

## บทที่ 3

### พลาสติก

#### 3.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้คงปฏิเสธไม่ได้ว่าพลาสติกได้ก้าวเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน โดยไม่รู้ตัว นับตั้งแต่ตื่นนอนตอนเช้าจนถึงเข้านอน ตัวอย่างเช่น แปรงฟันด้วยแปรงพลาสติก เครื่องใช้อุปกรณ์ในสำนักงาน และข้าวของเครื่องใช้ในบ้านต่างๆ ล้วนผลิตจากพลาสติกทั้งสิ้น เราไม่อาจปฏิเสธได้เลยว่า พลาสติกได้เพิ่มบทบาทในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้นทุกที และดูเหมือนว่าบทบาทนี้ไม่อาจจะถูกแทนที่ได้ด้วยวัสดุอื่นใดที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ ทางตรงกันข้าม พลาสติกกลับทดแทนวัสดุอื่นๆ ที่มนุษย์เรารู้จักใช้มาตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์แล้ว เช่น แก้ว เหล็ก หิน ไม้ ปูน เป็นต้น เราไม่อาจปฏิเสธได้ว่าเริ่มตั้งแต่มาตรฐานการครองชีพในระดับพื้นฐานที่สุดของมนุษย์คือ การมีน้ำ และอาหารที่สะอาดและถูกสุขลักษณะสำหรับการบริโภค การมีเครื่องนุ่งห่มที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ก็โดยการใช้ประโยชน์จากพลาสติกที่มีคุณสมบัติ และราคาที่เหมาะสม และเอื้อต่อการใช้งานตามจุดประสงค์นั้นๆ ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ

ในอันที่จริงแล้วสิ่งที่ทำให้พลาสติกกลายเป็นวัสดุพิเศษที่มีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นในสังคมมนุษย์ปัจจุบันนั้น นอกจากการที่มีราคาถูก คงทนต่อการใช้งาน และน้ำหนักเบาแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุด และถือเป็นเสน่ห์ของพลาสติกก็คือความสามารถในการประดิษฐ์ประคอย และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันอย่างหลากหลายนั่นเอง เคยมีผู้รู้ได้กล่าวว่ขอบเขตของการประดิษฐ์คิดค้น และการพัฒนาพลาสติกชนิดใหม่ๆ เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานใหม่ๆ นั้นไม่มีขอบเขตตราบเท่าที่จินตนาการของมนุษย์จะไปถึง หรือพูดอีกนัยหนึ่งขอบเขตของการพัฒนาประดิษฐ์คิดค้นของพลาสติกชนิดใหม่ๆ นั้นถูกจำกัดโดยความรู้ความสามารถ และจินตนาการของมนุษย์ ซึ่งก็คือความสามารถของนักวิทยาศาสตร์ และวิศวกรทั้งหลายนั่นเอง

กล่าวกันว่า การค้นพบพลาสติกชนิดแรกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมพอที่จะนำมาใช้งานได้นั้นเริ่มขึ้นในทศวรรษ 1930 หรือช่วงประมาณ 10 ปี ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง หรือถ้านับถึงวันนี้ก็เป็นระยะเวลาเพียง 60 ปีเศษเท่านั้นที่พลาสติกได้เริ่มเจริญเติบโตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และเป็นที่ยอมรับในฐานะวัสดุประเภทหนึ่งเทียบเคียงกับวัสดุอื่น เช่น แก้ว ไม้ หรือโลหะ ต้นตอแห่งวิทยาการด้านพลาสติกนั้น ส่วนหนึ่งได้เกิดขึ้นสืบเนื่องมาจากสภาพความบีบคั้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองที่มีการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ หรือวัสดุชนิดใหม่เพื่อนำ มาใช้ในการทำสงครามประหัตประหารกันพลาสติกหลายชนิดได้มีส่วนเป็นอย่างมากในการทำสงครามนั้น เช่น พลาสติกพีวีซี ใช้ในการหุ้มสายไฟสำหรับอุปกรณ์เรดาร์ หรือพลาสติกพอลิเอทรีนใช้ในการใช้ทดแทนกระจกสำหรับครอบที่นั่งนักบินของเครื่องบินขับไล่เพื่อลดอันตรายจากกระจกบาด หลังจากนั้น เทคโนโลยีด้านปิโตรเคมีซึ่งตกอยู่ในมือของฝ่ายสัมพันธมิตร หลังสงครามก็มีการเจริญเติบโต และขยายตัวอย่างรวดเร็วภายในเศรษฐกิจแบบทุนนิยม และฝั่งรากหยั่งลึกในอเมริกาและยุโรป ได้มีการค้นพบพลาสติกชนิดใหม่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น พลาสติกพอลิเอทที่สิ้นความหนาแน่นต่ำ (LDPE), พอลิสไตรีน (PS), พลาสติกพอลิเอทที่สิ้นความหนาแน่นสูง (HDPE) และในระยะเพียงสิบห้าปีที่ผ่านมามีการค้นพบพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทที่สิ้นความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เป็นต้น

ในส่วนของวัตถุดิบปิโตรเคมีก็มีการปรับตัวด้านโครงสร้างอย่างรวดเร็ว โดยเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นแก๊สธรรมชาติในยุคแรกๆ ซึ่งมักได้สารอโรแมติกส์ และต่อมาก็เริ่มมีการผลิตสารอะเซทิลีนเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติก จนกระทั่งภายหลังปี 1960 จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงครั้งสุดท้ายเมื่อวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกได้เปลี่ยนจากอะเซทิลีนมาเป็นเอทิลีน เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยเป็นหลัก โรงงานเอทิลีนในยุคแรกนั้นมักจะมีกำลังการผลิตอยู่ในระดับหนึ่งหมื่นถึงสองหมื่นห้าพันตันต่อปี และใช้ก๊าซอีเทนเป็นวัตถุดิบ แต่ในปัจจุบันระดับกำลังการผลิตของโรงเอทิลีนใหม่ๆ จะอยู่ในช่วงสามแสนตันถึงเจ็ดแสนตันต่อปี และสามารถใช้วัตถุดิบได้ตั้งแต่ก๊าซอีเทนได้จนถึงเนฟธาและก๊าซออยล์

จะเห็นได้ว่า พัฒนาการด้านพลาสติกอันมีพื้นฐานอยู่บนความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านปิโตรเคมีนั้น ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และก้าวกระโดดในอัตราที่เหลือเชื่อ ถ้าหากจะเปรียบเทียบกับการพัฒนาของวัสดุประเภทอื่นๆ ช่วงเวลาเพียง 40 ถึง 50 ปี นับตั้งแต่มีการค้น

พบพลาสติกชนิดแรกอุตสาหกรรมพลาสติกได้ก้าวมาสู่จุดสูงสุด และยังไม่มีการพัฒนา ดังกล่าวนี้จะตลอดตัวลงแต่ประการใด

### 3.2 นิยามของพลาสติก

ชนิดของวัสดุพลาสติกที่ใช้ประโยชน์ทางการค้ามีจำนวนมาก และแต่ละชนิดก็มีหลายเกรดส่วนมากวัสดุเหล่านี้มีมนุษย์เป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้น (แม้ว่าจะมีพลาสติกอยู่ 2-3 ชนิดที่ได้จากธรรมชาติ) และส่วนมากอยู่ในคลาสของสารเคมีที่เรียกว่า พอลิเมอร์ นักเคมีได้ทำการค้นหาทางโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์เหล่านี้ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ ในขณะที่เดียวกันนักเทคโนโลยีก็ประสบผลสำเร็จในการวัดการควบคุมสมบัติเหล่านี้ โดยใช้สารเติมแต่ง เช่น ฟิลเลอร์ (fillers), แอนติออกซิแดนต์ (antioxidants) และพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) และโดยการเปลี่ยนสภาวะกระบวนการต่างๆ ปัจจุบันมีพลาสติกประมาณ 45 ตระกูลใหญ่ๆ แต่ละตระกูลยังแยกย่อยออกเป็นหมวดหมู่อีกหลายร้อยหลายพันชนิด

พลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นสารที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่เกิดจากการสังเคราะห์สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบเรียกว่า มอนอเมอร์ ที่ประกอบกันขึ้นด้วยหน่วยซ้ำๆ กันประกอบกันเป็นลูกโซ่ เรียกว่า พอลิเมอร์ เพราะฉะนั้น พอลิเมอร์จึงเป็นสารที่มีโมเลกุลยาวมาก บางกรณีเป็นสายตรง (linear) บางกรณีก็เป็นกิ่งก้านสาขา (branched) หน่วยที่ซ้ำๆ กันของพอลิเมอร์ปกติแล้วจะเหมือน หรือเกือบเหมือนมอนอเมอร์ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ มีโครงสร้างเป็น  $-\text{[CH}_2\text{CHCl]}_n-$  มาจากมอนอเมอร์ คือ ไวนิลคลอไรด์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็น  $\text{CH}_2\text{CHCl}$  เป็นต้น

พอลิเมอร์ของพลาสติกประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเป็นธาตุหลักจับตัวกับธาตุอื่นๆ ปัจจุบันนักเคมีได้ใช้ธาตุเพียง 8 ธาตุจากร้อยกว่าธาตุที่มีอยู่ เพื่อจับกับคาร์บอนเป็นพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กว่าพันชนิด ธาตุเหล่านี้ได้แสดงไว้ในตาราง 3.1 ซึ่งแสดงทั้งน้ำหนักอะตอมและความสามารถในการเกาะตัว (Energy-bonding capacities) กล่าวคือ ชิดแต่ละชิดข้างๆ สัญลักษณ์ของธาตุแต่ละตัวแสดงถึงแขนที่สามารถยึดเกาะกับอะตอมของธาตุเดียวกันหรือธาตุอื่นได้อีก 1 ตัว เพื่อให้เป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ การรวมตัวของอะตอมเหล่านี้ก่อให้เกิดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น และมีโครงสร้างสลับซับซ้อน อย่างไรก็ตาม อะตอมแต่ละอะตอมจะรวมตัวกันได้หรือไม่ขึ้นกับพลังงานการเกาะตัว (Energy bonds) และทุกๆ อะตอมในโมเลกุลที่มีเสถียรภาพจะต้องใช้พลังงานการเกาะตัวจนหมด เช่น ไฮโดรเจนกับอะตอมอื่นได้

เพียงตัวเดียว ในขณะที่คาร์บอนต้องจับกับอะตอมอื่นๆ ถึง 4 ตัวจึงจะครบหนึ่งพลังงานการเกาะตัว ดังนั้นการจับตัวระหว่างไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนเป็น H-H และไฮโดรเจนกับฟลูออรีน เป็น H-F จึงเป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ ส่วนการจับตัวเป็น C-H และ Si-Cl เป็นโมเลกุลที่ไม่มีเสถียรภาพ ขอยกตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่รู้จักกันคืออีกชนิดหนึ่งคือมีเทน (Methane; CH<sub>4</sub>) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติ คาร์บอนหนึ่งอะตอมจะจับกับไฮโดรเจนสี่อะตอม แต่ละอะตอมของไฮโดรเจนจะจับกับคาร์บอนหนึ่งอะตอม ดังนั้นพลังงานการเกาะตัวจึงใช้ไปได้ทั้งหมดและสารประกอบนี้จึงเป็นสารประกอบที่สมบูรณ์และมีเสถียรภาพ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับน้ำหนักรวมของอะตอมของธาตุที่ประกอบกันเป็นมีเทนคือ 16

ตาราง 3.1 กลุ่มธาตุที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกพอลิเมอร์

ธาตุ	น้ำหนักอะตอม	จำนวนแขนยึดเกาะ
ไฮโดรเจน (H)	1	H-
คาร์บอน (C)	12	-C-
ไนโตรเจน (N)	14	-N-
ออกซิเจน (O)	16	-O-
ฟลูออรีน (F)	19	-F
ซิลิคอน (Si)	28	-Si-
กำมะถัน (S)	32	-S-
คลอรีน (Cl)	35	-Cl

หากเติมธาตุคาร์บอนให้กับมีเทนหลายๆ อะตอม แล้วเติมธาตุไฮโดรเจนให้ครบกับแขนที่เหลือของคาร์บอน ก็จะได้โมเลกุลที่หนักขึ้น เช่น ได้ก๊าซอีเทน (Ethane; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ซึ่งจะหนักกว่ามีเทนเพราะมีธาตุคาร์บอนมากกว่า 1 อะตอม และธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม รวมแล้วก๊าซอีเทนจะมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 30 โดยทำนองเดียวกันน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบกลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นเป็นอนุกรมพีชคณิตที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 14 (เป็นน้ำหนักของธาตุคาร์บอน 1 อะตอม และธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม) จนกระทั่งเป็นสารประกอบเพนเทน (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> ; penthane)



หากเพิ่มกลุ่ม  $\text{CH}_2$  เข้าไปอีกเรื่อยๆ จะทำให้สารประกอบใหม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อเป็น  $\text{C}_{18}\text{H}_{28}$  สารประกอบที่เกิดขึ้นก็จะเป็นของแข็งมีชื่อว่า พาราฟินหรือขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin wax)

### 3.3 การแบ่งชนิดพลาสติก

พลาสติกเป็นคำรวมที่ใช้เรียกกลุ่มวัสดุ ได้แก่ ไนลอน (Nylon), พอลิเอธิลีน (Polyethylene) และ PTFE เป็นต้น เหมือนกับคำว่า โลหะ ที่เป็นคำรวมที่ใช้เรียก สังกะสี อลูมิเนียม และเหล็ก สังกะสีนั้นมีสมบัติต่างจากเหล็ก เช่นเดียวกับที่ไนลอนก็มีสมบัติต่างกับ PTFE ค่อนข้างมาก ดังนั้น การระบุชนิดวัสดุในการก่อสร้างว่าเป็น โลหะ ย่อมไม่เพียงพอ และเช่นเดียวกันการกำหนดชนิดวัสดุว่าเป็นพลาสติกจึงไม่ครบถ้วน (MacDermott, 1984)

การจัดแบ่งประเภทของพลาสติกนั้นจัดได้หลายแบบหลายอย่าง ขึ้นอยู่กับว่าจะพิจารณาอะไรเป็นหลัก เช่น จะพิจารณาโครงสร้างก็ดูความแตกต่างภายในของโครงสร้างว่าจะจัดแบ่งได้กี่ประเภท อาจจะเป็นสายโซ่ตรง หรือสายโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาจัดแบ่งประเภทของพลาสติกตามสมบัติทางกายภาพ และการจัดแบ่งประเภทพลาสติกในแง่ของสมรรถนะการใช้งาน ซึ่งหลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้ อาจพิจารณารายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

3.3.1. การจัดแบ่งประเภทพลาสติกตามสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และกลุ่มเทอร์โมเซต (Thermosets)

กลุ่มเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พลาสโตเมอร์ (Plastomer) พลาสติกพวกนี้ละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด โมเลกุลถูกดึงให้อยู่ด้วยกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ค่อนข้างอ่อน เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวสามารถทำให้หลอมและแข็งตัวได้หลายๆครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไปเทอร์โมพลาสติกจำนวนมากได้รับการยอมรับว่าเป็น วัสดุวิศวกรรม เรียกกันทั่วไปว่า พลาสติกวิศวกรรม ด้วยเหตุที่ว่ามีการนำวัสดุนี้นี้ไปใช้แทนโลหะ เช่น อลูมิเนียม

เทอร์โมพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยๆ ได้อีก คือ

ก. กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน หรือไม่เป็นผลึก (Amorphous Thermoplastics) เทอร์โมพลาสติกประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้น และยึดเหนี่ยวกันอยู่ด้วยแรงยึดเหนี่ยว

ระหว่างโมเลกุล หรือที่เรียกว่า แรงทุติยภูมิ (Secondary force) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตาม อุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างโซ่โมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับขั้ว (Polarity) ของพอลิเมอร์ และมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกล ทางความร้อน และทางเคมีด้วย รูปที่ 3.1 แสดงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน ความทนต่อแรงดึง และอัตราการยืดตัวที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และตาราง 3.2 แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พลาสติกกลุ่มนี้มีสมบัติแข็ง และเปราะพลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ พอลิสไตรีน (Polystyrene; PS), พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC), พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC), พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate; PMMA), อะคริโลไนไตร-บิวทาไดอิน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene; ABS) เป็นต้น

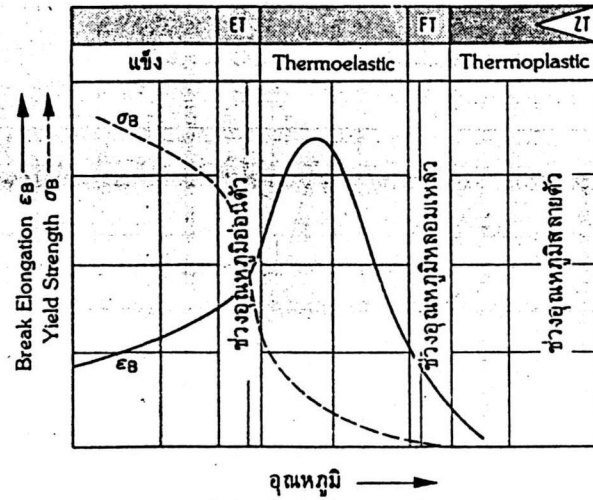
ข. กลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Partial Crystalline Thermoplastics) กลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Partial crystalline thermoplastics) แตกต่างจาก กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous thermoplastics) ที่โครงสร้างของโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบ ทำให้เรียงตัวได้ดี จึงมีความเป็นผลึกปนอยู่ ประกอบกับการที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ถ้าอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิจึงจะทำให้พอลิเมอร์ตัวนั้นเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระจึงทำให้มีลักษณะยืดหยุ่นและเหนียวพอสมควร ดังรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นลักษณะของเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน และตาราง 3.3 แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วนในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ก็คือ พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP), พอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene; POM), พอลิเอไมด์ (Polyamide; PA), พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene; PTFE) เป็นต้น

ตาราง 3.2 แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกอลัสฐาน ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ (รศ. บรรณลง ครมิด, 2535)

สถานะรูป	ช่วงตั้งประหมอนแก้ว	Thermoplastics ยืดตัวแบบ Elastic ีได้มาก	ช่วงเป็น Thermoplastic เหลวหนืด	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	<p>มากโครโมเลกุลเกาะแน่นมาก</p> <p>แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก</p>	<p>มากโครโมเลกุลยังเกาะกันเหนียวแน่นอยู่พอสมควร แต่เคลื่อนไหวได้มากขึ้น</p>	<p>มากโครโมเลกุลจะเคลื่อนไปมาเสียดสีกันได้</p> <p>แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก</p>	<p>โมเลกุลจะสลายตัว</p>

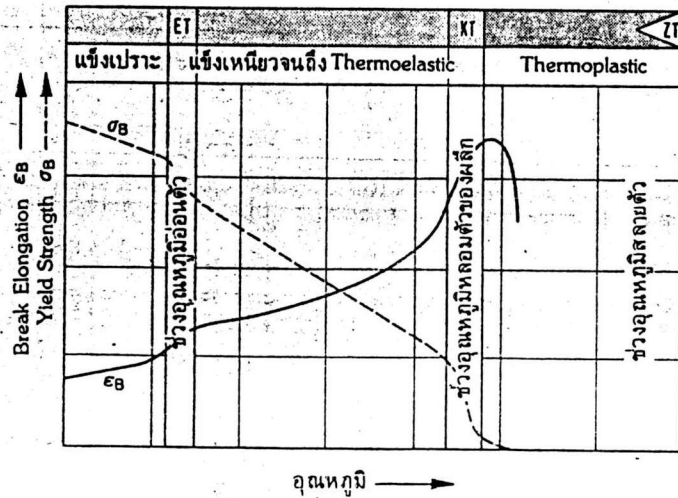
ตาราง 3.3 แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีผลึกบางส่วน ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ (รศ. บรรณง ศรีนิล, 2535)

สถานะรูป	ช่วงแข็งประเภทเหมือนแก้ว	ช่วงแข็งหนืดหรือยืดหยุ่นจนถึงช่วง Thermoelastic	ช่วง Thermoelastic	ช่วงสลายตัว	
โครงสร้างโมเลกุล	ช่วงเป็นอสัณฐานและผลึกจะแข็งแรง	ส่วนที่เป็นอสัณฐาน โมเลกุลเคลื่อนไหวได้บ้าง ส่วนที่เป็นผลึกยังแข็งอยู่	ส่วนที่เป็นผลึกจะหลอมละลาย	มาโครโมเลกุลจะเคลื่อนไปมาเสียสปีกันได้	โมเลกุลจะสลายตัว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในช่วงที่เป็นผลึกสูง			



รูปที่ 3.1 แผนภูมิสภาพความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติกมาตรฐาน

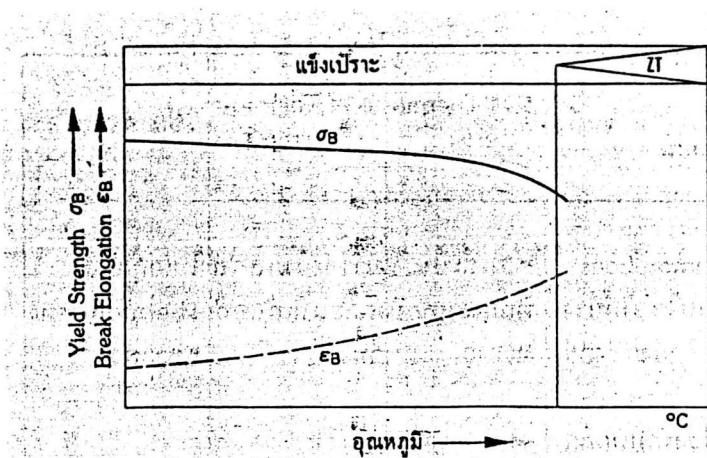
ET : ช่วงอุณหภูมิเริ่มอ่อนตัว (ช่วงอุณหภูมิอ่อนตัว)      FT : ช่วงอุณหภูมิเหลว ทำให้ไหลได้



รูปที่ 3.2 แผนภูมิสภาพความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน

ET : ช่วงอุณหภูมิเริ่มอ่อนตัว      KT : ช่วงหลอมตัวของผลึก      ZT : ช่วงสลายตัว

กลุ่มเทอร์โมเซท (Thermosets) กลุ่มเทอร์โมเซท หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ดูโรเมอร์ (Duromer) พลาสติกกลุ่มนี้จะมีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน หรือ ความดัน ในขั้นแรกเป็นการเกิดโมเลกุลสายยาวคล้ายกับที่เกิดในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก ขั้นต่อมาเกิดการเชื่อมต่อสายโมเลกุล (Crosslink) ปกติเกิดภายใต้ความดัน และอุณหภูมิ ดังนั้น ผลผลิตที่ได้ไม่สามารถหลอมละลายได้อีก วัสดุจะไหม้เป็นถ่านเมื่อได้รับความร้อน ไม่ละลาย ในตัวทำละลาย คือเกิดขบวนการไม่ย้อนกลับ โดยเมื่อได้ผลผลิตแล้ว ถ้าจะเปลี่ยนรูปร่างใหม่ ไม่สามารถกระทำได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ก่อนผ่านขบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแหแต่เมื่อผ่านขบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็น ระบบสามมิติ (Three-dimensional systems) มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่ โมเลกุล จึงมีคุณสมบัติแตกต่างจากกลุ่มเทอร์โมพลาสติกเป็นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตาราง 3.4 การยึดกันด้วยแรงเวเลนซี (Valency) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลจะขัดขวางการ เคลื่อนไหวของโมเลกุลจนกว่าจะถึงจุดสลายตัว ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอม ไม่ ละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียมและสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม ตัวอย่างพลาสติก ชนิดนี้ ได้แก่ ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenylformaldehyde), เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine - formaldehyde), ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Ureaformaldehyde), อีพ็อกซี (Epoxy) และพอลิเอสเทอร์ (Polyester) บางชนิด เป็นต้น



รูปที่ 3.3 แผนภาพสถานะของเทอร์โมเซท

ZT : ช่วงอุณหภูมิสลายตัว

ตาราง 3.4 แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมเซท

สถานะรูป	ช่วงแข็งเปราะเหมือนแก้ว	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	โมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่าย	โมเลกุลของเทอร์โมเซทสลายตัว

3.3.2. จัดแบ่งประเภทพลาสติกตามสมบัติทางวิศวกรรม กลุ่มของพลาสติกโดยวิเคราะห์ในรูปของสมบัติทางวิศวกรรม และลักษณะพิเศษ ดังนี้

1. พลาสติกวิศวกรรม (Engineering Plastics) วัสดุสำหรับอุตสาหกรรม เช่น เป็นวัสดุโครงสร้าง, เป็นชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น โดยทั่วไปพลาสติกวิศวกรรมจะต้องมีลักษณะคุณสมบัติ ดังนี้ มีความแข็งแรงเชิงกลสูง, ขอบเขตของอุณหภูมิใช้งานกว้าง, มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีมาก, ทนทานต่อสารเคมี และสภาพดินฟ้าอากาศ, น้ำหนักเบา ขึ้นรูปได้ง่าย เรซินสังเคราะห์ธรรมดาถูกนำไปใช้งานทางอุตสาหกรรมไม่ถึง 10% ของปริมาณเรซิน ทั้งหมด แต่กว่า พลาสติกวิศวกรรมเกือบ 100% จะถูกใช้ในงานทางอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้จึงมักเรียกพลาสติกวิศวกรรมว่าเป็นเรซินอุตสาหกรรม (Industrial Resins) ปริมาณการใช้งานพลาสติกวิศวกรรมเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกวิศวกรรมสามารถสนองตอบความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิต กล่าวคือ ทำให้กระบวนการผลิตมีความคล่องตัว ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบายิ่งขึ้น และด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขึ้นรูปได้ง่ายสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ในขั้นตอนเดียว ทำให้ลดเวลาที่ใช้ในการประกอบ การเชื่อมต่อชิ้นส่วนลงได้มาก ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต ได้อย่างมาก
2. มีน้ำหนักเบากว่าโลหะมาก มีบทบาทอย่างสูงในการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
3. สามารถเพิ่มความแข็งแรง และการทนต่อความร้อนได้โดยการเติมเส้นใยแก้ว หรือเส้นใย คาร์บอนทำให้มีการคิดค้นวิธีการใช้งานอย่างกว้างขวางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
4. จากการพัฒนาของเทคโนโลยีการขึ้นรูป ทำให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ที่ละเอียดได้มาก ยิ่งขึ้นอยู่เสมอ

พลาสติกวิศวกรรมมีอยู่มากมายหลายชนิด ในที่นี้จะแนะนำเรซินชนิดที่สำคัญๆ



ก. พอลิเอไมด์ (ไนลอน) (Polyamide; PA) ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเป็นครั้งแรกโดยบริษัท ดูปองท์ ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีชื่อทางการค้าว่า ไนลอน จึงนิยม เรียกว่า "ไนลอน" ปัจจุบันเป็นพลาสติกวิศวกรรมที่รู้จักกันแพร่หลายที่สุด

ข. พอลิออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene; POM) มีคุณสมบัติทนการขัดสี ทนความล้าได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงได้ ใช้มากในด้านเป็นชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือชิ้นส่วนรถยนต์

ค. พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) มีคุณสมบัติด้านทนแรงกระแทก ทนดินฟ้าอากาศ โปร่งใส นิยมใช้ทำกระจกแผ่น มีเสถียรภาพของมิติสูง จึงนิยมใช้กันมากในการทำเลนส์ และอุปกรณ์เกี่ยวกับแสง

ง. พอลิฟีนิลีน-ออกไซด์ (Polyphenylene-oxide; PPO) ที่รู้จักกันดีมีชื่อทางการค้าว่า ไนริล ทนความร้อนและทนต่อการขีดข่วน ใช้เป็นตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ เครื่องใช้สำนักงาน

2. พลาสติกใช้งานทั่วไป (Commodity Plastics) เป็นกลุ่มพลาสติกที่มีขอบเขตการใช้งานอยู่ในกลุ่มชิ้นงานพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวัน หรือชิ้นงานที่ใช้เป็นปริมาณมาก พลาสติกเหล่านี้มีราคาถูก ซึ่งได้แก่ พอลิสไตรีน (Polystyrene), อะคริโลไนไตร-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), พอลิเอทิลีน (Polyethylene), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene), พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride), พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

3. พลาสติกชนิดพิเศษ (Specialty Plastics) คือกลุ่มของพลาสติก ที่มีราคาขายค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มพลาสติกวิศวกรรม โดยทั่วไปพลาสติกในกลุ่มนี้ทนต่ออุณหภูมิสูง แต่ความสามารถนี้ก็ทำให้การสังเคราะห์มีต้นทุนที่สูงและมักจะขาดต่อการกระบวนการ พลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ พอลิฟีนิลีนซัลไฟด์ (Polyphenylene sulfide; PPS) และพอลิซัลโฟน (Polysulfone)

### 3.4 สมบัติของพลาสติก

วัสดุที่แตกต่างกันย่อมมีสมบัติแตกต่างกันออกไปด้วย เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความยืดหยุ่น ตลอดจนความเปราะ หรือจุดอ่อนของวัสดุ ดังนั้นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องศึกษา เพื่อให้เกิดความรู้อย่างแท้จริง และสามารถเลือกวัสดุได้ถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งาน ความรอบรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะ และสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติกจะช่วยให้การตัดสินใจเลือกใช้พลาสติกได้เหมาะสมขึ้น การเลือกพลาสติกที่ถูกต้องโดยขจัดการเดา (Guesswork) เป็นกุญแจที่ทำให้ได้งานที่ดี

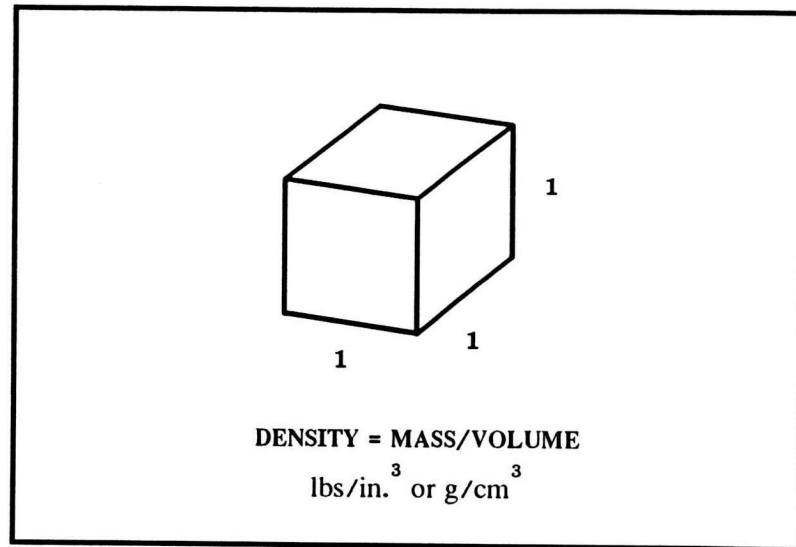
สมบัติของพลาสติกอาจจะแบ่งตามคุณภาพ และกลุ่มฟังก์ชันได้ 5 กลุ่มใหญ่ที่แตกต่างกัน คือ

- ก. สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)
- ข. สมบัติทางกล (Mechanical Properties)
- ค. สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)
- ง. สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)
- จ. สมบัติด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Consideration)

แต่ละกลุ่มอาจแบ่งย่อยลงไปได้อีกตามสมบัติเฉพาะ จะขอกล่าวถึงรายละเอียดสมบัติของพลาสติกแต่ละกลุ่มโดยสังเขป ดังนี้

#### 3.4.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

ก. ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของวัสดุเป็นตัวบอกปริมาณมวลของวัสดุที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรบนพื้นที่ที่มีค่าความโน้มถ่วงของโลกค่าเดียวกัน ความหนาแน่นของวัสดุจะเป็นค่าที่บอกความหนักเบาของวัสดุ ความหนักเบาเป็นข้อคำนึงข้อหนึ่งของการเลือกใช้วัสดุ โดยทั่วไปแสดงในหน่วยปอนด์ต่อลูกบาศก์นิ้ว ( $\text{lbs/in}^3$ ) หรือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ ) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการหาค่าความหนาแน่น

ข. การหดตัว (Shrinkage) คือความแตกต่างของขนาดชิ้นงานเมื่อยังร้อนอยู่ และเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วแสดงเป็น % ของขนาดของพลาสติกที่ใช้ การหดตัวของพลาสติกที่มีผลึกจะซับซ้อนและยุ่งยากกว่าพลาสติกอสัณฐาน และหดตัวมากกว่าด้วย การหดตัวเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการวางตัวของโมเลกุลภายใน และการเปลี่ยนแปลงความเครียดภายใน สาเหตุของการหดตัวเนื่องจากเมื่อพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง ปริมาตรของพลาสติกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง และเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของพลาสติกซึ่งจะต่างกันตามสภาพการไหล

ค. ความสามารถในการยืดตัว (Ductility) คือสมบัติของวัสดุที่ทนต่อที่แรงมากระทำโดยไม่แตก หรือหักง่าย หรือพูดได้ว่าวัสดุนั้นมีความเหนียวนั่นเอง ความสามารถในการยืดตัวของวัสดุมีสองลักษณะ ลักษณะแรกคือความทนทานต่อการถูกแปรรูปในช่วงพลาสติกได้มากนักน้อยเพียงใดโดยไม่เกิดการแตกหัก วัดได้จากเทนไซล์สเตรนตรงจุดที่วัสดุเริ่มแตกหักพอดี เนื่องจาก สเตรนมีค่าเป็นตัวเลขหลังจุดทศนิยม ดังนั้นจึงนิยมคูณสเตรนดังกล่าวด้วย 100 เพื่อให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ แล้วเรียกเป็นชื่อใหม่ว่า *เปอร์เซ็นต์ความยืด (% elongation)* อีกลักษณะหนึ่งจะกล่าวถึงในข้อ ง.

ง. ความเหนียวของวัสดุ (Toughness of materials) คือความสามารถของวัสดุที่สามารถสะสมพลังงานได้มากก่อนที่จะแตกหักเสียหาย (Fracture) วัสดุที่ไม่มีความเหนียวจะแตกหักเร็วเมื่อได้รับพลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น วัดได้จากผลการทดสอบการรับแรง

กระแทก (Impact test) ซึ่งวัดพลังงานที่กระแทกให้วัสดุทดสอบแตกหัก ความเหนียวของวัสดุ หาได้จากพื้นที่ใต้เส้นกราฟสเตรส-สเตรนของเรซิน ซึ่งพื้นที่ใต้เส้นกราฟทั้งหมด คือพลังงานที่สะสมอยู่ในเนื้อวัสดุตั้งแต่เริ่มต้นถูกแรงกระทำจนกระทั่งแตกหัก วัสดุที่จัดว่าเหนียว ได้แก่ พวกที่ต้องใช้พลังงานกระแทกจำนวนมากๆ ถึงจะทำให้วัสดุแตกหักได้ โดยทั่วไป ขนาดของพลังงานที่ถือว่ามากพอ คือตั้งแต่ 20 ปอนด์-ฟุตขึ้นไป

ความเหนียวเปราะของวัสดุเป็นสมบัติที่อ่อนไหวต่อโครงสร้างของผลึก จุลโครงสร้างของวัสดุ สิ่งแปลกปนในเนื้อวัสดุ อุณหภูมิการใช้งานและอัตราเร็วของการเกิดสเตรนเมื่อถูกแรงกระทำ หนึ่งวัสดุที่มีเปอร์เซ็นต์ความยืดมาจากผลการทดสอบการต้านแรงดึง อาจแสดงอาการเปราะแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทก ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกความเหนียวเปราะของวัสดุโดยดูจากตัวเลขของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหรือเปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดที่ลดลงเพียงอย่างเดียวเราจะต้องดูค่าเหนียวจากการทดสอบแรงกระแทกหรือจากค่าแฟร็กเจอร์ทีฟเนสด้วย

จ. ความเปราะ (Brittleness) คือวัสดุที่มีความต้านทานต่อแรงกระทำนั้นน้อยมาก หรือวัสดุที่ไม่ทนทานต่อแรงที่มากกระทำเป็นสมบัติที่ไม่ปราถนาในวงงานอุตสาหกรรมเลย วัสดุที่ไม่มีความเหนียว นั่นคือวัสดุนั้นมีความเปราะ วัสดุพลาสติกที่มีความเปราะมักจะมีค่าการกระแทก (Impact) ต่ำ และมีสมบัติความแข็งตึง (Stiffness) สูง

ฉ. ความยืดหยุ่น (Elasticity) คือคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถยืดออกได้เมื่อมีแรง และถ้าเอาแรงกระทำนั้นออกวัสดุนั้นหดกลับคืนโดยมีขนาดเท่าเดิม แต่หากออกแรงดึงมากจนเลยจุด Elastic Limit วัสดุนั้นไม่สามารถคืนตัวได้ จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) ถ้าออกแรงดึงมากขึ้นวัสดุนั้นก็จะทนต่อแรงดึงไม่ไหวก็จะขาดออกจากกันได้

ช. สภาพพลาสติก (Plasticity) ถ้าแรงที่มากกระทำมีขนาดมาก จนทำให้วัสดุมีการยืดหด หรือบิดตัวมากเกินไป ในกรณีนี้ เมื่อปล่อยแรงกระทำออก วัสดุจะไม่หด ยืด หรือบิดตัวกลับสู่ขนาดและรูปร่างเดิมอีก คือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Permanent deformation) ตัวอย่างเช่น ลวดเส้นหนึ่งถูกแรงทุบจนแบน มันจะไม่สามารถยืดตัวเองให้เป็นเส้นกลมเหมือนตอนก่อนถูกแรงทุบได้ การตอบสนองต่อแรงกระทำในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรนี้ เรียกว่า พฤติกรรมของวัสดุในช่วงพลาสติก (Plastic behavior of materials) หากเพิ่มขนาดของแรงกระทำต่อวัสดุในช่วงพลาสติกให้มากขึ้นเรื่อยๆ วัสดุก็จะถูกแปรเปลี่ยนรูปมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเกิดการแตกร้าวและหักพัง ดังนั้นการแตกร้าวหักพังจึงเป็นขีดจำกัดขั้นสูงของช่วงพลาสติก หนึ่ง ในกรณีที่แรงกระทำเป็นแบบเฉียบพลัน คือเป็นแรงที่เกิดขึ้น

อย่าง กระทั่งหัก เช่น แรงกระแทก แรงระเบิด ฯลฯ วัสดุอาจตอบสนองต่อแรงเหล่านี้ในแบบยืดหยุ่นแล้วก็หักพังโดยไม่มี การตอบสนองในแบบพลาสติกเลยก็ได้

ซ. ภาวะอับแสง และภาวะโปร่งแสง (Opacity/Transparency) เมื่อพิจารณาถึงการส่องผ่านของแสงนั้นภาวะอับแสง และภาวะโปร่งแสงเป็นสมบัติที่มีความสำคัญ โดยทั่วไปสมบัติเหล่านี้จะวัดค่าเป็นความสลัว (Haze) และการส่องผ่านของแสงสว่าง (Luminous Transmittance)

### 3.4.2 สมบัติทางกล (Mechanical Properties)

สมบัติทางกลของวัสดุ หมายถึง สมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงทางกลที่มากกระทำไม่ว่าแรงทางกลนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม เมื่อมีแรงทางกลมากกระทำต่อวัสดุ จะเกิดแรงภายในเนื้อวัสดุเพื่อด้านรับแรงที่มากกระทำ ถ้าแรงที่มากกระทำมีขนาดมากกว่าวัสดุที่จะด้านรับไว้ได้ วัสดุจะเสียรูป แตกร้าวหรือหักได้ ดังนั้น ความมากน้อยของขนาดของแรงที่วัสดุสามารถด้านรับไว้ได้จึงเป็นดัชนีที่บอก ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength of materials) ดัชนีเหล่านี้มีชื่อเรียกเฉพาะแตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะของแรงทางกลที่กระทำต่อวัสดุ

ความแข็งแรงของวัสดุแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

ก. ความแข็งแรงในการรับแรงดึง (Tensile Strength) คือความสามารถของวัสดุที่ต้านทานต่อแรงที่มากกระทำ ค่าความเค้นแรงดึงยิ่งสูงก็ยิ่งมีเนื้อเหนียว ยืดได้ไม่ขาด

ข. ความแข็งแรงในการรับแรงอัด (Compressive Strength) คือความสามารถของวัสดุที่มีความต้านทานต่อแรงที่มากกระทำในรูปของการอัด

ค. ความแข็งแรงในการรับแรงเฉือน (Shearing Strength) คือความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานต่อแรงที่มากกระทำในรูปเฉือน

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงสมบัติทางกลที่สำคัญของวัสดุ พร้อมกับดัชนีที่ใช้บอกความแข็งแรงของวัสดุภายใต้ลักษณะแรงกระทำต่างๆ สิ่งเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เราจะต้องคำนึงถึงในช่วงการเลือกใช้ชนิดของวัสดุ

ความเค้น (Stress) เป็นชื่อที่ใช้เรียกความเข้มของแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกมากกระทำ ในทางคำนวณ สูตรหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น

$$\text{สูตรส } (\sigma) = \frac{\text{แรงกระทำ (P)}}{\text{พื้นที่ที่รับแรง (A)}} \quad (3.1)$$

หน่วยของสเตรส : ในระบบอังกฤษ ใช้ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

ในระบบเมตริก ใช้ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg/cm}^2$ ) หรือ

กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ( $\text{kg/mm}^2$ )

ในระบบ SI ใช้ ปาสคาล (Pascal)

มีค่าเฉพาะที่ใช้เรียกควบคู่กับสเตรสอยู่หลายแบบ เช่น เเทนไซค์สเตรส (Tensile stress) คอมเพรสสิฟสเตรส (Compressive stress) และเชียร์สเตรส (Shear stress) ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อบอกให้ทราบว่าสเตรสที่เกิดจากแรงดึง แรงกดอัด และแรงเฉือน ฯลฯ ตามลำดับ

สเตรน (Strain) เป็นคำที่ใช้เรียกอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของแรงกระทำต่อความยาวของวัสดุที่ใช้เป็นเกณฑ์ (gage length) สมมติว่า วัสดุชิ้นหนึ่งมีความยาวเดิมเท่ากับ  $L_0$  ถูกแรงดึงจนทำให้ความยาวเปลี่ยนไปเป็น  $L$  ดังนั้น

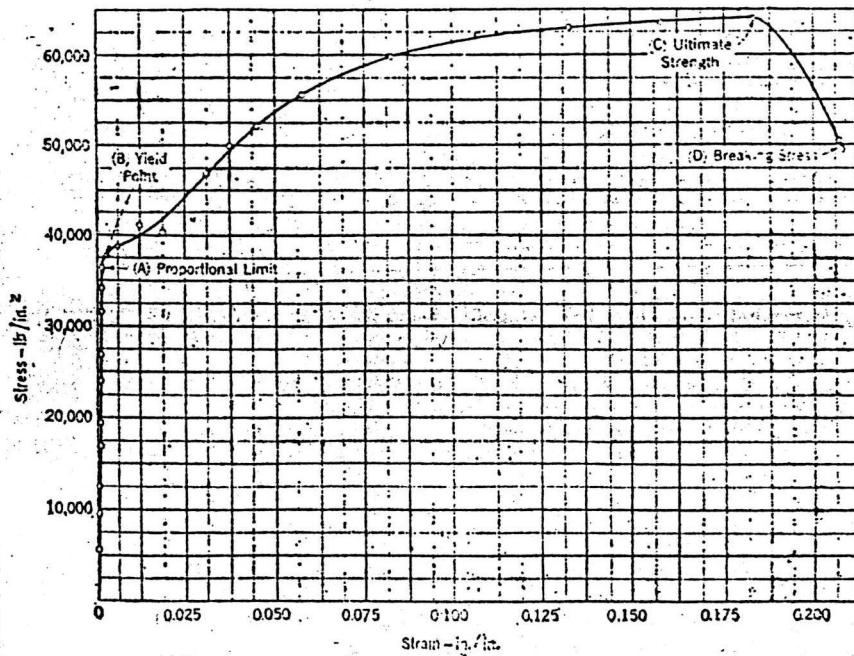
$$\text{สเตรน } (\epsilon) = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{เกณฑ์ความยาวเดิม}} \quad (3.2)$$

ในการทำงานเกี่ยวกับสเตรส สเตรนที่เป็นผลจากแรงดึง แรงกดอัด และแรงเฉือน ฯลฯ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า เเทนไซค์สเตรน (Tensile strain) คอมเพรสสิฟสเตรน (Compressive strain) และเชียร์สเตรน (Shear strain) ฯลฯ ตามลำดับ

ยิลด์สเตรส (Yield Stress) คือสเตรสที่ทำให้วัสดุเริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร การตอบสนองต่อสเตรสที่มีค่าน้อยกว่ายิลด์สเตรสจึงเป็นแบบยืดหยุ่น ส่วนการตอบสนองต่อสเตรสที่มีค่ามากกว่ายิลด์สเตรสจึงเป็นแบบพลาสติก ยิลด์สเตรสเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่บอกความแข็งแรงของวัสดุที่มีความเหนียวพอสมควร

#### แผนภาพสเตรส-สเตรน (Stress-Strain Diagram)

สเตรสค่าหนึ่งๆ ทำให้เกิดสเตรนในเนื้อวัสดุต่างชนิดกันได้ไม่เท่ากัน ความแตกต่างนี้เป็นผลจากความแตกต่างในด้านสมบัติทางกลของวัสดุและรูปแบบของแรงที่กระทำต่อวัสดุ ดังนั้นถ้าบันทึกค่าสเตรสและสเตรนที่เกิดขึ้นทุกๆ ขณะตั้งแต่เริ่มต้นของการถูกแรงกระทำ ไปจนกระทั่งวัสดุแตกหัก โดยการเขียนให้เป็นกราฟก็จะได้แผนภาพสเตรส-สเตรนซึ่งบอกพฤติกรรมทางกลของวัสดุภายใต้แรงกระทำรูปแบบหนึ่งที่ค่อนข้างชัดเจน รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะทั่วไปของแผนภาพสเตรส-สเตรนเมื่อวัสดุถูกแรงกระทำไม่ว่าจะเป็นแบบแรงดึง แรงกดอัดหรือแรงบิด



รูปที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของแผนภาพสเตรส-สเตรน

ข้อมูลที่อ่านได้จากแผนภาพสเตรส-สเตรน (ดูรูปที่ 3.5 ประกอบ) มีดังนี้

ก. ช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ในรูปที่ 3.5 คือระยะ OA ช่วงนี้แสดงว่าสเตรสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสเตรน ความสัมพันธ์นี้เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{\text{Stress } (\sigma)}{\text{Strain } (\epsilon)} = E \quad (3.3)$$

เมื่อ E เป็นค่าคงที่ บางแห่งเรียกสมการ (3.4) ว่ากฎของฮุก (Hooke's Law)

ถ้าเป็นแผนภาพสเตรส-สเตรนของการดึงวัสดุ ค่าคงที่ E จะมีชื่อเรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือบางแห่งเรียกว่า ยังส์โมดูลัส (Young's Modulus) ค่าคงที่ E เป็นดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบความแข็งกระด้าง (Stiffness) ของวัสดุ

ถ้าเป็นแผนภาพสเตรส-สเตรนของการเฉือนหรือการบิดวัสดุ ค่าคงที่ E มักถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ G และมีชื่อเรียกว่า เชียร์โมดูลัส (Shear Modulus) หรือโมดูลัสริจิดิตี (Modulus of Rigidity)



ข. ช่วงความยืดหยุ่นของวัสดุ (Elastic Range) ในรูปที่ 3.5 คือระยะ OB ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงที่วัสดุตอบสนองต่อแรงทางกลอย่างยืดหยุ่น คือเมื่อปล่อยแรงที่กระทำ วัสดุจะกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมขณะก่อนถูกแรงกระทำ จุด B เรียกว่า พิกัดของความยืดหยุ่น (Elastic Limit)

ค. จุดยืลต์ (Yield Point) ในรูปที่ 3.5 คือจุด C จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร วัสดุยืลต์ตัวออกโดยไม่ต้องเพิ่มแรง สเตรสที่จุดยืลต์มีชื่อว่า ยืลต์สเตรส

ง. เทนไซล์สเตรสสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) เทนไซล์สเตรสสูงสุด คือ สเตรสสูงสุดบนแผนภาพสเตรส-สเตรน (จุด U ในรูปที่ 3.5) ในกรณีที่เป็นการดึงวัสดุ คำนี้มักถูกถือว่าเป็นเทนไซล์สเตรง (Tensile Strength) ที่บอกความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง

ความแข็งของวัสดุ (Hardness of Materials) ความแข็งเป็นสมบัติในการต้านทานต่อการเจาะ และการขีดข่วน ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบด้วยวิธีบริเนล, รอคเวล, โมห์ และ วิคเกอร์

### 3.4.3 สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

สารพอลิเมอร์จะแตกต่างไปจากสารโมเลกุลเล็กๆ ในด้านสถานะทางกายภาพ ถ้าพิจารณาความสามารถในการตกผลึก สารโมเลกุลเล็กๆ เช่น สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เมื่อให้ความร้อนเข้าไปถึงจุดหนึ่งที่พลังงานการสั่นสะเทือน (Vibration energy) มากกว่า แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force) ของแข็งนั้นจะเริ่มหลอม เมื่อลดความร้อนโดยทำให้เย็นจนถึงจุดหนึ่ง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าพลังงานการสั่นสะเทือนของโมเลกุลก็จะเกิดการตกผลึก สารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและบริสุทธิ์ส่วนมาก จะมีอุณหภูมิหลอมตัวชัดเจน ช่วงแคบ แต่สารพอลิเมอร์ซึ่งมีโมเลกุลยาวมาก โอกาสตกผลึกจะน้อยมาก และอุณหภูมิหลอมตัวจะไม่ชัดเจน เหมือนสารโมเลกุลเล็กคือ จะมีช่วงกว้างมาก พอลิเมอร์ที่ไม่มีความเป็นผลึกเลย เรียกว่า พอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous polymers) จะมีลักษณะแข็ง และเปราะคล้ายแก้ว อาจเรียกว่าอยู่ในสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state)

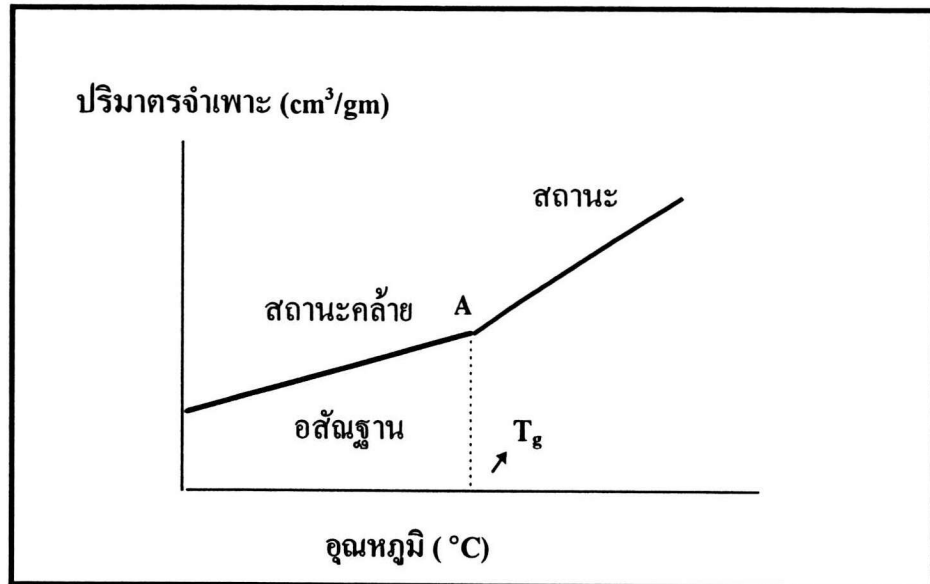
พอลิเมอร์สังเคราะห์ หรือพอลิเมอร์ที่เกิดจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะของความเป็นผลึกอยู่ด้วยไม่มากก็น้อย เรียกว่ามีลักษณะกึ่งผลึก (Semi-crystalline) และมีส่วนน้อยที่มีความเป็นผลึกทั้งหมด หรือมีลักษณะอสัณฐานทั้งหมด ดังนั้น ความเป็นผลึกมีอยู่เล็กน้อยเพียงใด จะเรียกคิกรีของความเป็นผลึก (Degree Of crystallinity) การจะมีคิกรีของความเป็น

ผลึกสูงหรือต่ำขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์พวกที่มีหมู่ข้างเคียง (Side groups) ขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างแบบอะแทกติก มักจะมีดีกรีของความเป็นผลึกต่ำ เช่น พอลิสไตรีน เนื่องมาจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง และหมู่ข้างเคียงใหญ่ ทำให้การจัดตัว (Packing) ของสายโซ่โมเลกุลไม่ดีเท่าที่ควร พอลิเมอร์ที่มีดีกรีของความเป็นผลึกสูง เนื่องจากการจัดตัวของสายโซ่โมเลกุลดี คือโมเลกุลเข้าใกล้ชิดกันได้มาก จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลมาก ซึ่งเกิดจากพันธะทุติยภูมิ เช่น พันธะไฮโดรเจน

ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นั้น เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญของพอลิเมอร์อีกมากมาย เช่น ถ้ามีดีกรีของความเป็นผลึกสูง จะสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าพวกที่มีดีกรีความเป็นผลึกต่ำ แข็ง และแข็งแรงมากกว่าพอลิเมอร์อสัณฐาน ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าพอลิเมอร์อสัณฐาน พอลิเมอร์ที่มีดีกรีความเป็นผลึกสูงมากจะทึบแสง หรือไม่ใส เนื่องจากผลึกจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายแสง สมบัติเชิงกลจะดียกกว่าพวกอสัณฐาน คือไม่ค่อยยืดหยุ่น

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า สารพอลิเมอร์นั้นมักจะมีลักษณะอสัณฐานปะปนอยู่กับลักษณะผลึก ซึ่งลักษณะที่แตกต่างกันนี้ทำให้สารพอลิเมอร์มีจุดเปลี่ยนแปลงสถานะ 2 จุด เมื่อได้รับความร้อนหรือทำให้เย็นตัวลงก็ตาม จุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) กับอีกจุดหนึ่ง คือ อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Crystalline melting temperature,  $T_m$ ) ซึ่งจะแยกกล่าวถึงรายละเอียดดังนี้คือ

อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) เป็นอุณหภูมิที่พอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสัณฐานเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับความร้อน จากสถานะที่แข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) ซึ่งแข็ง และเปราะ ไปเป็นสถานะยาง (Rubbery state) ซึ่งยืดหยุ่นได้ สมบัติข้อนี้มีประโยชน์ในการที่จะนำพอลิเมอร์ไปใช้งานในลักษณะอีลาสติก ต้องให้พอลิเมอร์นั้นมีลักษณะอสัณฐานปะปนกับผลึก และต้องมีอุณหภูมิ  $T_g$  ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เพื่อว่าเวลาใช้งานที่อุณหภูมิห้อง พอลิเมอร์นั้นจะได้อยู่ในสถานะยาง มีความยืดหยุ่น พอลิเมอร์ที่อยู่ในสถานะคล้ายแก้วนั้น สายโซ่โมเลกุลจะไม่มีเคลื่อนไหว เนื่องจากพลังงานไม่เพียงพอ สถานะนี้คล้ายกับสถานะเย็นตัวยิ่งยวด (Supercooling) ต่อเมื่อได้รับความร้อนสายโซ่โมเลกุลจะเริ่มเคลื่อนไหว สิ่งที่มาคือ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเพื่อว่าสายโซ่โมเลกุลจะอยู่ห่างกันและเคลื่อนไหวได้ สมบัติข้อนี้นำไปใช้หาอุณหภูมิ  $T_g$  ได้ โดยเขียนกราฟระหว่างปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) กับอุณหภูมิ ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟระหว่างปริมาตรจำเพาะ (cm<sup>3</sup>/gm) กับอุณหภูมิ

จากรูปจะเห็นได้ว่า ตรงจุด A นั้น ความชันของเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าปริมาตรจำเพาะที่เพิ่มตามอุณหภูมิพอมาถึงจุดนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนทำให้ความชันเปลี่ยนไป มีความชันมากขึ้น หมายความว่าพอเลยจุด A ไปแล้ว พอลิเมอร์อยู่ในสถานะยางจะมีปริมาตรมากขึ้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวได้มาก ซึ่งเป็นผลให้พอลิเมอร์มีสมบัติยืดหยุ่น อุณหภูมิที่จุด A นี้คือ อุณหภูมิ  $T_g$  นั่นเอง การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเรียกว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงอันดับสอง (Second order transition) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือไม่ถึงกับหลอมตัว พอลิเมอร์ยังอยู่ในสถานะของแข็งอยู่ เพียงแต่ยืดหยุ่นได้ อุณหภูมิ  $T_g$  นี้ นอกจากจะหาได้โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรจำเพาะแล้วยังอาจวัดการเปลี่ยนแปลงของความร้อนจำเพาะ ครรชนหักเหของแสง การลดลงของค่าไดอิเล็กตริกก็ได้ จากการศึกษาอุณหภูมิ  $T_g$  ของพอลิเมอร์พบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่า  $T_g$  สูงหรือต่ำ ได้แก่

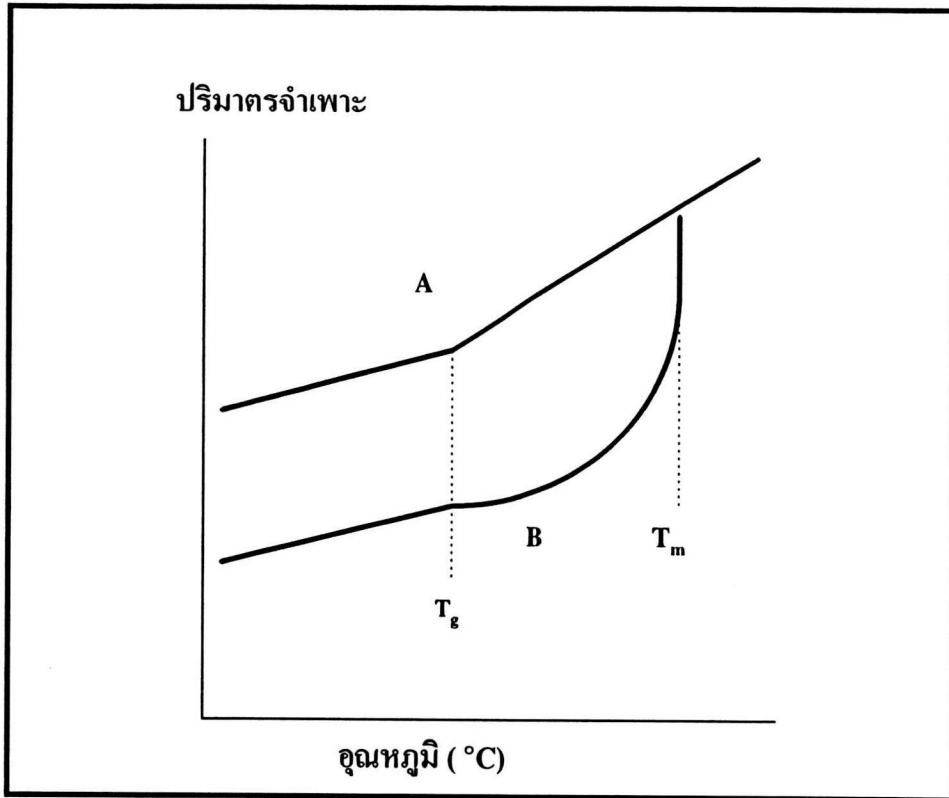
- ก. ปริมาณของความเป็นอสัณฐานของพอลิเมอร์ ถ้ามีความเป็นอสัณฐานมาก  $T_g$  จะสูง
- ข. แรงดึงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ถ้าสายโซ่โมเลกุลมีสภาพขั้วทำให้เกิดแรงไดโพลก็จะทำให้  $T_g$  สูง
- ค. หมู่ข้างเคียงที่ใหญ่ และแข็งแรง เช่น  $C_6H_5$  จะทำให้  $T_g$  สูงเช่นกันเพราะผลของการกีดขวาง (Steric effect) ทำให้เคลื่อนไหวยาก

ง. โครงสร้างที่ไม่สมมาตร เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิโพรพิลีน มี  $T_g$  สูงกว่าพวกที่มีโครงสร้างสมมาตร เช่น พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ และพอลิโอไซบิวทิลีน เนื่องจากพวกที่มีโครงสร้างไม่สมมาตรสามารถจัดตัวกันได้แน่น หรือใกล้ชิดกันมากกว่า ซึ่งทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลมากกว่า

อุณหภูมิหลอมตัวผลึก ( $T_m$ ) เป็นอุณหภูมิที่พอลิเมอร์ในลักษณะของผลึก เปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว เมื่อได้รับความร้อน หรือเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นผลึกเมื่อทำให้เย็นลง สมบัติของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนแปลงมากกว่าตรงอุณหภูมิ  $T_g$  การเปลี่ยนแปลงที่จุด  $T_m$  นี้เป็นการเปลี่ยนแปลงอันดับหนึ่ง (First order transition) ซึ่งมีทั้งความร้อนของการหลอมละลาย การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต่อเนื่องในความจุความร้อน ปริมาตร ความหนาแน่น และครรชนีหักเห เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถนำไปใช้หาอุณหภูมิ  $T_m$  ได้ อาจเปรียบเทียบอุณหภูมิ  $T_m$  กับ  $T_g$  เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 3.7 จากรูปที่ 3.7 จะสังเกตเห็นว่าความชันที่เปลี่ยนแปลงตรงอุณหภูมิ  $T_g$  น้อยกว่าตรงอุณหภูมิ  $T_m$  เนื่องจากตรงอุณหภูมิ  $T_g$  มีการเปลี่ยนสถานะเพียงเล็กน้อยเท่านั้นยังไม่ถึงกับหลอมเหลว ปริมาตรจึงเพิ่มไม่มากเหมือนตรงอุณหภูมิ  $T_m$  [ Billmeyer, 1984]

การนำความร้อน (Thermal Conductivity) เป็นดัชนีที่บอกความยากง่ายในการถ่ายเทความร้อนการนำความร้อนเป็นสมบัติที่ต้องพิจารณาถึงทั้งในกรณีที่ต้องการใช้วัสดุที่ถ่ายเทความร้อนได้ดี และในกรณีที่ต้องการเก็บความร้อนไว้ไม่ให้ถ่ายเทสูญเสียไป

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Linear coefficient of expansion) เป็น ดัชนีใช้บอกความมากน้อยของการขยายตัวของของแข็งคือ ของวัสดุ ตามปกติวัสดุที่มีจุดหลอมตัวต่ำมักมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นมากกว่าพวกที่มีจุดหลอมตัวสูง การขยายตัวของวัสดุเป็นข้อมูลที่ควรคำนึงถึงในช่วงการเลือกใช้วัสดุ โดยเฉพาะเป็นกรณีที่มีวัสดุต่างชนิดยึดติดอยู่ด้วยกันในที่อุณหภูมิสูง ความแตกต่างในการขยายตัวของวัสดุก่อให้เกิดเครียดภายในเนื้อวัสดุ ในบางกรณีเครียดที่เกิดขึ้นอาจมีความรุนแรงมากจนทำให้เกิดการแตกร้าวในเนื้อวัสดุได้ ปัญหาลักษณะนี้มักมีความรุนแรงมากเมื่ออุณหภูมิใช้งานขึ้นๆ ลงๆ สลับกันอยู่เสมอ เพราะฉะนั้นจึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียงกันมากที่สุดไว้ใช้งาน ในที่อุณหภูมิสูง แต่ในกรณีที่ต้องใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่างกันมากมายึดติดอยู่ด้วยกัน ก็ต้องบรรเทาความรุนแรงของปัญหานี้ด้วยการเลือกวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวอยู่ระหว่างวัสดุหลักทั้งสองมาคั่นกลาง



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจำเพาะ กับอุณหภูมิ  
กรณี A เป็นพอลิเมอร์อ่อนฐาน และ B เป็นพอลิเมอร์แข็งผลึก

ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางกล โดยทั่วไป ซีลด์สเตรสและเทนไซลด์สเตรสจะลดลงเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น ส่วนความเหนียวของวัสดุเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง วัสดุส่วนมากจะมีความเหนียวลดลงแลความเปราะแตกหักง่ายจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางด้านความเหนียวเปราะจะเฉียบพลันและรุนแรงในช่วงอุณหภูมิประมาณต่ำกว่าจุดน้ำแข็งเป็นส่วนมาก ความเหนียวที่ลดลงวัดได้จากค่าพลังงานการกระแทก (Impact Energy) ที่ลดลง ประเด็นที่สำคัญที่ต้องการกล่าวในที่นี้คือ ในการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม วิศวกรจำเป็นต้องเลือกใช้ค่าความแข็งแรงที่ถูกต้องกับอุณหภูมิที่ใช้งาน

#### 3.4.4 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

การนำไฟฟ้าของวัสดุเกิดจากการไหลของตัวพาประจุ (Charge Carriers) ที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุ ตัวพาประจุในวัสดุของแข็ง ได้แก่ อิเล็กตรอน เช่นในวัสดุจำพวกโลหะ, โพลีทีฟโฮล (Positive holes) เช่นในวัสดุกึ่งตัวนำ, และอนุภาคที่มีประจุ (Ions) เช่น ในวัสดุเซรามิก ในจำนวนนี้ตัวพาประจุที่ดีและมีความสำคัญมากที่สุด คือ อิเล็กตรอน ในวัสดุจำพวกแก้วและ

พลาสติกนั้นอิเล็กทรอนิกส์ตัวนอกยึดติดกับอะตอมหรือโมเลกุล และไม่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่เลย ดังนั้น วัสดุจำพวกนี้จึงไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ วัสดุพวกนี้จึงเป็นฉนวนไฟฟ้า วัสดุที่ถูกจัดในกลุ่มฉนวนไฟฟ้า ได้แก่ วัสดุที่เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าขนาดไม่มากนักจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมาก จนในทางปฏิบัติถือว่าไม่นำไฟฟ้า แต่ถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าขนาดสูงมากๆ ความเป็นฉนวนไฟฟ้าก็จะถูกทำลายไป แล้วยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ ขนาดของสนามไฟฟ้าที่พอดีทำให้ฉนวนไฟฟ้ากลายเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ เรียกว่า ไดอิเล็กทริกสเตร็ง (Dielectric Strength) วัสดุพวกฉนวนไฟฟ้าเรียกอีกอย่างว่า วัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric Materials) หรือเรียกสั้นๆ ว่า ไดอิเล็กทริก (Dielectric) เพราะตัวพาไฟฟ้าและ/หรือโมเลกุลที่อยู่ในเนื้อวัสดุพวกนี้สามารถปรับการเรียงตัวเพื่อตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าที่กระทำมันอยู่ ยกตัวอย่างเช่น สนามไฟฟ้าระหว่างหน้าทั้งสองของตัวเก็บประจุแต่เราจะเรียกว่า คาปาซิเตอร์ (Capacitor) ผลที่ตามมาก็คือ ถ้าหากสอดวัสดุไดอิเล็กทริกเข้าระหว่างผิวหน้าเก็บประจุทั้งสองของคาปาซิเตอร์แล้ว ไดอิเล็กทริกจะเพิ่มความสามารถในการเก็บประจุ (Charge-storing capacity) ของคาปาซิเตอร์ตัวนั้น เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีไดอิเล็กทริกอยู่ระหว่างกลาง ค่านี้ที่วัดผลของไดอิเล็กทริกที่มีต่อความสามารถในการเก็บประจุของคาปาซิเตอร์เรียกว่า ไดอิเล็กทริกคอนสแตนต์ (Dielectric constants) ซึ่งก็คือ อัตราส่วนระหว่างเพอร์มิตทิวิตี (Permittivity) ของไดอิเล็กทริกต่อค่าเดียวกันนี้ของสูญญากาศ

### 3.4.5 สมบัติด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Properties)

การละลายของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปพอลิเมอร์พวกเทอร์โมพลาสติกสามารถละลายในตัวทำละลายได้ช้าๆ และมีสองลักษณะคือ ในกรณีแรกโมเลกุลของตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปในพอลิเมอร์ทำให้มีลักษณะพองตัวขึ้น ขนาดของพอลิเมอร์จะใหญ่ขึ้น กรณีนี้พอลิเมอร์ต้องมีแรงดึงระหว่างสายโซ่โมเลกุลสูง ซึ่งอาจเป็นโครงร่างแห หรือร่างตาข่าย มีความเป็นผลึกสูง หรืออาจมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง การละลายในลักษณะที่สองคือ ถ้าแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มากกว่าแรงดึงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ก็จะเกิดสารละลาย หมายความว่า กรณีแรกเกิดเพียงพองตัวขึ้นแต่ไม่เป็นสารละลาย ส่วนกรณีที่สองจึงจะเกิดสารละลาย ความสามารถการละลายของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับขนาด น้ำหนักโมเลกุลซึ่งจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายด้วย การละลายของพอลิเมอร์ค่อนข้างจะซับซ้อนกว่าการละลายของสารโมเลกุลเล็ก เราอาจจะพบคำว่า ตัวทำละลายที่ดี กับตัวทำละลายที่ไม่ดี ถ้าตัวทำละลายที่ดีจะละลายได้มาก และเร็วกว่าตัวทำละลายที่ไม่ดี กรณีตัวทำละลายที่ไม่ดีถ้าเพิ่ม

อุณหภูมิให้สูงขึ้น การละลายจะดีขึ้น เรามักจะพบว่า ตัวทำละลายบางชนิดเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์บางชนิดโดยเฉพาะ เช่น ตัวทำละลายพวกอะโรมาติกเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์พวกอะโรมาติก ตัวอย่างพอลิสไตรีนจะละลายได้ดีในโทลูอีน แต่ถ้าเป็นพอลิไอโซบิวทีนเอาไปละลายในโทลูอีน จะไม่ค่อยละลาย หรือละลายได้น้อยมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าตัวทำละลายพวกไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง เช่น ไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวแทนตัวทำละลายที่ไม่ดี