

บทที่ 3

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

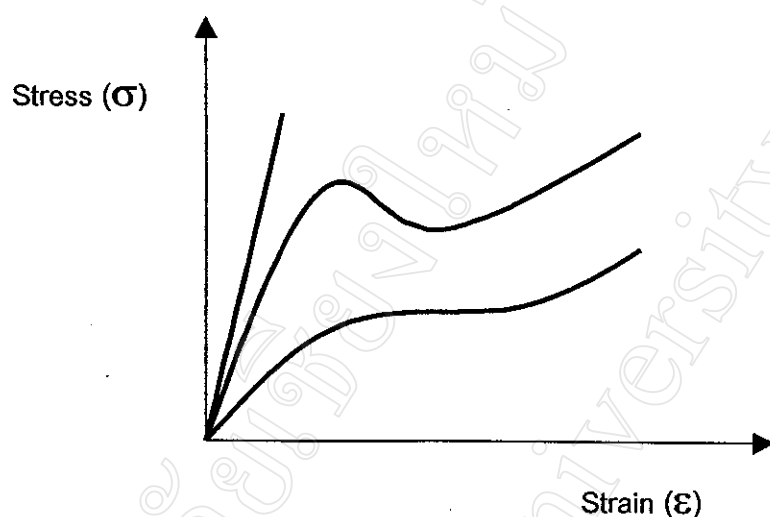
สมบัติเชิงกลเป็นสมบัติที่สำคัญมากสำหรับการใช้งาน เพราะเป็นสมบัติที่แสดงถึงพฤติกรรมของวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงจากภายนอกที่มากระทำ ไม่ว่าจะเป็นแรงดึง แรงกดหรือแรงกระแทก ซึ่งเมื่อวัสดุได้รับแรงภายนอกเหล่านี้มากระทำ ก็จะพยายามปรับตัวเพื่อผ่อนคลายความกดดันเหล่านั้น โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งอาจจะหดเข้าเมื่อรับแรงกด หรือยืดออกเมื่อได้รับแรงดึง ซึ่งบางครั้งอาจจะทำให้สูญเสียสภาพเดิมไป หรือแตกหักเสียหาย ถ้าแรงที่มีกระทำมากเกินไป วัสดุจะรับได้ ดังนั้นปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดการนำวัสดุไปใช้งานคือสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้น

ปัจจุบันนี้พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่นำไปใช้งานอย่างกว้างขวางมาก เพราะพอลิเมอร์มีสมบัติที่แตกต่างกันได้มากขึ้นกับชนิดและสภาวะที่ใช้งาน เช่นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันอาจมีสมบัติยืดหยุ่น แข็ง เพราะหรือเหนียวก็ได้ ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้งานเป็นต้น ดังนั้นพอลิเมอร์จึงนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โหมดละลายก็เป็นเส้นใยพอลิเมอร์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เย็บแผล ดังนั้นต้องมีสมบัติทางกลที่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ ความทนต่อแรงดึงเพื่อสามารถยืดเนื้อเยื่อให้ติดกัน และมีความอ่อนนุ่ม แต่ต้องไม่ยืดหยุ่นมากเกินไป เพื่อความสะดวกในการเย็บแผล นอกจากนี้ยังต้องมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมดังกล่าวก่อนแล้วในบทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะสมบัติเชิงกลของเส้นไหมละลายที่จำเป็นในงานศัลยกรรม ซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องทดสอบสำหรับเส้นใยที่จะนำมาทำเป็นไหมละลาย และโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยพอลิเมอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกล [21]

3.1 สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

สมบัติเชิงกลที่สำคัญสำหรับไหมละลายคือ ความทนแรงดึง (tensile strength) ซึ่งทดสอบได้โดยการให้แรงดึงในแนวเส้นใยไหมละลาย (tensile stress) ผลที่เกิดขึ้นคือเส้นใยจะตอบสนองต่อแรงดึงด้วยการยืดออกในแนวเดียวกับแรง (tensile strain) ซึ่งการยืดออกจะมากหรือน้อยขึ้นกับความสามารถในการทนแรงดึงของเส้นใยเองและแรงที่มากระทำ

ความสัมพันธ์ของแรงดึง (stress) และความสามารถในการยืดออก (strain) ของวัสดุใดๆ อาจแสดงในรูปกราฟที่เรียกว่า stress-strain curve ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain สำหรับวัสดุที่มีสมบัติต่างกัน [22]

Stress (σ) คือแรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น หรือแรงที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งคำนวณได้โดยตรงจากค่าของแรง F หารด้วยพื้นที่ของ วัสดุที่ตั้งฉากกับทิศของแรงนั้น A ดังสมการข้างล่างนี้ [23]

$$\sigma = F/A$$

Stress จึงมีหน่วยเป็น Nm^{-2} หรือ Pascal (Pa) ใน SI units

Strain (ϵ) คือการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงจากภายนอกมา กระทำ ซึ่งอาจทำให้วัสดุนั้นยืดออก (elongation) หรือหดเข้า (contraction) ขึ้นกับแรงที่มากระทำ และคำนวณได้ดังนี้

$$\epsilon = (L - L_0) / L_0$$

เมื่อ L_0 และ L ความยาวก่อนและหลังที่ได้รับแรงมากระทำ ตามลำดับ

Strain อาจจะเขียนในรูปของ Percentage strain หรือ % elongation หรือ extension
ดังนี้

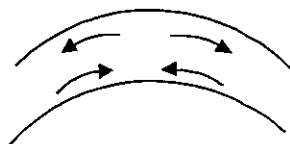
$$\text{Percentage strain} = \Delta L / L_0 \times 100 \%$$

เมื่อ $\Delta L = L - L_0$

สำหรับวัสดุทั่วไปรวมทั้งพอลิเมอร์ที่เป็นกึ่งผลึก มักแสดงความสัมพันธ์ของ stress เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ strain ในระยะแรกๆ ของการดึง (Hooke's law) นั่นคือ

$$E = \sigma / \epsilon$$

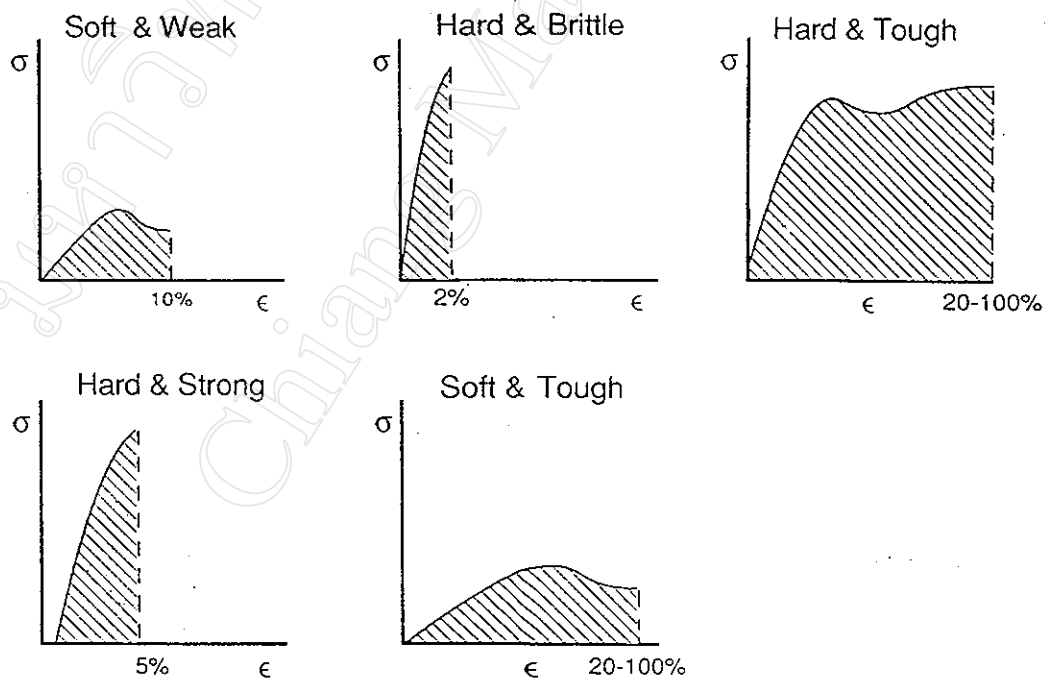
เมื่อ E คือค่าคงที่และมีค่าเป็นความชันของกราฟในรูป 3.1 เมื่อ strain มีค่าต่ำๆ และเรียกว่า Young's modulus หรือ modulus ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการโค้งงอ นั่นคือ ถ้าโมดูลัสมีค่าต่ำ หมายความว่าวัสดุนั้นสามารถโค้งงอได้ดี เมื่อให้แรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงได้โดยทิศของแรงภายในวัสดุ เมื่อถูกโค้งงอดังรูป 3.2 ขณะใช้แรงโค้งงอวัสดุเช่นเส้นใย ต้องใช้แรงในการยืดด้านบน หรือด้านนอก (ดังในรูป 3.2 ลูกศรแสดงทิศของแรง) ขณะเดียวกันแรงที่ทำให้จะไปอัดเส้นใยด้านล่าง ถ้าเส้นใยมีโมดูลัสต่ำ แรงเพียงเล็กน้อยก็สามารถโค้งงอเส้นใยได้ ถ้าเส้นใยมีโมดูลัสสูง เส้นใยจะกระด้าง โค้งงอได้ยาก ไม่สะดวกในการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีไหมละลายซึ่งแพทย์ต้องผูกปมขณะเย็บแผล ดังนั้นสมบัตินี้ (E) เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้งานทางศัลยกรรม [24]



รูป 3.2 ไดอะแกรมแสดงทิศของแรงเมื่อวัสดุถูกโค้งงอ

พฤติกรรมเชิงกลของพอลิเมอร์จะแตกต่างกันขึ้นกับสถานะเงื่อนไขที่ทำการทดสอบ และจะมีลักษณะของ stress – strain curves แตกต่างกัน ดังรูป 3.3 [25] ในรูปนี้แสดง stress – strain curves 5 ลักษณะ สำหรับพฤติกรรมเชิงกลในลักษณะต่างๆ ของพอลิเมอร์และอาจกำหนดในเทอมของ soft , hard, weak, strong, brittle และ tough ดังคำอธิบายข้างล่างนี้

soft	หมายถึง กราฟความชันน้อย ใช้แรงน้อย ยืดไปได้มาก
hard	หมายถึง กราฟความชันสูง ใช้แรงมาก แต่ยืดได้น้อย
weak	หมายถึง ขนาดที่ stress ต่ำ
strong	หมายถึง ขนาดที่ stress สูง หรือต้องใช้แรงมากในการทำให้ขาด
brittle	หมายถึง เปราะ แตกหักง่าย ขนาดที่ระยะยืดน้อยๆ
tough	หมายถึง เหนียว ซึ่งแสดงด้วยปริมาณพื้นที่ใต้กราฟ คือต้องใช้พลังงานมากในการทำให้วัสดุนั้นขาด



รูป 3.3 Stress – strain curves แสดงพฤติกรรมเชิงกลของพอลิเมอร์ในลักษณะต่างๆ กัน [25]

ดังกล่าวแล้วข้างต้นพฤติกรรมเชิงกลของพอลิเมอร์อาจแตกต่างกันขึ้นกับสถานะเงื่อนไขขณะทดสอบ ดังนั้นในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ จำเป็นต้องระบุเงื่อนไขในการทดสอบด้วย ปัจจัยหรือเงื่อนไขที่สำคัญมีดังนี้ [24]

- (ก) ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระทำ แรงภายนอกที่กระทำต่อวัสดุจะมีหลายลักษณะ เช่น แรงอัด แรงดึง หรือแรงกระแทก แต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบแรงดึงในแนวเส้นตรง (tensile test)
- (ข) อัตราเร็วของแรงที่มากระทำ หรือถ้าจะกล่าวถึงในลักษณะการทดสอบแรงดึงก็คือ ความเร็วในการดึง ถ้าออกแรงดึงวัสดุในความเร็วสูงหรือดึงเร็วๆ ก็เป็นการออกแรงกระตุ้นหนึ่ในการดึงโมเลกุลที่พันกันอยู่ โมเลกุลจะมีแรงต้านต่อแรงดึงแต่อาจไม่มีเวลาในการจัดตัวใหม่เพื่อตอบสนองแรงดึงนั้น จึงอาจทำให้แตกหักหรือขาดเร็ว ในทางตรงกันข้ามถ้าดึงอย่างช้าๆ โมเลกุลมีเวลาในการจัดตัวไปตามแนวแรง ทำให้ยืดได้มากและสามารถรับแรงได้สูงขึ้นก่อนขาด ดังนั้นการทดสอบควรใช้อัตราการดึงสอดคล้องกับการใช้งาน
- (ค) อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ ถ้าทดสอบที่อุณหภูมิสูง พอลิเมอร์จะอ่อนตัว โมเลกุลมีพลังงานมากพอที่จะเคลื่อนที่ได้ง่าย นั่นคือไม่ต้องใช้แรงสูงในการทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนรูปร่าง ดังนั้นการทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น tensile test ค่าโมดูลัสจะได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการทดสอบ จึงต้องระบุอุณหภูมิ และควรใช้อุณหภูมิขณะใช้งานของวัสดุนั้นๆ

นอกจากนี้ผลการทดสอบยังขึ้นกับโครงสร้างพื้นฐานภายในวัสดุเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีพอลิเมอร์ที่เป็นกิ่งผลึก ซึ่งสามารถมีโครงสร้างพื้นฐานแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยขณะเกิดผลึก ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.2 โครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ (Morphology of Polymer) [26, 28]

สำหรับพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ สามารถอธิบายรูปแบบของโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบกิ่งผลึก ทั้งนี้เพราะปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเป็นโมเลกุลใหญ่ และส่วนใหญ่เป็นสายโซ่ยาวที่สามารถเกี่ยวพันกันได้ (entanglement) และความซับซ้อนภายในสายโซ่โมเลกุล เป็นต้น ทำให้เป็นอุปสรรคในการตกผลึกเดี่ยว (single crystal) รูปแบบโครงสร้างพื้นฐานที่ประสบความสำเร็จในการอธิบายสมบัติเชิงกลคือ

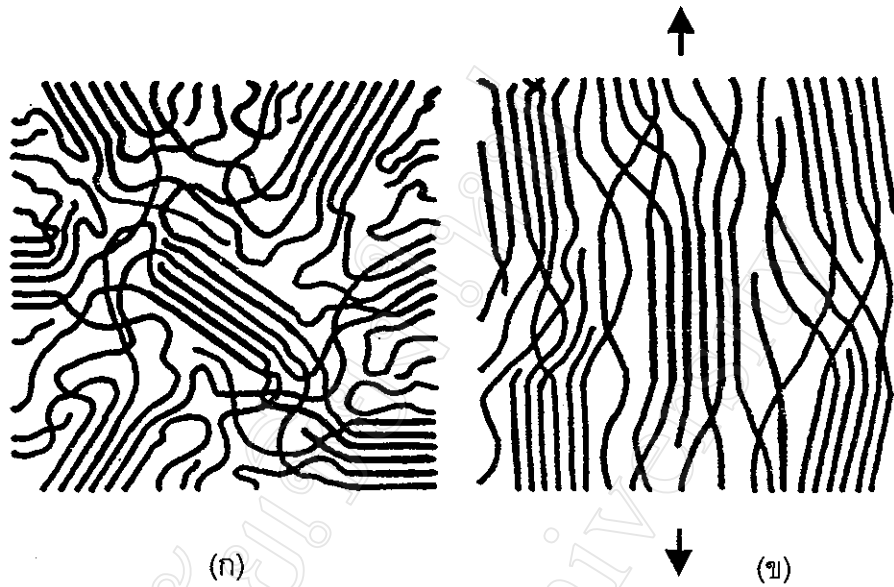
- 3.2.1 รูปแบบ fringed-micelle
- 3.2.2 รูปแบบ fold-chain lamellae
- 3.2.3 รูปแบบ spherulites
- 3.2.4 รูปแบบ extended-chain crystals

3.2.1 รูปแบบ fringed-micelle

รูปแบบนี้ประกอบด้วยส่วนของผลึกเล็กๆ (crystallites) กระจายตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมอสัณฐาน (amorphous matrix) ดังแสดงในรูป 3.4 เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลมีความยาวมาก ดังนั้นจะมีบางช่วงที่สายโซ่โมเลกุลหนึ่งอยู่ในส่วนของผลึก และบางส่วนของสายโซ่อยู่ในส่วนของอสัณฐาน และอาจมีบางส่วนของผลึกเชื่อมกับโมเลกุลอื่นอีกด้วย ดังนั้นทั้งผลึกและอสัณฐาน ยึดกันอยู่ด้วยสายโซ่โมเลกุลเดียวกันเหล่านี้ นอกจากนี้ในส่วนของอสัณฐานอาจจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือส่วนของโมเลกุลที่มีโครงสร้างแบบเอแทคติก (atactic)

รูปแบบนี้สามารถใช้อธิบายการเกิดร่วมกันของผลึกและอสัณฐานในพอลิเมอร์ได้ดีและยังอธิบายได้ดีว่าผลึกจะเกิดเพิ่มขึ้นถ้ามีการดึงพอลิเมอร์ ทั้งนี้เพราะการให้แรงดึงยืดเส้นใยพอลิเมอร์ (stretching) จะทำให้สายโซ่โมเลกุลจัดเรียงตัวใหม่ในทิศของแรงที่ดึง และโมเลกุลที่เรียงขนานกันในระยะใกล้กันอาจมีแรงระหว่างโมเลกุลมากพอที่จะเกิดเป็นผลึกเพิ่มขึ้นได้ดังแสดงในรูป 3.4 (ข)

แม้ว่าในปัจจุบันจะพบว่า รูปแบบ fringed-micelle ไม่ถูกต้องนัก เพราะจากผลวิเคราะห์ทางโครงสร้างผลึกในพอลิเมอร์ พบว่าโครงสร้างผลึกมักเป็นแบบ folded-chain lamellae (อธิบายในหัวข้อ 3.2.2) แต่รูปแบบนี้ก็ยังสามารถใช้อธิบายได้ดีถึงการเกิดผลึกเพิ่มขึ้นขณะดึงยืดและผลของปริมาณผลึกต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์



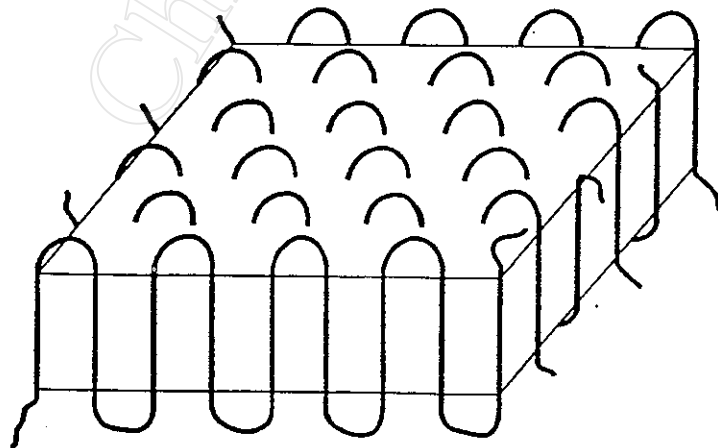
รูป 3.4 รูปแบบ fringed-micelle [26]

(ก) เมื่อผลึกจัดเรียงตัวในออสัณฐานแบบสุ่ม

(ข) เมื่อโมเลกุลจัดเรียงตัวภายใต้แรงดึงตามทิศเดียว

3.2.2 รูปแบบ folded-chain lamellae

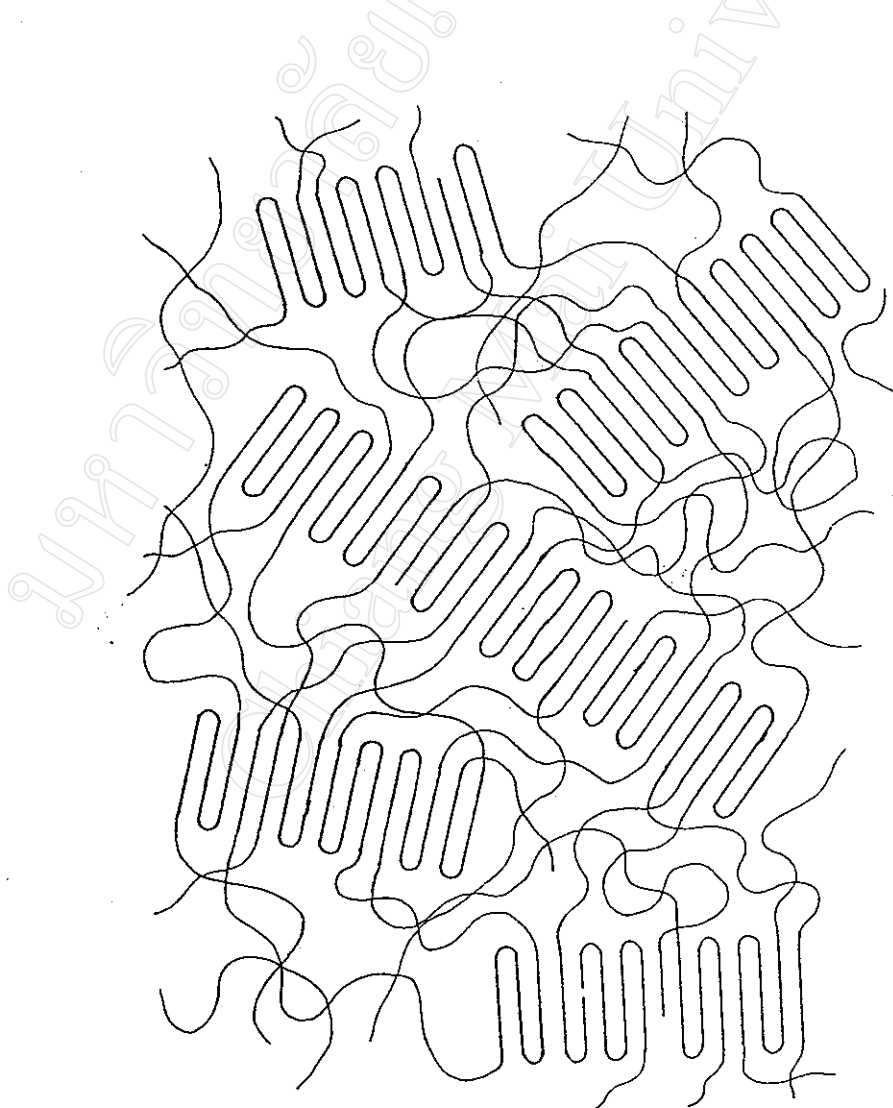
รูปแบบนี้มีลักษณะเป็นผลึกแบบแผ่นบางๆ พบว่าส่วนใหญ่จะได้จากการตกผลึกจากสารละลายเจือจาง ดังแสดงในรูป 3.5



รูป 3.5 รูปแบบ folded-chain lamellae [27]

ตัวอย่างของรูปแบบ folded-chain lamellae ที่พบคือผลึกเดี่ยวของพอลิเอทิลีน (PE) ซึ่งตกผลึกจากสารละลายเจือจางของ CCl_4 พบว่ามีความกว้าง 100-1000 Å ขณะที่หนาประมาณ 100 Å และจากผลการวิเคราะห์ทางรังสีเอ็กซ์ พบว่าสายโซ่โมเลกุลเรียงตัวตั้งฉากกับผิวหน้าด้านกว้างแบนของผลึก แต่โมเลกุลมีขนาดยาวในระดับ 1000 Å ดังนั้นสายโซ่จะต้องหักพับไปมาดังแสดงในรูป 3.5 [14]

ในกรณีการตกผลึกโดยการลดอุณหภูมิลงจากพอลิเมอร์บริสุทธิ์ที่หลอมเหลว มักจะไม่ได้ผลึกที่สมบูรณ์แบบเหมือนการตกผลึกจากสารละลาย แต่ยังคงมีลักษณะเป็น folded-chain lamellae ที่ปนอยู่กับอสัณฐาน โดยเชื่อมต่อกันด้วยสายโซ่โมเลกุลบางส่วน ดังแสดงในรูป 3.6

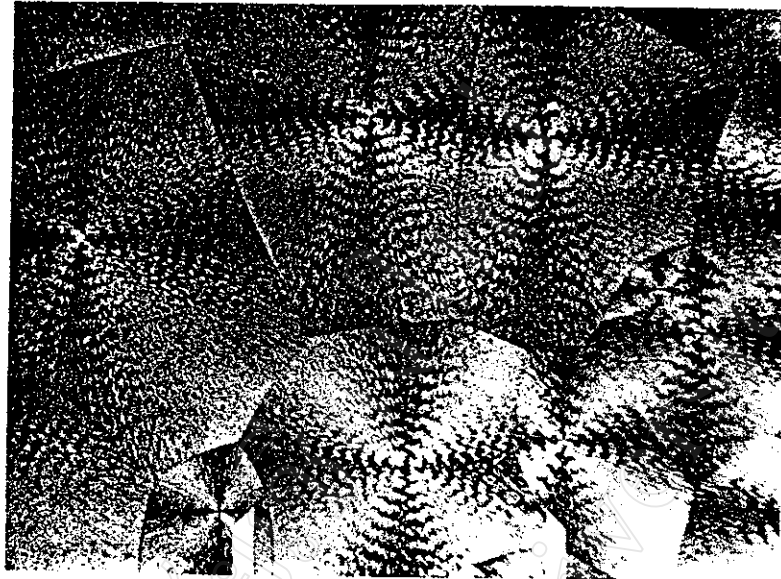


รูป 3.6 รูปแบบผสมของ folded-chain lamellae [26]

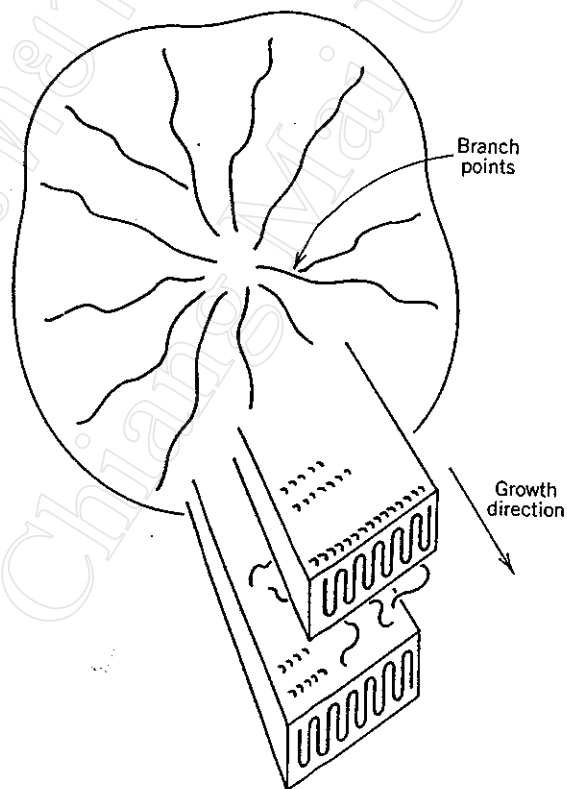
รูปแบบผสมของ folded-chain lamellae นี้มีลักษณะคล้ายกับรูปแบบ fringed-micelle เพียงแต่ผลึกเกิดจากสายโซ่โมเลกุลเรียงขนานและพับไปมาจนเป็นแผ่น (crystal lamella) และเชื่อมต่อกันโดยสายโซ่โมเลกุลที่จัดเรียงตัวอย่างเคาสุ่ม หรืออสุญฐาน การเกิดผลึกเพิ่มขึ้นขณะดึงยืดก็สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน กล่าวคือบริเวณที่เป็นอสัญฐานซึ่งเชื่อมต่อระหว่างผลึกเล็กๆ เหล่านั้น สามารถจัดเรียงตัวตามแนวดึงยืด จนมีระเบียบเพิ่มขึ้น และเหนียวทำให้เกิดเป็นผลึกมากขึ้นได้

3.2.3 รูปแบบสเฟียรูไลต์ (spherulites) [16]

สเฟียรูไลต์ ประกอบด้วยกลุ่มผลึกที่โตมาจากนิวเคลียสเดียวกัน และขณะกลุ่มผลึกนี้โตขึ้นขนาดของสเฟียรูไลต์ขยายตัวจนกระทั่งชนกับขอบของสเฟียรูไลต์อื่นๆ ที่กำลังขยายออกมาเช่นกัน ดังนั้นขนาดของสเฟียรูไลต์จะถูกควบคุมด้วยจำนวนของนิวเคลียส ถ้าจำนวนของนิวเคลียสมาก สเฟียรูไลต์จะมีขนาดเล็ก และจำนวนนิวเคลียสน้อยสเฟียรูไลต์จะมีขนาดใหญ่ โดยทั่วไปสเฟียรูไลต์ที่พบจะมีขนาดอยู่ในระดับไมครอน ดังรูป 3.7



(ก)



(ข)

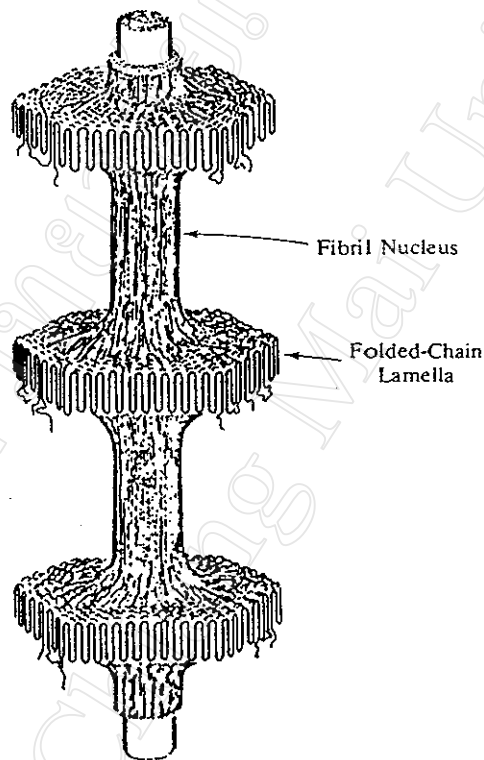
รูป 3.7 รูปแบบของสเฟียรูไลต์ (spherulites)

(ก) ลักษณะของสเฟียรูไลต์

(ข) ไดอะแกรมของแสดงโครงสร้างของสเฟียรูไลต์

3.2.4 รูปแบบ extended-chain crystals [28]

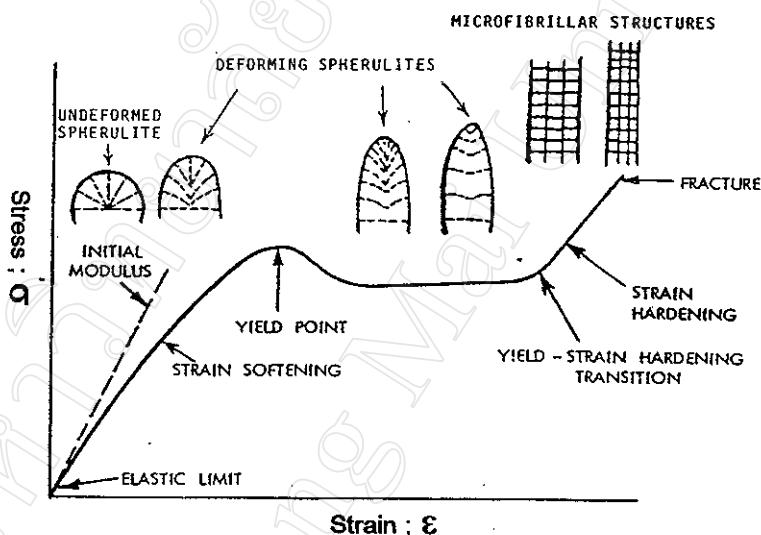
รูปแบบนี้เป็นผลึกที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ที่ยืดยาวขนานกันเป็นระยะทางยาวมาก และอาจมีสายโซ่โมเลกุลบางส่วนตกผลึกร่วมกันเป็นลักษณะ folded-chain lamellae กระจายอยู่บนแกนที่มีลักษณะ extended-chain crystals รูปแบบนี้เรียกว่า shish-kabab ดังแสดงในรูป 3.8 ซึ่งมักได้จากการตกผลึกในสารละลายเจือจางภายใต้แรงเฉือน



รูป 3.8 รูปแบบ shish-kabab [28]

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์

นอกจากโครงสร้างทางเคมีหรือชนิดของพอลิเมอร์ โครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ก็เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ เช่นกรณีของโครงสร้างพื้นฐานสเฟียรูไลต์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐานอยู่ร่วมกัน เมื่อนำตัวอย่างวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานแบบสเฟียรูไลต์มาทดสอบแรงดึง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างสัมพันธ์กับ stress-strain curve ดังรูป 3.9

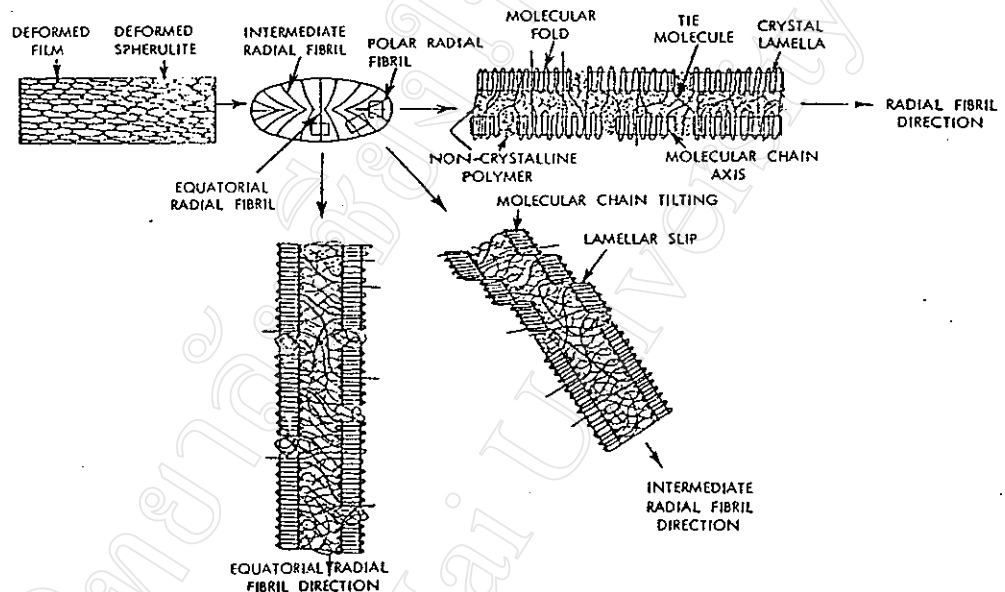


รูป 3.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขณะดึงยืด [29]

จากรูป 3.9 เมื่อพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบสเฟียรูไลต์ได้รับแรงดึง ช่วงแรกสเฟียรูไลต์จะไม่เกิดการยืดที่ถาวร จะสามารถหดกลับได้ทันทีถ้าปล่อยแรง นั่นคือมีสมบัติแบบ elastic จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยรวมของสเฟียรูไลต์ จากกราฟช่วงนี้ stress จะแปรผันโดยตรงกับ strain จนถึงขีดจำกัดของความยืดหยุ่น และมีความชันเริ่มต้น เรียกว่า Initial modulus [16]

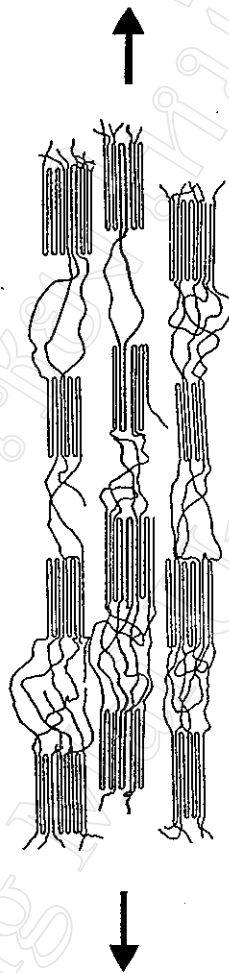
ที่เหนือขีดจำกัดของความยืดหยุ่น แต่ต่ำกว่าจุด yield เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสเฟียรูไลต์ กราฟจะเริ่มโค้งไปหา strain นั่นคือใช้แรงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่วัสดุจะยืดมาก เรียกบริเวณนี้ว่า strain softening ในสภาวะนี้สเฟียรูไลต์บางส่วนเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ถาวร

ณ จุด yield เป็นจุดที่มีความชันเป็นศูนย์ คือเกิดการเปลี่ยนแปลงของ strain โดยที่ stress คงที่ ที่จุดนี้จะมีแรงเฉือน (shear force) ที่ทำให้ lamellae เริ่มแตกออกและเลื่อนหลุดออกจากกัน สเฟียรูไลต์เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรดังรูป 3.10



รูป 3.10 รูปแบบแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลง lamellae ในส่วนต่างๆ ของสเฟียรูไลต์ [29]

หลังจากนั้นจะมีการยืดต่ออย่างสม่ำเสมอ (homogenous deformation) เมื่อยืดมากขึ้น lamellae เริ่มห่างจากกัน และจัดเรียงตัวใหม่ในทิศของแรงดึง เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ถาวร เกิดเป็น microfibril structure ทุกโมเลกุลขนานกับทิศของแรงที่ดึง ดังรูป 3.11 และเมื่อยืดต่อจะแข็งแรงมากขึ้น เรียกบริเวณนี้ว่า strain hardening คือต้องใช้แรงมากในการดึงให้วัสดุยืดออก และจะใช้แรงมากขึ้นเรื่อยๆ จนขาด ช่วงนี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของ fibril structure เป็นการยืดมุม (angle) ของพันธะโควาเลนต์ จึงต้องใช้แรงมาก แต่ยืดไประยะหนึ่งก็จะขาด (fracture) และขาดที่ stress สูง



รูป 3.11 การเรียงตัวขนานกันของ lamellae เป็นแบบ fibril structure [16]

จะเห็นว่าการให้แรงดึงยืดวัสดุ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ ผลที่ได้คือโครงสร้างพื้นฐานที่มีการจัดเรียงตัวเป็นแบบ fibril structure ในโครงสร้างนี้สายโซ่โมเลกุลเกือบทั้งหมดจะเรียงตัวในแนวเดียวกับทิศของแรงดึง ทำให้ในทิศนี้วัสดุสามารถทนต่อแรงดึงได้มาก ทั้งนี้เพราะการดึงให้วัสดุขาดในทิศดังกล่าวจะเป็นการทำลายพันธะโควาเลนต์ปริมาณมากที่เชื่อมต่อขนานกันในทิศของแรง ดังนั้นการดึงยืดวัสดุจนได้โครงสร้างดังกล่าว จึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลนั่นเอง