พอลิเมอร์

Polymer

อโนดาษ์ รัชเวทย์
วท.ด.(เคมี)

หนังสือเล่มนี้ ให้ความเข้าใจเกี่ยวกับ วิชา พอลิเมอร์

- ความเป็นมา โครงสร้าง และคุณสมบัติต่างๆ
- วิธีการใช้พอลิเมอร์ ในชีวิตประจำวัน

เหมาะเป็นคู่มือ หลักสูตรปริญญาตรี (CHEM 3209) วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาเคมี ทุกมหาวิทยาลัย และห้องสมุดทั่วประเทศ

ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอหนังสือดี มีคุณค่า

Polymer Physics

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ลักษณะโครงสร้างต่างๆ ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ แสดงเป็น 2 มิติ	25
1.2	ลักษณะโครงสร้างแบบอื่นๆ ของโมเลกุลพอลิเมอร์	25
1.3	แผนผังแสดงการผลิตพอลิเมอร์บางชนิด จากแหล่งวัตถุดิบน้ำมัน	33
2.1	โครงรูปโมเลกุลของ n-butane ที่เกิดจากการหมุนพันธะเดี่ยวของคาร์บอนอะตอมที่ 2 และ 3 (C_2 และ C_3)	39
2.2	การหมุนรอบพันธะ C – C ของพันธะเดี่ยวของโมเลกุลพอลิเมอร์	41
2.3	การหาค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์โดยใช้การบวมตัวของสารตัวอย่างพวกที่มีร่างแหในตัวทำละลายต่างๆ	58
2.4	รูปแบบผลึกฟรินจด์-ไมเซลล์ของพอลิเมอร์	63
2.5	ลักษณะการพับงอของสายโซ่พอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอเป็นระเบียบ	65
2.6	ลักษณะการพับงอของสายโซ่พอลิเมอร์แบบสวิตซ์บอร์ด	65
2.7	การจัดรูปร่างของโครงสร้างพอลิเมอร์ภายในสเฟอรูไลท์ในพอลิเมอร์ที่เกิดผลึกหลังจากเกิดการหลอมแล้วเย็นตัวลง	67
2.8	ลักษณะของสเฟอรูไลท์	69
2.9	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	73
2.10	การเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาตรจำเพาะของพอลิเมอร์กับอุณหภูมิของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	75

ตัวอย่าง

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	การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ที่เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดที่จุดเริ่มต้น จุดคราก และการเกิดการดึงแบบเย็น (cold drawing)	87
2.17	การทดสอบความแข็งแรงในการทนแรงอัดของพอลิเมอร์	89
2.18	เครื่องทดสอบการทนต่อการตกกระทบโดยตุ้มน้ำหนัก	89
2.19	การทดสอบความแข็งแรงในการทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์	90
3.1	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแบบหลายขนาด	102
3.2	การหาความดันออสโมติกที่จุดสมดุล	114
3.3	องค์ประกอบหลักของเครื่องออสโมมิเตอร์ชนิดหาความดันไอ	118
3.4	กราฟ Zimm plot ที่ได้จากเทคนิคการวัดการกระเจิงของแสง	120
3.5	วิสโคมิเตอร์ ก) ออสท์วาลด์ วิสโคมิเตอร์ และ ข) อับเบโลฮด์ วิสโคมิเตอร์	121
3.6	การไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเจลที่มีช่องว่างขนาดต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน	127

3.7	Elution curves ของสารพอลิเมอร์มาตรฐานที่มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน	128
3.8	การทำมาตรฐานสำหรับเทคนิค GPC โดยใช้พอลิเมอร์สไตรีนมาตรฐานที่ทราบค่าน้ำหนักโมเลกุล (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) กับกรดอะดิพิ	146
4.2	ผลของตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวย้ายสายโซ่ที่มีต่อค่า $\overline{DP}_n$ ของการพอลิเมอไรเซชันพอลิสไตรีนที่ 100°C	166
4.3	ผลของตัวยับยั้งและตัวหน่วงที่มีต่ออัตราการเกิดพอลิเมอไรเซชัน	168
5.1	เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบต่างๆ	205
5.2	การเตรียมไนลอนโดยเทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างหน้าวัฏภาค	208
5.3	แผนภาพแสดงระบบของเทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน	212
6.1	ภาพสัญลักษณ์สำหรับพลาสติกแปรใช้ใหม่ (recycle plastics)	222
8.1	ส่วนประกอบหลักของเครื่องรีด (extruder)	269

CHULA

8.2	ส่วนต่างๆ ของเกลียวรีดของเครื่องรีด	269
8.3	การผลิตสายไฟฟ้าหุ้มพลาสติกโดยกระบวนการรีด	270
8.4	เครื่องฉีดระบบลูกสูบ	272
8.5	เครื่องฉีดระบบเกลียวหมุน	272
8.6	การทำงานของวงแหวนกันการไหลย้อนกลับของเครื่องฉีดระบบเกลียวหมุน	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

ตัวอย่าง

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 จากรูปแบบเส้นโค้งความเค้น – ความเครียด	88
3.1	ค่าต่างๆของน้ำหนักโมเลกุลพอลิเอทิลีน	104
3.2	ค่าความหนืดชนิดต่างๆ	122
3.3	ค่าคงที่ของ มาร์ค-เฮาวิง-ซากุราดะ (ค่า K และ a) ของพอลิเมอร์บางชนิด	125
4.1	เปรียบเทียบลักษณะสำคัญของพอลิเมอไรเซชันแบบขั้นและแบบลูกโซ่	151
4.2	ลักษณะสำคัญของพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระและแบบลูกโซ่ไอออนิกที่แตกต่างกัน	170
4.3	การเปรียบเทียบตัวอย่างมอนอเมอร์ที่เกิดพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่แบบต่างๆ	171
5.1	สรุปข้อดีข้อเสียของเทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบต่างๆ	213
5.2	เทคนิคพอลิเมอไรเซชันที่นิยมใช้ในการผลิตที่สำคัญในเชิงการค้า	215
8.1	เวลาในขั้นตอนต่างๆ ในการฉีดแผ่นซีดี	275

ตัวอย่าง

Engineering Polymers

1 บทที่ 1 บทนำ

เมื่อกล่าวถึงคำว่า "พอลิเมอร์" หลายคนอาจนึกถึง เส้นใย เส้นไหม หรือยาง ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของแต่ละคนว่าคุ้นเคยกับสิ่งใด เพราะพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันมากมาย สำหรับเนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ นิยามเบื้องต้น การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ และแหล่งวัตถุดิบพอลิเมอร์ที่มนุษย์ได้นำมาใช้ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นแหล่งจากธรรมชาติทั้งสิ้น เพียงแต่มีการคิดค้นวิธีการปรับปรุงสมบัติด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น แก๊สธรรมชาติ น้ำมันดิบ และอื่นๆ รวมถึงวัตถุดิบสังเคราะห์ เพื่อจะสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อให้พอลิเมอร์มีสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้ได้มากขึ้นต่อไป

ตัวอย่าง

1.1 ความเป็นมาของวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

มีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ว่า มนุษย์ได้มีการใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติมาเป็นเวลาหลายพันปีแล้ว ทั้งที่ยังไม่มีการบัญญัติคำว่า "พอลิเมอร์" พอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มนุษย์ใช้ได้แก่ ขนสัตว์ ใยฝ้าย 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 ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจำนวนมากที่ยึดกันอยู่ด้วยพันธะโคเวเลนซ์ (covalent bond) และมีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) สูงกว่าสารประกอบอินทรีย์ทั่วไป ความคิดของเขายังไม่เป็นที่ยอมรับทั่วไปในขณะนั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1929 แคโรเธอร์ส (Carothers) ได้นำการทดลองหาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray) ได้สำเร็จจนสามารถยืนยันสมมติฐานของสตอยดิงเจอร์ได้ เป็นผลให้สตอยดิงเจอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ในปี ค.ศ. 1953 จึงถือได้ว่า สตอยดิงเจอร์ เป็นผู้บุกเบิกวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ (Polymer Sciences) จนได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ต่อมา มาร์ค (Mark) และฟลอรี (Flory) ได้เป็นผู้บุกเบิกวิธีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของพอลิเมอร์ทั้งในสถานะของแข็งและของเหลว ทำให้ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1968 ต่อจากนั้นมาวิทยาการด้านพอลิเมอร์ก็เจริญขึ้นอย่างมาก จนสามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการได้ในปัจจุบัน

1.2 นิยามเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์

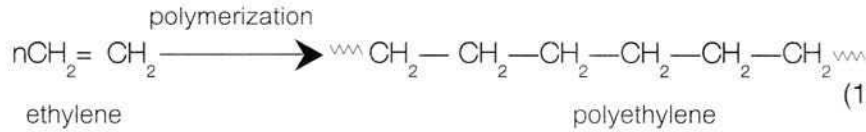
"พอลิเมอร์" เป็นคำทับศัพท์ คำภาษาอังกฤษ คือ "polymer" มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า "poly" ที่แปลว่า จำนวนมาก (many) กับคำว่า "meros" ที่แปลว่า ส่วนหรือหน่วย (part) ดังนั้นคำว่า "พอลิเมอร์" จึงหมายถึง สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยหน่วยของโมเลกุลที่ซ้ำๆ กัน (repeating unit) ที่เรียกว่าเมอร์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

กัน ด้วยพันธะโคเวเลนซ์ (covalent bond) ได้เป็นโมเลกุลขึ้น

เนื่องจาก พอลิเมอร์ เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงกล่าวได้ว่า พอลิเมอร์ เป็นแมโครโมเลกุล (macromolecule) ชนิดหนึ่ง ซึ่งแมโครโมเลกุล (macromolecule) ก็คือ โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม สารแมโครโมเลกุลบางชนิด เช่นพวกกรดนิวคลิอิก (DNA, RNA) ไม่ใช่พอลิเมอร์ เนื่องจาก โมเลกุลของกรดนิวคลิอิกไม่ได้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันมาเชื่อมต่อกัน ดังนั้น สารแมโครโมเลกุลอาจเป็นหรือไม่เป็นพอลิเมอร์ก็ได้ แต่พอลิเมอร์ทุกชนิดเป็นสารแมโครโมเลกุลเสมอ

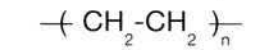
พอลิเมอร์สามารถเตรียมได้ โดยการทำปฏิกิริยาเคมีของมอนอเมอร์ (monomer) ด้วยกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ หรือ พอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อทำให้มอนอเมอร์เกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนซ์ เกิดเป็นโมเลกุลของพอลิเมอร์

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)



(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 และน้ำยางธรรมชาติเป็นต้น

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

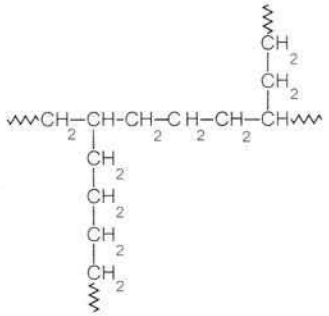
ethylene, PE) และพอลิพรอพิลีน (polypropylene , PP) เป็นต้น

1.3.2 การจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล

ลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นเกณฑ์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 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) โมเลกุลของพอลิเมอร์ประเภทนี้ มีกิ่งก้านหรือสาขาแยกออกมาจากสายโซ่หลักของโมเลกุล ที่จุดแยกกิ่งก้าน (branch points) โดยมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล ดังแสดงในรูป 1.1(ข) ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนแบบมีกิ่งก้าน (branched polyethylene) ที่มีโครงสร้างดังนี้



โดยมีข้อควรสังเกตว่าหากเป็นพอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้านนี้ กิ่งที่แยกออกมาจากสายโซ่หลักจะต้องมีหน่วยซ้ำหรือมอนอเมอร์เช่นเดียวกับหน่วยซ้ำในสายโซ่หลัก แต่ถ้ามีหมู่แทนที่มาต่อกับสายโซ่หลัก เช่นหมู่ $-CH_3$, จะไม่ถือว่าเป็นพอลิเมอร์แบบมีกิ่งสาขา เช่น พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น

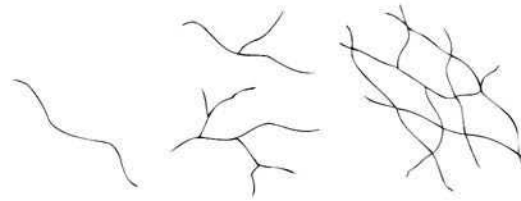
จะเห็นว่าหมู่ $-CH_3$, เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลมอนอเมอร์โดยตรง มิได้เป็นกิ่งก้านสาขาที่มีหน่วยซ้ำเช่นเดียวกับหน่วยซ้ำในสายโซ่หลัก จึงถือว่าพอลิเมอร์พวกนี้เป็นพอลิเมอร์แบบสายตรงเช่นกัน โดยพอลิเมอร์แบบมีกิ่งก้านสาขานี้ นอกจากจะมีลักษณะการแยกกิ่งแบบสุ่ม ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้น ยังสามารถแบ่งการแยกกิ่งเป็นรูปร่างที่สำคัญอีก 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)

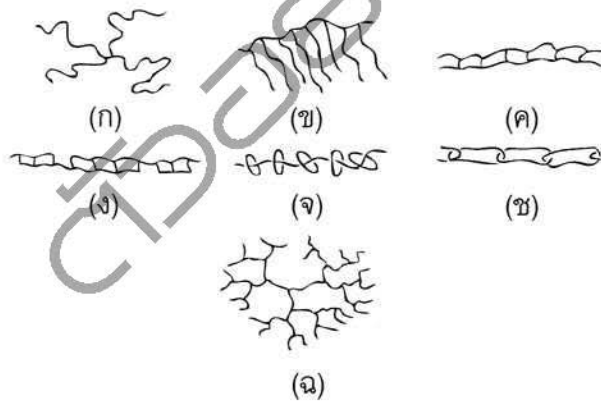
1.3.2.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห หรือ เชื่อมโยงข้าม (network or crosslinked polymers) โมเลกุลของพอลิเมอร์ประเภทนี้ จะมีการเชื่อมโยงกัน ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างแบบร่างแห ดังแสดงในรูป 1.1(ค) ตัวอย่าง เช่น ยางธรรมชาติ ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (vulcanization) โดยใช้กำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยง (crosslinked agent) ระหว่างโมเลกุลของยาง-ธรรมชาติ

CD-ed-TU



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) drendrimers

ที่มา : Stevens, M.P., 1999, p.9.

1.3.2.4 แลดเดอร์พอลิเมอร์ (ladder polymers) พอลิเมอร์แบบนี้เกิดจากการที่ทำให้หน่วยซ้ำในสายพอลิเมอร์หลัก มีการหลอมปิดเป็นวงจนมีลักษณะคล้ายบันไดปีน (ladder) จึงเรียกพอลิเมอร์แบบนี้ว่าแลดเดอร์พอลิเมอร์หรือจะเรียกว่าพอลิเมอร์แบบขั้นบันไดก็ได้ ลักษณะในการปิดเป็นวงจะเป็นไปได้ 2 แบบคือ

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

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

แลดเดอร์พอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงในโครงสร้างมาก ใช้เป็นวัสดุทนไฟได้เป็นอย่างดี การพัฒนาของแลดเดอร์พอลิเมอร์ ส่วนใหญ่จะเน้นนำไปประยุกต์ในด้านยานอวกาศ ตัวอย่างเช่น “black orlon’ ที่เตรียมได้จากพอลิอะคริโลไนไตรล์ (polyacrylonitrile)เป็นต้น

นอกจากนี้อาจจะมีพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างอื่นๆอีกเช่น พอลิเมอร์ที่เชื่อมโยงด้วยแรงระหว่างโมเลกุล ที่ไม่ใช่พันธะโคเวเลนซ์ เช่นพอลิรอทาเซน (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

การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์โดยใช้จำนวนชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆกันในโมเลกุลเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

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 โคพอลิเอร์ของ สไตรีน-บิวตะไดอีน (styrene-butadiene copolymer) ประกอบด้วยมอนอเมอร์สไตรีนและบิวตะไดอีน และ โคพอลิเมอร์ของ อะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีน (acrylonitrile–butadiene-styrene copolymer) ก็ประกอบด้วยมอนอเมอร์ อะคริโลไนไตรล์, บิวตะไดอีนและสไตรีน 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

~~~AABAAABBABABBBAAA~~~

การจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์แบบสุ่มนี้อาจใช้สัญลักษณ์เป็น poly(A-ran-B) ก็ได้
~~~

2) โคพอลิเมอร์สลับ (alternating copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน สลับกันไปอย่างเป็นระเบียบไปตลอดโมเลกุล ดังนี้

~~~ABABABABABABABAB~~~

การจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์แบบสลับนี้อาจใช้สัญลักษณ์เป็น poly(A–alt–B) ก็ได้

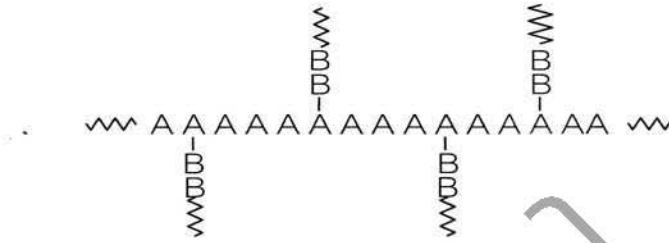
3) โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน ชนิดเดียวกันต่อกันยาว แล้วตามด้วยการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจจะโคพอลิเมอร์แบบบล็อกที่สำคัญ 2 แบบ คือแบบสองบล็อก (di-block) และแบบสามบล็อก (tri-block) ดังนี้

~~~AAAAAAABBBBBBB~~~
AB di-block copolymer
~~~AAAAABBBBAAAAA~~~
ABA tri-block copolymer
~~~BBBBBAAAAAABBBBB~~~
BAB tri-block copolymer

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

ตัวอย่าง

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 เทอร์มอเซตติงจะไม่สามารถหลอมได้อีก แต่จะเกิดการเสื่อมสภาพและสลายตัวของพลาสติกถ้าได้รับความร้อนที่สูงมาก ได้แก่ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ และฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น

หรืออาจแบ่งออกเป็นพลาสติกตามการนำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนการผลิตในเชิงพาณิชย์ เป็น 2 ประเภท คือ **พลาสติกโภคภัณฑ์** (commodity plastics) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผลิตในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก และมีราคาถูก ส่วนใหญ่เป็นพวกเทอร์มอพลาสติก ส่วนใหญ่จะใช้เป็นภาชนะบรรจุสิ่งของหรือเครื่องใช้ต่างๆ รวมทั้งใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ และอื่นๆ ได้อีกด้วย ตัวอย่างพลาสติกโภคภัณฑ์ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิ(ไวนิลคลอไรด์) พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือ **พลาสติกวิศวกรรม** เป็นพลาสติกที่ผลิตเพื่อใช้งานในสมบัติเฉพาะ มีสมบัติเชิงกลดี แข็งแรง มีการผลิตในอุตสาหกรรมน้อยกว่าพลาสติกประเภทแรก สามารถใช้เป็นวัสดุแทนพวกโลหะ เซรามิกส์ และแก้วได้เป็นอย่างดี เช่นพลาสติกที่ใช้ทำชิ้นส่วนของรถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ใช้ทำโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรง ทนทาน แต่มีน้ำหนักเบาในการก่อสร้าง หรือใช้ทำชิ้นส่วน อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กโทรนิกส์ คอมพิวเตอร์ และอื่นๆ อีกมากมาย ตัวอย่างของพลาสติกวิศวกรรม ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้ง เทอร์มอพลาสติก หรือเทอร์มอเซตติงก็ได้ ได้แก่

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

ใช้งานได้หลากหลาย

1.3.4.3 อีลาสโตเมอร์ (elastomer) หรือ รับเบอร์(rubber) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ เมื่อได้รับแรงกระทำและสามารถคืนตัวกลับสู่ร่างเดิมได้เมื่อหยุดให้แรงกระทำ พอลิเมอร์ที่เป็นอีลาสโตเมอร์ มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ยางธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น ยางสไตรีนบิวตะไดอีน และยางเอทิลีนพรอพิลีน เป็นต้น

1.3.4.4 ฟองน้ำ (foams) เป็นพอลิเมอร์ที่ทำให้เกิดรูพรุนเมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการใช้สารที่ทำให้เกิดฟอง (foaming agents) หรือใช้เทคนิคการตีผสม ฟองน้ำจะมีน้ำหนักเบา จึงเหมาะที่จะใช้ทำทุ่น 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) รวมทั้งพวกสี (paint) ที่สำคัญได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (poly methyl methacrylate) และพอลิไวนิลแอซิเตต (poly vinyl acetate)

1.4 แหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์

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

ตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้จากแหล่งผลิตผลทางเกษตร สำหรับการผลิตพอลิเมอร์ ได้แก่ เยื่อไม้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์บางชนิด เช่น เซลลูโลสไนเตรต เซลลูโลสแอซิเตต และเซลลูโลสแอซิเตตบิวทีเรต

เป็นต้น สำหรับถ่านหินก็เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียม ฟีนอลและน้ำมันแนฟทาลีน ซึ่งสามารถนำไปผลิตพอลิเมอร์ได้มากมาย ได้แก่ ไนลอน อีพอกซีพอลิคาร์บอเนต และพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญและใหญ่ที่สุดสำหรับการผลิตพอลิเมอร์ คือ น้ำมัน ซึ่งรวมถึงแก๊สธรรมชาติด้วย โดยในกระบวนการกลั่นแยกน้ำมันดิบ (crude oil) จะได้สารประกอบคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลตั้งแต่ 1 จนถึงมากกว่า 35 อะตอม โดยมีสภาพอยู่ทั้งสามสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ขึ้นกับจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล โดยถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลอยู่ในช่วง 1 – 4 อะตอม สารประกอบคาร์บอนที่กลั่นแยกได้จะอยู่ในสถานะแก๊ส ถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลอยู่ในช่วง 5 – 35 อะตอม สารประกอบคาร์บอนที่กลั่นแยกได้จะอยู่ในสถานะของเหลว และถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลมีมากกว่า 35 อะตอม สารประกอบคาร์บอนที่กลั่นแยกได้จะอยู่ในสถานะของแข็ง

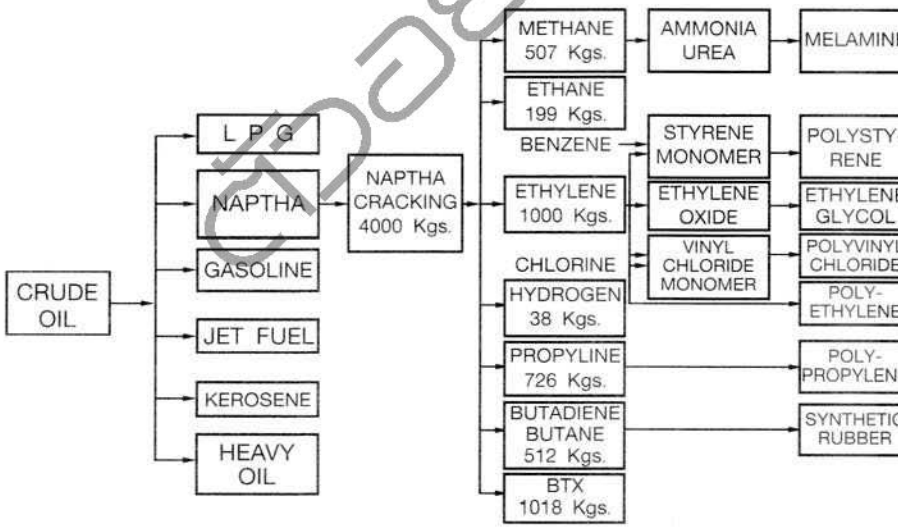
สำหรับสารประกอบคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 1 – 4 อะตอมหลายชนิด เช่น มีเทน (CH_4) อีเทน (C_2H_6) โพรเพน (C_3H_8) และบิวเทน (C_4H_{10}) และ สารกลุ่มอะโรเมติกส์ (เบนซีน โทลูอีนและ ไซลีน, BTX) ที่ได้จากการกลั่นแยกน้ำมันดิบ สามารถใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ได้ทันที ขณะที่สารประกอบคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า 4 อะตอม ต้องนำมาทำให้โมเลกุลแตกสลายกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กก่อน ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การทำแคร็กกิ้ง (cracking) จึงสามารถนำไปผลิตพอลิเมอร์ได้ ยกตัวอย่าง เช่น แนฟทา เมื่อนำมาทำการแคร็กกิ้งจะได้ เอทิลีน ซึ่งนำไปใช้ผลิต พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอทิลีน เป็นต้น พรอพิลีน ซึ่งนำไปใช้ผลิต พอลิพรอพิลีน และ บิวตะไดอีน ซึ่งนำไปใช้ผลิตพอลิเมอร์ที่เป็นยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) ได้แก่ ยางบิวตะไดอีน และยางสไตรีนบิวตะไดอีน เป็นต้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าน้ำมันดิบเมื่อทำการกลั่นแล้วจะได้สารที่เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 1.3

เช่น แนฟทา ⟶ มีเทน ⟶ แอมโมเนีย ⟶ ยูเรีย ⟶ เมลามีน

สำหรับในแก๊สธรรมชาตินั้นส่วนประกอบส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบอัลเคน ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n+2} ได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน ซึ่งมีสถานะเป็นแก๊ส ขณะที่ เพนเทน (C_5H_{12}) เฮกเซน (C_6H_{14}) และเฮปเทน(C_7H_{16}) จะมีสถานะเป็นของเหลว นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีกได้แก่ อัลคีน (alkenes) อัลไคน์ (alkynes) และแก๊สอื่นๆ ที่ไม่เป็นไฮโดรคาร์บอน เช่น แก๊สไนโตรเจน และฮีเลียม เป็นต้น

แก๊สธรรมชาติจะถูกแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดโดยผ่านโรงแยกแก๊สธรรมชาติแล้วจะได้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์ได้ เช่นเดียวกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่กลั่นแยกได้จากน้ำมันดิบ



รูปที่ 1.3 แผนผังแสดงการผลิตพอลิเมอร์บางชนิดจากแหล่งวัตถุดิบน้ำมัน
ที่มา : พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2545, หน้า 29.

บทสรุป

พอลิเมอร์ คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันที่เรียกว่ามอนอเมอร์ และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนซ์ พอลิเมอร์เป็นแมโครโมเลกุลชนิดหนึ่ง เพราะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่สารแมโครโมเลกุลที่ไม่ได้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน เช่น DNA และ RNA จะไม่จัดว่าเป็นพอลิเมอร์

การแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ สามารถแบ่งได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับว่าใช้เกณฑ์ใดในการแบ่ง เช่น ถ้าแบ่งโดยพิจารณาแหล่งที่มาของพอลิเมอร์ จะได้ 2 กลุ่ม คือ พอลิเมอร์ธรรมชาติและ พอลิเมอร์สังเคราะห์ ส่วนถ้าแบ่งโดยพิจารณาโครงสร้างโมเลกุลจะได้ 4 ชนิดคือ พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น แบบมีกิ่งก้านหรือสาขา แบบร่างแหหรือเชื่อมโยงข้าม และแบบแลดเดอร์ และถ้าแบ่งตามลักษณะการใช้งานจะได้ 6 กลุ่มใหญ่ คือ พลาสติก อีลาสโตเมอร์ เส้นใย กาว น้ำยาเคลือบผิวและฟองน้ำ เป็นต้น

กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์เรียกว่า กระบวนการพอลิเมอไรซ์ หรือ พอลิเมอไรเซชัน และแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของพอลิเมอร์ ได้จาก 3 แหล่งใหญ่ คือ แหล่งผลิตผลการเกษตร ถ่านหินและน้ำมัน (ซึ่งน้ำมันจะมีความหมายรวมถึงแก๊สธรรมชาติด้วย)

ตัวอย่าง

คำถามท้ายบท

1) จงยกตัวอย่างพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์มา 5 ตัวอย่าง

2) พอลิเมอร์กับแมโครโมเลกุล เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย

3) คำว่า พอลิเมอร์ หมายถึง สารที่มีลักษณะอย่างไร

4) ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์มีกี่ชนิด อะไรบ้าง พร้อมทั้งวาดรูปโมเลกุลประกอบ

5) พอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วจะมีโครงสร้างโมเลกุลชนิดใด

6) ปัจจุบัน แหล่งวัตถุดิบที่ใหญ่ที่สุดของพอลิเมอร์คือแหล่งใด

7) การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ใช้อะไรเป็นเกณฑ์ และสามารถแบ่งได้ทั้งหมดกี่แบบ อะไรบ้าง จงอธิบาย

8) ถ้าแหล่งวัตถุดิบในการผลิตพอลิเมอร์ขาดแคลน นักศึกษาคิดว่ามนุษย์จะหาแหล่งวัตถุดิบของพอลิเมอร์ได้จากแหล่งใด จงอธิบาย พร้อมให้เหตุผล

9) เหตุผลใดที่ทำให้เราเลือกใช้วัสดุต่างๆที่เป็นพอลิเมอร์ในการใช้งานที่ต่างกัน เช่นในการเลือกใช้ในลักษณะของ ยาง พลาสติก อีลาสโตเมอร์ เป็นต้น จงอธิบาย

10) นักศึกษาคิดว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากธรรมชาติจะมีคุณลักษณะใดแตกต่างจากพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากสารสังเคราะห์ หากเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานในลักษณะเดียวกัน จงอธิบายเปรียบเทียบเป็นข้อๆ ให้เห็นชัดเจน

ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2526). **เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ธีระพล วงศ์ชนะพิบูลย์. (2550). **เคมีพอลิเมอร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรีชา พหลเทพ. (2549). **พอลิเมอร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 12). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2545). **พลาสติก**. กรุงเทพฯ : นราการพิมพ์.

Challa, G. (1993). **Polymer Chemistry : An Introduction.** New York : Ellis Horwood.

Chanda, M. (2000). **Advance Polymer Chemistry : A Problem Solving Guide.** New York : Mercel Dekker.

Margolis, J.M. (1985). **Engineering Thermoplastics : Properties and Applications.** New York : Mercel Dekker.

Malcom, P.S. (1990). **Polymer Chemistry : An introduction.** (2nd. ed.). New York : Oxford University Press.

Odian, G. (2004). **Principles of Polymerization** (4th. ed.). New York : John Wiley & Sons.

Rosen, S.L. (1982). **Fundamental Principles of Polymeric material.** New York : John Wiley & Sons.

Stevens, M.P. (1999). **Polymer Chemistry.** (3rd. ed.). New york : Oxford University Press.

Young, R.J. and Lovell, P.A. (1991). **Introduction to Polymers.** (2nd. ed.). London : Chapman & Hall.

e-Book

2 บทที่ 2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์

ในบทนี้จะพิจารณาเกี่ยวกับโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการนำพอลิเมอร์มาใช้งานอย่างเหมาะสม พอลิเมอร์ชนิดเดียวกันถ้ามีโครงสร้างของโมเลกุลต่างกันทำให้มีสมบัติที่ต่างกันด้วย ซึ่งจะนำไปสู่การใช้งานได้แตกต่างกัน หากมีการนำพอลิเมอร์ที่เป็นชนิดเดียวกันแต่มีสมบัติที่แตกต่างกันมาใช้งานได้หลายแบบ จะสามารถทำให้มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติของพอลิเมอร์ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพคือ การตกผลึก การละลาย และการเปลี่ยนสภาพ รวมถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์อีกด้วย

2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์

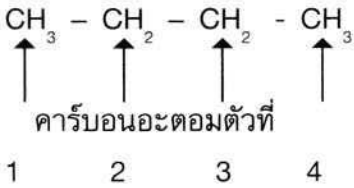
โมเลกุลของพอลิเมอร์ มีลักษณะโครงสร้างแตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบเชิงเส้น แบบมีกิ่งก้านหรือสาขา แบบร่างแหหรือเชื่อมโยงข้าม ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดแล้วในหัวข้อที่ 1.3.2 แม้ว่าจะเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน สมบัติของพอลิเมอร์ก็จะต่างกันด้วย ยกตัวอย่าง เช่น พอลิเอทิลีนแบบเชิงเส้น จะสามารถมีการเรียงตัวของโมเลกุลได้ใกล้ชิดกันมากกว่าแบบมีกิ่งก้าน เนื่องจากกิ่งก้านมีความเกะกะทำให้โมเลกุลของพอลิเอทิลีนไม่สะดวกในการมาอยู่ใกล้กัน ทำให้โครงสร้างมีลักษณะโปร่งกว่าแบบเชิงเส้น ทำให้ความหนาแน่น ความเป็นผลึกและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าแบบเชิงเส้น เป็นต้น

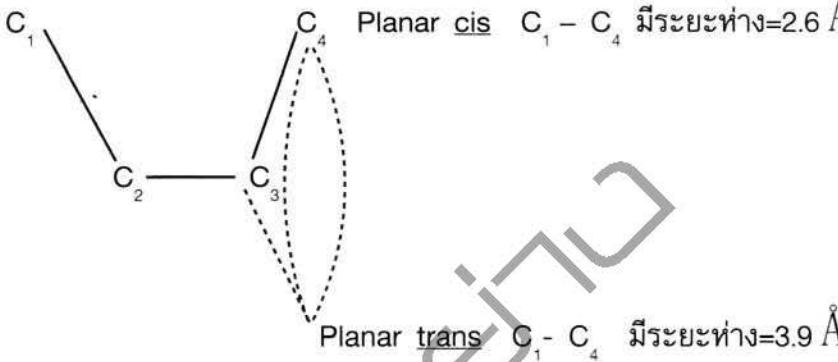
2.2 การจัดเรียงตัวในโมเลกุลของพอลิเมอร์

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การนำมอนอเมอร์มาผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะได้พอลิเมอร์ ดังนั้น การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ จึงมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย พอลิเมอร์ชนิดเดียวกันมีโครงสร้างโมเลกุลเหมือนกัน แต่ถ้ามีการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลต่างกัน ก็จะทำให้มีสมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันไปเช่นกัน รายละเอียดของการจัดเรียงตัวจะใช้คำว่าโครงรูป ซึ่งดังรายละเอียดจะกล่าวถึงต่อไปนี้

2.2.1 โครงรูปโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Molecula Conformation of Polymers)

คำว่า "โครงรูป" (conformation) โมเลกุลของพอลิเมอร์ ใช้บ่งบอกถึงการจัดเรียงตัวและของอะตอมหรือหมู่ต่างๆ ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการหมุนพันธะเดี่ยว (single bond rotations) ในแกนหลักของโมเลกุลของพอลิเมอร์ สำหรับพันธะคู่ (double bond) และพันธะสาม (triple bond) จะไม่สามารถเกิดการหมุน (rotation) ได้ ดังตัวอย่างสำหรับโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น นอร์มอลบิวเทน (n-butane) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น $CH_3CH_2CH_2CH_3$ จะทำให้สามารถเกิดการหมุนของพันธะเดี่ยวที่ยึดระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ 2 และ 3 ได้โครงรูปโมเลกุล 2 แบบ คือ แบบซิส (cis) และแบบทรานส์ (trans) ดังแสดงในรูปที่ 2.1





รูปที่ 2.1 โครงรูปโมเลกุลของ n – butane ที่เกิดจากการหมุนพันธะเดี่ยว ของคาร์บอนอะตอมที่ 2 และ 3 (C_2 และ C_3)

ที่มา : Chanda, M., 2000 , p. 45.

สำหรับโมเลกุลของพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น $+CH_2-CH_2+_n$ โดยอาจจะมีการแทนที่หมู่ CH_3 บน C_2 และ C_3 ของ n-butane ในรูปที่ (2.1) ด้วยสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนทั้ง 2 ด้านก็พบว่า พอลิเอทิลีนสามารถเกิดโครงรูปได้ 2 แบบเช่นเดียวกันคือ โครงรูปแบบซีส (cis-conformation) และโครงรูปแบบทรานส์ (trans-conformation)

ซึ่งถ้าหากพิจารณาระดับพลังงานของการเกิดการหมุนของบางส่วนของสายโซ่รอบพันธะเดี่ยว C-C ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าในการหมุนนั้นจะต้องมีการใช้พลังงานเสมอ และมีผลจากการผลักกันของหมู่อะตอมต่างๆ ในโครงสร้างสายโซ่ ณ ตำแหน่งองศาที่หมุนประกอบด้วย จากรูปที่ 2.2 จากการหมุนหมู่อัลคิล –R ที่อยู่ในตำแหน่งอีคลิป (eclipsed) คราสซ้อนทับ

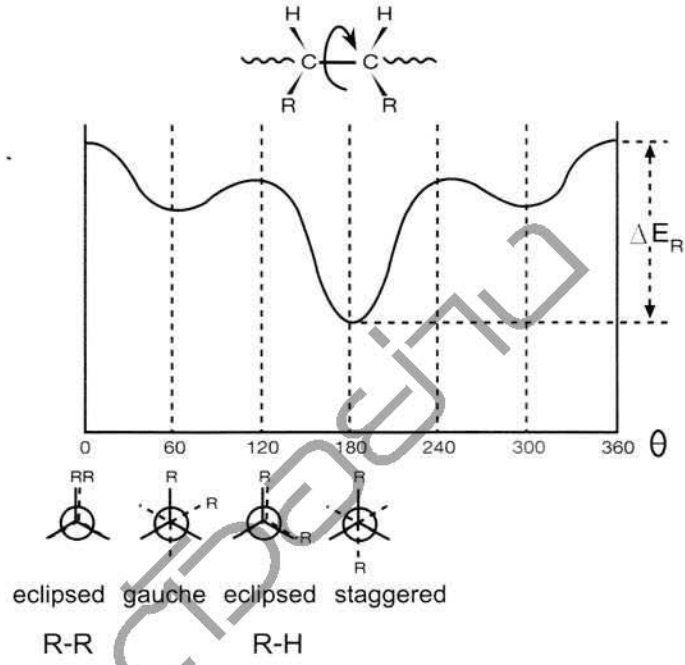
กัน แรงผลักของหมู่ –R มีค่ามาก ดังนั้นถ้าต้องการให้หมุนมาระดับนี้ต้องใช้พลังงานมากด้วย และเมื่อมีการหมุนไปสู่ตำแหน่งโกออช (gauches) ซึ่งห่างออกไป 60° และ ตำแหน่งอีคลิปอีกครั้งแต่เป็นตำแหน่งอีคลิปที่มีการซ้อนทับของหมู่ –R และ –H ซึ่งห่างออกไปจากตำแหน่งโกออช 60° หรือ 120° จากเริ่มต้น พบว่าระดับพลังงานจะลดลงเรื่อยๆ และตำแหน่งที่หมู่ -R อยู่ห่างกันที่สุด คือตำแหน่งสแต็กเกอร์(staggered) นั้นเป็นตำแหน่งที่มีแรงผลักระหว่างหมู่ R น้อยที่สุด ระดับพลังงานจะต่ำที่สุด เป็นตำแหน่งที่เสถียรของโมเลกุล ซึ่งในการพิจารณาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ในการหมุน (activation energy of rotation, ΔE_R) นั้นก็คือค่าพลังงานที่ทำให้โมเลกุลหมุนได้ครบรอบ 360° ต้องใช้พลังงาน $\geq \Delta E_R$ นั่นเอง ซึ่งพลังงานนี้จะได้มาจากการเพิ่มอุณหภูมิ และจะได้กล่าวต่อไปภายหลัง

2.2.2 โครงแบบโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Molecular Configuration of Polymers)

ในหัวข้อ 2.2.1 ได้มีการพิจารณาถึงโครงรูปโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการหมุนของพันธะเดี่ยวในแกนหลักของโมเลกุล ทำให้การจัดเรียงตัวในโมเลกุลเปลี่ยนไป แต่ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่มีโครงสร้างเหมือนกัน แต่มีการจัดเรียงตัวในโมเลกุลต่างกัน จะไม่สามารถเกิดจากการหมุนของพันธะเดี่ยวในแกนหลักได้ ซึ่งในการที่จะเปลี่ยนการจัดเรียงตัวในโมเลกุลได้นั้นจะต้องทำการสลายพันธะเดิมและสร้างพันธะใหม่เท่านั้น ซึ่งจะหมายถึงโครงแบบ (configuration) โมเลกุลของพอลิเมอร์

สารประกอบชนิดเดียวกัน หากมีโครงสร้างโมเลกุลเหมือนกัน แต่มีโครงแบบโมเลกุลต่างกัน จะเรียกว่าเป็น ไอโซเมอร์ (isomer) ซึ่งกันและกัน หรืออาจเรียกว่า ไอโซเมอร์ชนิดโครงแบบ (configurational isomers) นอกจากนี้ยังมีไอโซเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ไอโซเมอร์ชนิดตำแหน่ง

(positional isomers) ซึ่งจะพิจารณาถึงลักษณะการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของไอโซเมอร์แต่ละชนิดต่อไป



รูปที่ 2.2 การหมุนรอบพันธะ C-C ของพันธะเดี่ยวของโมเลกุลพอลิเมอร์
ที่มา : ธีระพล วงศ์ชนะพิบูลย์, 2549, หน้า 211.

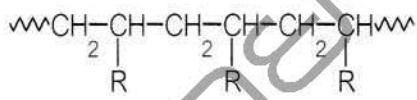
2.2.2.1 ไอโซเมอร์ชนิดตำแหน่ง (positional isomers) เมื่อพิจารณาถึงไวนิลมอนอเมอร์ที่มีคาร์บอนอะตอมที่ไม่สมมาตร และมีอะตอมหรือหมู่แทนที่ R อยู่ในโมเลกุลของมอนอเมอร์ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างของมอนอเมอร์ทั่วไปเป็น CH2=CHR ทำให้แต่ละด้านของพันธะคู่มีความแตกต่างกัน ให้พิจารณาว่าคาร์บอนอะตอมที่มีอะตอมหรือหมู่แทนที่ R เกาะอยู่เป็นส่วนหัว (head) และคาร์บอนอะตอมที่มีไฮโดรเจนอะตอม 2 อะตอมเกาะอยู่เป็น

ส่วนหาง (tail) ดังนี้

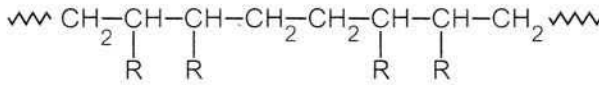
$$\text{tail } CH_2 = CHR \quad \text{head}$$

จะพบว่าไวนิลมอนอเมอร์สามารถเชื่อมต่อกันได้ 2 แบบ ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่เป็นไอโซเมอร์กัน 2 แบบ ตามลักษณะการเชื่อมต่อดังนี้

(1) การเชื่อมต่อแบบหัวต่อหาง (head-to-tail linkage) จะได้ไอโซเมอร์ชนิดตำแหน่งที่มีลักษณะโมเลกุลดังนี้



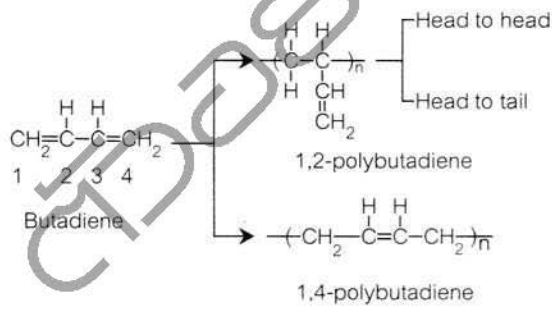
(2) การเชื่อมต่อแบบหัวต่อหัว หรือหางต่อหาง (head–to–head or tail-to-tail linkages) จะได้ไอโซเมอร์ชนิดตำแหน่งที่มีลักษณะโมเลกุลดังนี้



โดยทั่วไปจะพบว่า การจัดเรียงตัวในโมเลกุลของพอลิเมอร์ อาจจะมีการเชื่อมต่อเป็นแบบผสมของแบบหัวต่อหางและหัวต่อหัว โดยปริมาณการเชื่อมต่อแบบหัวต่อหัว จะขึ้นอยู่กับลักษณะและธรรมชาติของอะตอมหรือหมู่แทนที่ R ได้แก่ ขนาดและสภาพความเป็นขั้ว เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าอะตอมหรือหมู่แทนที่ R มีขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดการกีดขวาง (steric

effect) กับอะตอมหรือหมู่แทนที่ R ของมอนอเมอร์ตัวที่จะเข้ามาเชื่อมต่อแบบหัวต่อหัว ทำให้การเชื่อมต่อแบบหัวต่อหัวเกิดขึ้นได้ยาก และทำให้ลักษณะส่วนใหญ่ของการเชื่อมต่อในโมเลกุลและพอลิเมอร์ เป็นแบบหัวต่อหางมากกว่าแบบหัวต่อหัวหรือหางต่อหาง เป็นต้น

สำหรับพวกพอลิเมอร์ชนิดไดอีน (diene polymer) ที่มีพันธะคู่ของคาร์บอนกับคาร์บอนในโมเลกุล จะสามารถเกิดไอโซเมอร์แบบหัวต่อหาง (head-to-tail isomer) และแบบหัวต่อหัว (head-to-head isomer) ได้ที่ตำแหน่งพันธะคู่ได้หลายตำแหน่ง เช่น บิวตะไดอีน (buta-diene) มอนอเมอร์สามารถเกิดการเชื่อมต่อได้ที่คาร์บอนอะตอมที่ตำแหน่ง 1 กับ 2 (หรือ 3 กับ 4) และ 1 กับ 4 ดังนี้



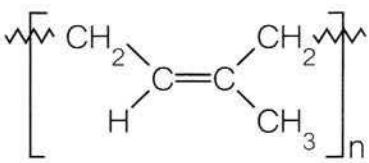
จากโครงรูปดังกล่าวจะพบว่าสามารถเกิดพอลิบิวตะไดอีน (polybutadiene) ที่แตกต่างกันถึง 3 ไอโซเมอร์ นั่นคือ 1,2–polybutadiene แบบหัวต่อหัว 1,2–polybutadiene แบบหัวต่อหางและ1,4–polybutadiene สำหรับ 3,4–polybutadiene ก็จะเป็นตำแหน่งเดียวกับการเกิด 1,2-polybutadiene นั่นเอง

สำหรับไอโซพรีน (isoprene) และคลอโรพรีน (chloroprene) มอนอเมอร์ ซึ่งมีหมู่แทนที่เป็นเมทิล (CH_3) และคลอรีน (Cl) ตามลำดับ

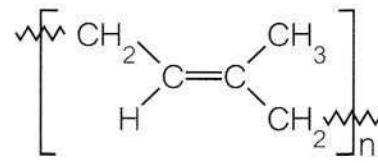
ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 พบว่าจะสามารถเกิดไอโซเมอร์ชนิดตำแหน่งที่แตกต่างกันถึง 6 ไอโซเมอร์

2.2.2.2 โครงแบบของไอโซเมอร์ (configurational isomers) อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทที่สำคัญคือ

(1) จีโอเมทริคัลไอโซเมอร์ (geometrical isomers) เป็นไอโซเมอร์ที่สายโซ่หลักของโมเลกุลของพอลิเมอร์มีพันธะคู่อยู่ ตัวอย่าง เช่น 1,4–polyisoprene ถ้าในแต่ละพันธะคู่มีโครงแบบเป็นแบบซิส โดยที่หมู่แทนที่ที่เป็นสายโซ่โมเลกุลซึ่งมีขนาดใหญ่อยู่ด้านเดียวกัน จะเรียกว่าเป็น cis-1, 4–polyisoprene ซึ่งพบในน้ำยางของต้นยางพารา ทำให้โมเลกุลเรียงตัวกันไม่ดี ไม่สามารถเกิดผลึกได้ที่อุณหภูมิห้องและมีลักษณะยืดหยุ่น (elastomeric) สูง แต่ถ้าแต่ละพันธะคู่มีโครงแบบเป็นแบบทรานส์ สายโซ่โมเลกุลจะอยู่ด้านตรงข้ามกันจะได้เป็น trans–1,4–polyisoprene ซึ่งพบในกัตตาเปอร์ชา (gutta-percha) ซึ่งปรกติในยางธรรมชาติโครงสร้างเป็นแบบ cis สูงกว่าแบบ trans มาก ทำให้เกิดสมบัติพิเศษคือเมื่อดึงยืดสามารถเกิดผลึกขึ้นได้ จึงทำให้สมบัติด้านเชิงกลของยางธรรมชาติสูงกว่า Polyisoprene สังเคราะห์ เช่น ยางกัตตาที่มีโครงสร้างแบบ trans อยู่สูง โครงสร้างโมเลกุลของไอโซเมอร์ทั้งสองดังแสดงต่อไปนี้



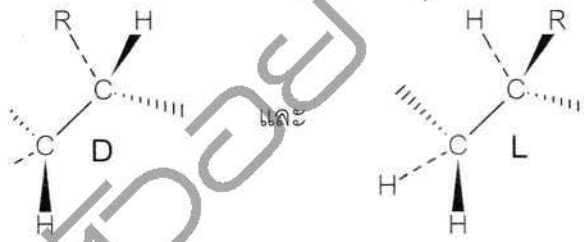
cis - 1,4 - polyisoprene



trans - 1,4 - polyisoprene

ยางธรรมชาติ ยางกัตตา

(2) ออปติคัลไอโซเมอร์ (optical isomers) ไอโซเมอร์แบบนี้อาจเรียกว่า สเตอริโอไอโซเมอร์ (stereoisomers) ซึ่งจะมีหลักการในการพิจารณาคล้ายกับออปติคัลไอโซเมอร์ของสารโมเลกุลเล็กในทางเคมีอินทรีย์ โดยพิจารณาถึงไครอลคาร์บอน (chiral carbon) ในแกนหลักของโมเลกุลของพอลิเมอร์ เมื่อพิจารณาไวนิลมอนอเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น CH_2 = CHR ซึ่งสามารถเกิดโครงแบบของมอนอเมอร์ได้ 2 แบบ ซึ่งเป็นเงาในกระจก (mirror images) ซึ่งกันและกัน และเมื่อโครงแบบแต่ละแบบของมอนอเมอร์ถูกใช้เตรียมพอลิเมอร์ จะได้พอลิเมอร์ที่มีสเตอริโอไอโซเมอร์ 2 แบบ โดยการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันมีโครงแบบเหมือนกันดังนี้



เมื่อเส้นประ (dot lines) และลิ่ม (wedge) แสดงถึงการยื่นออกมาเหนือและใต้ระนาบของกระดาษตามลำดับ ทำให้เกิดการเรียงตัวในโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นแบบ D หรือ L ซึ่งเป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน พอลิเมอร์ที่โมเลกุลประกอบด้วยไอโซเมอร์แบบ D หรือ L หรือทั้งสองแบบนี้สามารถเรียงตัวในโมเลกุลได้ 3 ลักษณะคือ

(2.1) แบบไอโซแทคติก (isotactic) โดยที่อะตอมหรือหมู่แทนที่ R ทั้งหมดจะอยู่ระนาบเดียวกันของแกนหลักนั่นคือ จะได้พอลิเมอร์ ที่มีแต่แบบ D หรือ L เท่านั้น โดยการเรียงตัวในโมเลกุลจะเป็น DDDD.... หรือ LLLL..... มีลักษณะดังนี้

ตัวอย่าง

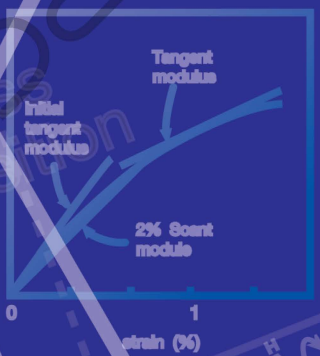
หมวดเคมีอินทรีย์

หนังสือพอลิเมอร์ ยังเหมาะสำหรับ

◎ ช่างอุตสาหกรรม ◎ ช่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ

เพื่อใช้เป็นบทเรียน หรือศึกษาเพิ่มเติม ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานต่างๆ เช่น

- กระบวนการแปรรูปพลาสติก
- กระบวนการรีดจะใช้แม่แบบชนิดเปิด
- กระบวนการเป่าขึ้นรูป
- กระบวนการอัดขึ้นรูปโฟม



พอลิเมอร์
Polymer

ดวงกมลพับลิชชิ่ง
นำเสนอหนังสือดี มีคุณค่า