากพอลิเมอร์สายสั้นๆ (ซึ่งจะมีความยาวเท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้) แยกออกจากสายพอลิเมอร์หลักในแนวทิศทางเดียวกันคล้ายรูปหวี ดังแสดงในรูปที่ 1.2.(ข)

1.3.2.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห หรือ เชื่อมโยงข้าม (network or crosslinked polymers) โมเลกุลของพอลิเมอร์ประเภทนี้ จะมีการเชื่อมโยงกัน ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างแบบร่างแห ดังแสดงในรูป 1.1(ค) ตัวอย่างเช่น ยางธรรมชาติ ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (vulcanization) โดยใช้กำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยง (crosslinked agent) ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติ



รูปที่ 1.1 ลักษณะโครงสร้างต่างๆ ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ แสดงเป็น 2 มิติ
(ก) พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (ข) พอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้าน หรือ สาขา และ
(ค) พอลิเมอร์แบบร่างแห หรือเชื่อมโยงข้าม

ที่มา : Young, R.J. and Lovell, P.A., 1991, p.3.



รูปที่ 1.2 ลักษณะโครงสร้างแบบอื่นๆ ของโมเลกุลพอลิเมอร์
(ก) star polymer (ข) comb polymer (ค) ladder polymer
(ง) semi ladder(or stepladder) polymer (จ) polyrotaxane
(ฉ) polycatenane (ช) dendrimers

ที่มา : Stevens, M.P., 1999, p.9.

1.3.2.4 แลตเตอร์พอลิเมอร์ (ladder polymers) พอลิเมอร์แบบนี้เกิดจากการที่ทำให้หน่วยซ้ำในสายพอลิเมอร์หลัก มีการหลอมปิดเป็นวงจนมีลักษณะคล้ายบันไดขั้น (ladder) จึงเรียกพอลิเมอร์แบบนี้ว่าแลตเตอร์พอลิเมอร์หรือจะเรียกว่าพอลิเมอร์แบบขั้นบันไดก็ได้ ลักษณะในการปิดเป็นวงจะเป็นไปได้ 2 แบบคือ

(1) มีการหลอมปิดอย่างสม่ำเสมอทุกหน่วยซ้ำในสายพอลิเมอร์หลัก พอลิเมอร์ที่ได้จะเรียกว่าแลตเตอร์พอลิเมอร์ (ladder polymers) ดังแสดงในรูปที่ 1.2(ค) และ

(2) มีการหลอมปิดเป็นช่วงซึ่งจะเรียกว่ากึ่งแลตเตอร์พอลิเมอร์ (semiladder หรือ stepladder polymers) ดังแสดงในรูปที่ 1.2(ง)

แลตเตอร์พอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงในโครงสร้างมาก ใช้เป็นวัสดุทนไฟได้เป็นอย่างดี การพัฒนาของแลตเตอร์พอลิเมอร์ ส่วนใหญ่จะเน้นนำไปประยุกต์ในด้านยานอวกาศ ตัวอย่างเช่น “black orlon” ที่เตรียมได้จากพอลิอะคริโลไนไตรล์ (polyacrylonitrile) เป็นต้น

นอกจากนี้อาจจะมีพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างอื่นๆอีกเช่น พอลิเมอร์ที่เชื่อมโยงด้วยแรงระหว่างโมเลกุล ที่ไม่ใช่พันธะโคเวเลนต์ เช่นพอลิรอกซาเซน (polyrotaxane) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยสายโซ่หลัก (หรือสายโซ่ประกอบ) ถักเข้ากับสารประกอบไซคลิก(cyclic compound) ดังแสดงในรูปที่ 1.2. (จ) ส่วนพอลิคาเทแนน (polycatenanes) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากการเกิด interlocking จนเป็นวงต่อเนื่องกันไป ดังแสดงในรูปที่ 1.2. (ฉ) ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือพอลิเมอร์แบบเดรนดริเมอร์ (drendrimers) หรือที่เรียกว่า เดรนดริติก (drendritic) เป็นพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างแบบดาว แต่มีข้อแตกต่างจากพอลิเมอร์แบบดาวคือ กิ่งก้านของดาวยังคงขยายกิ่งต่อไปเรื่อยๆ คล้ายกิ่งของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 1.2. (ช) เป็นต้น

1.3.3 การจำแนกตามจำนวนชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุล

การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์โดยใช้จำนวนชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุลเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1.3.3.1 โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymers) มีลักษณะคือในโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดนี้ประกอบไปด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน (repeating unit) เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ตัวอย่างเช่นพอลิเอทิลีน ในโมเลกุลประกอบด้วยเอทิลีนเพียงชนิดเดียว เป็นต้น

1.3.3.2 โคพอลิเมอร์ (copolymers) โดยทั่วไปนิยมเรียกเป็น “โคพอลิเมอร์” ลักษณะในโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ชนิดนี้ จะประกอบไปด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันมากกว่าหนึ่งชนิด ตัวอย่างเช่น โคพอลิเมอร์ของ สไตรีน-บิวตะไดอิน (styrene-butadiene copolymer) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ สไตรีนและบิวตะไดอิน และ โคพอลิเมอร์ของ อะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอิน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer) ก็ประกอบด้วยมอนอเมอร์ อะคริโลไนไตรล์, บิวตะไดอินและสไตรีน ซึ่งในโมเลกุลของตัวอย่างพอลิเมอร์ที่กล่าวมาจะประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน สองและสามชนิดตามลำดับ

โคพอลิเมอร์ยังอาจแบ่งชนิดของโคพอลิเมอร์ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันแต่ละชนิดในโมเลกุล สำหรับโคพอลิเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำๆ กัน 2 ชนิด ตัวอย่างเช่นชนิด A และ B จะสามารถแบ่งตามลักษณะการเรียงตัวได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (random copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (linear copolymers) ที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันแต่ละชนิด อย่างไม่เป็นระเบียบไปตลอดโมเลกุล ดังนี้

~~~~~AABAAABBABABBBBAAA~~~~~

การจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์แบบสุ่มนี้อาจใช้สัญลักษณ์เป็น poly(A-ran-B) ก็ได้

2) โคพอลิเมอร์สลับ (alternating copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน สลับกันไปอย่างเป็นระเบียบไปตลอดโมเลกุล ดังนี้



การจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์แบบสลับนี้อาจใช้สัญลักษณ์เป็น poly(A-alt-B) ก็ได้

3) โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน ชนิดเดียวกันต่อกันยาว แล้วตามด้วยการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจจะโคพอลิเมอร์แบบบล็อกที่สำคัญ 2 แบบ คือแบบสองบล็อก (di-block) และแบบสามบล็อก (tri-block) ดังนี้



AB di-block copolymer



ABA tri-block copolymer



BAB tri-block copolymer

ลักษณะการจัดเรียงตัวของโคพอลิเมอร์แบบนี้อาจใช้สัญลักษณ์สำหรับโคพอลิเมอร์แบบสองบล็อก ได้คือ polyA-block-polyB (โดยมีการเตรียม poly A ก่อน) และแบบสามบล็อกคือ polyA-block-polyB-block-polyA หรือ polyB-block-polyA-block-polyB

4) โคพอลิเมอร์แบบกราฟท์ (graft copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบที่มีกิ่งก้านหรือสาขา (branched copolymers) ที่มีชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน ในสายโซ่หลัก ต่างจากในสายโซ่ที่เป็นกิ่งก้าน ดังนี้



ลักษณะการจัดเรียงตัวอาจใช้สัญลักษณ์สำหรับโคพอลิเมอร์แบบกราฟท์ได้ คือ polyA-graft-polyB โดย polyA เป็นสายโซ่หลัก และ polyB เป็นสายโซ่ที่เป็นกิ่งก้าน

### 1.3.4 การจำแนกตามลักษณะการใช้งาน

เป็นการจำแนกพอลิเมอร์ตามลักษณะสมบัติของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์หรือการใช้งาน สามารถจำแนกได้เป็น 6 ประเภท ที่สำคัญ คือ

1.3.4.1 พลาสติก (plastics) เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งที่สามารถคงรูปได้ ภายใต้สภาวะการใช้งานแต่จะเป็นของไหลหนืด (viscous flow) ในสภาวะที่ทำการขึ้นรูป สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามพฤติกรรมเมื่อได้รับความร้อน ดังนี้

1) เทอร์มอพลาสติก (thermo-plastics) ซึ่งก็คือพลาสติกที่สามารถนำกลับไปหลอมใหม่หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพลาสติก ได้แก่ พอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น และ

2) เทอร์มอเซตติง (thermosetting) ซึ่งเป็นพลาสติกที่หลังจากผ่านการขึ้นรูปแล้วจะแข็งตัว อย่างถาวรเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง

ข้าม (crosslinking reaction) เมื่อได้รับความร้อน เทอร์โมเซตติงจะไม่สามารถหลอมได้อีก แต่จะเกิดการเสื่อมสภาพและสลายตัวของพลาสติกถ้าได้รับความร้อนที่สูงมาก ได้แก่ เมลามีนฟอर्मัลดีไฮด์ และฟีนอลฟอर्मัลดีไฮด์ เป็นต้น

หรืออาจแบ่งออกเป็นพลาสติกตามการนำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนการผลิตในเชิงพาณิชย์ เป็น 2 ประเภท คือ **พลาสติกโคมกัณท์** (commodity plastics) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผลิตในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก และมีราคาถูก ส่วนใหญ่เป็นพวกเทอร์โมพลาสติก ส่วนใหญ่จะใช้เป็นภาชนะบรรจุสิ่งของหรือเครื่องใช้ต่างๆ รวมทั้งใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ และอื่นๆ ได้อีกด้วย ตัวอย่างพลาสติกโคมกัณท์ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์) พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือ **พลาสติกวิศวกรรม** เป็นพลาสติกที่ผลิตเพื่อใช้งานในสมบัติเฉพาะ มีสมบัติเชิงกลดี แข็งแรง มีการผลิตในอุตสาหกรรมน้อยกว่าพลาสติกประเภทแรก สามารถใช้เป็นวัสดุแทนพวกโลหะ เซรามิกส์ และแก้วได้เป็นอย่างดี เช่นพลาสติกที่ใช้ทำชิ้นส่วนของรถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ใช้ทำโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรง ทนทาน แต่มีน้ำหนักเบาในการก่อสร้าง หรือใช้ทำชิ้นส่วน อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และอื่นๆ อีกมากมาย ตัวอย่างของพลาสติกวิศวกรรม ซึ่งอาจจะใช้ได้ทั้ง เทอร์โมพลาสติก หรือเทอร์โมเซตติงก็ได้ ได้แก่

1.3.4.2 เส้นใย (fibers) เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งมีทั้งเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น ไหม ฝ้าย และขนสัตว์ เป็นต้น เส้นใยดัดแปลงจากธรรมชาติ เช่น เรยอน (ผลิตมาจากเซลลูโลส) และเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอนและพอลิพรอพิลีน เป็นต้น ส่วนใหญ่เส้นใยเหล่านี้จะใช้ทำเครื่องนุ่งห่มและของใช้ต่างๆ เส้นใยสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการปั่น (spinning process) โดยการดึงให้เป็นเส้นที่มีความยาวมากแต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก หลังจากนั้นก็ทำการดึง ให้เกิดผลึกปริมาณมาก เพื่อให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถนำมาประยุกต์

ใช้งานได้หลากหลาย

1.3.4.3 อีลาสโตเมอร์ (elastomer) หรือ รับเบอร์(rubber) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ เมื่อได้รับแรงกระทำและสามารถคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อหยุดให้แรงกระทำ พอลิเมอร์ที่เป็นอีลาสโตเมอร์ มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ยางธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น ยางสไตรีนบิวตะไดอีน และยางเอทิลีนพโรพิลีน เป็นต้น

1.3.4.4 ฟองน้ำ (foams) เป็นพอลิเมอร์ที่ทำให้เกิดรูพรุนเมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการใช้สารที่ทำให้เกิดฟอง (foaming agents) หรือใช้เทคนิคการตีผสม ฟองน้ำจะมีน้ำหนักเบา จึงเหมาะที่จะใช้ทำฟุ่น ทำเฟอร์นิเจอร์ ตัวอย่างเช่น พอลิสไตรีน พอลิยูรีเทน และยางธรรมชาติ เป็นต้น

1.3.4.5 กาว (adhesives) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียวทำให้วัสดุติดแน่น ตัวอย่างได้แก่ พวกอีพอกซี (epoxies) และ ไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylates)

1.3.4.6 น้ำยาเคลือบผิวและป้องกันผิว (surface finishes and protective coatings) รวมทั้งพาส (paint) ที่สำคัญได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (poly methyl methacrylate) และพอลิไวนิลแอซิเตต (poly vinyl acetate)

## 1.4 แหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์

แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตพอลิเมอร์ มี 3 แหล่งด้วยกัน คือ ผลิตภัณฑ์ทางเกษตร (agricultural products) ถ่านหิน (coals) และน้ำมัน (petroleum) โดยน้ำมันจะมีความหมายรวมถึง แก๊สธรรมชาติ (natural gas) ด้วย

ตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้จากแหล่งผลิตผลทางเกษตร สำหรับการผลิตพอลิเมอร์ ได้แก่ เยื่อไม้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์บางชนิด เช่น เซลลูโลสไนเตรต เซลลูโลสแอซิเตต และเซลลูโลสแอซิเตตบิวทีเรต