วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์เบื้องต้น

บทที่ 9 พลาสติก

Scope

- Thermoplastics
- Thermosetting Plastics
- Polymer Processing Technology

พลาสติก (Plastics) = Plastikos = ‘ซึ่งสามารถหลอมให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้’

ประเภทของพลาสติก:

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

- พอลิเมอร์แบบเส้น หรือ แบบกิ่งสั้นๆ
- เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด (viscous liquid)
- ขึ้นรูปโดยอาศัยความร้อน เมื่อเย็นตัวจะแข็งและมีรูปร่างตามต้องการ
- หลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ได้
- มอนอเมอร์มีฟังก์ชันนัลลิตี* = 2
- ข้อจำกัด: ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

*ฟังก์ชันนัลลิตี (functionality): ตำแหน่งที่มอนอเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับมอนอเมอร์ตัวอื่นได้

สัญลักษณ์รีไซเคิล

Symbol	Acronym	Full name and uses
	PET	Polyethylene terephthalate - Fizzy drink bottles and frozen ready meal packages.
	HDPE	High-density polyethylene - Milk and washing-up liquid bottles
	PVC	Polyvinyl chloride - Food trays, cling film, bottles for squash, mineral water and shampoo.
	LDPE	Low density polyethylene - Carrier bags and bin liners.
	PP	Polypropylene - Margarine tubs, microwave-able meal trays.
	PS	Polystyrene - Yoghurt pots, foam meat or fish trays, hamburger boxes and egg cartons, vending cups, plastic cutlery, protective packaging for electronic goods and toys.
	Other	Any other plastics that do not fall into any of the above categories. For example melamine, often used in plastic plates and cups.

http://www.recyclewithore.com/tag/codes/

2. เทอร์โมเซตติ้งพลาสติกหรือเทอร์โมเซต

(Thermosetting plastics or thermoset)

- พอลิเมอร์แบบร่างแห (crosslinking polymer)
- ขึ้นรูปโดยทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและ crosslink เพียงบางส่วนก่อน (ได้โมเลกุลขนาดเล็ก) แล้วจึงนำไปให้ความร้อนและความดัน เพื่อให้หลอมเหลวและไหลเข้าสู่แม่แบบ (mold)
- เมื่อคงอุณภูมิไว้ 200 – 300°C การ crosslink จะเกิดขึ้นภายใน mold
- ผลิตภัณฑ์แข็งตัวใน mold ขณะร้อน
- เมื่อได้รับความร้อนซ้ำจะไม่อ่อนตัวหรือหลอมเหลว
- หลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ไม่ได้
- มอนอเมอร์มีฟังก์ชันนัลลิตี > 2
- ใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่อ่อนตัว

ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับเทอร์โมเซต

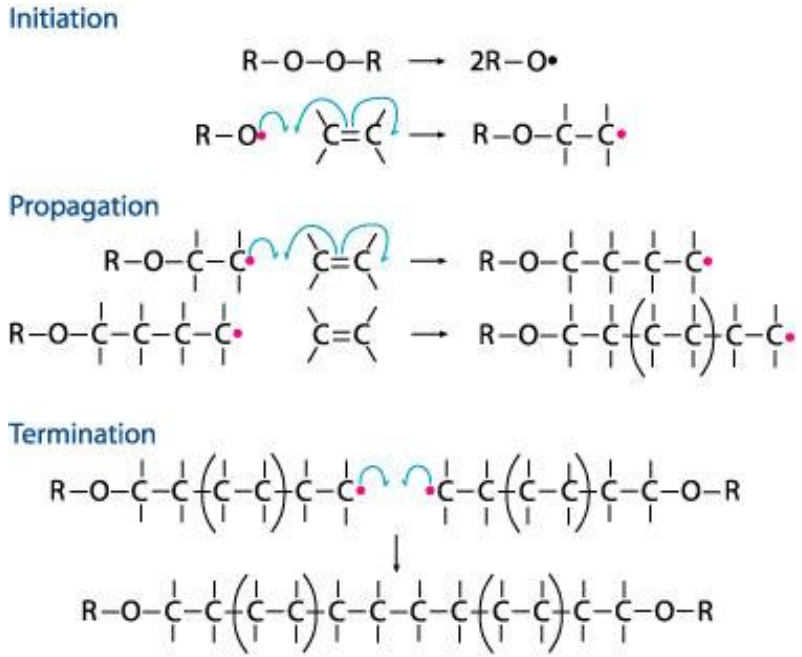
Thermoplastics	Thermosets
- มอนอเมอร์มีฟังก์ชันนัลลิตี = 2 - เป็นพอลิเมอร์แบบเส้น หรือ แบบกิ่งสั้นๆ - อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน - ต้องทำให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ - ไม่เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่แบบ - นำกลับมารีไซเคิลได้	- มอนอเมอร์อย่างน้อย 1 ชนิด มีฟังก์ชันนัลลิตี > 2 - เป็นพอลิเมอร์แบบร่างแห - แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน และสลายตัวที่อุณหภูมิสูง - ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ - เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและ crosslink ในแม่แบบ - รีไซเคิลด้วยการหลอมเหลว<u>ไม่ได้</u>

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

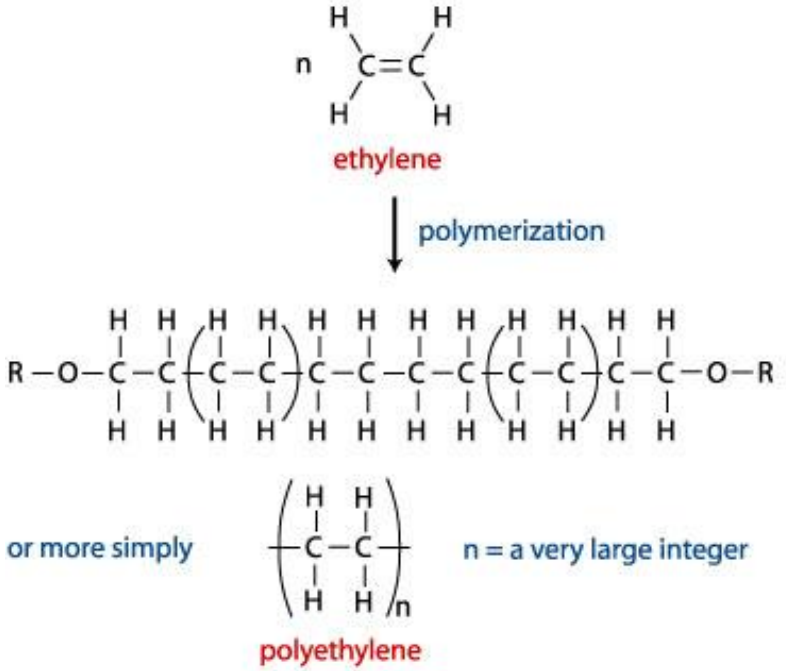
1. Polyethylene (PE)

- มีปริมาณการใช้สูงสุด
- monomer = ethylene ($CH_2 = CH_2$)
- เกิดปฏิกิริยา Addition polymerization

Addition polymerization



Polyethylene



http://preparatorychemistry.com/Bishop_Addition_Polymers.htm

1.1 Low-density Polyethylene (LDPE)

LDPE

- ความหนาแน่น 0.91 – 0.92 g/cm^3
- T_m ประมาณ 110°C
- Crystallinity 60 – 70%
- Branch PE
- เหนียว ใส ไม่เปราะ ไม่แตกหักง่าย กันความชื้นได้ดี
- การนำไปใช้: ถุงเย็น ถุงซิป ถุงหิ้ว ขวดพลาสติก ถังพลาสติก หลอดกาแฟ ของเล่นพลาสติก ฟิล์มห่อของหรือห่ออาหาร หลอดยาสีฟัน ฉนวนหุ้มสายไฟ ภาชนะบรรจุกรด

http://www.powershow.com/view/147d20-YjM5N/Plastics_and_their_uses_powerpoint_ppt_presentation

1.2 Linear Low-density Polyethylene (LLDPE)

- Copolymer ของ ethylene กับ butane pentene หรือ hexene (4 – 10%)
- Branch PE แต่น้อยกว่าและกิ่งสั้นกว่า LDPE จึงค่อนข้างเป็น linear
- ความหนาแน่นต่ำ
- เหนียว ใส ไม่ลื่น ทนแรงกระแทกได้ดี
- การนำไปใช้: ถุงเย็น ถุงบรรจุอาหารแช่แข็ง ฟิล์มยืด ฟิล์มลามิเนต

1.3 High-density Polyethylene (HDPE)

HDPE

- ความหนาแน่น 0.94 – 0.97 g/cm^3
- T_m ประมาณ 135°C
- Crystallinity 80 – 95% (ทึบแสงมากกว่า LDPE)
- Linear PE
- ขุ่นกว่า LDPD แข็งแรง ทนต่อแรงกดได้ดี ทนต่อสารเคมีและความชื้น ก๊าซผ่านเข้าออกได้ดี
- การนำไปใช้: ขวดพลาสติก ของเล่นพลาสติก ภาชนะบรรจุเครื่องสำอางค์ ของเด็กเล่น ของใช้ในบ้าน ของใช้ในครัว ท่อ ถังน้ำ ถังน้ำมัน ถุงขยะ ถ้วยโยเกิร์ต ขวดแชมพู ขวดบรรจุน้ำผลไม้

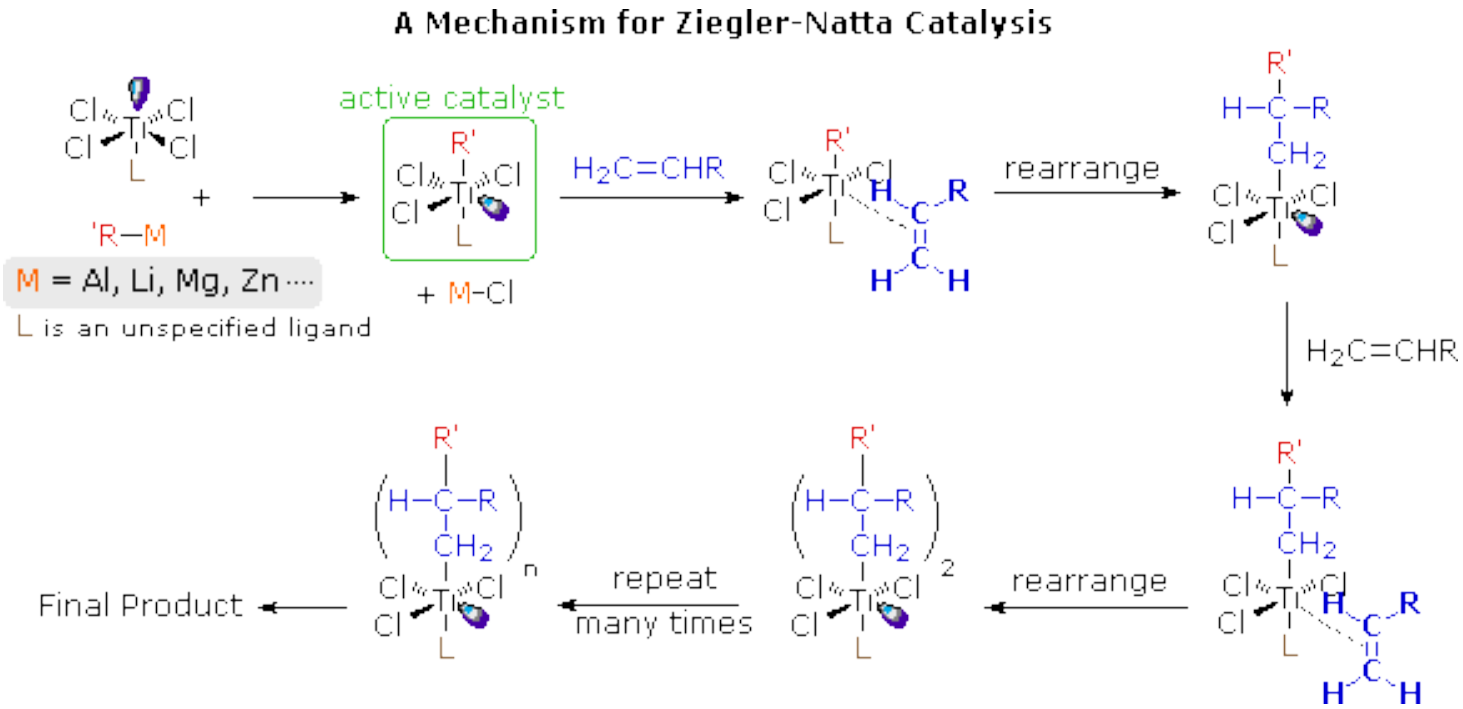
2. Polypropylene (PP)

- เตรียมจากกระบวนการซีเกลอร์ – แนตตา

  (Ziegler – Natta polymerization)

  Karl Ziegler (Germany) and Giulio Natta (Italy)

- Catalysts: metal halides with organometallic reagents such as alkyl aluminum



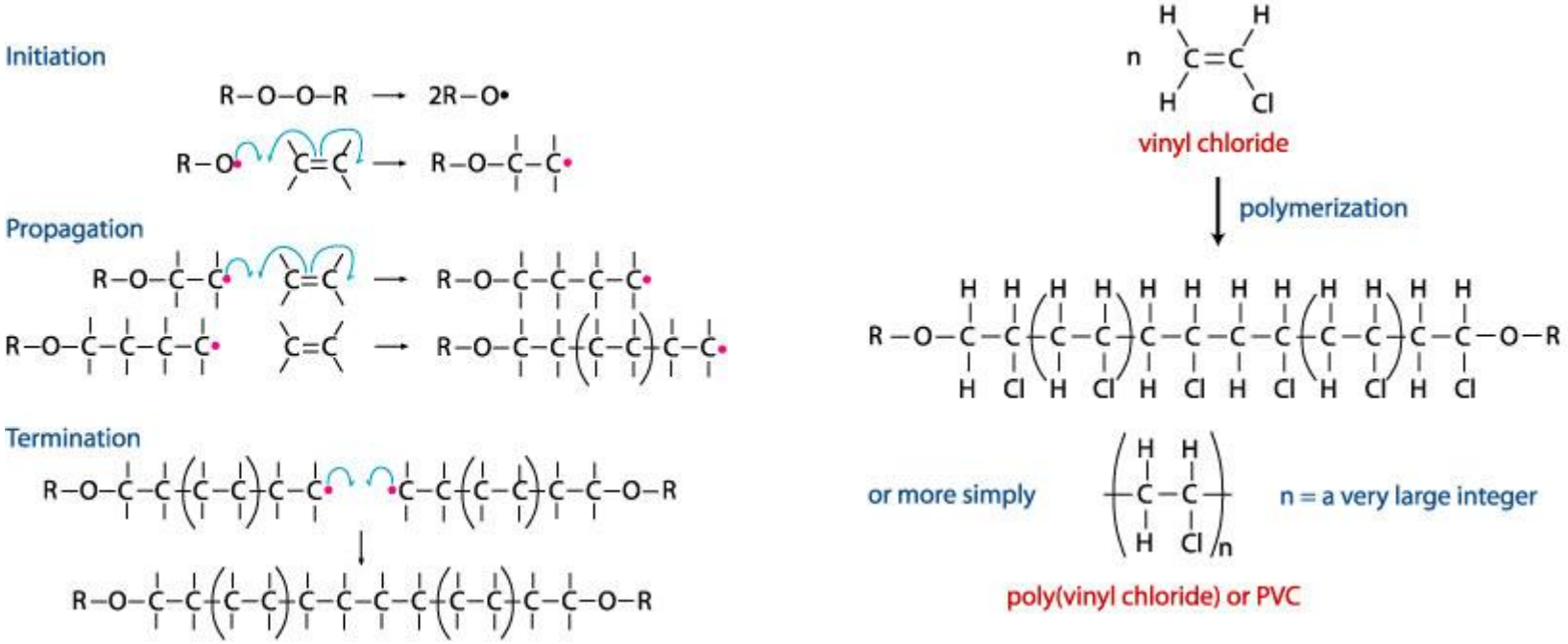
https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/polymers.htm

Polypropylene (PP)

- Isotactic 95 – 98%
- ความหนาแน่น 0.905 g/cm^3
- T_m ประมาณ 165°C
- %Crystallinity สูง
- ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140 °C (สูงกว่า PE)
- เหนียว แข็งแกร่ง ทนต่อแรงดึงและแรงกระแทกได้ดี ต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า และทนต่อสารเคมี
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่ RT แต่ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนต ที่ Temp. > 80°C
- การนำไปใช้: ถุงร้อนชนิดใส ฟิล์ม ฟิล์มห่อหุ้มอาหารชนิไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน แปรง เชือก แห อวน ไหมเทียมผ้าใบกันน้ำ ถังน้ำมัน ขวดน้ำ ซองขนม ปลอกหุ้มสายไฟและสายเคเบิ้ล

3. Polyvinylchloride (PVC)

- เตรียมจาก vinyl chloride
- เกิดปฏิกิริยา addition polymerization แบบ free – radical



http://preparatorychemistry.com/Bishop_Addition_Polymers.htm

- ในอุตสาหกรรมนิยมสังเคราะห์แบบ suspension polymerization
- โครงสร้างเป็น atactic
- % crystallinity ต่ำมาก

Polyvinylchloride (PVC)

PVC ที่ไม่ผ่านกระบวนการเติมสาร

- แข็ง เปราะ ไม่มีสี
- ความหนาแน่น ประมาณ 1.40 g/cm^3
- เมื่อติดไฟสามารถดับได้เอง
- ทนทานต่อน้ำมัน กรด ด่าง ยกเว้น คลอรีน
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- สลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความร้อนและแสงแดด

PVC ที่มีการเติมสารเติมแต่ง (plasticizer, antioxidant, UV stabilizer)

- Plasticizer ลดความเปราะ เพิ่มความอ่อนตัว

  Ex. Dioctyl phthalate (DOP) < 25% ได้ PVC แข็ง

  > 25% ได้ PVC อ่อน

Polyvinylchloride (PVC)

- การนำไปใช้: ท่อพลาสติก สายยาง กระเบื้องปูพื้น เสื่อน้ำมัน หนังเทียม สำหรับหุ้มเบาะหรือเก้าอี้ เบาะรถยนต์ กระเป๋าหนังเทียม รองเท้าเข็มขัด เสื้อกันฝน วัสดุหุ้มสายเคเบิล วัสดุหุ้มสายไฟฟ้า จานแผ่นเสียง ขวดพลาสติก ของเล่นเด็ก
- PVC ไม่เหมาะกับการบรรจุอาหาร เพราะมีการเติมสารเติมแต่งหลายชนิด ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

Garden and LP Hoses

Boat Bumpers and Irrigation Tubing

Furniture Trim

Gaskets and Moldings

Footwear

Plugs and Landscape Wiring

Garage Floor Coverings

Warehouse and Freezer Curtains

Soft PVC Products

COASTERS

PHOTO FRAME

MOBILE STRAPE

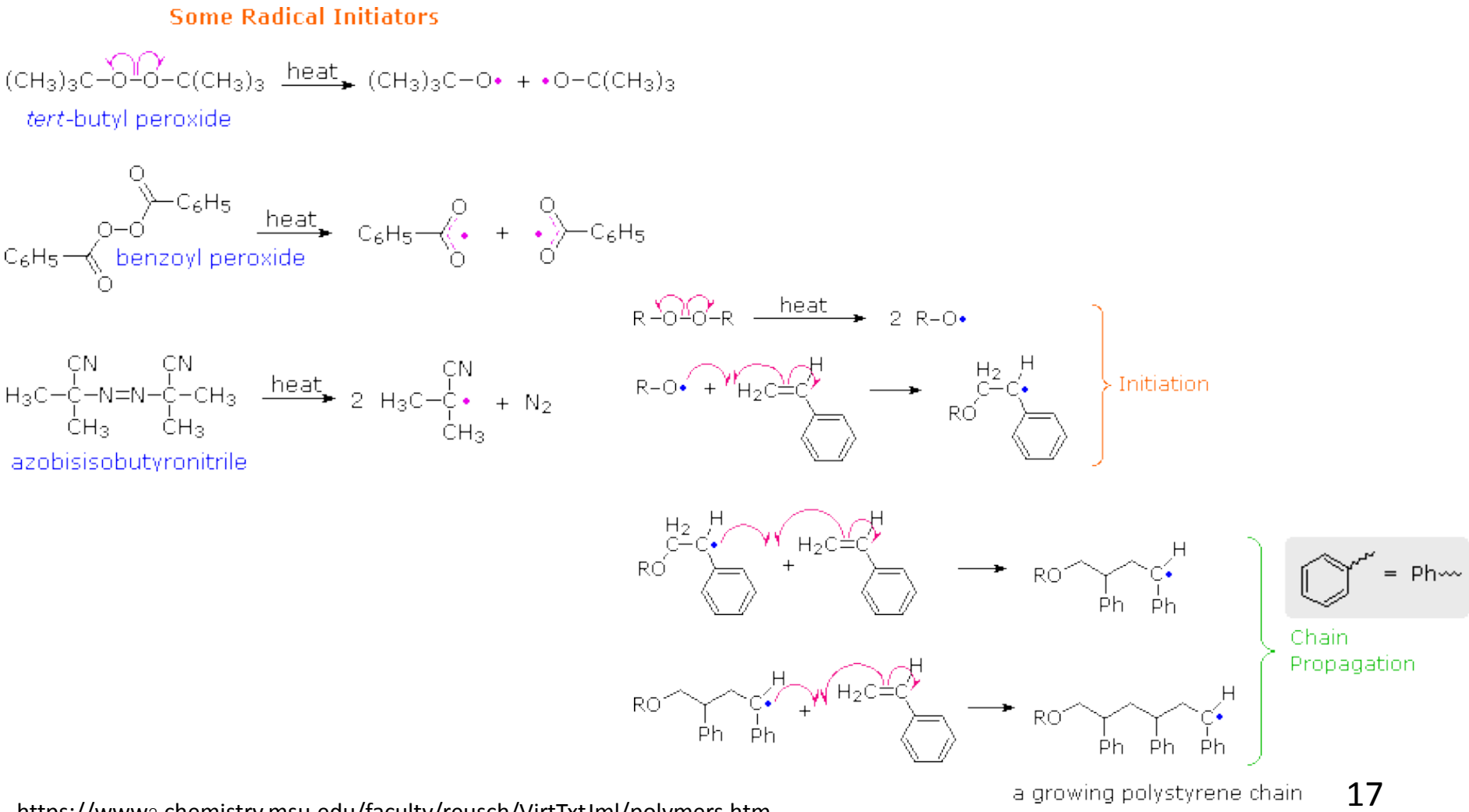
MEMO HOLDERS

PHOTO FRAME

Inflatable PVC Products

4. Polystyrene (PS)

- เตรียมจาก styrene
- เกิดปฏิกิริยา addition polymerization แบบ free – radical



https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/polymers.htm

Polystyrene (PS)

PS ที่ไม่ผ่านการเติมสารเติมแต่ง

- แข็ง เปราะ ไม่ยืดหยุ่น
- โปร่งแสง เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- เฉื่อยต่อปฏิกริยา ทนต่อกรด-เบส
- ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน โทลูอีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม
- สมบัติเชิงกลเสื่อมลงเมื่อได้รับแสงแดดหรือความร้อนเป็นเวลานานๆ

PS ทางการค้า

1. General purpose PS (GPPS)
2. PS ทนแรงกระแทก (High impact PS, HIPS) เป็น copolymer ของ styrene กับ butadiene (5%)

Polystyrene (PS)

PS ที่ผ่านการเติมสารเติมแต่ง (plasticizer, stabilizer)

- ใช้ทำเครื่องเขียน บรรทัด ด้ามปากกา
- ภาชนะบรรจุอาหาร
- ของเล่นเด็ก
- ตลับเทป ตลับวิดีโอ
- หมวกกันน๊อค
- ที่ครอบไฟหน้ารถยนต์

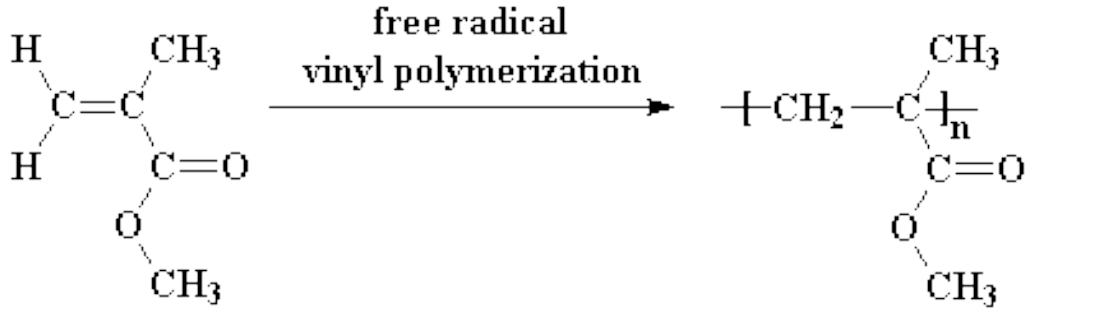
Expanded polystyrene foam (EPS)

- foaming agent ใช้ตัวทำละลายระเหยง่าย เช่น pentane hexane
- โฟมแข็งของ PS ใช้ทำฉนวนบุตู้เย็น กระติกน้ำแข็ง โฟมกันกระแทก

VDO https://www.youtube.com/watch?v=sT3-b39q1V0

5. Polymethyl methacrylate (PMMA)

- ชื่อทางการค้า: Plexiglass Lucite หรือ Perspex
- เตรียมจาก methyl mathacrylate monomer



- โครงสร้างเป็นเส้นตรง
- เป็น Amorphous
- $T_g \sim 105^{\circ}C$
- $T_m > 200^{\circ}C$
- เป็นพลาสติกโปร่งใสเหมือนแก้ว ถูกเรียกว่า แก้วอินทรีย์ (organic glass)
- แข็งแรง ทนทาน

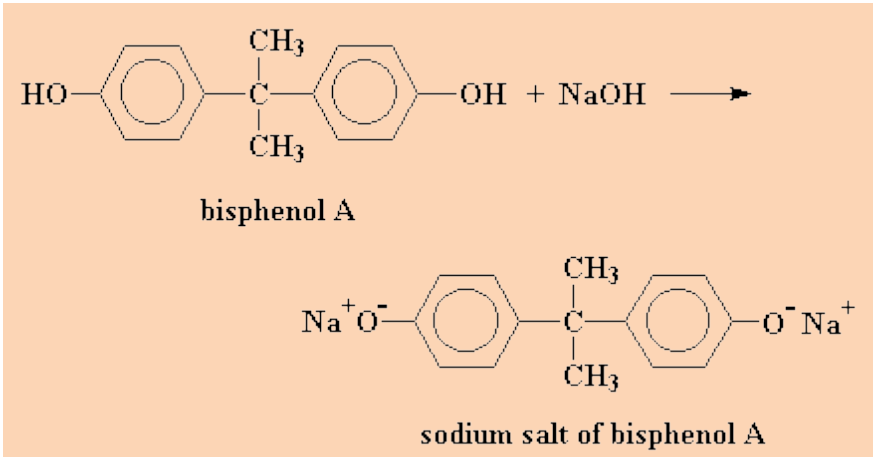
Polymethyl methacrylate (PMMA)

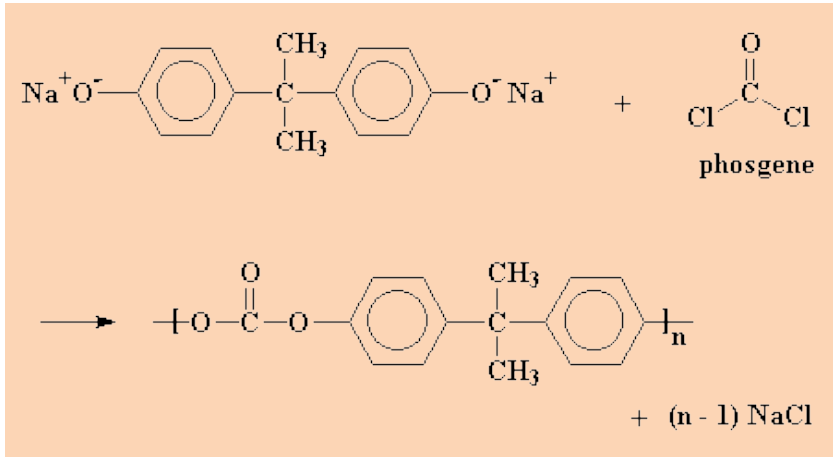
การนำไปใช้ - ใช้เป็นวัสดุแทนกระจก เช่น หน้าต่างเครื่องบิน
แผงหน้าปัดในรถยนต์ หน้าปัดนาฬิกา
ทำพลาสติกหุ้มไฟท้ายรถยนต์ ป้ายโฆษณา

6. Polycarbonate (PC)

Other

- เตรียมจากปฏิกิริยาการควบแน่น (polycondensation) ของ bisphenol-A และ phosgene ที่อุณหภูมิ 25 – 35°C และ เมทิลลีนคลอไรด์ (CH_2Cl_2) และน้ำ อยู่ด้วย





- มีความแข็งตึง (stiffness) เนื่องจากมีวงเบนซีนในโมเลกุล
- เหนียวมากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอเนตในโมเลกุล
- ทนแรงกระแทกได้สูงมากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์อื่นๆ เพราะมี -O- ในโมเลกุล ทำให้สามารถรับและกระจายพลังงานได้ดี
- เป็น Amorphous ที่มีความใสเป็นพิเศษ แต่ไม่เปราะ

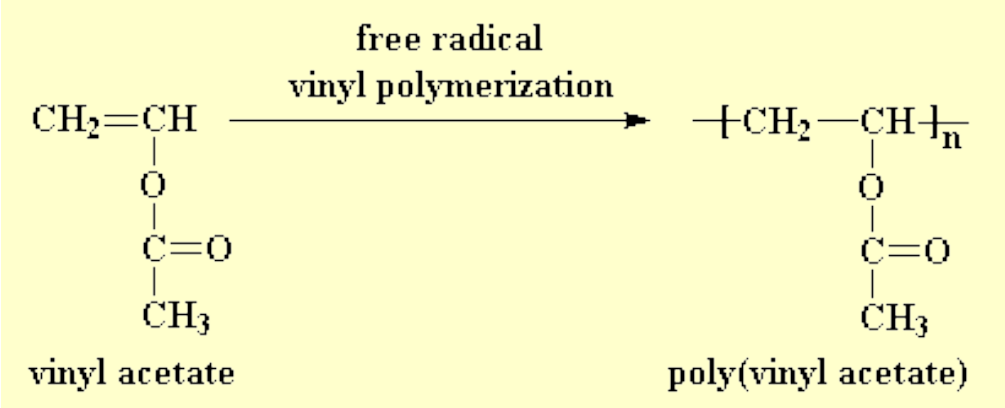
Polycarbonate (PC)

- การประยุกต์ใช้งาน: ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทำชิ้นส่วนแบตเตอรี ทำหน้าต่างกันกระสุน กระจกหน้าต่าง เลนส์ กระจกรถยนต์ ขวดนมเลี้ยงทารก แผ่นดิสก์ โคมไฟ ตัวกล้องถ่ายรูป หมวกกันน็อค

7. Polyvinyl acetate (PVAc)

Other

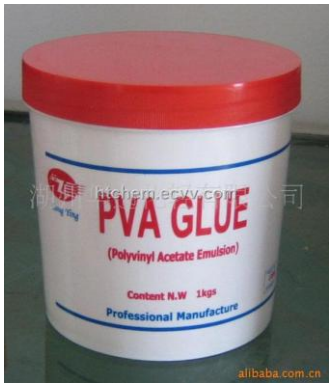
- เป็นพอลิเอสเทอร์ที่นิยมใช้ในรูปของอิมัลชัน
- เตรียมจาก vinyl acetate monomer โดยวิธี emulsion polymerization ที่อุณหภูมิ 75 – 80°C ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง
- เป็น Amorphous polymer ที่มีโครงสร้างแบบ atactic



- T_g ประมาณ 28 °C
- ที่ RT เป็นของแข็งละเหนียว
- ที่ Temp. สูงกว่า RT เล็กน้อย จะเป็นของเหลวเหนียวหนืด จึงนิยมนำมาทำหมากฝรั่ง

Polyvinyl acetate (PVAc)

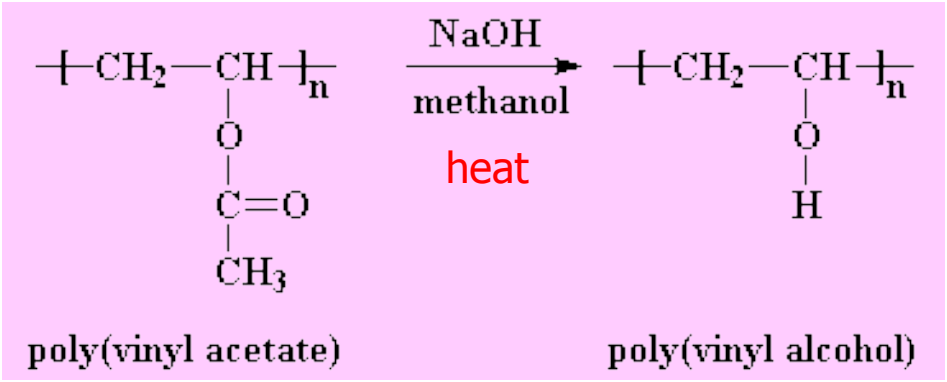
- การประยุกต์ใช้งาน: ทำหมากฝรั่ง ใช้เป็นกาวลาเท็กซ์ adhesive สีน้ำพลาสติก (water based emulsion paint or latex paint) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต PVOH



8. Polyvinyl alcohol (PVOH)

Other

- เตรียมจาก PVAc โดยวิธี alcoholysis ด้วย methanol หรือ ethanol โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดแก่หรือเบสแก่
- ใช้เบสแก่เป็นตัวเร่ง จะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่า



+ CH_3COOCH_3 (methyl acetate)

- PVOH ไม่สามารถเตรียมจาก vinyl alcohol (VA) monomer โดยตรง เพราะ VA ไม่เสถียร สามารถเกิด isomerization ไปเป็น acetaldehyde

CH_3COH ↔ $CH_2=CHOH$

Vinyl alcohol acetaldehyde

Polyvinyl alcohol (PVOH)

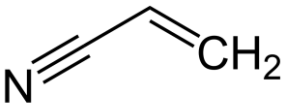
- ละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง (> 80°C)
- การใช้ประโยชน์:

1. PVOH ที่ละลายน้ำ ใช้เป็นสารเพิ่มความข้น (thickening agent) สำหรับระบบอิมัลชันและระบบแขวนลอย หรือทำกาว
2. PVOH ที่ถูกปรับสภาพทางเคมีจะไม่ละลายน้ำ
   - โดยการปั่นเปียก (wet spinning) เข้าไปในสารละลาย Na_2SO_4 เข้มข้นที่มีกรดซัลฟิวริกและฟอร์มัลดีไฮด์อยู่
   - 1 ใน 3 ของหมู่ –OH ใน PVOH จะถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ฟอร์มัลดีไฮด์ CH_2O) ซึ่งไม่ละลายน้ำ
   - ถูกนำไปใช้ในการทำเส้นใยแทนผ้าฝ้าย ซักและแห้งง่าย คงรูปร่างได้ดี

9. Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)

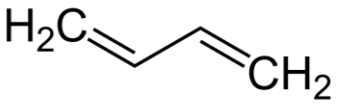
Other

- เป็น copolymer ชนิด polymer
- ประกอบด้วย acrylonitrile 20 – 30 %



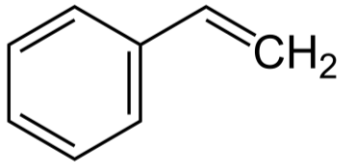
acrylonitrile

butadiene 6 – 35%



1,3-butadiene

styrene 45 – 70%



styrene

- สมบัติเด่นของแต่ละ monomer

  acrylonitrile – มีขั้ว ทำให้ทนต่อตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน และกรดบางชนิด ทนต่อสารเคมี แต่ดูดความชื้นได้ดี จึงต้องนำ ABS ไปอบก่อนขึ้นรูป

  butadiene – ยืดหยุ่นเหมือนยาง ทนแรงกระแทกได้ดี เหนียว

  styrene – แข็งตึง (stiffness) เปราะเหมือนแก้ว

- ABS จึงมีสมบัติทึบแสง เหนียว ทนแรงกระแทกและทนแรงดึงได้สูง

Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)

การผลิต ABS ทางการค้ามี 2 วิธี

1. Latex blending

- ผสม styrene-acrylonitrile copolymer (SAN plastic resin) กับ acrylonitrile-butadiene copolymer (NBR rubber) ด้วยวิธีการผสมทางกล (mechanical blend)
- จะได้ ABS ที่ทนแรงกระแทกได้สูง

2. Grafting polymerization

- ทำให้ styrene และ acrylonitrile เกิดปฏิกิริยาใน butadiene latex ที่อุณหภูมิ 50°C โดย styrene-acrylonitrile copolymer จะกราฟท์ลงบนโมเลกุลของยาง butadiene
- ABS ที่ได้ประกอบด้วย butadiene (disperse phase) กระจายตัวอยู่ใน styrene-acrylonitrile copolymer (matrix)

2. Grafting polymerization (cont.)

- butadiene ใน ABS ทำให้ได้สมบัติที่ทนแรงดึง ต้านการแตกหักหรือฉีกขาด ทนแรงกระแทก

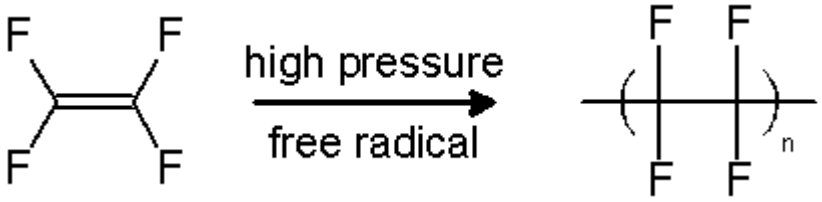
- Grafting polymerization ใช้มากกว่าแบบ latex blending

- สมบัติของ ABS ขึ้นอยู่กับปริมาณของ monomer แต่ละชนิด
- การนำไปใช้ประโยชน์: ทำตัวถังรถยนต์ ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ แผงหน้าปัดคอนโซล ทำชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ วิททยุ พัดลม ตู้เย็น ไมโครเวฟ

10. Polytetrafluoroethylene (PTFE)

Other

- ชื่อทางการค้า Teflon (Du pont), Fluon (AGC Chemical Europe Ltd.)
- เตรียมจาก fluoroethylene monomer โดยกลไกแบบ free radical เทคนิค suspension polymerization
- เป็นของแข็งสีขาว ทนความร้อนสูง
- T_m 327°C
- ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 300°C เป็นเวลานานโดยไม่เสียสภาพ
- Crystallinity > 90% (ขุ่น ทึบแสง)
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก และทนทานต่อสารเคมี



fluoroethylene PTFE

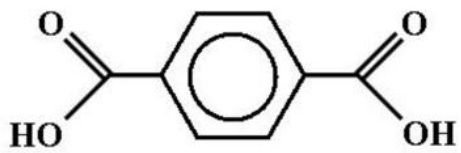
Polytetrafluoroethylene (PTFE)

- การใช้ประโยชน์: ที่หุ้มสายไฟฟ้าและสายเคเบิล ฉนวน หม้อแปลงไฟฟ้า
เทปพันเกลียว วาล์วต่างๆ
เคลือบผิวกระทะ หม้อหุงข้าว กระติกน้ำร้อน เตารีด

11. Polyethylene terepthalate, PET

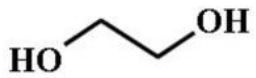
PET

Reaction pathway 1



terepthalic aic (di-acid)

+



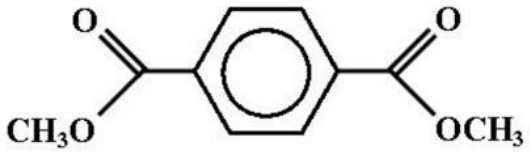
ethylene glycol (di-alcohol)

esterification

250°C, 0.4 MPa

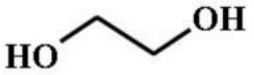
$2H_2O$

Reaction pathway 2



dimethyl terephthalate

+

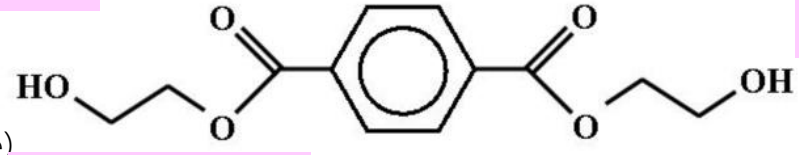


ethylene glycol

transesterification

150°C, atmosphere

$2CH_3OH$



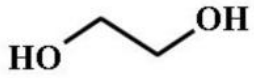
BHET

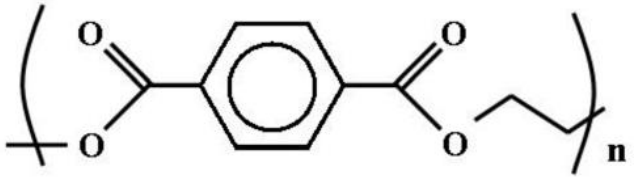
bis-(2-hydroxyethylene) terepthalate

transesterification

270-280°C

vacuum



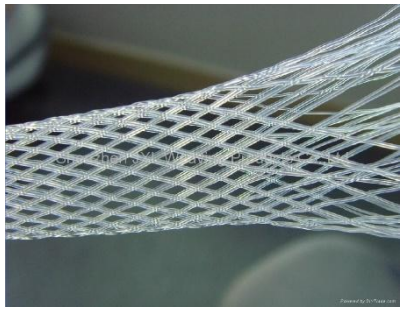


PET

http://www.mdpi.com/2073-4360/5/1/1/htm

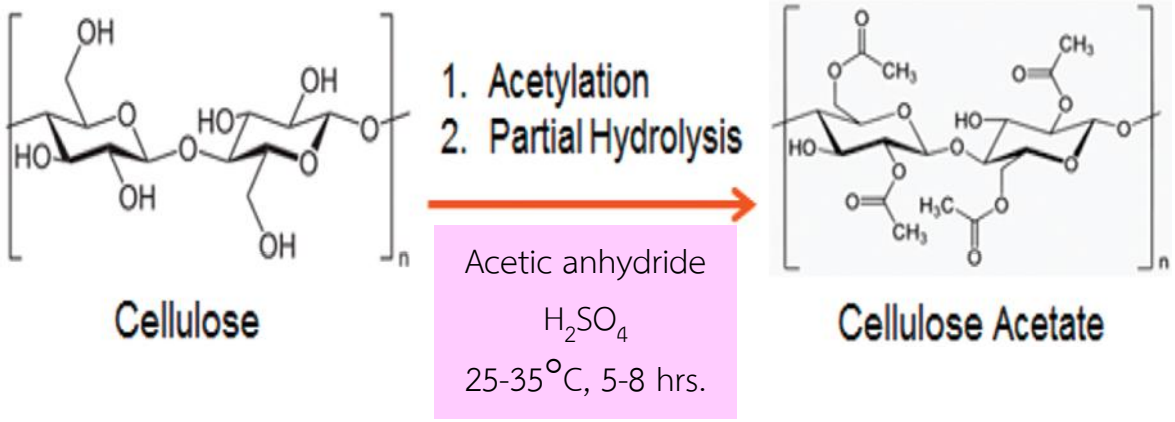
Polyethylene terephthalate

- linear polymer สามารถเกิดผลึกได้
- แข็งแกร่ง ทนทาน เหนียว ไม่เปราะ ไม่มี
- ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี
- การใช้ประโยชน์
    - ทำเส้นใน ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมันพืช
    - ฟิล์มเคลือบซองหรือภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ขนมขบเคี้ยว ถาดบรรจุอาหาร



12. Cellulose acetate (CA)

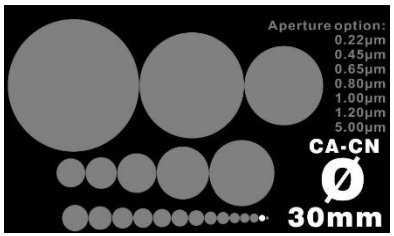
Other

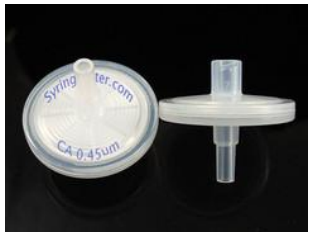


- การใช้ประโยชน์

- หมู่ $-CH_3CO-$ (acetyl) (37.3-38.7%): ใช้เป็นพลาสติกสำหรับผลิตภัณฑ์แบบฉีดขึ้นรูป เช่น กรอบแว่นตา
- หมู่ $-CH_3CO-$ (acetyl) (38.7-40.1%): ใช้ผลิตเส้นใย ฟิล์ม แลกเกอร์

- หมู่ $-CH_3CO-$ (acetyl) (40.1-41.6%): ใช้ผลิตฟิล์มถ่ายรูป ฟิล์มภาพยนตร์



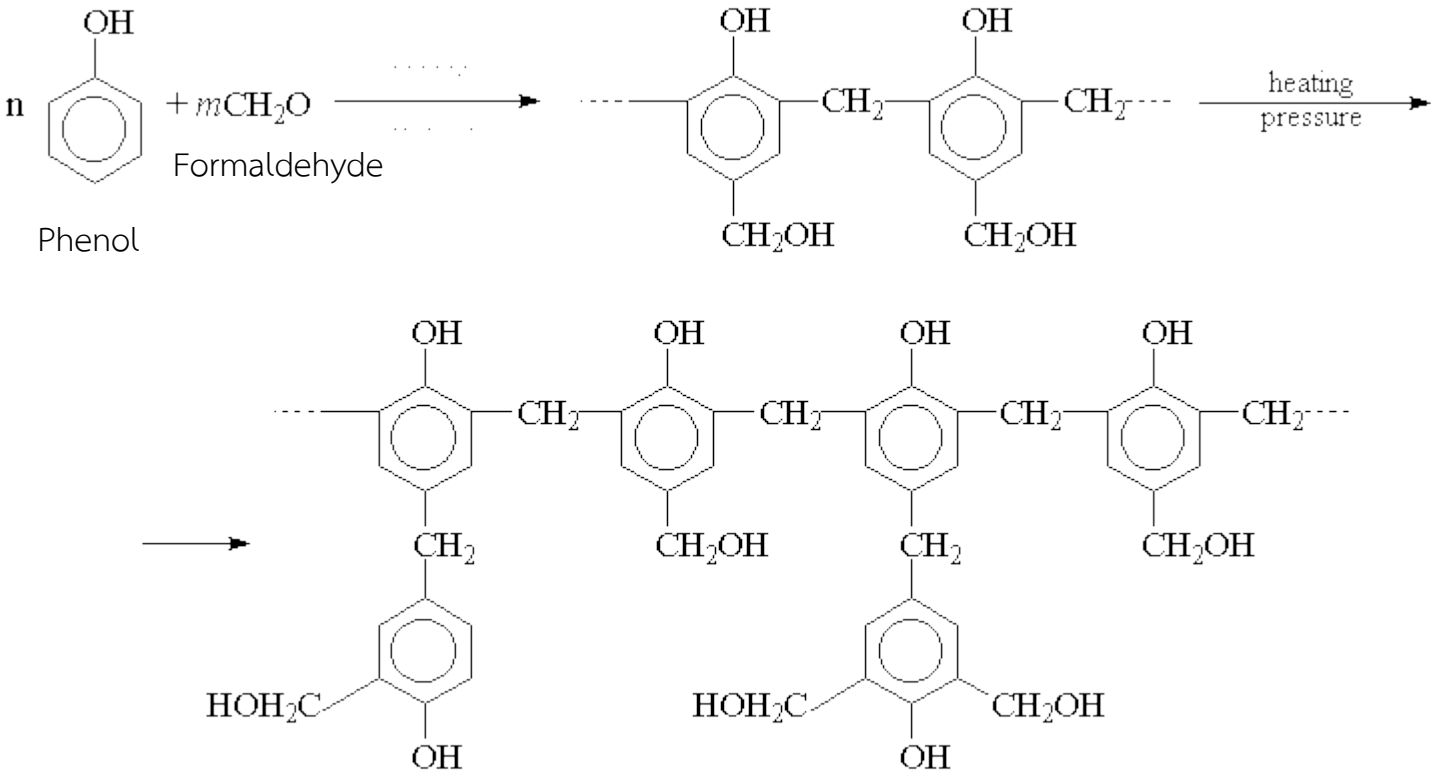


เทอร์โมเซตติ้งพลาสติกหรือเทอร์โมเซต

(Thermosetting plastics or thermoset)

1. Phenol formaldehyde, PF

- Phenolic plastics (trade name: Bekelite)
- Crosslinked polymer

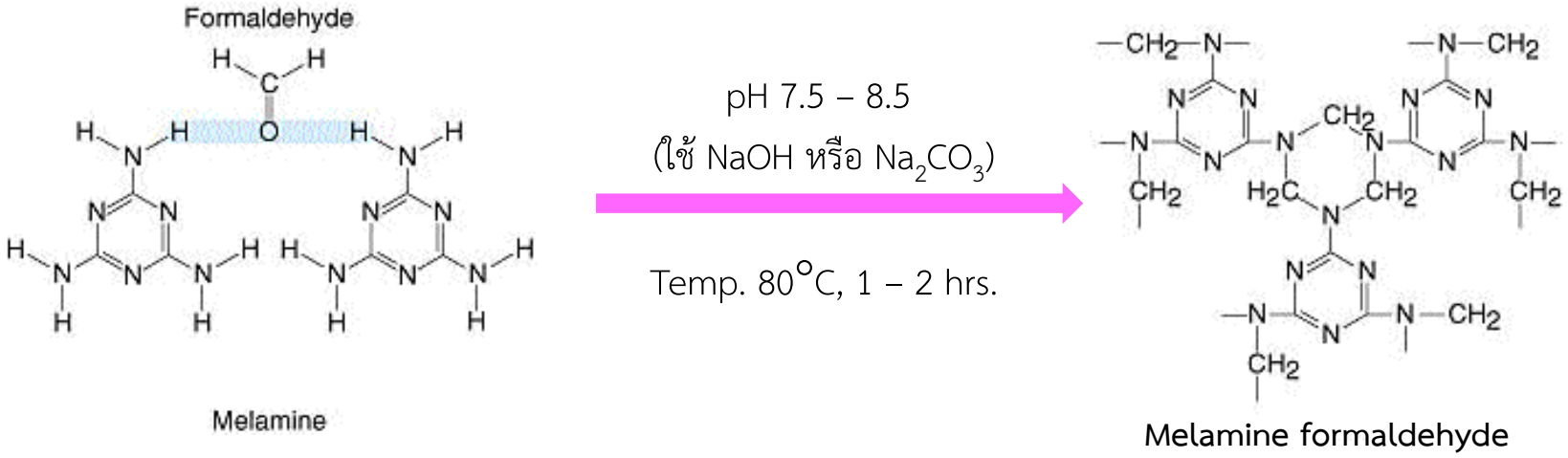


Phenol formaldehyde, PF

- ไม่ยืดหยุ่น
- ไม่หลอม ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ
- เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ใช้งานได้ถึงอุณหภูมิ 200°C
- PF ในรูปของแข็ง: มีสีเข้ม เช่น ดำ น้ำตาล
  ในรูปของเหลว: ใส
- การใช้ประโยชน์: ด้ามกระทะ หูหม้อ ที่จับเตารีด หรืออุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสกับความร้อนสูง ใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมไม้อัด เคลือบไม้

2. Melamine formaldehyde, MF

- Amino plastics (melamine derived from ammonia)
- Crosslinked polymer
- Melamine เป็น trimer ของ cyanamide
- MF สังเคราะห์ผ่าน condensation polymerization ของ melamine (M) กับ formaildehyde (F)
- M : F = 1:3 (resole resin)
- Crosslink temp. 135 – 175 °C



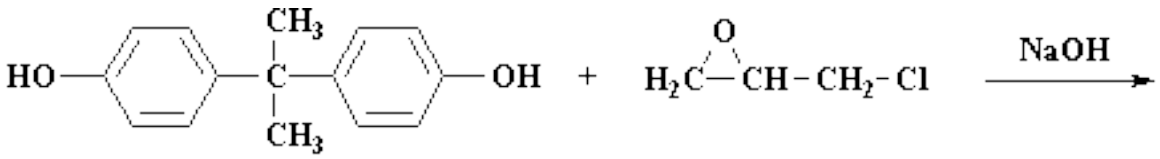
Melamine formaldehyde, MF

- แข็งแรง ทนทาน เหนียว ไม่แตกง่าย
- ไม่ติดไฟ ไม่อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน
- การนำไปใช้: ใช้ทำถ้วย ชาม ถ้วยกาแฟ เครื่องใช้ภายในครัว

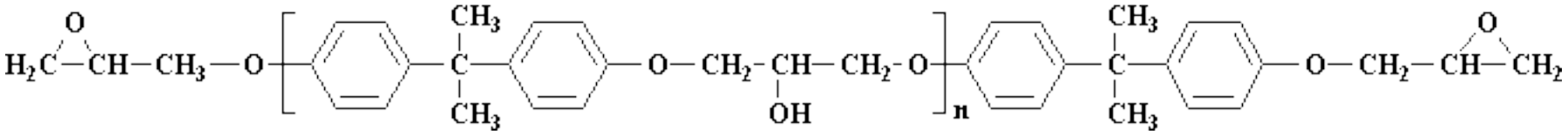
3. Epoxy (EP)

- Epoxy resin
- มีหมู่ epoxide or oxiran group ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา
- เกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

1. Epichlorohydrin + Bisphenol A เร่งปฏิกิริยาโดย NaOH



bisphenol A epichlorhydrin

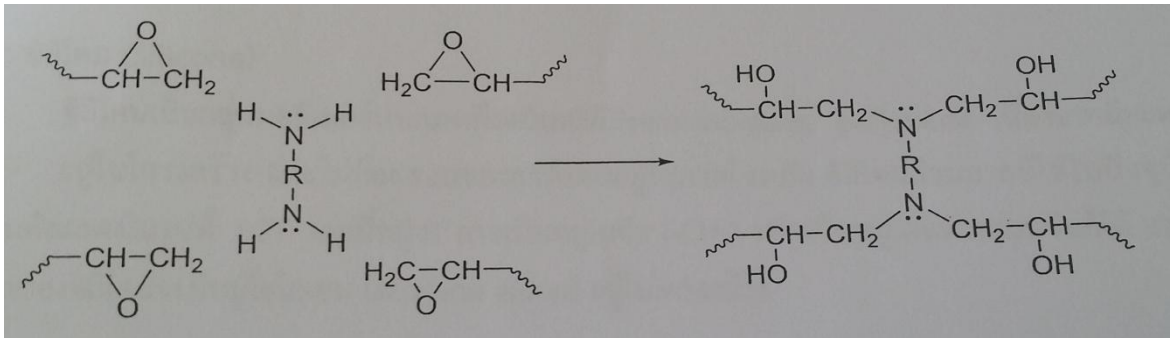


- Temp. 50 - 105°C
- linear resin with epoxide end group และมีความเป็น Thermoplastic

Epoxy (EP)

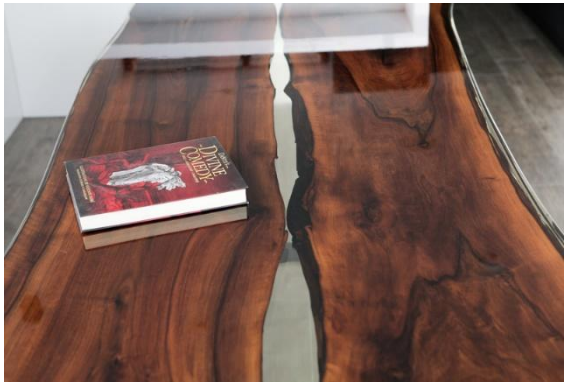
- n ขึ้นกับ mole ratio ของ Epichlorohydrin : Bisphenol A
- Epichlorohydrin : Bisphenol A สูง จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- น้ำหนักโมเลกุลต่ำ: ของเหลวหนืด
- น้ำหนักโมเลกุลสูง: ของแข็ง เปราะ

2. Curing หรือการบ่มเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (crosslink)
   - เกิด ring opening reaction ของ epoxide group กับ diamine เช่น diethylene triamine หรือ phenylene diamine



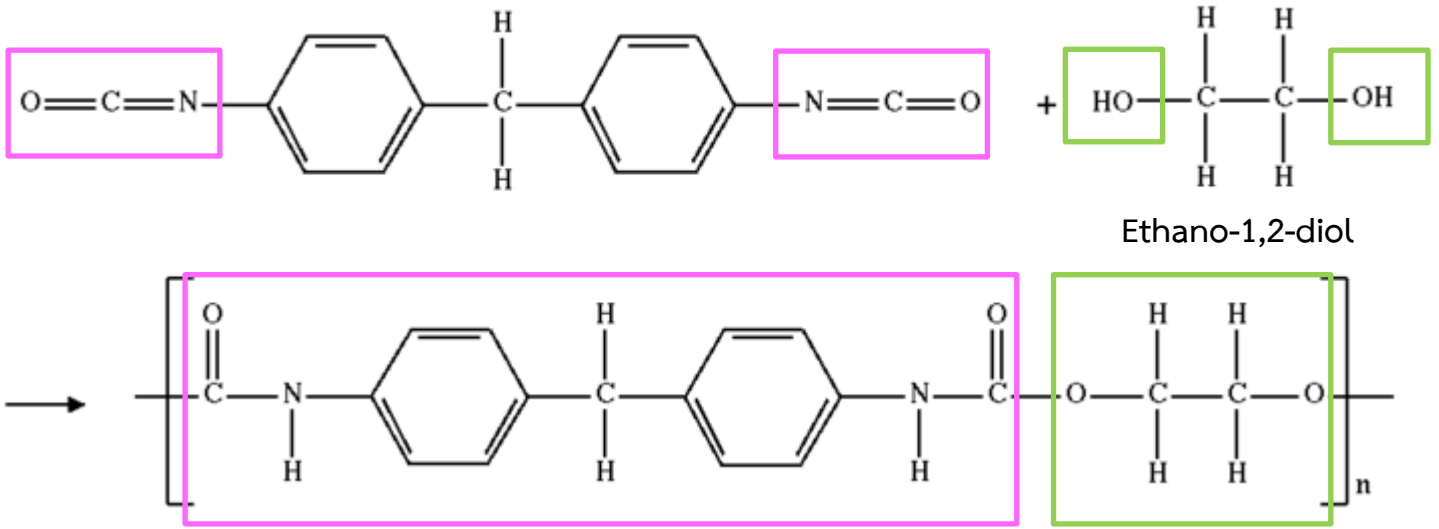
Epoxy (EP)

- การนำไปใช้งาน: epoxy เหลว ใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวหรือกาวใส หรือ นำไปขึ้นรูปเป็น fiber glass เพื่อทำเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ หรืออากาศยาน



4. Polyurethane (PU)

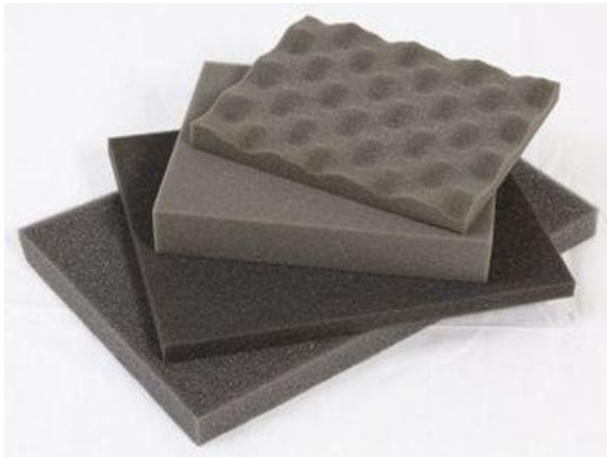
- Urethane group (–NH-COO-)
- เตรียมจาก diisocyanate กับ สารประกอบที่มีหมู่ –OH



- การใช้งาน: โฟมอ่อน หรือฟองน้ำ ที่ใช้ทำเบาะ โซฟา ที่นอน หมอน โฟมแข็ง ใช้ทำเป็นฉนวนในตู้เย็น กระติกน้ำแข็ง โฟมกันกระแทก ภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

Polyurethane (PU)

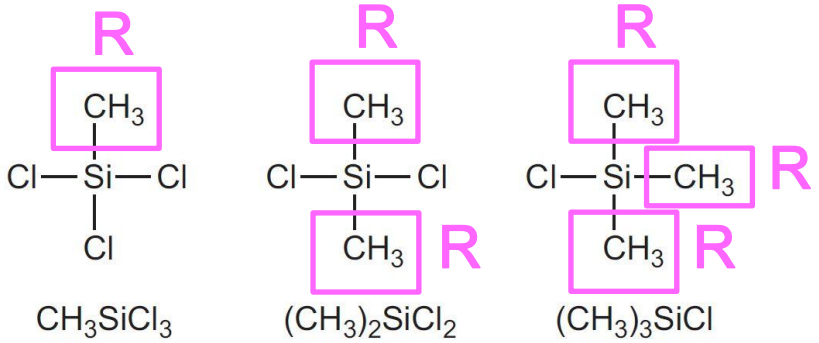
- การใช้งาน: ทำพื้นรองเท้า สารเคลือบผิว
เส้นใยหรือหนังเทียมเพื่อทำกระเป๋า หุ้มเฟอร์นิเจอร์
หุ้มพวงมาลัยรถยนต์

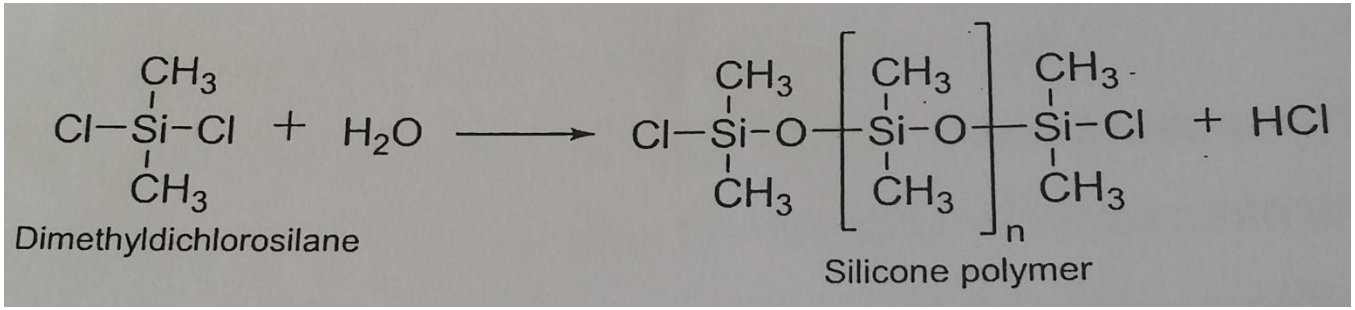


- Can be applied on damp surface.
- Ideal for use as a concealed waterproofing system for terraces and rooftops.

5. Silicone

- Semi-inorganic polymer
- มี -Si-O- (siloxane) เป็นสายโซ่หลัก
- เตรียมจาก polymerization ของ chlorosilane กับน้ำ
- Trichlorosilane: ทำให้เกิด crosslink มาก
- Dichlorosilane: ทำให้เกิด linear polymer
- Monochlorosilane: ใช้เป็น chain terminating agent





Silicone

- มี 3 รูปแบบ คือ ของเหลว ยาง และ พลาสติก ขึ้นอยู่กับหมู่ R น้ำหนักโมเลกุล และ ระดับของการเชื่อมขวาง
- Silicone เหลว: เป็น linear polymer ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 4000 – 25000 ใช้ dialkylsilane และ monochlorosilane เป็นสารตั้งต้น
- ยาง Silicone: น้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า silicone เหลว และใช้ dialkylsilane หรือ dichlorosilane เป็นสารตั้งต้น
- Silicone resin หรือ ซิลิโคนพลาสติก: ใช้ trichlorosilane เป็นสารตั้งต้น
- การนำไปใช้งาน:

ซิลิโคนเหลว – น้ำมันไฮดรอลิก น้ำยาถอดแบบ ของเหลวสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน สารเคลือบผิว กาว

ยางซิลิโคน – ทำแม่แบบสำหรับหล่อพลาสติกหรือปูนพลาสเตอร์

ซิลิโคนเรซิน – ทำประเก็น ผลิตภัณฑ์เสริมใยแก้ว หลอดเลือดเทียม ลิ้นหัวใจเทียม

潤滑用
Lubricating
SILICONE

singsungroup.en.alibaba.com

LOCTITE
Superflex
Black RTV

LIXIN
www.gobohk.com

Polymer Processing Technology

1. การเตรียมพลาสติกเพื่อการขึ้นรูป

- มักเตรียมในรูปของ pellets เพื่อง่ายต่อการขึ้นรูป
- มีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพ

สารเติมแต่ง (additive): ผงสี สารป้องกันยูวี สารช่วยลดไฟฟ้าสถิต สารเพิ่มความคงทนต่อยูวีหรือความร้อน

สารเสริมแรง (reinforcements): เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล เช่น ใยแก้ว ใยคาร์บอน ผงคาร์บอน

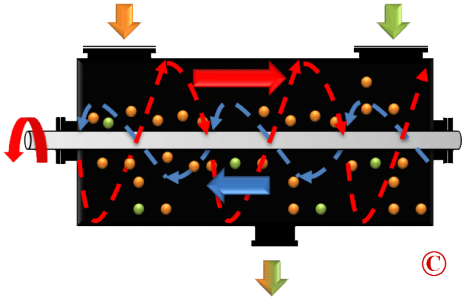
ฟิลเลอร์ (fillers): เพื่อเพิ่มเนื้อสาร ลดต้นทุนการผลิต เช่น ผงไม้ $CaCO_3$

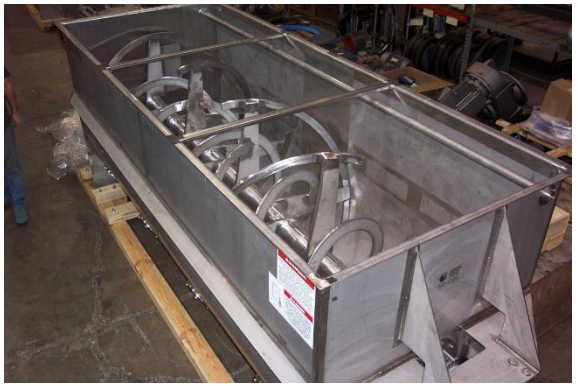
- ปริมาณของสารเสริมที่เติม ตั้งแต่ 0.01 – 50% ของพลาสติก

1.1 การผสม (Mixing)

- ใช้ผสมของแข็งกับของแข็ง หรือ ของแข็งกับของเหลว
- ใช้เครื่องผสม (Mixer หรือ Blender)
- วัสดุที่ผสมกระจายตัวและเข้ากันอย่างทั่วถึง แต่ยังคงอนุภาคของสารแต่ละชนิดอย่างชัดเจน

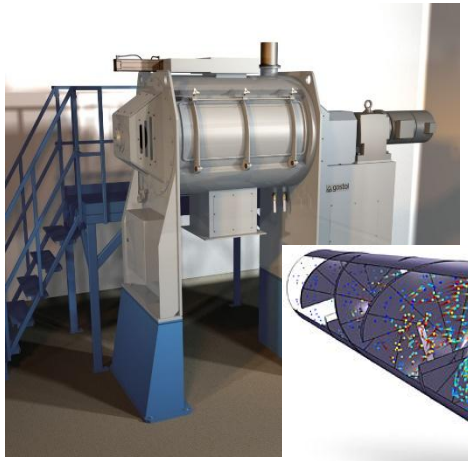
Drum tumbler





Ribbon Blender

Conical screw mixer



Turbulent mixer

การผสม (Mixing)

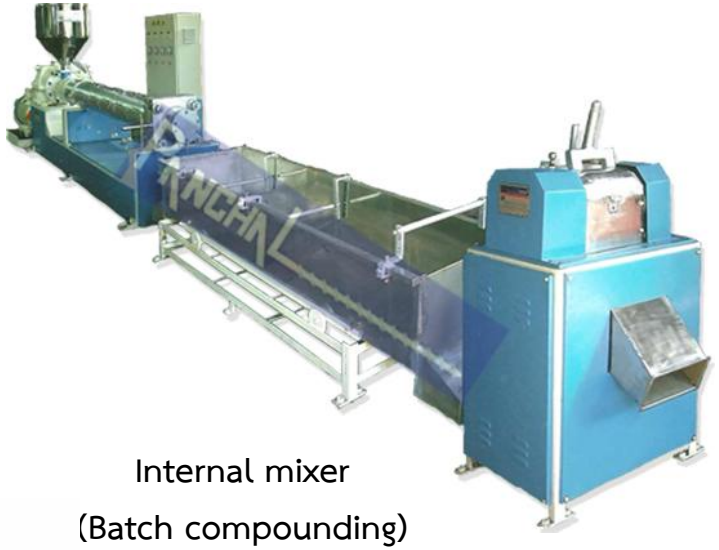
- Technical terms: extensive mixing, blending, mixing, distributive mixing
- พลาสติกหลังการผสม จะถูกนำไปขึ้นรูปโดย
    - Extrusion หรือการฉีดเข้าเบ้า
    - การอัดเข้าเบ้า (compression molding
    - การอัดส่ง (transfer molding)

1.2 การคอมปาวด์ (Compoonding)

- ทำให้อนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ กระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
- อาศัยแรงเฉือนในการบดผสม ในขณะที่พลาสติกอยู่ในสภาวะหลอม
- วัสดุที่ผสมแล้ว มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ
- ผสมได้ดีกว่าการ mixing
- Technical terms: intensive mixing, compounding, dispersion, dispersive mixing
- ในกระบวนการแปรรูปพลาสติก จะใช้การคอมปาวด์เมื่อ
    - ต้องการเติม filler, plasticizer หรือ พอลิเมอร์อื่นๆ ในปริมาณสูง
    - การผสมแบบ mixing ไม่ดีพอ

การคอมปาวด์ (Compounding)

Two-roll mill

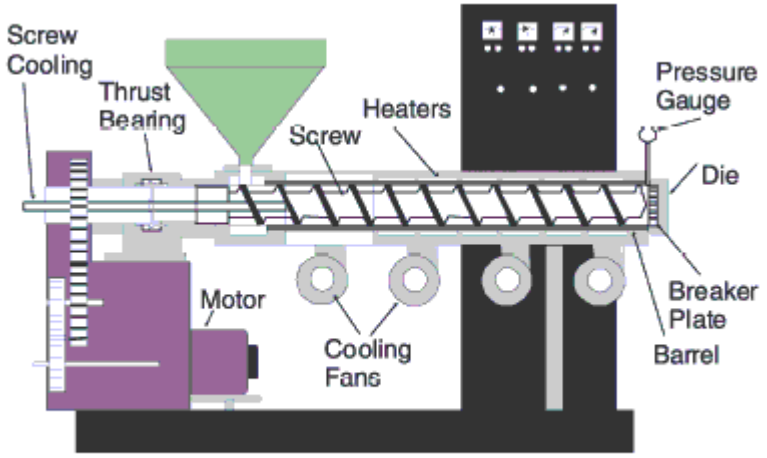


Internal mixer

(Batch compounding)

Extruder

(Continuous compounding)

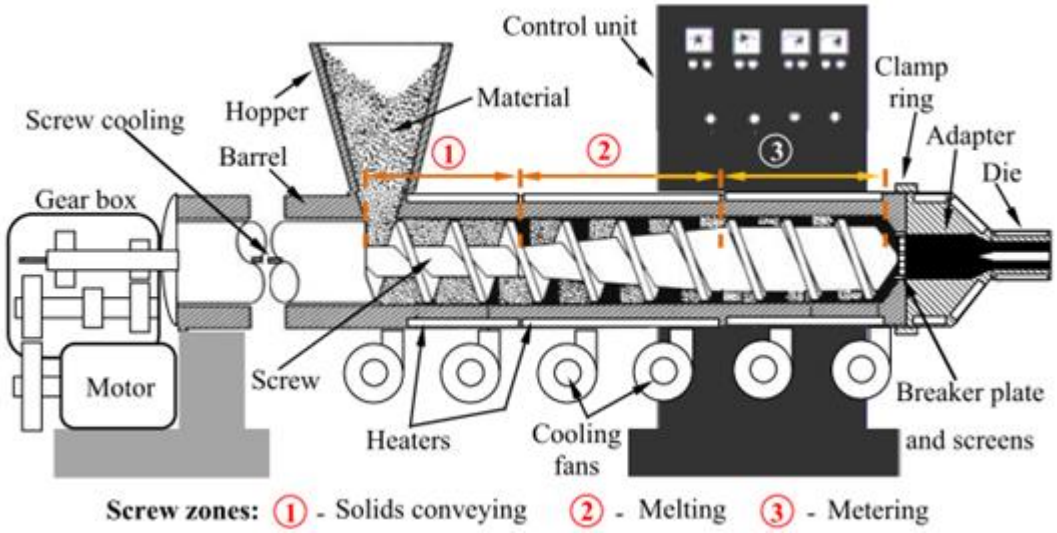


Single screw extruder

2. เทคโนโลยีการขึ้นรูปพอลิเมอร์ (polymer processing Technology)

2.1 การอัดรีด (Extrusion Process)

- ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ยาวต่อเนื่องกัน
- ใช้วัตถุดิบเป็นผงหรือเม็ด
- Extruder (เครื่องรีด) ประกอบเข้ากับหัวดาย (die) เพื่อรีดพลาสติกออกมาเป็นเส้นหรือแผ่น ก่อนจะถูกหล่อเย็น ดึง ม้วนเก็บ หรือ ตัดเป็นเม็ดที่ส่วนปลายของดาย
- ใช้ผลิตท่อ เส้นพลาสติก สายยาง พลาสติกแบบแผ่นหรือแบบแท่ง



Single screw extruder

Co-rotating screws

Counter-rotating screws

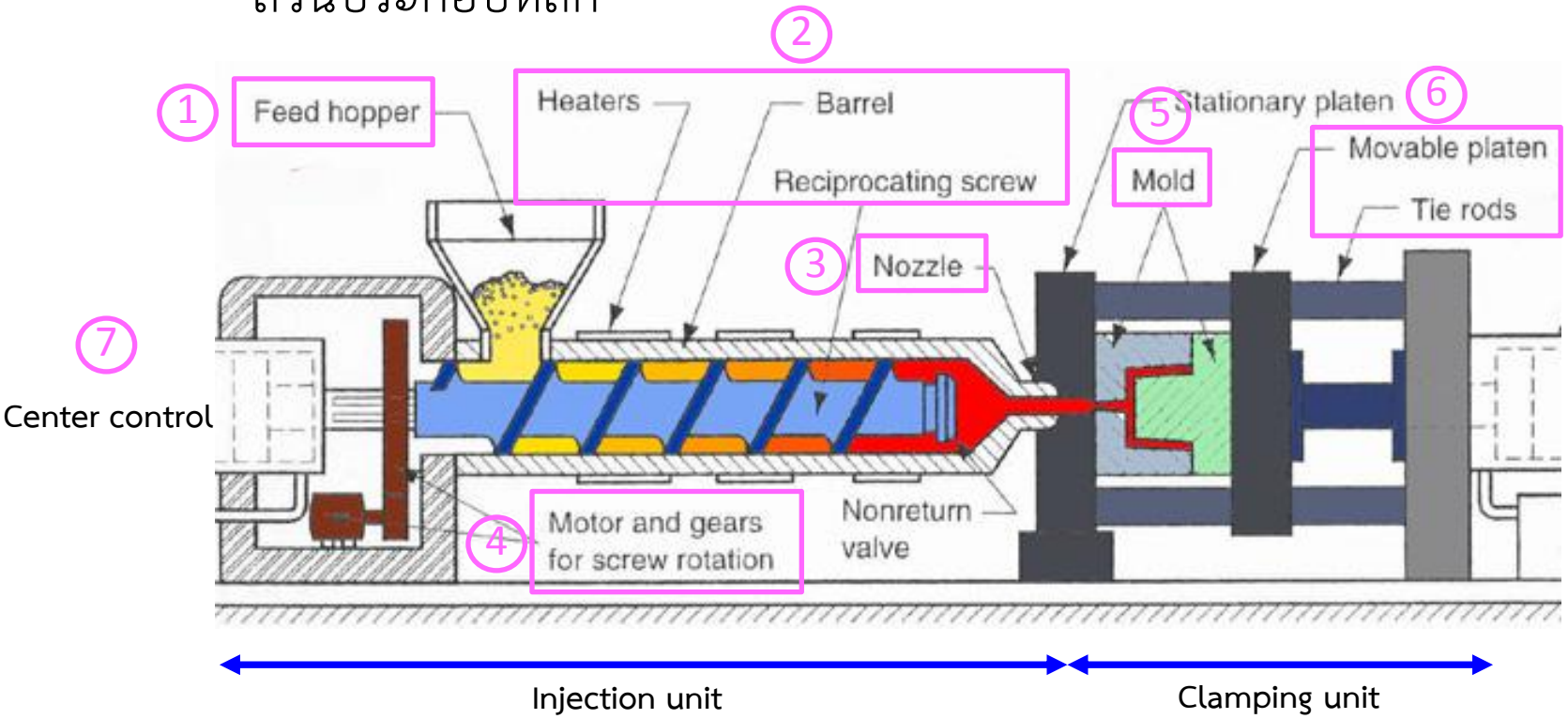
Pellets: https://www.youtube.com/watch?v=nGHG6dHNsI8

Pipe: https://www.youtube.com/watch?v=zpwzV3CkfX8

Pipe: https://www.youtube.com/watch?v=aRm7-NaaIk0

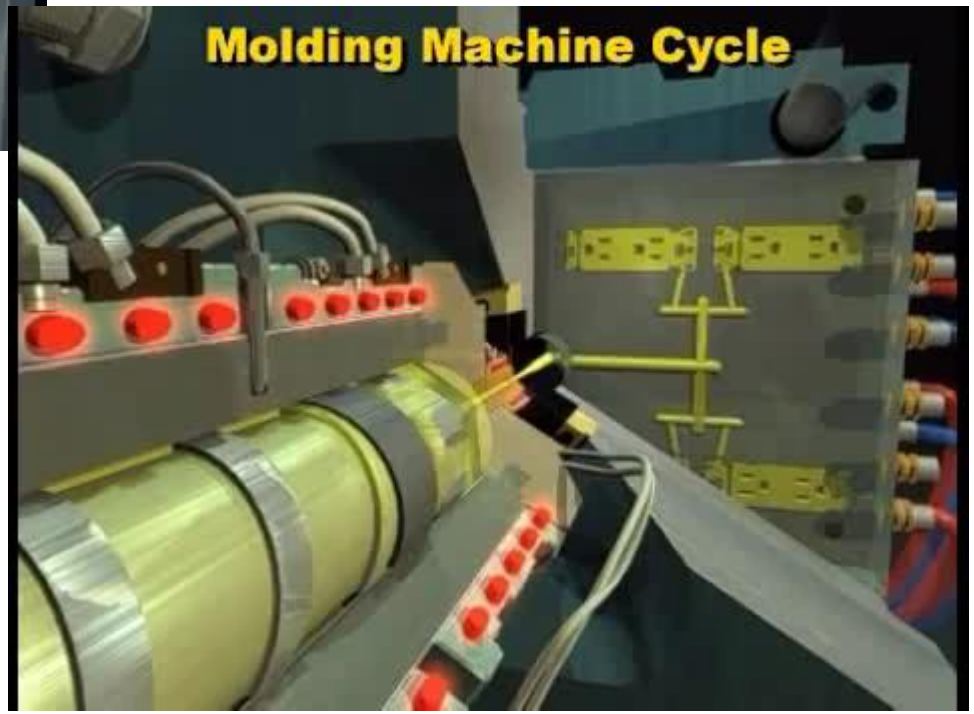
2.2 การฉีดเข้าเบ้า (Injection molding)

- ใช้แปรรูปเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซ็ต และอิลาสโตเมอร์
- ส่วนประกอบหลัก



- กระบวนการฉีด: ประกบเบ้าโดย clamping force → ล็อคเบ้าให้แน่น → หัวฉีดเปิดและอัดพลาสติกหลอมเข้าสู่เบ้า → พลาสติกค่อยๆ แข็งตัวทันทีที่สัมผัสเบ้า → ฉีดพลาสติกอย่างรวดเร็ว เพื่อให้พลาสติกบรรจุเต็มเบ้าขณะที่ยังไหลได้

Injection molding process 1



Injection molding process 2

Plastic crate: https://www.youtube.com/watch?v=YQRT-KIiv3g

2.3 การอัด (Compression molding)

- นำเม็ดหรือผงพลาสติกอัดในแม่แบบ (mold) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม
- ใช้ดายโลหะแบบประกบตัวผู้ (movable platen) และตัวเมีย (fixed platen)
- นิยมใช้ในการขึ้นรูป thermosets
- การบ่มตัว (curing) โดยให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง (ช่วยลด void ในชิ้นงาน)

  แรงอัด: ห้องปฏิบัติการ 5 – 100 ตัน

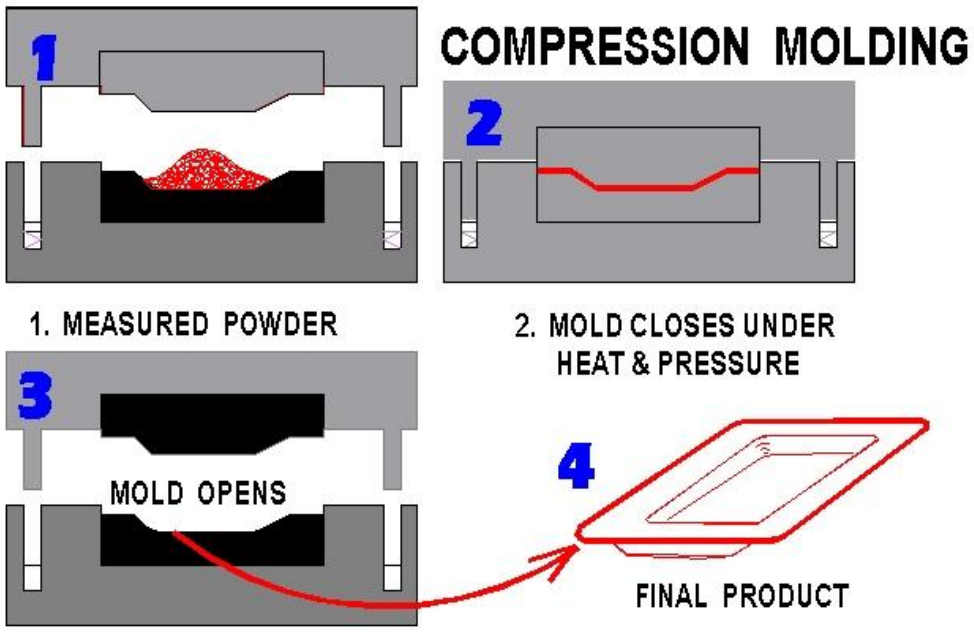
  โรงงานอุตสาหกรรม 10 – 4000 ตัน

- ให้ความร้อนได้ 2 แบบ

  1. ให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัดโดยใช้ แผ่นโลหะร้อน, IR, oven, microwave ข้อดี ลดระยะเวลาในการอัด
  2. ให้ความร้อนในแม่แบบ โดยใช้กระแสไฟฟ้า ข้อดี ติดตั้งง่าย สะดวกในการซ่อมบำรุง ให้ความร้อนสม่ำเสมอ แต่ ไม่เกิน 180°C

การอัด (Compression molding)

- กระบวนการอัด: ยึดแม่แบบ → เติมผงพลาสติก เม็ดพลาสติก หรือคอมปาวด์ → ปิดแม่แบบ → พลาสติกหลอมและไหลเข้าสู่ช่องว่างของแม่แบบ → ทิ้งให้บ่มตัว (thermoset) → หล่อเย็นเพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัว → ปลดชิ้นงาน
- ระยะเวลาขึ้นกับชนิดพลาสติกและขนาดชิ้นงาน



http://paws.wcu.edu/ballaaron/www/met366/modules/module5/mod5.htm

Compression molding
https://www.youtube.com/watch?v=GqE93pbV_9I

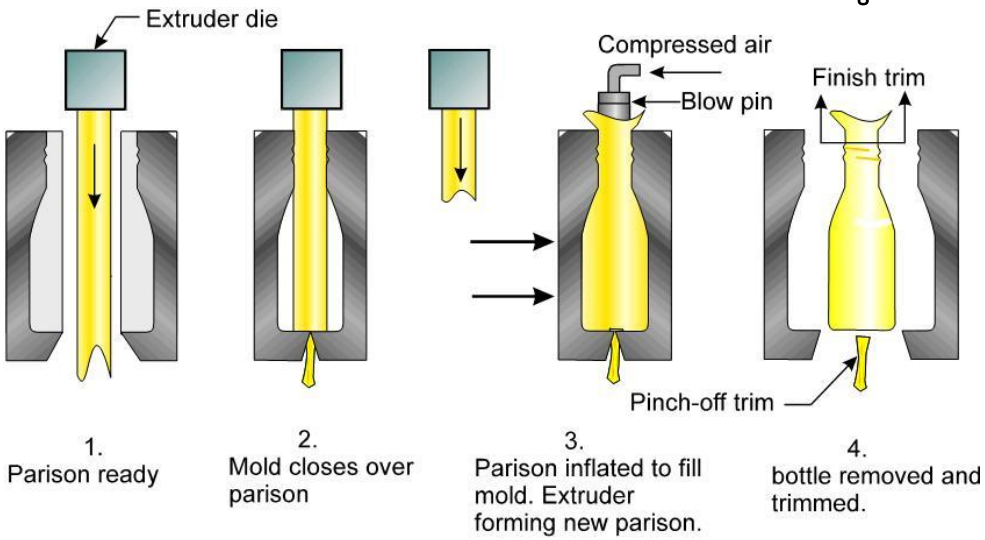
Rubber Sole Making Machine
https://www.youtube.com/watch?v=43xLx8bHUxY

2.4 การเป่าขึ้นรูป (Blow molding)

- ใช้ผลิตชิ้นงานที่กลวงและปากแคบ
- นิยมใช้กับ thermoplastic เช่น PE PP และอื่นๆ
- การเป่าขึ้นรูปมี 2 วิธี

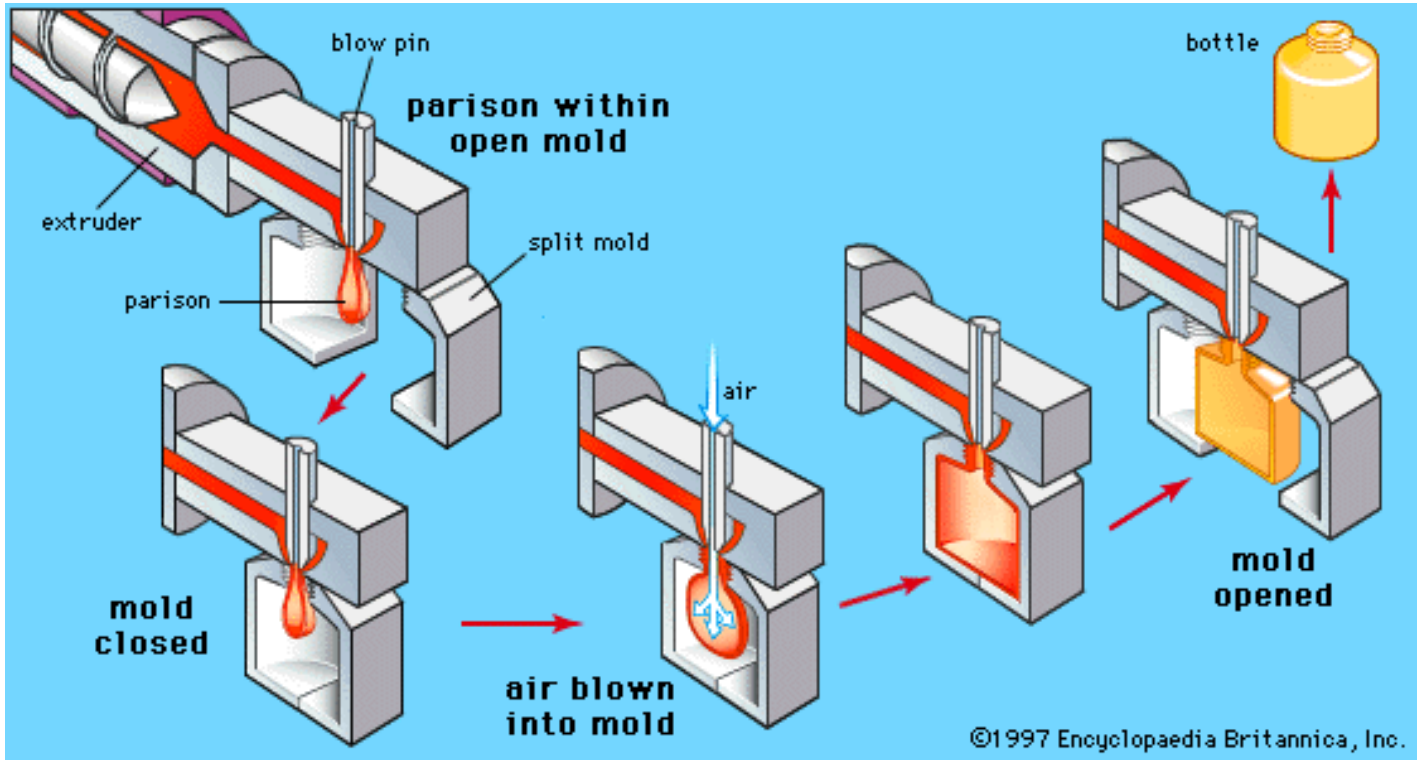
1. การอัดรีดเป่าขึ้นรูป (Extrusion blow molding)

- อัดรีดพลาสติกหลอมให้เป็นท่อกลวง (parison) ให้ยาวกว่าเบ้าเล็กน้อย
  → ปิดเบ้า → เป่าลมให้เกิดการพองตัวภายในเบ้า
- ความดันลม 180 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- พลาสติกพองตัวกระทบเบ้าเย็น และแข็งตัวตามรูปร่างของเบ้า



2. การฉีดเป่าขึ้นรูป (Injection blow molding)

- ใช้เทคนิคการฉีดร่วมกับการเป่า
- ฉีดพลาสติกหลอมเข้าไปเคลือบแกนโลหะ (blowing rod) ที่อยู่ในเบ้า (preform) → ปิดเบ้า
  → เป่าลมให้เกิดการพองตัวภายในเบ้า
- พลาสติกพองตัวกระทบเบ้าเย็น และแข็งตัวตามรูปร่างของเบ้า



How It's Made Plastic Bottles & Jars
https://www.youtube.com/watch?v=ZfyPCujUPms

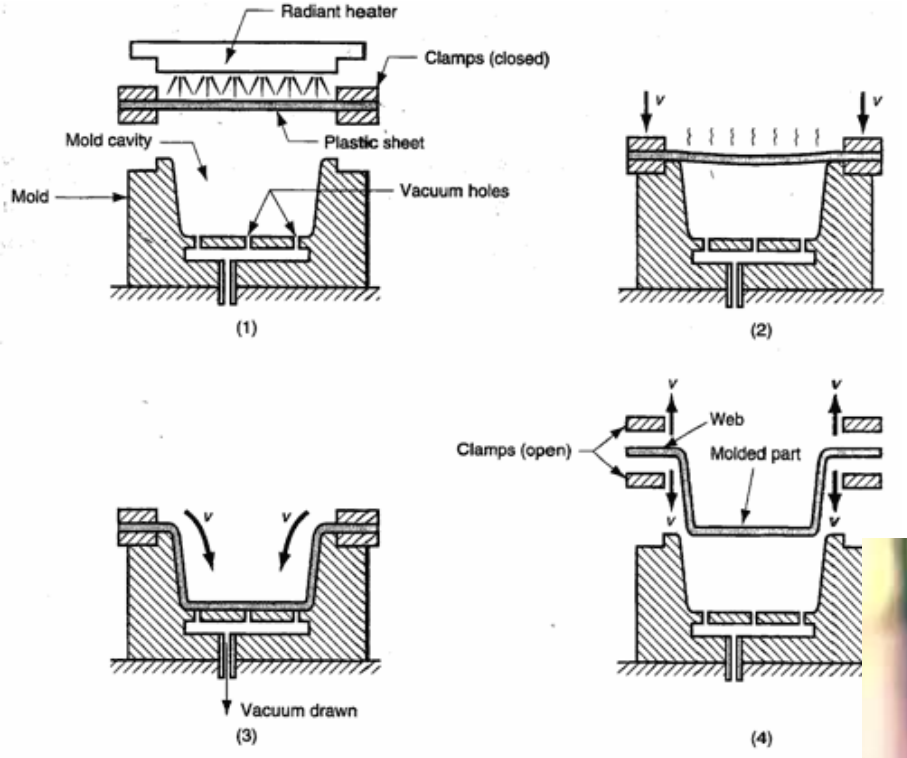
How It's Made Plastic Bags
https://www.youtube.com/watch?v=8CfL5xl2NFQ

2.5 การขึ้นรูปโดยเทคนิคเทอร์โมฟอร์ม (Thermoforming)

- ขึ้นรูปขณะพลาสติกอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน
- ใช้ขึ้นรูป thermoplastic เท่านั้น
- วัตถุดิบต้องอยู่ในรูปฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก
- ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจนอ่อนตัว (อุณหภูมิอยู่ระหว่าง T_g กับ T_m) เรียกว่า Thermoelastic

Thermoforming มี 3 แบบ

1. ขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศโดยตรง (Straight vacuum forming)
   - ประกอบด้วยเบ้าตัวผู้และเบ้าตัวเมีย
   - ขั้นตอน: ยึดแผ่นพลาสติก → ให้ความร้อนจนอ่อนตัว → เลื่อนแผ่นพลาสติกให้ตรงกับเบ้า → ใช้สุญญากาศดึงแผ่นพลาสติกเข้าหาเบ้า → ถอดชิ้นงาน



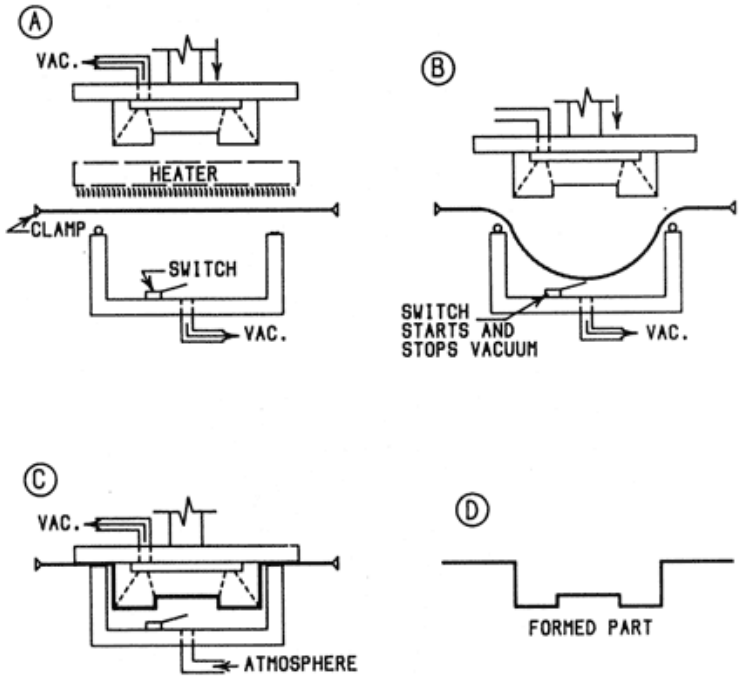
Straight vacuum forming

Thermal forming
https://www.youtube.com/watch?v=Ynz76a34sKs

การขึ้นรูปโดยเทคนิคเทอร์โมฟอร์ม (Thermoforming)

2. ขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศแล้วอักสวนด้วยแรงลม (Vacuum snap-back forming)

- ขั้นตอน: ดึงแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวให้ยืดออกด้วยแรงดันสุญญากาศ → ให้แผ่นฟิล์มขยายตัวในเบ้าตัวเมียจนเป็นลูกโป่งที่มีขนาดและรูปทรงตามต้องการ → เลื่อนเบ้าตัวผู้ลงมาประกบ → หยุดแรงดันสุญญากาศ → ใช้แรงลมอัดสวนทาง (snap back) ให้ลูกโป่งพลิกตัวกลับไปประกบเบ้า → ถอดชิ้นงาน



การขึ้นรูปโดยเทคนิคเทอร์โมฟอร์ม (Thermoforming)

3. ขึ้นรูปโดยใช้เบ้าดันแผ่นพลาสติกแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ (Vacuum drape forming)

- ขั้นตอน: ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก → เคลื่อนเบ้าเพื่อดันแผ่นพลาสติกให้เกิดการยืดตัว (pre-stretch) → ใช้แรงดันสุญญากาศดูดแผ่นพลาสติกให้แนบสนิทกับเบ้า → ถอดชิ้นงานโดยใช้ลมเป่าสวนทาง

https://www.youtube.com/watch?v=VFQ6R85puS0