

โพลียูรีเทน

(POLYURETHANE)

โดย อาจารย์ บุญทันใจ

พลาสติกหรือโพลีเมอร์ ในปัจจุบันกำลังเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และมีอยู่มากมายหลายชนิดแทบจะนับไม่ถ้วน ในปัจจุบันนี้มีพลาสติกอยู่ชนิดหนึ่งที่เพิ่งเริ่มใช้ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง โพลีเมอร์นั้นชื่อเรียกว่า polyurethane (โพลียูรีเทน) เป็น condensation polymer ที่ถูกค้นพบโดยนาย Otto Bayer (ออตโต เบเยอร์) ของบริษัท Farbenfabriken Bayer ในเยอรมัน โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง polyfunctional alcohol (อัลกอฮอล์ที่มีบอนด์เชื่อมมากกว่าสองบอนด์) และ isocyanate (ไอซัยนเอต) และต่อมาโพลีเมอร์ชนิดนี้ถูกผลิตขึ้นมาในลักษณะที่เป็นเซลล์เพื่อใช้เป็นเป็นฟองน้อนนๆ สำหรับทำเฟอร์นิเจอร์ ถ้าถูกผลิตออกมาในลักษณะที่เป็นเซลล์แข็งก็ใช้เป็นฉนวนความร้อนได้ดี สำหรับตู้เย็นหรือตู้กัก ทั้งยังใช้เสริมในโครงสร้างที่โปร่งได้ช่วยงานที่โพลียูรีเทนถูกนำไปใช้มีมากมาย ซึ่งเราจะได้กล่าวถึงต่อไปก่อนอื่นเราควรรู้จักกับกระบวนการผลิตโพลียูรีเทน

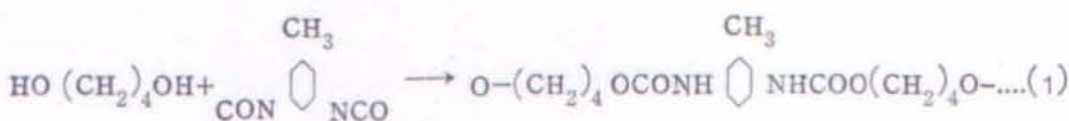
กระบวนการผลิตโพลียูรีเทน

1. โพลียูรีเทน (thermosetting polyurethane) โพลียูรีเทนเป็นโพลี-

เมอร์ที่ประกอบขึ้นมาจากกรุปเมอร์ที่เป็น $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ | \quad || \\ -\text{N}-\text{C}-\text{O}- \end{array}$ ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยปฏิกิริยาคังต่อไปนี้ ที่ต้องมี diisocyanate กับ diol (glycol)



ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ butane diol กับ toluene diisocyanate ก็จะได้



butane diol

diisocyanate

polyurethane

โพลิเมอร์ที่ได้จะเป็นโพลิเมอร์ลูกโซ่หรือโพลิเมอร์แบบเป็นโครง ทั้งขึ้นอยู่กับจำนวน functionality (จำนวนบอนด์สำหรับเชื่อมต่อ) ที่มีอยู่ของตัวทำปฏิกิริยา โพลิเมอร์ชนิดนี้เป็นเทอร์โมพลาสติก (พลาสติกแข็ง) ใช้สำหรับทำแปรง (bristle) แผ่นฟิล์ม หรือเส้นใย

2. โพลียูรีเทน อีลาสโตเมอร์ (polyurethane elastomer) โพลียูรีเทนที่มีลักษณะเหมือนกัน มีกรรมวิธีในการผลิตที่หลายขั้นตอน กล่าวคือในขั้นต้นต้องมีสารกึ่งกลาง (basic intermediate) ก่อน ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ (1000-2000) และมีปลายที่เป็นกรุปไฮดรอกซิล (-OH) (หรือ polyol) คือเป็นโพลิเอสเทอร์ที่ได้จาก เอธิลีนไกลคอล และกรดเอดิก (adipic acid) หรือโพลิอีเธอร์ หรือโพลิเอสเทอร์ผสมกับโพลิเอไมด์ (เราจะให้สัญลักษณ์ว่า B) สารนี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนต (diisocyanate) อย่างเช่น 4,4-diisocyanatodiphenylmethane, 4,4-benzidine diisocyanate, 1,5-naphthalene diisocyanate และ 2,4-toluene diisocyanate ตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้ 2,4-toluene diisocyanate ทำปฏิกิริยากับ basic intermediate เราจะได้ดังนี้ prepolymer ดังนี้

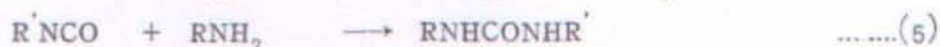
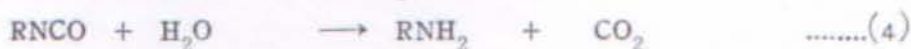


ต่อจากนั้น โพลียูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ก็จะถูก vulcanized (เป็นการเชื่อมระหว่างลูกโซ่ของยูรีเทน) โดยให้ทำปฏิกิริยากับไกลคอล, diamines, di acids หรือ amino alcohols

3. โพลียูรีเทนโฟม (polyurethane foam) สำหรับโพลียูรีเทนที่เป็นโฟมนั้น ก็ยังใช้ไดไอโซไซนาตทำปฏิกิริยากับไกลคอลเช่นเดียวกัน หากแต่ว่ากรุปไฮโซไซนาตที่มีอยู่เกินไปในโพลิเมอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือ carboxylic acid เพื่อทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น สำหรับเป้าให้เกิดโฟม ในขณะที่มีการเชื่อมระหว่างโซ่โพลิเมอร์เกิดขึ้น หรืออาจใช้ก๊าซที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ อย่างเช่น freon (ฟรียอน) ไปเบ้าแทนก็ได้ กรรมวิธีในการผลิตที่หลายขั้นตอนเช่นเกี่ยวกับการผลิตอีลาสโตเมอร์ กล่าวคือในขั้นต้น เราจะมี basic intermediate ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 ซึ่ง

เป็นโพลีเอเธอร์ที่ทำจาก poly (1,4-butylene glycol), sorbitol polyethers ถ้าต้องการโฟมยืดหยุ่น (ฟองน้ำ) สารกึ่งกลางมักต้องมีบอนด์ที่ก่อให้เกิดสองบอนด์ (bifunctional) และถ้าต้องการโฟมแข็ง (rigid foam) ก็ต้องใช้สารกึ่งกลางที่มีบอนด์ต่อมากกว่าหนึ่งขึ้นไป (polyfunctional)

ต่อจากนั้นสารกึ่งกลางมักจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับ aromatic diisocyanate (มีวงเบนซีน) เช่นเคย ซึ่งตามธรรมชาติแล้วก็เป็น toluene diisocyanate เพื่อจะได้ prepolymer ขึ้นมาหลาย ๆ กันกับของโพลีเอเธเรน อีลาสโตเมอร์ การเติมสารกาทาลิสต์ที่เป็น tertiary amine หรือเกลือของดีบุกเข้าไปจะทำให้ได้โฟมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเชื่อมระหว่างโซ่จะเกิดขึ้นตรงส่วนที่เป็นเอมีน (RNH_2) ดังนี้



การเติมของของเหลวที่มีจุดหลอมเหลวต่ำอย่างเช่นสารจำพวก fluorochloro-carbon (บางครั้งเรียก freon อย่างเช่น ฟรีออน-11 CCl_3F มีจุดเดือดที่ 24°C) ไปเป็นสารเป่า (blowing agent) จะทำให้คุณสมบัติของการเป็นฉนวนความร้อนของโฟมเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้กับตู้เย็น และเติมช่องว่างในงานก่อสร้าง ในการผลิตโฟมเช่นนี้ สารกึ่งกลางหรือโพลีโอล (polyol) จะมีกาทาลิสต์และ surfactant (สารสำหรับควบคุมขนาดเซลล์ โดยมากแล้วจะเป็นซิลิโคนโพลีเมอร์ หรือโพลีไกลโคโคน) ผสมอยู่ ส่วนไดไอโซไซยาเนต และฟรีออน ก็จะถูกเก็บไว้ต่างหากอย่างละถึงเก็บ เมื่อต้องการผลิตโฟม ส่วนผสมทั้งสามนี้ก็จะถูกรับมาที่หัวฉีด ซึ่งทำหน้าที่ผสมด้วย ตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ และปล่อยออกมาตามจำนวนที่ต้องการ แล้วโฟมก็จะเกิดขึ้นหลังจากที่ถูกละลายออกมาจากหัวฉีด (ความหนาแน่นเฉลี่ยของโฟมจะเปลี่ยนไปตามความดันที่กดลงไปเมื่อโฟมขยายตัว ตามธรรมชาติแล้วจะมีค่าได้ตั้งแต่ $20-40 \text{ กก./ม}^3$) ได้ฉนวนความร้อนที่ดีมาก เมื่อเทียบกับฉนวนอย่างเช่น โยแก้ว ขี้เลื่อย โพลิสไตรีน โฟม

โพลียูรีเทนชนิดต่าง ๆ และคุณสมบัติ

โพลียูรีเทนโดยทั่วไปแล้ว มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี คือมี แรงดึงสูง ทนทานต่อการฉีกและการสึกกร่อน รับแรงกระแทกได้ดี แต่ทนต่อไอน้ำและอุณหภูมิสูงได้ไม่

คือยก็ ทนต่อการออกซิเดชันได้ดีพอสมควร ความทนทานต่อสารตัวทำละลายเปลี่ยนไป ตามชนิดของตัวทำละลาย กล่าวคือ จะทนต่อตัวทำละลายที่เป็น aromatic (มีวงเบนซีน) แต่จะถูกกัดโดยพวกอีโธเน และไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีน

1. โพลียูรีเทนอีลาสโตเมอร์ มีความทนต่อการสึกกร่อนมาก และมีความแข็งแรงมาก บิดงอได้ดี ทนต่อจารบี น้ำมัน และสารตัวทำละลาย ใช้ทำเป็นยางล้อรถแบบตัน ลูกกลิ้งต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม ไดอะแฟรม แผ่นปะเก็น และ sealing rings นอกจากนี้แล้ว ยังใช้อุดรูรั่วได้ เชื่อมก็ได้ เมื่อขายเป็นแบบสองกล่อง สำหรับให้ผู้ผสมใช้เองคุณสมบัติอาจถูกทำให้เปลี่ยนแปลงได้โดยการใส่สารเติม (filler) เติมลงไปในส่วนที่มีกรุปไฮดรอกซิล (polyol)

2. เส้นใยโพลียูรีเทน (polyurethane fibre) มีความยืดหยุ่นสูงใช้สำหรับทำผ้าห่มหนาเบ้า และชุดอาบน้ำ เพื่อความยืดหยุ่น ใช้แทนเส้นด้าย ยางลาเท็กซ์

3. ผิวเคลือบ (coatings) ผิวเคลือบที่มีโพลียูรีเทนเป็นสารหลักมีความทนทานต่อการสึกกร่อนและการกัดของสารตัวทำละลายมาก พร้อมๆกับความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี และทนต่อการบิดงอได้ดีด้วย ผิวเคลือบนี้ใส่ได้ด้วยการชุบ การพ่น หรือทาด้วยแปรงและคัตบนผิวของวัสดุฐานได้หลายชนิด ใช้ได้ดีสำหรับงานที่ต้องการผิวที่มีความทนต่อการสึกกร่อน และแรงกระแทกได้ค่อนข้างดี อย่างเช่น พื้นยิมเนเซียม พื้นห้องเต้นรำ ผิวลวดม้วน แม่เหล็ก โบว์ลิงพิน และทาภายนอกกับทาผิวเรือ เพราะมีความทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศมาก

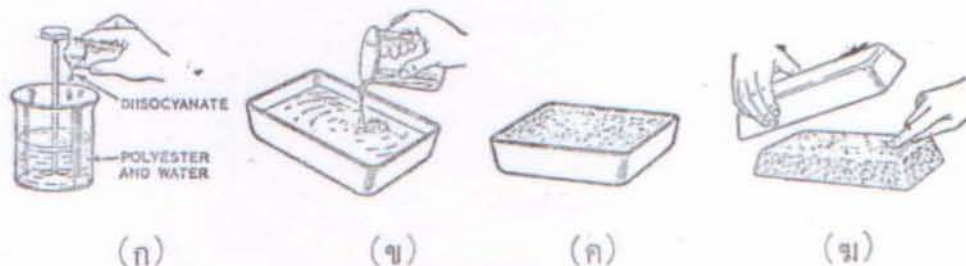
4. Poromerics เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นสองชั้น มีโพลียูรีเทนเป็นสารหลัก กำลังเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในรูปของวัสดุที่เหมือนกับหนังสัตว์ ใช้สำหรับทำรองเท้า วัสดุเช่นนี้มีฐานรองรับที่เป็นเส้นใยของ poly (ethyleneterephthalate) แล้วมีโพลียูรีเทนที่พ่นแทรกซึมอยู่ทั่วเพื่อเชื่อมเส้นใยเป็นแผ่นต่อจากนั้นก็จะถูกเคลือบด้วยผิวที่ไอซึมซาบผ่านได้ เป็นผิวโพลียูรีเทนที่มีโพลิไวนิลคลอไรด์ปนอยู่เล็กน้อย

5. โพลียูรีเทนโฟมอ่อน (ฟองน้ำ-flexible polyurethane foam) ใช้สำหรับบุในเฟอร์นิเจอร์ และที่นั่งในรถยนต์ นิยมใช้แทนฟองน้ำยางเพราะมีความแข็งแรงดีกว่า มีความหนาแน่นต่ำกว่า ติดตั้งได้ง่ายกว่า มักจะถูกผลิตโดยใช้วิธี one shot process คือ โพลีอีเธอร์ intermediate, toluene diisocyanate และคาทาไลสต์ จะถูก

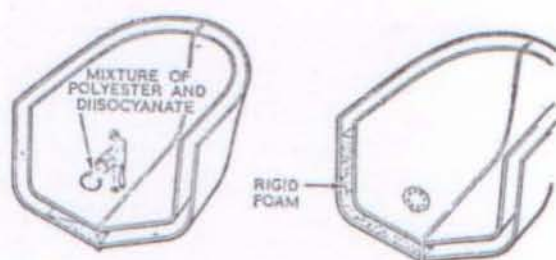
ผสมก่อนการทำโฟม มักจะถูกผลิตออกมาเป็นแผ่นหนายาวติดต่อกัน กว้างเกือบ 3 เมตร และยาวประมาณหนึ่งเมตร แล้วตัดเป็นท่อนยาวจาก 3 ถึง 20 เมตร หลังจากปล่อยให้ มีเวลา curing จาก 10 ถึง 24 ชั่วโมง ก็นำไปใช้ได้ โฟมเช่นนี้อาจหล่อเป็นรูปร่างเลย ก็ได้ ทั้งมีและไม่มีความร้อนให้จากภายนอก

6. โพลียูรีเทนโฟมแข็ง (rigid polyurethane foam) โฟมแข็งรับแรงอัดได้ดี นำไปใช้เสริมในโครงสร้างที่มีช่องว่างภายในและเพิ่มน้ำหนักน้อยมาก อีกทั้งยังมีเซลล์ปิด ที่เป็นฉนวนความร้อนที่ดีมาก เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นโฟมในช่องว่างจะติดผิวได้ดีมาก ทนต่อน้ำมัน น้ำมันกรดและด่างน้ำหนักน้อยมาก คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้โฟมแข็งประเภทนี้เป็นประโยชน์มาก สำหรับงานก่อสร้าง ฉนวนความร้อนในตู้เย็น และช่วยให้เริ่มสภาพการลอยตัวขึ้น โดยเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างโครงนอกกับโครงภายในของเรือ อีกทั้งยังใช้เสริมในปีกของเครื่องบินได้ด้วย

ตู้เย็นที่โพลียูรีเทนโฟมเป็นฉนวน เมื่อเทียบกับตู้เย็นที่ใช้ฉนวนความร้อนชนิดอื่น อย่างเช่น เส้นใยแก้ว แล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่า เพราะโพลียูรีเทนได้เข้าไปเสริมในช่องว่างระหว่างตู้ส่วนนอกและส่วนในของตู้เย็น อีกทั้งโฟมชนิดนี้เป็นฉนวนที่ดีกว่าจึงไม่จำเป็นต้องมีความหนาแน่นนักก็จะกันความร้อนได้เท่ากัน จึงทำให้ตู้เย็นมีขนาดเล็กลงสำหรับปริมาตรเท่ากัน ข้อเสียก็มีตรงที่ว่า ถ้าตู้ส่วนในเกิดแตกขึ้นมา (เพราะตามธรรมชาติแล้วจะเป็นพลาสติก) การเปลี่ยนตู้ส่วนในใหม่ ทำได้ลำบากมาก เพราะต้องแกะเอาโฟมเก่าออกให้หมดก่อนที่จะเทโฟมใหม่ได้



รูป 1. (ก) ไดไอโซไซยาเนต ถูกผสมกับโพลีเอสเตอร์ และน้ำ (ข) แล้วส่วนผสมนี้จะถูกเทลงไปในถาดหรือแบบ (ค) ขณะที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้น ทำให้ส่วนผสมลอยขึ้นมามีฟอง (ง) แล้วเมื่อโพลีเอสเตอร์ถูกเชื่อมด้วยไดไอโซไซยาเนต โฟมก็จะแข็งตัว โฟมนี้อาจจะเป็นโฟมแข็งหรือนิ่ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุเริ่มต้นที่ใช้



รูป 2. โพลียูรีเทนแข็ง เมื่อนำไปใช้สำหรับเติมช่องว่างระหว่างเรือที่มีโครงสองชั้น ส่วนผสมของโพลีเอสเตอร์และไดไอโซไซยาเนตจะถูกเทลงไปในช่องว่าง สารทั้งสองจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดโฟม เติมช่องว่าง แล้วแข็งตัวเป็นโฟมแข็งเสริมในและเป็นฉนวนให้กับเรือ

ตาราง 1 สภาพการนำความร้อน 'k' ของฉนวนบางชนิด

(ที่อุณหภูมิ 24°C มีหน่วยเป็น watts/metre °K)

ฝ้ายอัดแน่น	0.072
ขี้เลื่อย	0.052
ไม้ก๊อก (cork)	0.040
โพลิสไตรีนโฟม	0.038
ใยแก้ว	0.033
โพลียูรีเทนโฟม ที่ถูกเป่าด้วย CO ₂	0.033
โพลียูรีเทนโฟม ที่ถูกเป่าด้วยฟรีย้อน 11	0.017

$$1 \text{ watt/metre } ^\circ\text{K} = 6.935 \text{ Btu-in/hr ft}^2 ^\circ\text{F}$$

บรรณานุกรม

1. F.W. Billmeyer "Textbook of Polymer Science" Wiley & Sons, 2nd Ed., 1971.

2. L.W. Chubb "Plastics, Rubbers and Fibres, Materials for man's use",
Pan Books Ltd., 1976.
3. J. Gordon Cook, "Your Guide to plastics," ELBS & Merrow
Publishing, 1965.
4. T.H. Ferrigno, "Rigid Plastics foams" Reinhold, 2nd Ed., 1967.