# บทที่ 2

# กระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding Process)

## 2.1 ความรู้พื้นฐานและหลักการเบื้องต้น

กระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection molding) ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์หลายประเภททั้ง เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) ยาง (rubbers) และ เทอร์โมเซต (thermosets)

ในปี ค.ศ. 1872 จอห์น และ อิซาห์ ไฮแอท ได้รับสิทธิบัตร (patent) สำหรับเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดซึ่งใช้สำหรับขึ้นรูปเซลลูลอยด์หรือเซลลูโลสไนเตรท (celluloid or cellulose nitrate) และในปี ค.ศ. 1878 จอห์น ไฮแอท ประดิษฐ์แม่พิมพ์ที่มีหลายแควิตี้ (multi-cavity mold) เครื่องแรก หลังจากปี ค.ศ. 1920 มีการผลิตเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดในประเทศเยอรมนี

การแพร่ขยายของเครื่องขึ้นรูปแบบฉีด ที่สำคัญเริ่มในปี ค.ศ. 1956 โดย ดับบิว เอช วิลเลท ซึ่งประดิษฐ์เครื่องขึ้นรูปแบบฉีดที่ใช้สกรู (screw injection molding machine) ในปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดหลายบริษัท เช่น บอยด์ (Boyd) แวนดอร์น (Van Dorn) โกลสตาร์ (Gold-Star) ของประเทศเกาหลี โตชิบา(Toshiba) ของประเทศญี่ปุ่น วิคเตอร์(Victor) มิลาครอน (Milacron) เอชพีเอ็ม (HPM) ฮัสคี (Husky) นิวเบิร์ด (Newbird) โตโย (Toyo) นิสไซ (Nissei)

เครื่องขึ้นรูปแบบฉีดมีหลายขนาดตั้งแต่จำนวนกรัมน้อย ๆ ประมาณ 100 ปอนด์ แรงที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ (clamping force) ตั้งแต่ 1 ตันถึงมากกว่า 10,000 ตัน

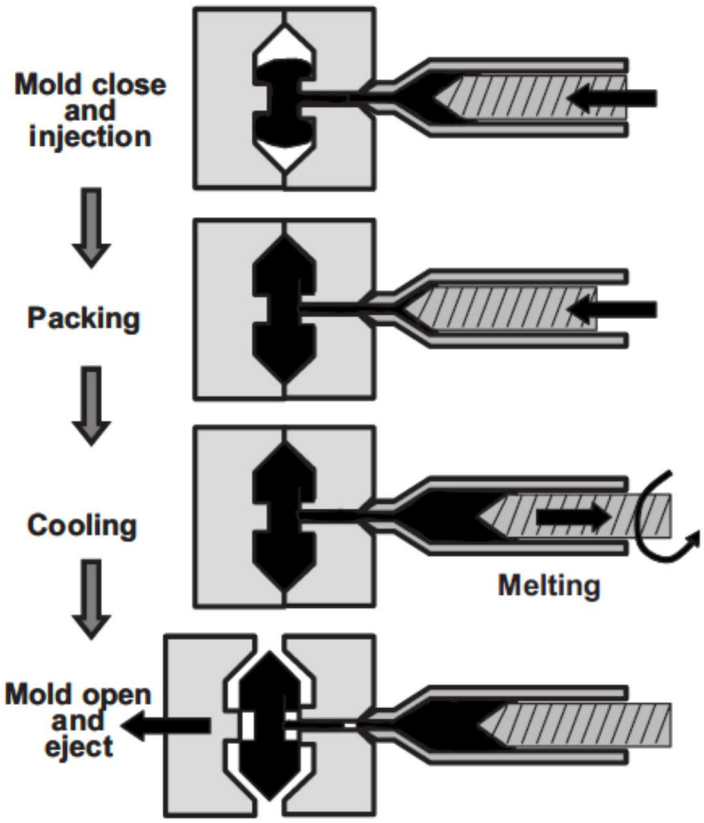
ลักษณะเด่นของกระบวนการนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสามารถผลิตให้มีความละเอียดซับซ้อนและความแม่นยำในด้านขนาดและรูปร่างได้สูง สามารถผลิตได้ในปริมาณมากโดยใช้เวลาการขึ้นรูปน้อย

## 2.2 ชนิดของเครื่องขึ้นรูปแบบฉีด

### 2.2.1 เครื่องขึ้นรูปแบบฉีดสำหรับเทอร์โมพลาสติก (Injection molding of thermoplastics)

กระบวนการขึ้นรูปแบบฉีดเริ่มจากการใส่เม็ดพลาสติกเข้าไปในกรวยเติมสาร (hopper) แล้วทำให้เกิดการส่งพอลิเมอร์ในสถานะของแข็งเข้าไปยังกระบอกฉีด (injection barrel) ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ($T_g$, glass transition temperature) หรือ อุณหภูมิการหลอม ($T_m$, melting temperature) ซึ่งพอลิเมอร์ที่อยู่ในสถานะของแข็งจะได้รับความร้อนจากทั้งอุปกรณ์การให้ความร้อนที่กระบอกฉีดและความร้อนจากแรงเสียดทาน เนื่องจากการหมุนของสกรู พอลิเมอร์จะ

เปลี่ยนจากสถานะของแข็งเป็นพอลิเมอร์หลอม เมื่อพอลิเมอร์หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenized melt) พอลิเมอร์หลอมจะถูกฉีดด้วยความดันในการฉีด (injection pressure) ที่มีค่าสูงพอที่จะเอาชนะแรงต้านการไหลผ่านหัวฉีด (nozzle) เข้าไปในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า Tg หรือ Tm โดยผ่าน sprue runner และ gate เข้าไปยัง แควิตี้ในแม่พิมพ์ หลังจากการฉีดด้วยความดันฉีดที่สูงเพื่อเติมพอลิเมอร์หลอมให้เต็มแม่พิมพ์แล้ว ความดันจะลดลงมาอีกระดับหนึ่งแล้วคงค้างไว้ระยะเวลาหนึ่ง (holding หรือ packing) เพื่อชดเชยต่อการหดตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ ความดันในระยะนี้เรียกว่า ความดันคงค้าง (holding pressure) จากนั้นเมื่อพลาสติกแข็งตัว (solidify) แม่พิมพ์จะเปิดและผลิตภัณฑ์จะถูกกระทุ้งออก (eject) ขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูป (White (2005))**

### 2.2.2 เครื่องขึ้นรูปแบบฉีดสำหรับยาง (Injection molding of rubbers)

เครื่องฉีดประเภทนี้จะมีการป้อนโดยอัตโนมัติ (Automatic feeding) ของชิ้นส่วนยางที่ร้อนเข้าไปในกระบอกฉีด ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวัลคาไนซ์ (vulcanization temperature) หลังจากนั้น ยางจะถูกฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ โดยอุณหภูมิที่ผนังแม่พิมพ์จะถูกรักษาไว้ให้สูงพอที่จะเริ่มการวัลคา

ไนซ์ และทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ของยางภายในแม่พิมพ์ หลังจากนั้นแม่พิมพ์จะถูกเปิดและผลิตภัณฑ์จะถูกกระทุ้งออก

**2.2.3 เครื่องขึ้นรูปแบบฉีดสำหรับเทอร์โมเซตและรีแอคทีฟฟลูอิด (Injection molding of thermoset และ reactive fluids)**

เครื่องขึ้นรูปประเภทนี้คล้ายในเครื่องฉีดของยางคือ ใช้แม่พิมพ์ร้อน (hot mold) เนื่องจากต้องการให้เกิดการแข็งตัวของพอลิเมอร์โดยเกิดการสร้างร่างแหหรือครอสลิงค์ในแม่พิมพ์ ดังนั้น อุณหภูมิของแม่พิมพ์จึงสูงกว่าอุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเกิดครอสลิงค์ได้ ความแตกต่างของเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดสำหรับเทอร์โมเซตหรือยางจากเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดสำหรับเทอร์โมพลาสติกอีกประการหนึ่งคืออุณหภูมิที่กระบอกฉีดของเทอร์โมเซตหรือยางจะต้องควบคุมไม่ให้สูงเกินครอสลิงค์หรืออุณหภูมิการวัลคาไนซ์ของยาง โดยทั่วไปพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมเซตหรือยางจะขึ้นรูปโดยการใช้เครื่องกดอัด (compression molding) หรือ เครื่องทรานซเฟอร์โมลดิ่ง (transfer molding) ซึ่งจะอธิบายต่อไปในบทที่ 4 แต่ก็มีการพัฒนาการใช้เครื่องฉีดสำหรับขึ้นรูปเทอร์โมเซต เช่น เรซิน พวกฟีนอลฟอร์มอลดีไฮด์ และ ยูเรียฟอร์มอลดีไฮด์ สำหรับสภาวะที่ใช้ในการฉีด (injection molding condition) วัสดุพวกเทอร์โมเซตมักจะกลับกันกับพวกเทอร์โมพลาสติก เช่น สกรูจะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่ามาก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการครอสลิงค์ก่อนเวลาอันสมควร (premature curing) ของเรซินที่เป็นพวกเทอร์โมเซต และแม่พิมพ์จะร้อนมากเพื่อให้เกิดการครอสลิงค์ของเรซินอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิที่กระบอกฉีดของฟีนอลิคจะประมาณ 75-80$^{o}$C และสำหรับยูเรียจะประมาณ 100$^{o}$C และอาจถึง 110$^{o}$C สำหรับเมลามีน สัดส่วนการกดอัด (compression ratio) ของสกรูซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความลึกของสันสกรู(flight)ที่ส่วนป้อนส่งสาร (feeding zone) กับส่วนส่งรีด (metering zone) จะต่ำประมาณ 1 หรือ 1.1 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการให้ความร้อนที่มากเกินไปเฉพาะจุด (local overheating) จากแรงเฉือน (shear force)

วัสดุที่ใช้มักเป็นพวกพอลิเอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) โดยเฉพาะ dough molding compound (DMC) โดย DMC สามารถใช้ได้กับสกรูที่ไม่มีส่วนกดอัดเลยและมีน้ำหล่อเย็นซึ่งจะถูกฉีดไปในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิ 180$^{o}$C

ส่วนกระบวนการ RIM (Reaction injection molding) จะเป็นการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์ จากส่วนผสมที่เป็นของเหลวของมอนอเมอร์ หรือโอลิโกเมอร์โดยจะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างรวดเร็วในขณะที่วัสดุเทอร์โมเซตเป็นของแข็งหรือสารที่มีความหนืดสูงมาก (highly viscous) ที่อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม

## 2.3 คำจำกัดความในกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding Terminology)

### 2.3.1 ความดันย้อนกลับ (Back Pressure)

แสดงถึงความต้านทานการเคลื่อนที่กลับของสกรู ในระหว่างการเตรียมฉีดพอลิเมอร์ หลอม (Melt shot) ความดันนี้จะเกิดจากพลาสติกบนสกรู ในขณะที่ถูกป้อนเข้าไปในห้องเตรียมฉีด (shot chamber) ซึ่งอยู่ที่ส่วนปลายด้านหน้าของกระบอกฉีดตรงหน้าสกรู

### 2.3.2 Clamping Tonnage (Force)

หมายถึงแรงสูงสุดที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ให้ปิดสนิท

### 2.3.3 หัวฉีด หรือ Nozzle

หมายถึงปากที่อยู่ปลายเข็มฉีด (Injection cylinder) หรือ melt transfer chamber ซึ่งจะสัมผัสกับ sprue bushing ของแม่พิมพ์และเป็นช่องทางที่พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าไปในแม่พิมพ์

### 2.3.4 Nozzle Drooling

การไหลย้อย หรือ การรั่วไหล ของพอลิเมอร์หลอมจากหัวฉีดหรือบริเวณรอบ ๆ หัวฉีด

### 2.3.5 พลาสติเคทติ้ง (Plasticating)

การหลอมของพลาสติกในกระบอกฉีดก่อนการฉีดเข้าแม่พิมพ์

### 2.3.6 ความดัน (Pressure)

ความดันที่เครื่องฉีดกระทำต่อพอลิเมอร์หลอมจะมี 2 ประเภท ได้แก่ ความดันฉีด (injection pressure) ความดันนี้จะให้กับสกรูของเครื่องฉีด (หรือ plunger) เพื่อบังคับให้พอลิเมอร์หลอมจากกระบอกฉีดไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ (วัดเป็นหน่วย psi หรือ MPa) ความดันฉีดที่นิยมใช้ทั่วไป จะมีค่าโดยประมาณ 80% ของความดันสูงสุดที่เครื่องฉีดจะผลิตได้ นอกจากนี้จะมีความดันอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า ความดันย้ำหรือความดันคงค้าง (Holding pressure) ซึ่งจะให้กับพอลิเมอร์หลอมหลังการเติมแม่พิมพ์เต็มแล้วเปลี่ยนจากการให้ความดันฉีดมาเป็นความดันย้ำหรือความดันคงค้างเพื่อชดเชยต่อการหดตัวของชิ้นงาน โดยทั่วไป ค่าความดันคงค้างจะตั้งไว้ต่ำกว่าความดันฉีด คือประมาณ 50% ของความดันสูงสุดที่เครื่องฉีดจะผลิตได้ เนื่องจากในระยะการให้ความดันคงค้างไม่

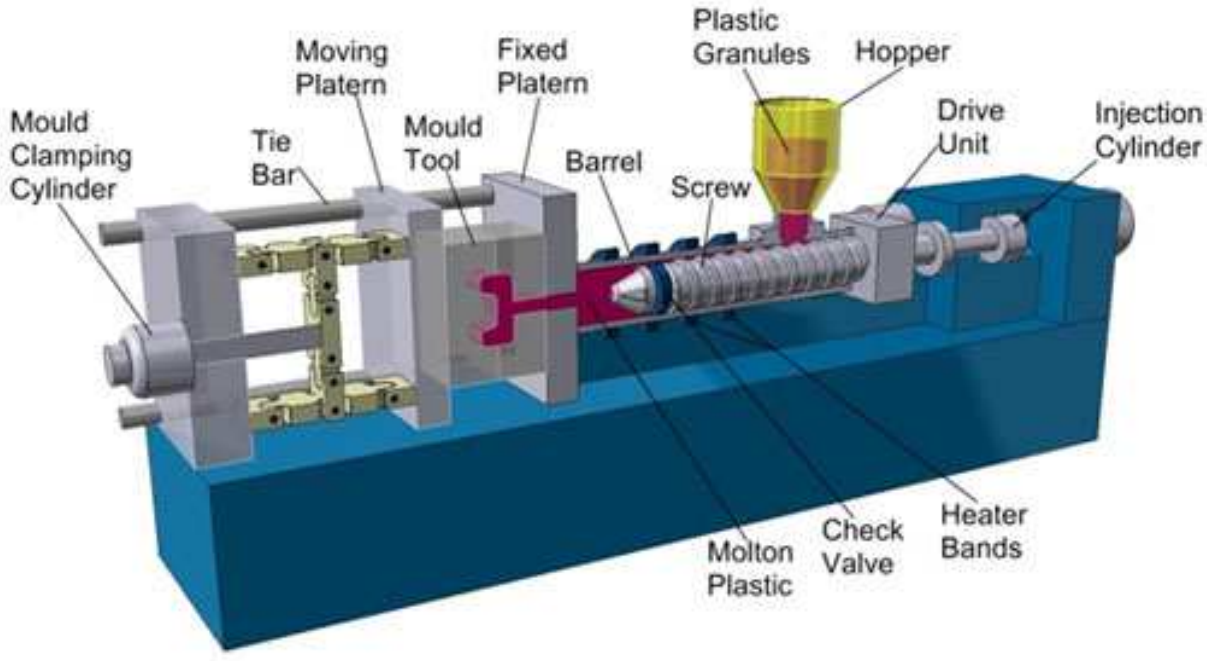
ต้องใช้ความดันในการเอาชนะแรงต้านการไหลจากส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ เช่น sprue runner gate เนื่องจากพอลิเมอร์หลอมถูกฉีดเข้าไปแล้ว

## 2.4 ส่วนประกอบของเครื่องฉีด

เครื่องฉีดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้

1) หน่วยยึด (Clamping Unit ) คือ ชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ยึดแม่พิมพ์และปิดเปิดแม่พิมพ์
2) หน่วยฉีด (Injection Unit ) คือ ชุดอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ป้อนเม็ดพลาสติก(Feeding) หลอมเม็ดพลาสติก(Plasticating หรือ melting) และส่งพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ (Metering)
3) หน่วยควบคุม (Control Unit ) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานและกลไกต่างๆ ของเครื่อง

ภาพรวมของเครื่องฉีดแสดงดังรูปที่ 2.2



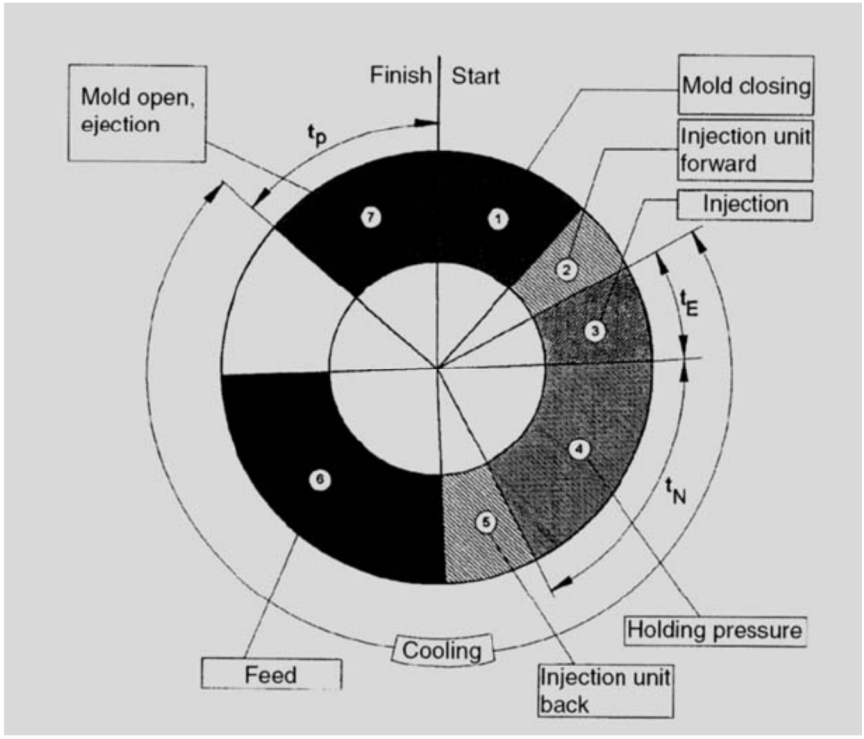

**รูปที่ 2.2** เครื่องฉีด (Injection Molding Machine)

## 2.5 วงจรการทำงานของเครื่องฉีด (The molding cycle)

ลำดับของการทำงานของเครื่องขึ้นรูปแบบฉีดมีดังต่อไปนี้

1. แม่พิมพ์ปิด ในระยะนี้แม่พิมพ์จะไม่มีพอลิเมอร์หลงเหลืออยู่ พอลิเมอร์หลอมที่จะฉีดเข้าแม่พิมพ์ในครั้งต่อไปจะถูกเตรียมให้พร้อมในหน่วยฉีด
2. ระยะของการฉีด วาล์วจะเปิดและสกรูจะทำหน้าที่เป็น plunger บังคับให้พอลิเมอร์หลอมผ่านหัวฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์
3. ระยะที่เรียกว่า holding stage คือระยะที่ความเค้นจะถูกรักษาไว้ให้คงที่ในช่วงแรกของระยะการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง เพื่อชดเชยปริมาตรที่ลดลงเนื่องจากวัสดุเกิดการหดตัว เมื่อผลิตภัณฑ์แข็งตัวแล้วความดันนี้ก็จะถูกลดลง
4. วาล์วปิดและมีการเริ่มต้นการหมุนของสกรูและสกรูจะหมุนถอยกลับเพื่อเก็บรวบรวมพอลิเมอร์หลอมสำหรับการฉีดในขั้นต่อไป
5. ในขณะเดียวกับระยะที่ 4 ชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์ก็จะถูกทำให้เย็นตัวลงต่อไปและเมื่อได้เวลาที่พอลิเมอร์แข็งตัวอย่างเหมาะสม แม่พิมพ์ก็จะเปิดออกและชิ้นงานจะถูกกระทุ้งออกมา
6. แม่พิมพ์จะปิดอีกครั้งและเริ่มทำงานในรอบต่อไป

รอบการทำงานของเครื่องฉีดแสดงได้ดังรูปที่ 2.3




**รูปที่ 2.3** วงจรการฉีด

**ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการฉีดโดยประมาณ ได้ดังนี้**

| *Phase* | *Time [s]* |
|---|---|
| Mold closing | 0.4 |
| Injection | 0.3 |
| Holding pressure | 0.3 |
| Remaining cooling time | 2.1 |
| Mold opening | 0.4 |
| Handling (plus sprue punch-off) | 0.4 |
| Total cycle time | 3.9 |

จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 2.3 เวลาที่ใช้ส่วนใหญ่ในหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องฉีดจะถูกใช้ไปในช่วงเวลาการทำให้เย็นตัวลง (cooling time) ซึ่งรวมถึงระยะเวลาการให้ความดันคงค้าง (holding time) ด้วย ดังนั้น อัตราการทำให้เย็นตัวลง (cooling rate) จึงถือว่ามีความสำคัญในการลดต้นทุนต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูปอย่างมาก

## 2.6 ชนิดของหน่วยฉีด (injection unit)

สำหรับหน่วยฉีด ของเครื่องฉีดจะมีได้หลายแบบที่สำคัญได้แก่

1) single stage plunger

   หน่วยฉีดที่มี Plunger 1 ตัว

2) two stage phmger

   หน่วยฉีดที่ประกอบด้วย Plunger 2 ตัว

3) Two stage-screw plunger

   หน่วยฉีดที่ประกอบด้วย Plunger 1 ตัว และสกรู 1 ตัว

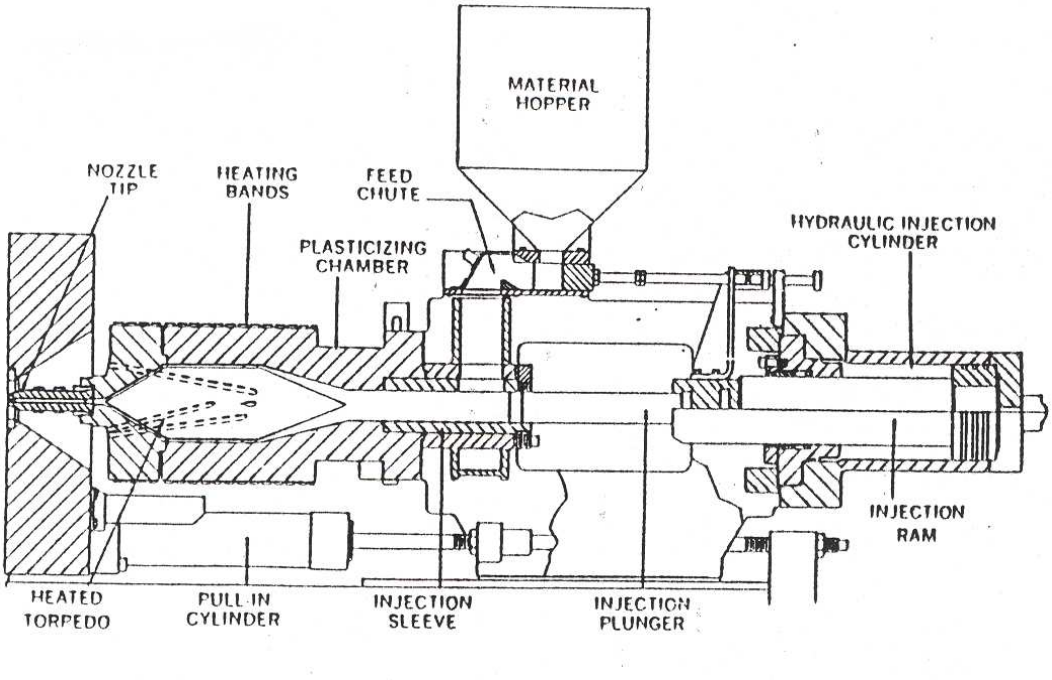
4) Reciprocating screw

   หน่วยฉีดที่มีสกรู 1 ตัว

### 2.6.1 Single State Plunger

เครื่องฉีดประเภทนี้ใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 แต่ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว Single state plunger จะใช้ plunger ในการบังคับให้วัสดุผ่านทอร์ปิโด (torpedo) หรือ spreader ความ

ร้อนจะมาจากอุปกรณ์ให้ความร้อนของเครื่องฉีด (heater) และ วัสดุจะหลอมเหลวโดยกระบวนการนำความร้อน (conduction) และกระบวนการพาความร้อน (convection) การไหลจะเป็นแบบ Laminar flow และจะให้การหลอมที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous melt) ที่น้อยที่สุดในบรรดาระบบทั้งหลาย

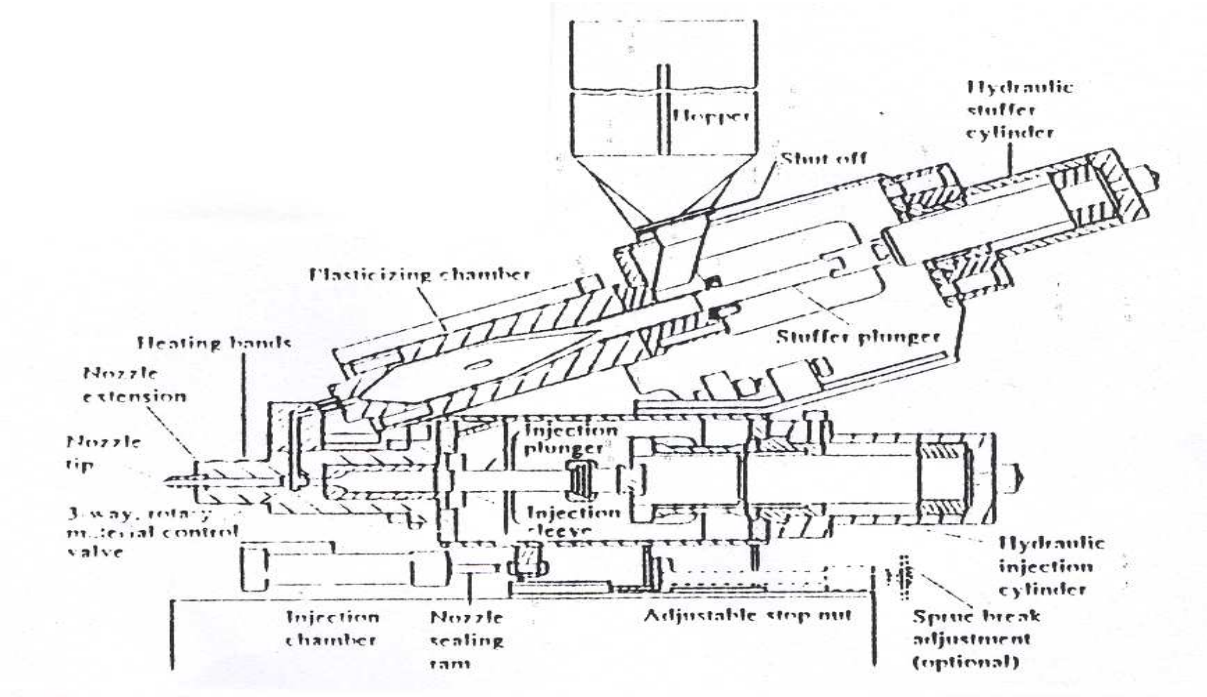



**รูปที่ 2.** 4 ภาพวาดแสดงหน่วยฉีดของเครื่อง single stage plunger

(ผลิตโดย HPM Division of Koehring Co.)

### 2.6.2 The two stage plunger-plunger (or plunger into a “pot”)

เครื่องฉีดประเภทนี้ จะประกอบด้วยหน่วยฉีด 2 ชุด แต่ละชุดจะประกอบด้วย plunger ชุดละ 1 ตัว โดยชุดแรกจะหลอมพอลิเมอร์โดยใช้อุปกรณ์การให้ความร้อน พอลิเมอร์หลอมจะไหลผ่านแท่ง torpedo แล้วใช้ plunger ฉีดเข้าไปยังหน่วยฉีดที่ 2 หลังจากนั้น ในหน่วยฉีดที่ 2 จะใช้ plunger ในการฉีดพอลิเมอร์หลอมเข้าไปในแม่พิมพ์

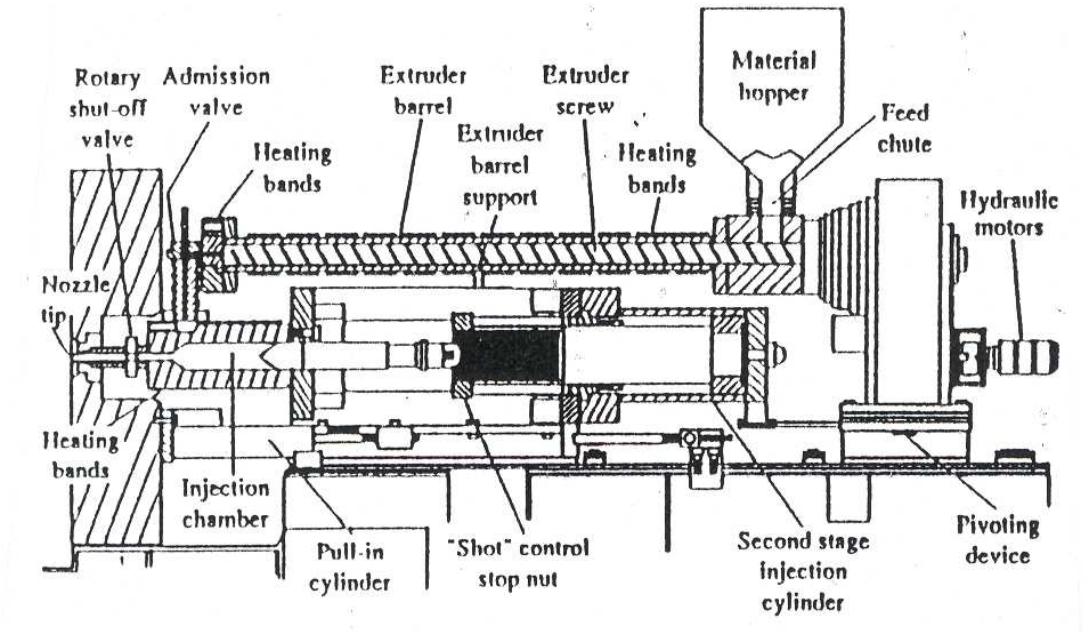



**รูปที่ 2.**5 ภาพแสดงชุดอุปกรณ์ฉีดแบบ two stage plunger machine

(ผลิตโดยบริษัท MPM. Division of Koehring Co.)

### 2.6.3 The two stage-screw plunger (screw-pot)

คล้ายกับ plunger - plunger machine ยกเว้นจะมีสกรู 1 อัน ใช้ในการทำให้พอลิเมอร์หลอม แทน plunger

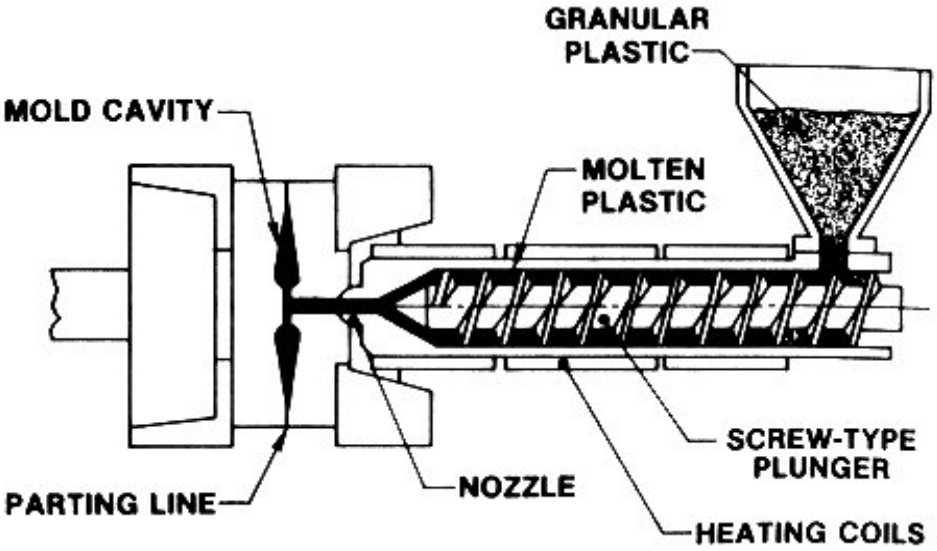



**รูปที่ 2.**6 ภาพแสดงชุดอุปกรณ์ฉีดแบบ two stage screw-plunger machine

**2.6.4 Reciprocating screw (In -line screw)**

ใช้การหมุนของสกรูในการหลอมวัสดุและในขณะที่สกรูหมุน วัสดุที่หลอมจะถูกบังคับให้ไปอยู่ข้างหน้าสกรูและจะมีแรงผลักสกรูกลับ

วัสดุจะถูกฉีดโดยการเคลื่อนที่ของสกรูไปข้างหน้า (ซึ่งตอนนี้ สกรูทำหน้าที่เป็นเหมือน plunger) ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน




**รูปที่ 2.7** ภาพแสดง reciprocating screw machine

**หลักการพื้นฐานของ Reciprocating Screw Machine ที่ใช้หน่วยยึดไฮโดรลิก**

1. วัสดุถูกใส่เข้าไปในกรวยเติมสาร ( hopper )
2. น้ำมันที่อยู่หลัง clamp ram จะทำให้แผ่นแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่ได้ (moving platen) เคลื่อนที่ปิดแม่พิมพ์ ความดันหลัง clamp ram จะเพิ่มสูงขึ้น แรงเพียงพอที่จะทำแม่พิมพ์ปิดตลอดระยะเวลาของการฉีดถ้าแรงที่เกิดจากพลาสติกมากกว่า clamp force แม่พิมพ์จะเปิดออกทำให้พลาสติกสามารถไหลออกมาบนผิวของแม่พิมพ์เกิดเป็นครีบ (flash) ซึ่งจะต้องกำจัดออก
3. ก่อนหน้านี้ วัสดุจะถูกทำให้หลอมละลายด้วยการหมุนของสกรู ซึ่งจะเปลี่ยนจากพลังงานกลให้กลายเป็นพลังงานความร้อนและรวมถึงความร้อนที่ได้จากแผ่นให้ความร้อนที่หุ้มอยู่รอบกระบอกฉีดเมื่อวัสดุหลอมมันจะเคลื่อนไปข้างหน้าตามสันสกรูไปจนถึง

ส่วนหน้าของสกรูและความดันที่เกิดขึ้นโดยวัสดุบนสกรูจะผลักสกรูและระบบขับเคลื่อนสกรู (screw drive system) รวมทั้ง มอร์เตอร์ไฮดรอลิค (hydraulic motor) กลับเหลือไว้แต่กองของวัสดุที่หลอมเหลวไว้หน้าสกรู สกรูจะหมุนต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งการเคลื่อนที่ถอยหลังของสกรู (rearward motion) ชนกับสวิตซ์อันหนึ่งซึ่งเรียกว่า limit switch ซึ่งจะทำให้เกิดการหยุดหมุนของสกรู

limit switch สามารถปรับได้ และตำแหน่งของมันจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของวัสดุที่อยู่หน้าสกรู (ขนาดของ shot)

การกระทำที่มีลักษณะคล้ายปั๊ม(Pumping action) ของสกรูยังจะผลักกระบอกสูบไฮดรอลิคซึ่งอยู่ข้างละ 1 อันของสกรูกลับ การไหลของน้ำมันจากกระบอกสูบไฮโดรลิคจะสามารถปรับได้จากวาล์วให้เหมาะสมซึ่งเรียกว่า ความดันย้อนกลับ (back pressure) ซึ่งจะสามารถปรับได้จาก 0 ถึง 400 p.s.i

4. เครื่องฉีดส่วนใหญ่จะชักสกรูกลับเล็กน้อย (retract) ที่จุดนี้เพื่อ “decompress” วัสดุเพื่อไม่ให้ไหลย้อย (drool out) จากหัวฉีด ซึ่งเราเรียกว่า “suck back” และสามารถควบคุมได้โดยการจับเวลา
5. กระบอกสูบไฮโดรลิคของเครื่องฉีดทั้ง 2 ตัว จะนำสกรูเคลื่อนที่ไปข้างหน้าฉีดวัสดุเข้าแม่พิมพ์ ความดันของเครื่องฉีดจะถูกรักษาไว้ให้คงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ที่หัวของสกรูจะมีวาล์วปิดคอยป้องกันวัสดุไม่ให้รั่วเข้าไปในสันสกรูของสกรูระหว่างการฉีด วาล์วนี้จะเปิดเมื่อสกรูหมุนทำให้พลาสติกไหลเข้าไปอยู่ข้างหน้ามันได้
6. ความเร็วของน้ำมันและความดันในกระบอกสูบทั้ง 2 จะทำให้มีความเร็วที่มากพอที่จะเติมวัสดุให้เต็มแม่พิมพ์ให้เร็วที่สุดเท่าที่จำเป็นและรักษาความดันนี้เพียงพอที่จะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยปราศจากข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น รอยยุบ (sink mark) รอยจากการไหล (flow mark)
7. เมื่อวัสดุเย็นตัวลงมักจะมีความหนืดมากขึ้นและแข็งตัวถึงจุดที่การรักษาความดันของการฉีดให้คงที่ไว้ไม่มีประโยชน์อะไร
8. ความร้อนจะค่อยๆถูกเอาออกจากแม่พิมพ์ โดยการไหลเวียนของตัวหล่อเย็น (โดยทั่วไปจะเป็นน้ำ) ผ่านรูที่เจาะไว้ในแม่พิมพ์ เวลาในการทำให้พลาสติกแข็งตัวจนกระทั่งมันจะสามารถถูกกระทุ้งออกจากแม่พิมพ์ได้จะถูกตั้งไว้บนตัวจับเวลา (clamp timer) เมื่อหมดเวลา ฝาแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่ได้จะกลับขึ้นสู่ตำแหน่งเดิมและแม่พิมพ์ก็จะถูกเปิดออก

9. กลไกการกระทุ้งออกจะแยกผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์และเครื่องจะพร้อมสำหรับการทำงานในรอบต่อไป

## 2.7 แม่พิมพ์ (mold)

ที่แม่พิมพ์จะมีท่อหล่อเย็น (Cooling channels) ที่ซึ่งมีน้ำไหลเข้าออกอุณหภูมิของน้ำจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ น้ำเย็นจะให้วงจรการผลิตสั้นกว่าน้ำอุ่น แต่ในบางครั้งเราก็ต้องใช้แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิไม่ต่ำมาก เช่น พวกพอลิเมอร์กึ่งผลึกเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีบางประการ

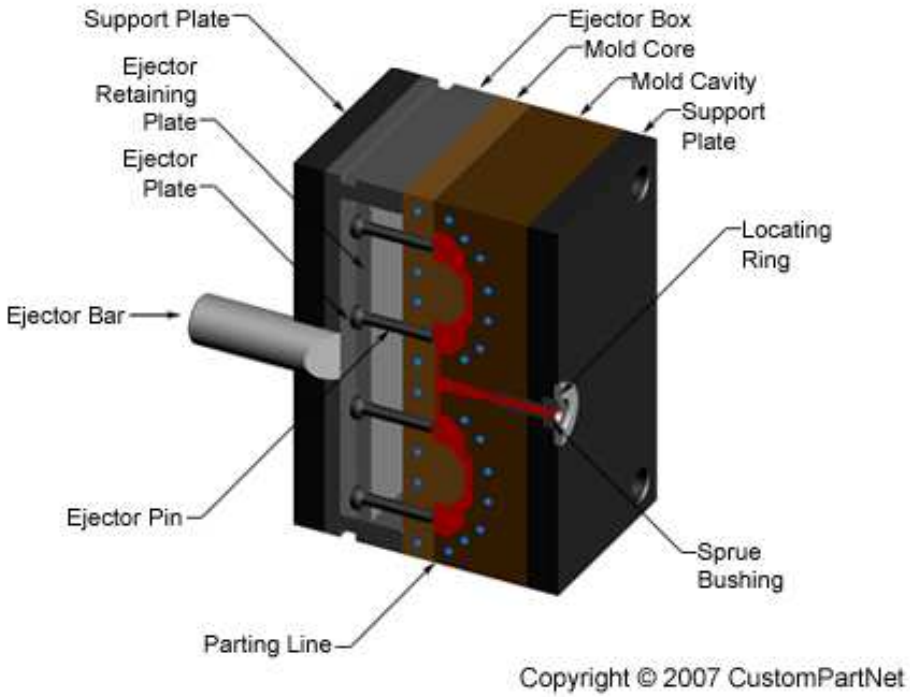
ลักษณะของแม่พิมพ์ ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.8

ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วย

1) Cavities and core
2) Base ที่ซึ่ง cavities & core ยึดติดอยู่

แม่พิมพ์จะประกอบด้วย Cavities มากกว่า 1 ซึ่งจะมีส่วนพื้นฐาน 2 ส่วน

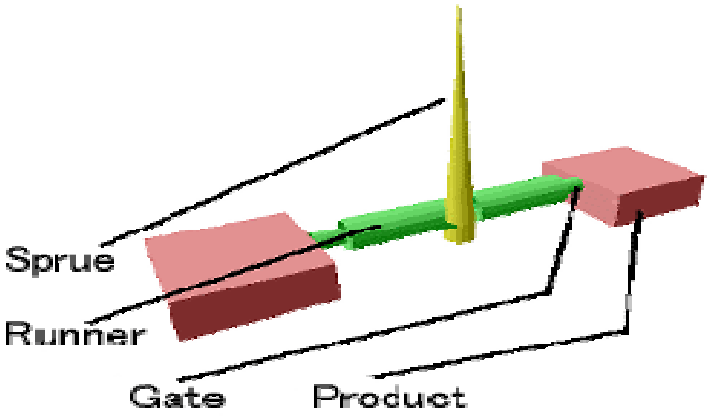
1) stationary mold half เป็นด้านอยู่กับที่ที่พลาสติกจะถูกฉีดเข้าไป
2) moving half อยู่บนด้านที่ปิดเข้ามาหรือด้านที่คอยกระทุ้งผลิตภัณฑ์




**รูปที่ 2.8 ก** ลักษณะของแม่พิมพ์ทั่วไป

ในบางกรณี แควิตี้จะมีทั้งส่วนที่อยู่ใน stationary และส่วนที่อยู่ใน moving sections

แควิตี้มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ sprue, runner และ gate




**รูปที่ 2.8 ข** ลักษณะของ sprue runner และ gate

หน้าที่สำคัญของ gate คือ

1) ทำให้เกิดการแข็งตัวของพอลิเมอร์ที่รวดเร็ว เมื่อเสร็จสิ้นการฉีดซึ่งทำให้เกิดการแยกตัวอย่างชัดเจนของแควิตี้และทำให้สกรูสามารถถอยกลับไป
2) ลักษณะของส่วนที่บางและแคบ ของ gate ทำให้สามารถฉีกแยกชิ้นงานออกไปได้ง่าย
3) ทำให้อัตราเฉือน(shear rate) เพิ่มขึ้นเมื่อพอลิเมอร์หลอมไหลผ่านเข้าไปทำให้ความหนาลดลงและช่วยให้การเติมแม่พิมพ์ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นสำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

หน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์แสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** หน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์

| ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ | หน้าที่ |
|---|---|
| ฐานแม่พิมพ์ (mold base) | ยึด แควิตี้ ให้ตรงตำแหน่งกับหัวฉีดของเครื่อง |
| Guide pins | รักษาตำแหน่งการวางตัวของแม่พิมพ์ทั้งสองด้านให้เหมาะสม |
| Sprue bushing (sprue) | เป็นทางผ่านเข้าไปยังส่วนภายในของแม่พิมพ์ |
| Runners | เป็นทางลำเลียงพลาสติกหลอมจาก sprue ไป cavity |
| Gates | ควบคุมการไหลเข้า cavity |
| Cavity (female) and force (male) | ควบคุมขนาดรูปร่างและลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่จะได้จากการขึ้นรูป |
| ท่อน้ำ (Water channels) | ควบคุมอุณหภูมิของพื้นผิวแม่พิมพ์เพื่อให้พลาสติกเย็นตัวลงจนมีลักษณะเป็นของแข็ง |

| | |
|---|---|
| ทางระบายอากาศ (Vents) | เป็นการปล่อยให้อากาศหรือก๊าซที่ถูกจับเข้ามาออกไป |
| กลไกการกระทุ้ง (pins, blades, stripper plate) | เป็นตัวกระทุ้งหรือปลดชิ้นงานออกจาก แควิตี้ หรือ force |
| Ejector return pins | เป็นตัวนำหยุดกระทุ้ง (ejector pins) กลับคืนไปที่ตำแหน่งเดิมเมื่อแม่พิมพ์ปิดสำหรับเริ่มการผลิตในวงจรต่อไป |

สำหรับแม่พิมพ์ของเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญแบ่งตามจำนวน Plate จะมี 2 ชนิดได้แก่

1) two-plate mold

คือ แม่พิมพ์ที่มี 2 แผ่นประกบกันและมีทางไหลหรือ runner ที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า $T_g$ หรือ $T_m$

2) three-plate mold

คือ แม่พิมพ์ประกอบด้วย 3 แผ่นประกบกันและมี runner ซึ่งในแต่ละแบบยังสามารถแยกออกตามลักษณะของ Runner ที่ได้ ได้แก่

1) hot-runner mold

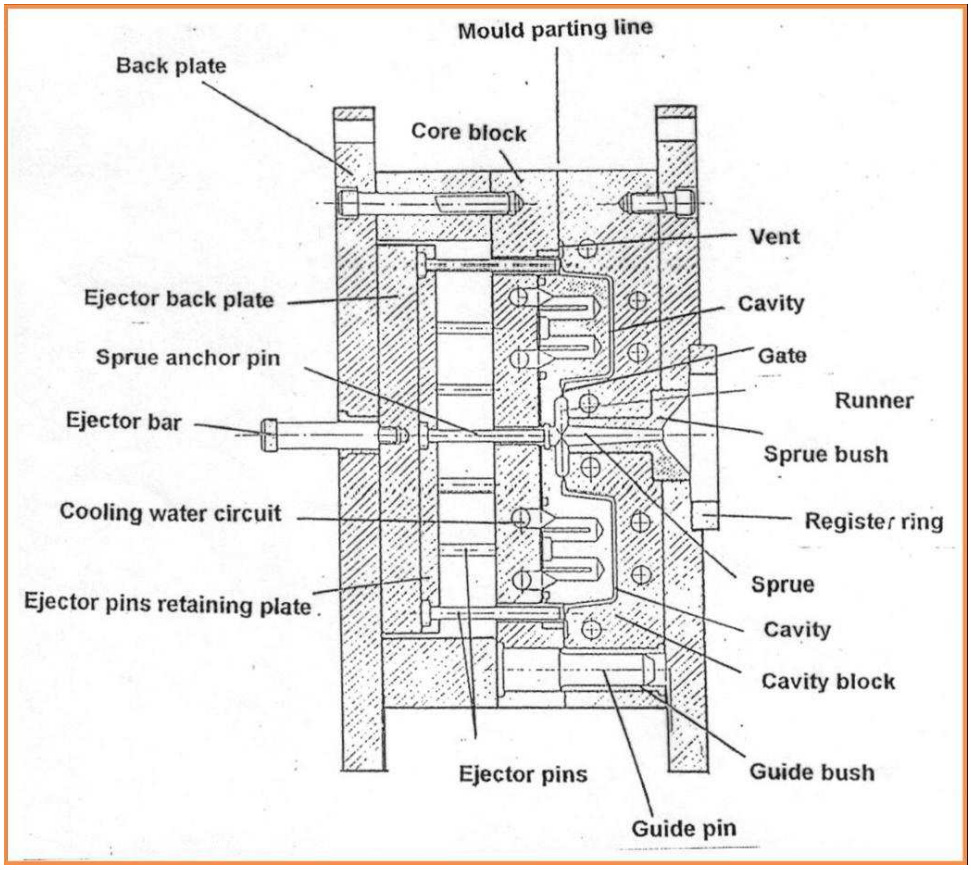
คือ แม่พิมพ์ที่มี Runner ที่มีอุณหภูมิมากกว่า $T_g$ หรือ $T_m$

2) cold-runner mold

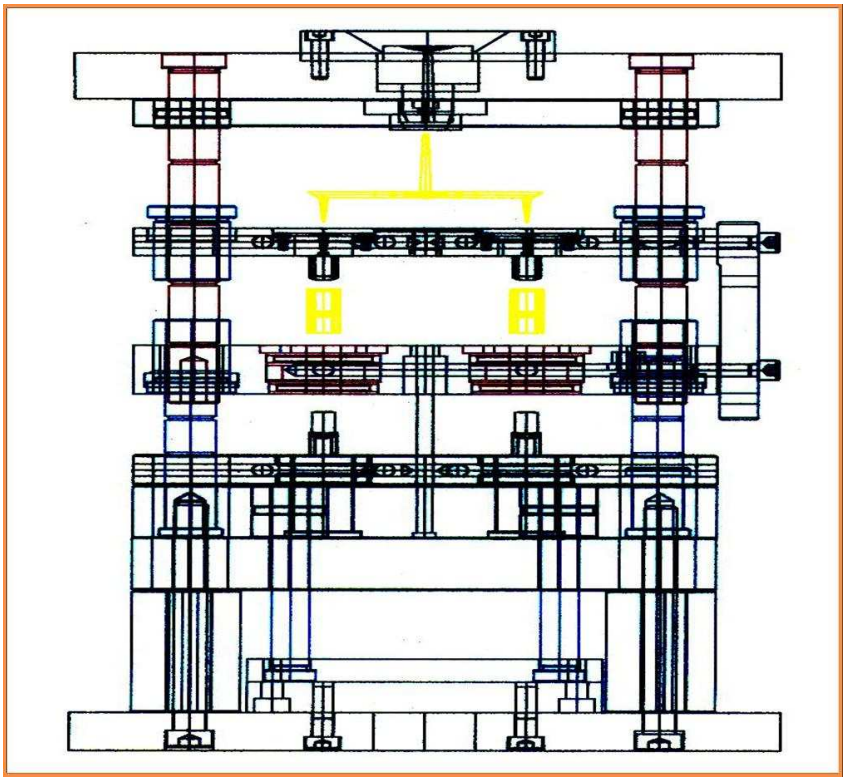
คือ แม่พิมพ์ที่มี Runner ที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า $T_g$ หรือ $T_m$

นอกจากนี้ ยังมีลักษณะแม่พิมพ์ที่ เรียกว่า Stacked mold ซึ่งหมายถึง แม่พิมพ์ที่ประกอบด้วยชั้นหลายๆ ชั้น

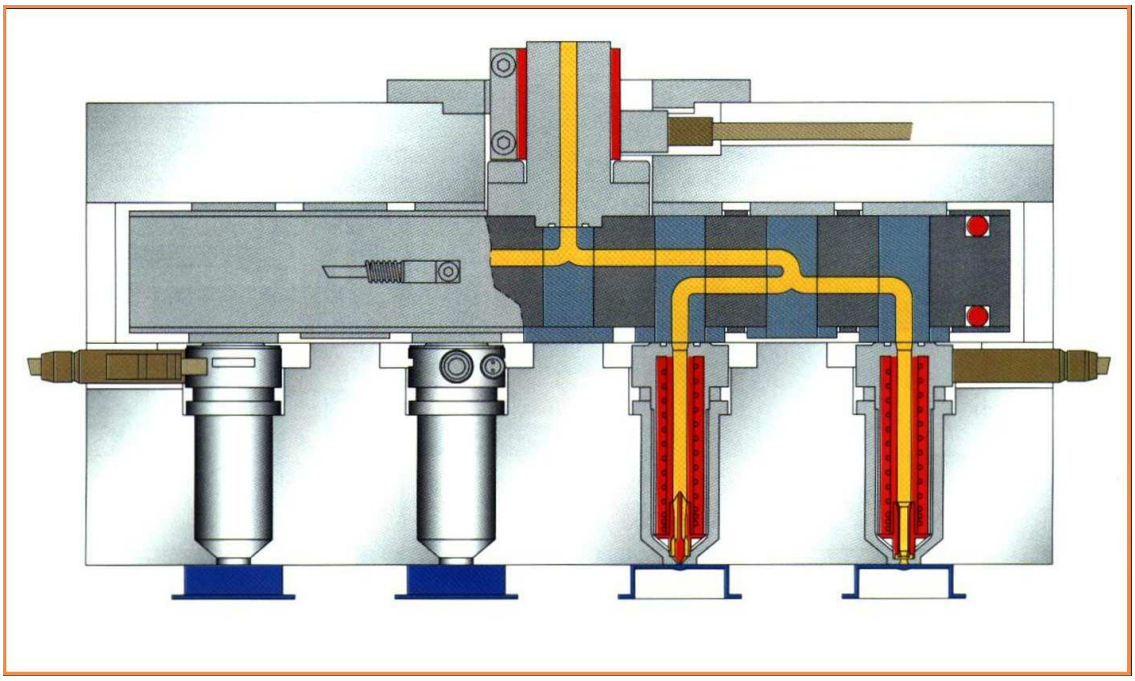
ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.10 -2.13



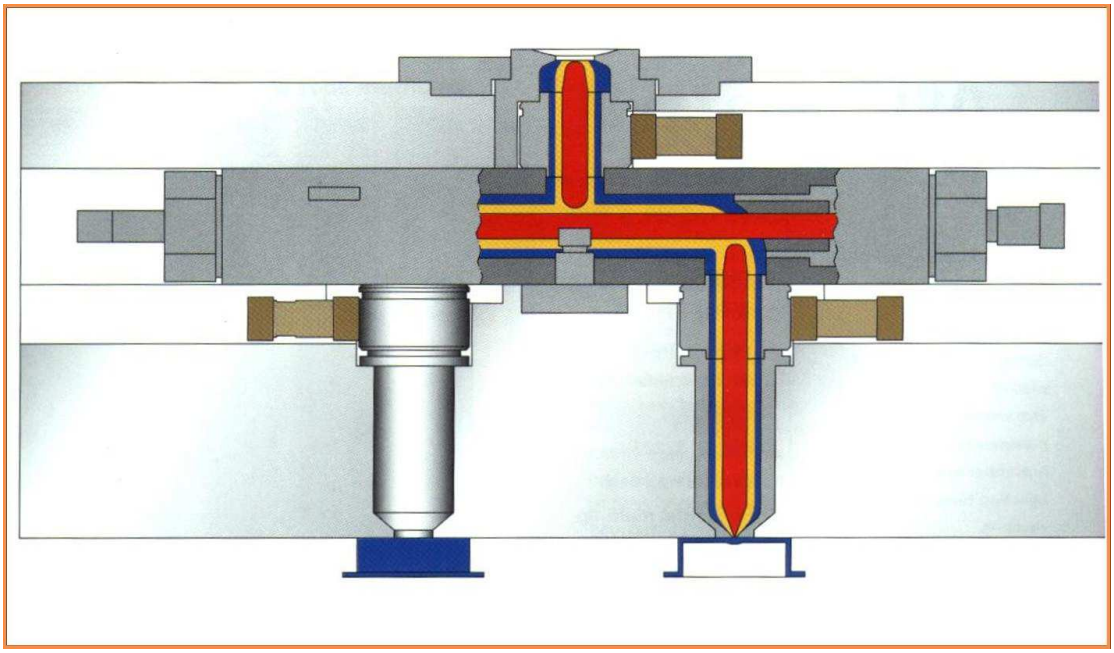

**รูปที่ 2.10** ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบ two-plate mold



**รูปที่ 2.11** ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบ three-plate mold

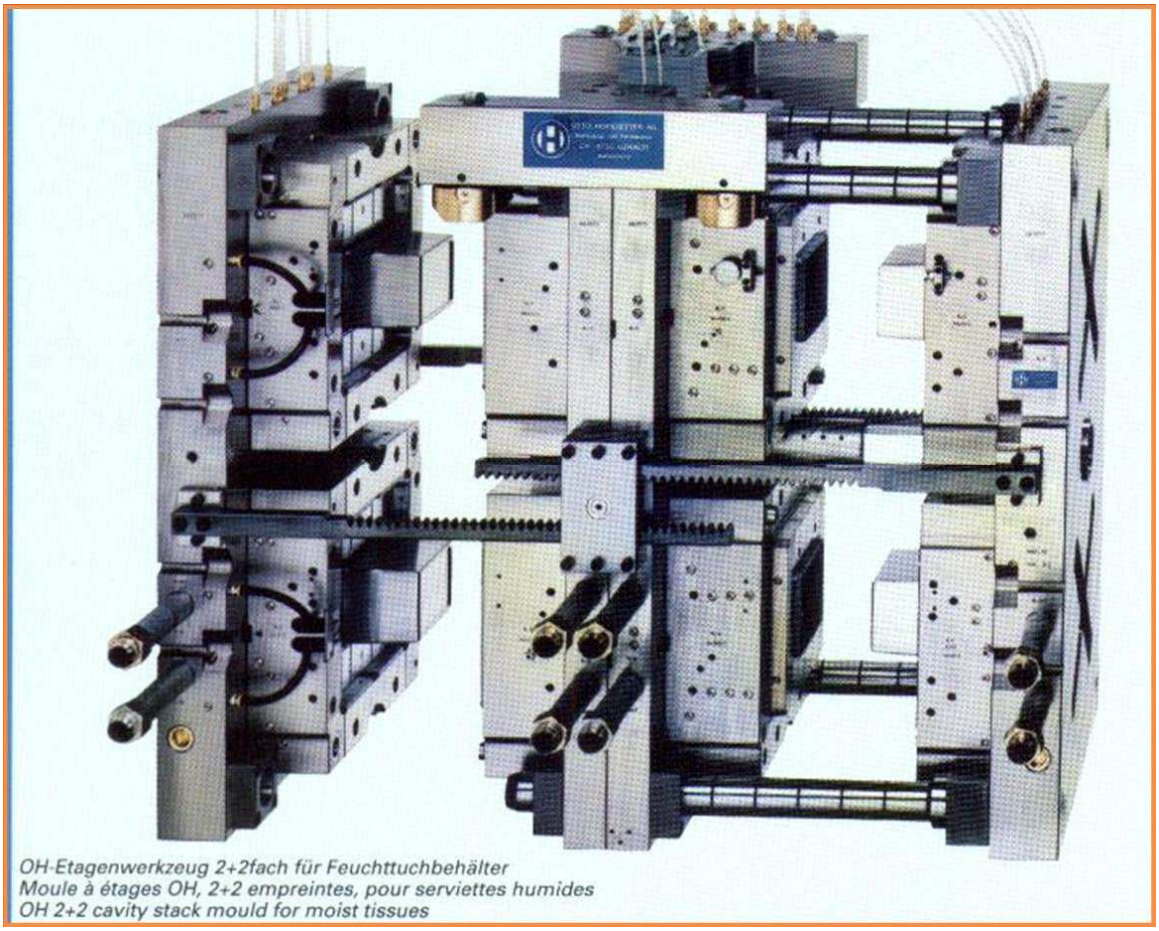


**(ก)**



**(ข)**

**รูปที่ 2.12** ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบ two plate hot runner mold (ก) แบบให้ความร้อนภายนอก (ข) แบบให้ความร้อนภายใน




**รูปที่ 2.13** ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบ stacked mold

## 2.8 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด

**ข้อดี**

1) ให้อัตราการผลิตสูง (high production rate)
2) ให้ปริมาณการผลิตสูง (large volume production)
3) เป็นกระบวนการอัตโนมัติ (highly automatic)
4) ไม่ต้องการการตกแต่งมาก (no finishing)
5) มีเศษชิ้นงานเหลือน้อย (minimal scrap)
6) สามารถเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องฉีดหรือแม่พิมพ์ในบางกรณี
7) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างได้ตรงตามกำหนด

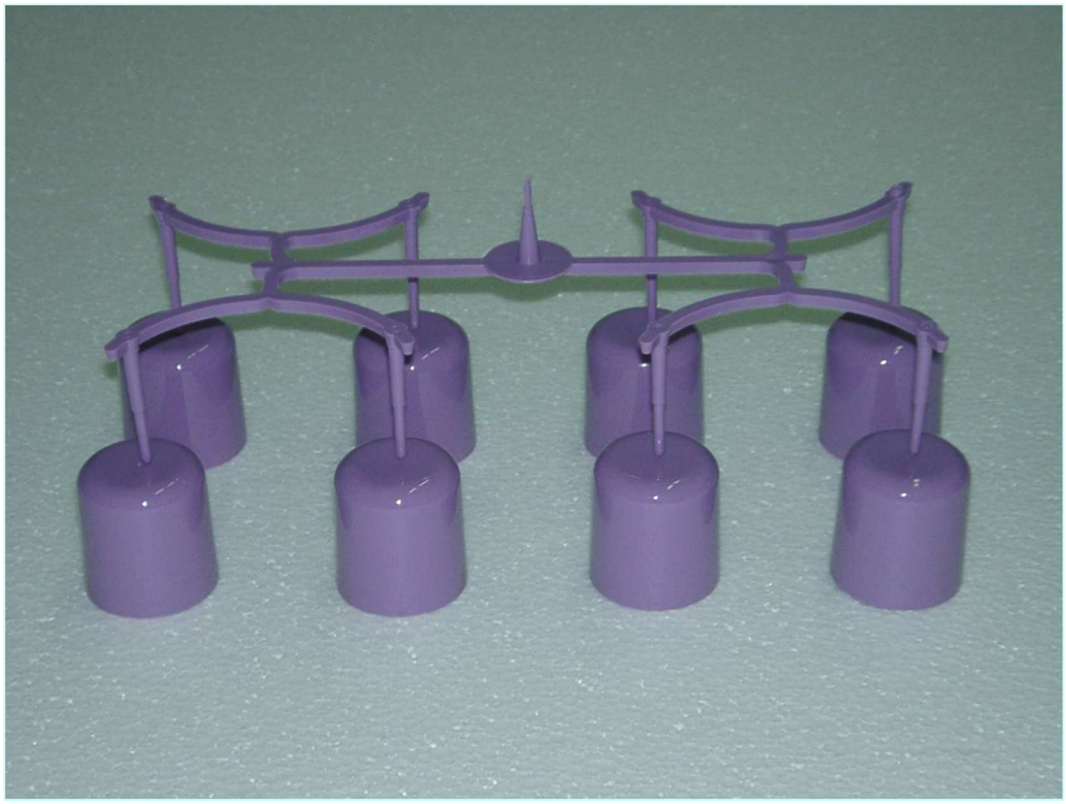
**ข้อเสีย**

1) ราคาแม่พิมพ์สูง
2) ราคาเครื่องฉีดสูง

# คำถามท้ายบท

1. จงบอกลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการฉีด

2. จากรูปด้านล่าง จงเขียนแสดงตำแหน่งของ sprue runner gate



3. ในการเลือกผลิตชิ้นงานฉีดว่าจะใช้แม่พิมพ์แบบ two plates หรือ three plates ควรพิจารณาอย่างไร

4.เพราะเหตุใดเครื่องฉีดของเทอร์โมพลาสติกจึงมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องฉีดของเทอร์โมเซต