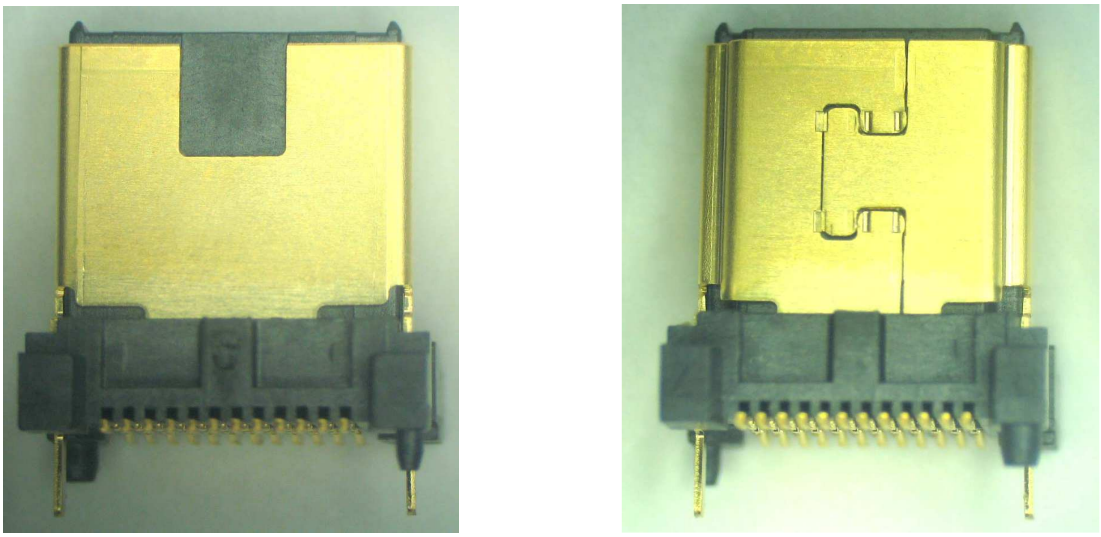
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

2.1.1 ลักษณะการประกอบการของบริษัทศึกษา

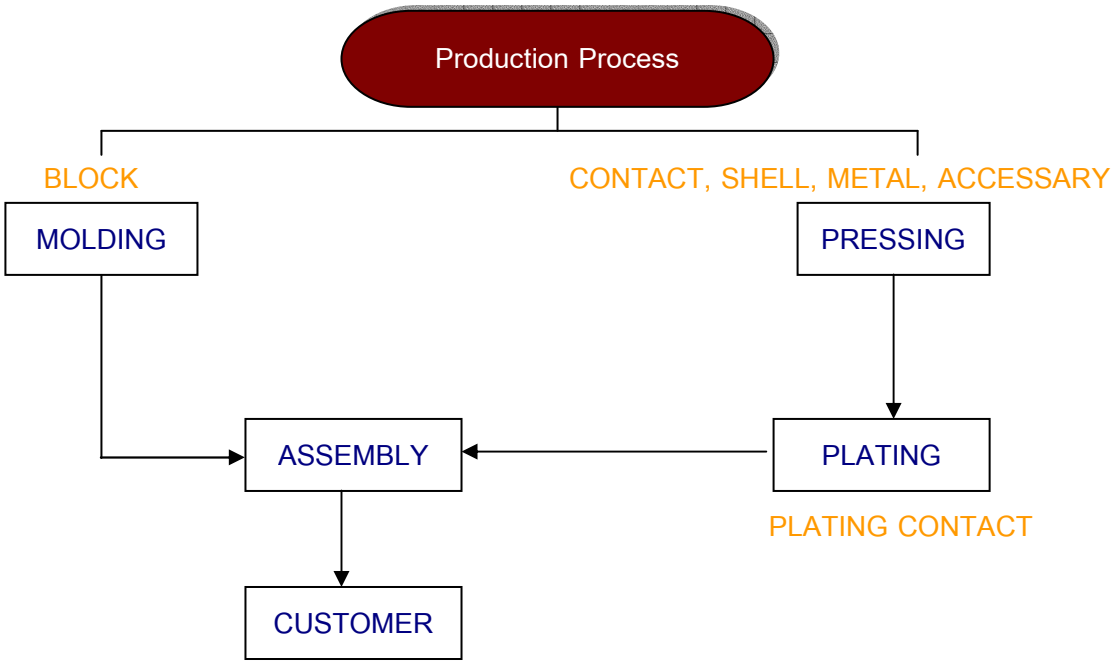
บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตคอนเนคเตอร์รายใหญ่ แห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งคอนเนคเตอร์ ก็คือ สิ่งที่เชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างทางเดินไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์นั้นๆ และเนื่องจากในปัจจุบันมีอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์เกิดขึ้นใหม่มากมายหลายชนิด มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการพัฒนารูปแบบคอนเนคเตอร์ให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่นำมาศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2.1



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.1
ชิ้นงานคอนเน็คเตอร์ที่ใช้ในกรณีศึกษา
ภาพ (ก) คือ ชิ้นงานด้านเกท และภาพ (ข) คือ ชิ้นงานด้านตรงข้ามเกท

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตคอนเนคเตอร์ของบริษัทศึกษา



ภาพที่ 2.2
ขั้นตอนการผลิตคอนเนคเตอร์

2.2 ความรู้ทั่วไปของการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

ในปี ค.ศ. 1868 ช่างพิมพ์ (Printer) ชาวอเมริกันชื่อ John Wesley Hyatt ได้ค้นพบพลาสติกชนิดแรกของสหรัฐอเมริกาชื่อเซลลูลอยด์ (Cellulose Nitrate) โดยการนำเอาไพรอกซีลีน (Pyroxylin) ซึ่งทำจากฝ้ายกับกรดไนตริคผสมกับการบูร (Solid Camhor) ทำเป็นลูกบิลเลียดแทนการใช้งาช้างซึ่งเกิดขาดแคลนมากในระยะนั้น ขณะเดียวกันที่อังกฤษได้นำไพรอกซีลีนไปทำเป็นแลคเกอร์และวัสดุเคลือบผิว (Coating Material) อื่นๆ ต่อมาได้มีผู้นำเอาเซลลูลอยด์ดัดแปลงไปใช้ทำเหงือกฟันปลอม (สีชมพู) แทนการใช้ยางแข็ง หลังจากนั้นได้นำเอาไปใช้ทำกระจกรถยนต์จนกระทั่งปี ค.ศ. 1882 บริษัท Eastman ได้ประดิษฐ์ทำเป็นฟิล์มภาพยนตร์

การคิดค้นพลาสติกได้หยุดชะงักไปชั่วระยะเวลาหนึ่งจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1909 Dr. Leo Hendrik Baekeland ได้ค้นพบพลาสติกชื่อฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde)

หรือฟีโนลิค (Phenol) โดยการสังเคราะห์ฟีนอลกับฟอร์มาลดีไฮด์เข้าด้วยกัน พลาสติกชนิดนี้เรารู้จักกันดีในชื่อ Bakelite ซึ่งใช้ทำด้ามกระทะ หูหม้อ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หลังจากนำไปหล่อทำผลิตภัณฑ์แล้ว เปรียบเสมือนน้ำแข็ง เมื่อถูกความร้อนก็จะกลายเป็นน้ำ และเมื่อทำให้เย็นน้ำจะแข็งตัวกลับมาเป็นน้ำแข็งได้อีกไม่มีที่สิ้นสุด เรียก “Plastics With a Memory” พลาสติกชนิดนี้ยังแบ่งออกอีกเป็น 2 ประเภท คือ อะมอฟัสเทอร์โมพลาสติก (Amorphous Thermoplastics) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลแบบเส้นจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ที่เรียกว่า Secondary force ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและระยะห่างระหว่างโซ่โมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพขั้ว (Polarity) ของพอลิเมอร์ และมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกล ทางความร้อน และทางเคมีด้วย พลาสติกในประเภทนี้ ได้แก่ โพลิสไตรีน (Polystyrene), โพลีคาร์บอเนต (PC), โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ พาเชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก (Partial Crystalline Thermoplastics) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างของโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบ สายโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันดีและประกอบเป็นผลึก และมีบางส่วนที่ยังเป็นอะมอฟัสที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้เหนียว และยืดหยุ่น หรือเรียพลาสติกชนิดนี้ว่า Semi-crystalline พลาสติกในประเภทนี้ ได้แก่ โพลีเอทธิลีน (Polyethylene), โพลีโพไพลีน (Polypropylene), โพลีเอไมด์ (Polyamide) เป็นต้น

2. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) เป็นพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน (Heat) และแรงอัด (Pressure) หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตประเภทหล่อพลาสติกเหลว (Casting) จะนำไปหลอมละลายนำกลับมาใช้ใหม่อีกไม่ได้ เปรียบเสมือนไข่เมื่อนำไปทำให้สุกแล้วจะทำให้เหลวเหมือนเดิมอีกไม่ได้ ประกอบด้วยเส้นโมเลกุลที่เกาะกันเป็นตาข่าย (Molecule cross-linking) เนื่องจากการยึดกันของโซ่โมเลกุลไม่ใช่แรงโควาเลนซ์ (Covalent) จึงมีคุณสมบัติแตกต่างจากเทอร์โมพลาสติกเป็นอย่างมาก พลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟินอลิกเมลามีน (Phenol Melamine), โพลีเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester), อีพอกซี่ (Epoxy resin), โพลียูรีเทน (Polyurethane

3. อีลาสโตเมอร์ (Elastomeric) หรือยางต่างๆ ทั่วไปที่มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลยาวๆ สายโซ่โมเลกุลจะม้วนเป็นขดและพันกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีการยืดหยุ่นได้ ในสภาวะ Green state (สภาวะปกติ) ยางจะไม่คืนรูปได้อย่างสมบูรณ์ เพราะโมเลกุลของยางจะมีการ

เคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลต่างๆ ไม่ได้กลับมาอยู่ที่เดิม การทำให้โมเลกุลของยางเกิดการยึดเหนี่ยวทำได้ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า วัลคาร์ไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลเป็นร่างแห (Molecule cross-linking) เช่นเดียวกับพวกเทอร์โมเซต คุณสมบัติของยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาร์ไนเซชันจะทำให้ยางสามารถยืดหดได้ ทนทานต่อพวกไขมันก๊าซและโอโซน ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ และทนต่อกรดและด่าง เช่น ยาง SBR, ยาง NR, CR เป็นต้น

2.2.2 **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับงานฉีดพลาสติก**

การฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ เป็นกระบวนการหลักในการผลิตชิ้นงานพลาสติกสำเร็จรูป เป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกที่สำคัญที่สุด ถ้านับเอาจำนวนเครื่องแปรรูปพลาสติกที่ใช้กันทั้งหมด มูลค่าของชิ้นงานพลาสติกที่ผลิต และจำนวนชิ้นงานพลาสติกทั้งหมดที่ผลิตจากเทคนิคนี้ กล่าวคือ ในบรรดาเครื่องแปรรูปพลาสติกทั้งหมด ประมาณ 60% เป็นเครื่องฉีดโดยทั่วไป การแปรรูปพลาสติกโดยการฉีด ผลิตชิ้นงานที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 5 กรัม ถึง 90 กิโลกรัม

เทคนิคการฉีดพลาสติกนอกจากใช้แปรรูปเทอร์โมพลาสติกแล้ว ยังนิยมใช้แปรรูปพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซ็ต โพลิเมอร์เชิงประกอบ (Polymer Composites) ของเส้นใยชนิดต่าง ๆ และ อีลาสโตเมอร์ด้วย นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ของการฉีดเข้าแม่พิมพ์ เรียกว่า การฉีดเข้าแม่พิมพ์ขณะเกิดปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding, RIM) แต่ขอบข่ายของเนื้อหาจะอธิบายเน้นเทคนิคการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ของเทอร์โมพลาสติกเท่านั้น เนื่องจากมีปริมาณการผลิตและมูลค่าในตลาดของการแปรรูปพลาสติกสูงที่สุด

2.2.3 **เครื่องฉีดพลาสติก**

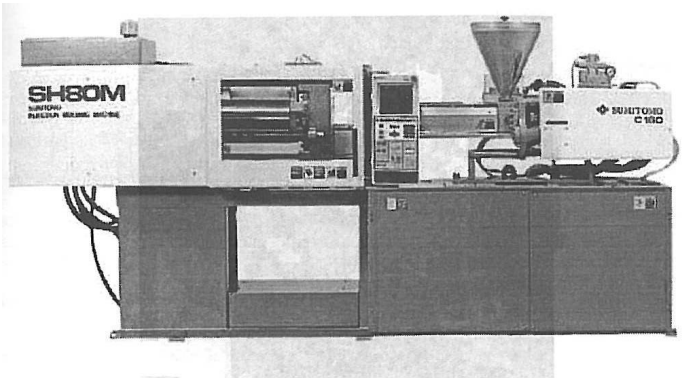
เครื่องฉีดพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ ซึ่งมีการออกแบบให้เหมาะกับการผลิตชิ้นงานพลาสติกแต่ละชนิด โดยทั่วไปขนาดของเครื่องฉีดขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน กล่าวคือการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่จะใช้เครื่องฉีดนาดใหญ่ แต่ไม่เป็นความจริงเสมอไป เนื่องจากในกรณี การฉีดชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก มักจะใช้เครื่องฉีดขนาดใหญ่ที่ฉีดชิ้นงานพลาสติกได้หลายชิ้นในครั้งเดียวกัน ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนมากกว่าการใช้เครื่องขนาดเล็กที่ฉีดได้ชิ้นเดียวต่อครั้งจำนวนหลายเครื่อง

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) **เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวนอน** (Horizontal Injection Machine)

โดยทั่วไปเป็นเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากการวางตัวในแนวนอน ทำให้รอยประกบ (Parting Line) ระหว่างเบ้าทั้งสองซีกตั้งฉากกับแนวราบ ทำให้สามารถกระทุ้งชิ้นงาน

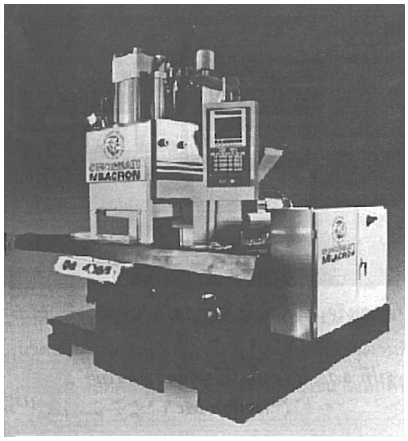
ที่ได้จากการฉีดให้ตกลงในภาชนะรองรับ ซึ่งอยู่ด้านล่างเครื่องฉีดได้สะดวก นอกจากนี้การถอดและการเปลี่ยนเบ้าก็สามารถทำได้ง่าย ลักษณะของเครื่องแบบนี้แสดงดังภาพ 2.3



ภาพที่ 2.3
เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวนอน

2) **เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวตั้ง** (Vertical Injection Molding Machine)

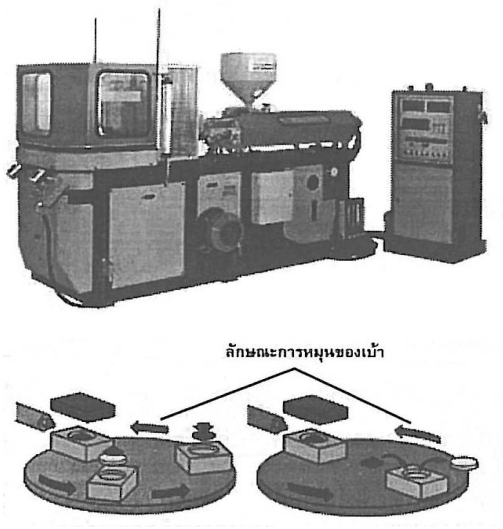
เครื่องฉีดพลาสติกชนิดนี้ รอยประกบแม่พิมพ์วางตัวอยู่ในแนวราบ ตั้งฉากกับแนวของชุดฉีด ลักษณะของเครื่องแบบนี้เหมะสำหรับการฉีดหุ้ม เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น ด้ามไขควง ด้ามมีด ด้ามประแจ และการฉีดหุ้มปลั๊กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้การฉีดอีลาสโตเมอร์เข้าแม่พิมพ์ ส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องฉีดในลักษณะนี้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4
เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวตั้ง

3) **เครื่องฉีดแบบหมุน** (Rotary Table Machine)

เครื่องฉีดแบบนี้มีชุดฉีดและหน่วยที่ทำให้พลาสติกหลอมเพียงชุดเดียว แต่มีแม่พิมพ์หลายชุดเหมาะสำหรับการผลิตพลาสติกที่ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนและการหล่อเย็นนาน ตัวอย่างเครื่องฉีดแบบหมุนแสดงดังภาพที่ 2.5 เครื่องฉีดที่มีแม่พิมพ์จำนวน 2 หรือ 3 ชุด



ภาพที่ 2.5
เครื่องฉีดแบบหมุน

2.2.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

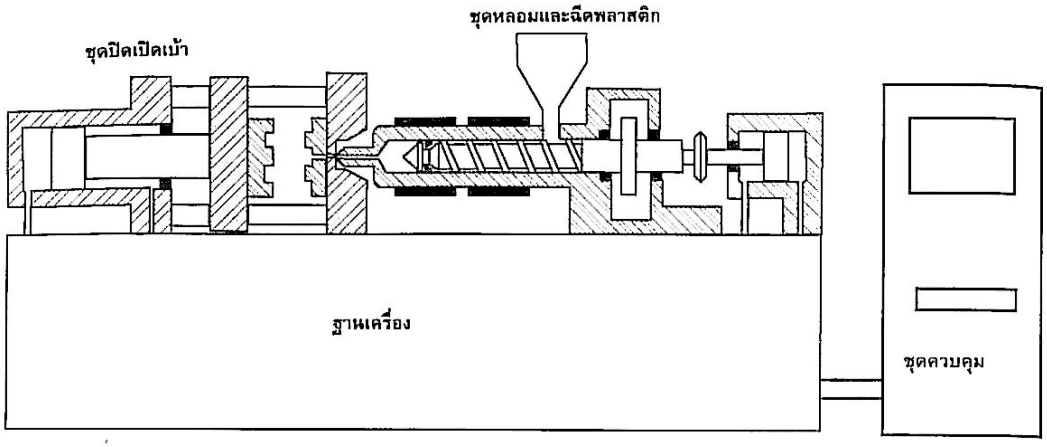
เครื่องฉีดพลาสติกมีหลายรูปแบบ สามารถใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดและรูปร่างหลายแบบมาก ดังนั้นในการฉีดเข้าแม่พิมพ์ จึงจำเป็นต้องออกแบบเครื่องฉีดให้มีลักษณะเหมาะสมกับชิ้นงานที่ทำการผลิต และจำเป็นต้องใช้สภาวะในการฉีดที่เหมาะสมด้วยซึ่งสภาวะของการแปรรูปเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาดของเครื่องฉีดและอุปกรณ์เสริมชนิดต่าง ๆ แต่โดยทั่วไปเครื่องฉีดพลาสติก ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1) ชุดหลอมและฉีดพลาสติก (Plasticising and Injection Unit)

2) ชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

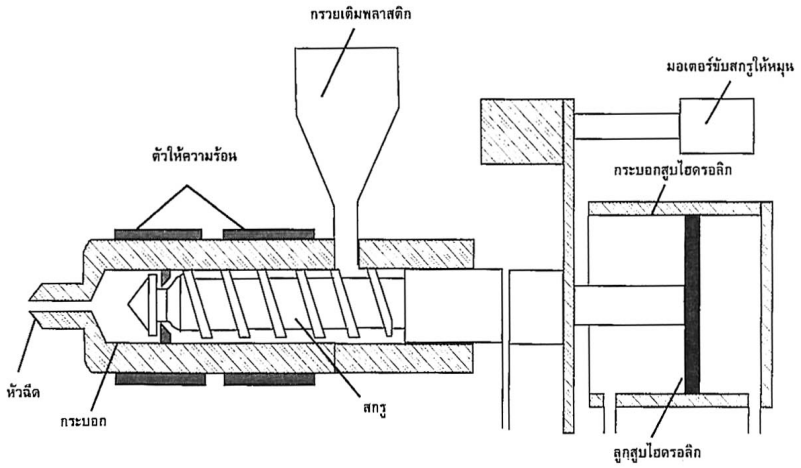
3) ระบบไฮดรอลิก ระบบควบคุม และระบบไฟฟ้า (Hydraulics, Controls and Electrical System)

ส่วนประกอบหลักทั้งสามส่วนนี้แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6
ส่วนประกอบหลักของเครื่องฉีดพลาสติก

1) **ชุดหลอมและฉีดพลาสติก** (Plasticising and Injection Unit)
ส่วนประกอบหลักของชุดหลอมและฉีดแสดงดังภาพ 2.7 ซึ่งประกอบด้วย



ภาพที่ 2.7
ชุดหลอมและฉีดพลาสติก

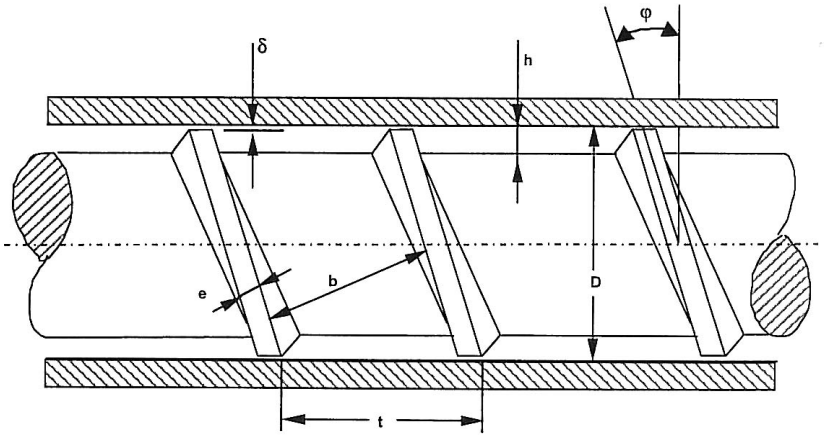
- กรวยเติมพลาสติก (Feed Hopper)

กรวยเติมพลาสติกทำหน้าที่ในการบรรจุพลาสติกที่อยู่ในรูปผงหรือเม็ดการออกแบบกรวยเติมจะต้องมีมุมลาดเอียงมากพอที่จะทำให้พลาสติกเกิดการไหลได้สะดวกภายในกรวยเติม

บางชนิดจะมีโครงเหล็ก หรือมีใบกวน เพื่อทำหน้าที่ในการป้องไม่ให้พลาสติกติดกันเป็นก้อน ทำให้การไหลของพลาสติกลงสู่ส่วนคอ (Throat) ของกรวยเติมได้สะดวกขึ้น

- สกรู (Screw)

สกรูจะวางตัวอยู่ภายในกระบอก ทำหน้าที่ในการดึงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกเข้ามาในกระบอก โดยการหมุนเนื่องจากแรงขับจากมอเตอร์ไฟฟ้า แล้วป้อนส่งพลาสติกไปข้างหน้า พร้อมกับทำให้เกิดการหลอมและเกิดการคลุกเคล้ากันเป็นเนื้อเดียวในช่วงฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ (Injection Phase) สกรูจะทำหน้าที่เป็นลูกสูบ (Plunger) เคลื่อนที่ในแนวแกนเพื่ออัดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ ลักษณะรูปร่างและรายละเอียดของสกรูที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8
ลักษณะสกรู

เมื่อ δ คือ ช่องว่างระหว่างสันเกลียวของสกรูกับกระบอก โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3 มิลลิเมตร

e คือ ความกว้างของสันเกลียว

t คือ ระยะห่างของสันเกลียว (Pitch)

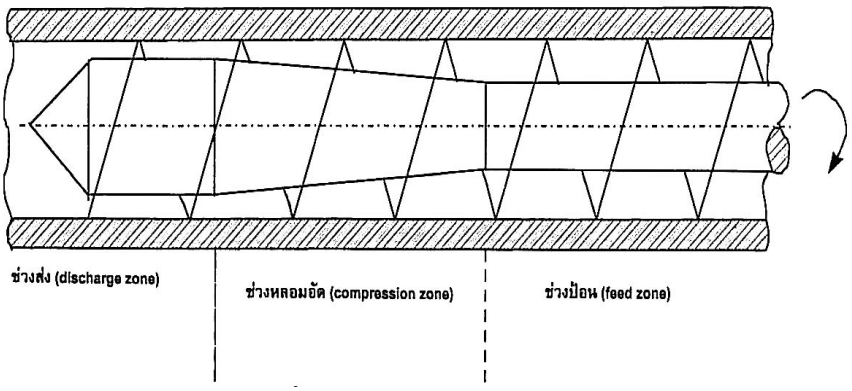
b คือ ความกว้างของร่องเกลียว

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอก

φ คือ มุมของสันเกลียว

H คือ ความลึกของร่องเกลียว

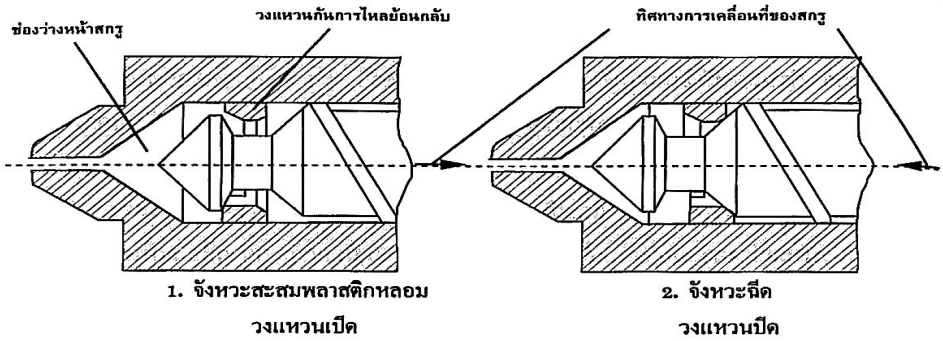
สกรูที่ใช้ในการฉีดพลาสติก โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะหน้าที่การทำงานของแต่ละช่วง คล้ายกับสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูด ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาพข้างล่าง ช่วงแรกเรียกว่าเป็น ช่วงป้อน (Feed Zone) สกรูหมุนดึงเอาพลาสติกจากกรวยเติมเข้ามาในกระบอก และพลาสติกเกิดการหลอมบางส่วนที่ส่วนปลายของสกรูช่วงนี้ สกรูช่วงนี้จะมีร่องลึกกว่าช่วงอื่น ช่วงที่สองเป็นช่วงหลอมอัด (Compression zone) เป็นช่วงที่พลาสติกเกิดการหลอมมากขึ้น และเกิดแรงดันภายในกระบอกมากขึ้น ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่ทำการส่งพลาสติก (Discharge zone หรือ Metering zone) โดยพลาสติกในช่วงนี้หลอมเป็นเนื้อเดียว มีแรงดันสูงเนื่องจากการค่อย ๆ ลดความลึกของร่องสกรูลง พลาสติกหลอมจะถูกสะสมในช่องว่างด้านหน้า สกรู (Injection Chamber) พร้อมที่จะฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.9
ช่วงต่างๆ ของสกรู

สกรูที่ใช้ในการฉีดพลาสติก แตกต่างจากสกรูที่ใช้ในการเอกซ์ทรูด กล่าวคือ จะมีเกลียวนซ้าย เพื่อให้สามารถต่อโดยตรงกับมอเตอร์ขับ ซึ่งโดยปกติจะหมุนทางขวา ส่วนสกรูที่ใช้ในการเอกซ์ทรูดจะมีเกลียวนขวาเนื่องจากการเอกซ์ทรูดใช้โพลิเมอร์ที่มีความหนืดสูง และลักษณะเฉพาะของกระบวนการแปรรูป จึงต้องการกำลังในการขับสกรูมากกว่า จึงไม่สามารถต่อมอเตอร์เข้ากับสกรูโดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องช่วยอุปกรณ์เพื่อช่วยในการทดกำลัง เช่น เฟือง และเกียร์ เป็นต้น นอกจากนี้สกรูที่ใช้ในการฉีดพลาสติกจะมีอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) อยู่ในช่วง 20:1 ถึง 30:1

จากภาพที่ 2.8 จะเห็นว่ามีช่องว่างระหว่างสันเกลียวของสกรูกับกระบอก (δ) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งความกว้างของช่องว่างนี้จะขึ้นกับขนาดของสกรู กล่าวคือ สกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากจะมีช่องว่างมากขึ้น ช่องว่างนี้มีหน้าที่ในการป้องกันการขัดสีกันระหว่างสกรูกับผิวด้านในของกระบอก โดยมีพลาสติกหลอมแทรกตัวอยู่ในช่องว่างนี้ในการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ สกรูทำหน้าที่เป็นลูกสูบ โดยจะถอยสุดตัวแล้วดันพลาสติกหลอมที่อยู่ในช่องด้านหน้าเข้าแม่พิมพ์ พลาสติกหลอมส่วนใหญ่จะวิ่งไปในทิศเดียวกับการเคลื่อนตัวของสกรู แต่มีพลาสติกหลอมบางส่วนไหลสวนทางกลับเข้ามาในกระบอก ซึ่งทำให้มีผลเสีย คือ ไม่สามารถควบคุมความดันของการฉีดได้ นอกจากนี้พลาสติกหลอมที่ไหลย้อนกลับอาจเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากได้รับความร้อนนานเกินไป และอาจทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดครั้งต่อไปเกิดการเปลี่ยนสีได้ ด้วยเหตุนี้บริเวณส่วนปลายของสกรูที่ใช้ในเครื่องฉีดพลาสติกจะมีวงแหวนที่เรียกว่า วงแหวนกันการไหลย้อนกลับ (Back-flow valve) ซึ่งมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 2.10

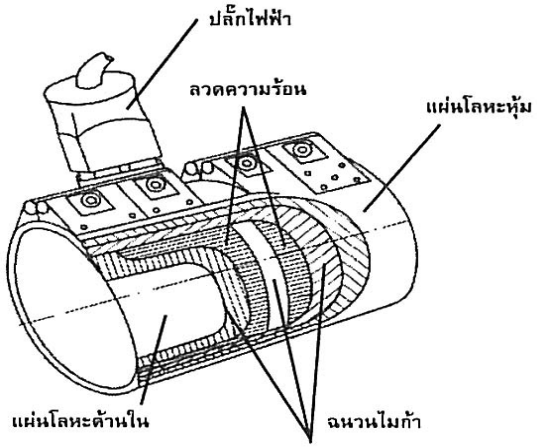


ภาพที่ 2.10

ลักษณะการทำงานของวงแหวนกันการไหลย้อนกลับ

- ตัวให้ความร้อน (Heaters)

แหล่งความร้อนในการฉีดพลาสติกส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้า แต่ยังมีบางเทคนิคที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำ น้ำมันร้อนและก๊าซร้อนตัวให้ความร้อนไฟฟ้า เป็นลวดความร้อนไฟฟ้าที่บุด้วยฉนวนและผิวด้านนอกห่อด้วยแผ่นโลหะ ตัวให้ความร้อนจะติดตั้งเป็นช่วง ๆ บนกระบอกและหนึ่งชุดบนหัวฉีด จำนวนชุดของชุดให้ความร้อนจะขึ้นกับความยาวของสกรู แต่โดยทั่วไปจะมีการติดตั้งตัวให้ความร้อนบนกระบอกประมาณ 4 ชุด และบนหัวฉีด 1 ชุด ภาพที่ 2.11 ข้างล่างแสดงตัวอย่างของตัวให้ความร้อนที่ใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 2.11
ตัวให้ความร้อนไฟฟ้าที่ใช้ในการห่อกระบอกเครื่องฉีดและเอกซ์ทรูดพลาสติก

- กระบอก (Barrel Cylinder)

มีลักษณะเป็นท่อโลหะกลม ใช้เป็นตัวห่อหุ้มสกรู ปกติเป็นเหล็กไร้สนิม ซึ่งมีความแข็งและทนต่อการกัดกร่อน ผิวด้านในมีการขัดเรียบเพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด การทำให้พลาสติกหลอม ความร้อนส่วนใหญ่จะส่งผ่านจากตัวให้ความร้อนไปยังผิวด้านนอกของกระบอก และเข้าสู่พลาสติกซึ่งอยู่ภายในกระบอก ดังนั้นผิวด้านนอกของกระบอกจะห่อหุ้มด้วยตัวให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ โดยทั่วไปจะให้พลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 6 ถึง 8 วัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร

- หัวฉีด (Injection Nozzle)

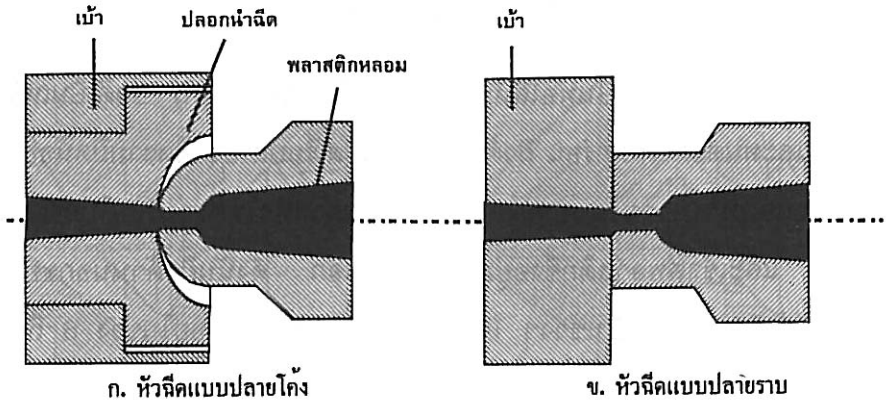
หัวฉีดคือส่วนด้านหน้าสุดของชุดฉีด เป็นช่วงต่อระหว่างกระบอกกับเบ้ามีหน้าที่เป็นตัวนำพลาสติกหลอมจากช่องว่างด้านหน้าสกรูเข้าสู่แม่พิมพ์ ลักษณะของหัวฉีดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. หัวฉีดแบบเปิด (Open Nozzle)

เป็นหัวฉีดที่มีรูปแบบง่าย ราคาถูกเหมาะกับการฉีดพลาสติกที่มีความหนืดสูง กล่าวคือพลาสติกที่มีความหนืดสูง กล่าวคือพลาสติกหลอมจะไม่ไหลออกจากหัวฉีดในขณะที่ทำการสะสมพลาสติกหลอมในช่องด้านหน้าสกรู นอกจากนี้พลาสติกบางชนิด เช่น พอลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และ พอลิออกซีเมธิลีน (POM) จำเป็นต้องใช้หัวฉีดแบบนี้ เนื่องจากเกิดก๊าซในระหว่างทำการหลอม การใช้หัวฉีดแบบเปิดทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นหนีออกจากกระบอกได้

หัวฉีดแบบนี้มีร่องการไหลที่ต่อจากกระบอกเป็นร่องตีบเข้า (Taper channel) แบ่งหัวฉีดออกเป็นสองลักษณะ คือ หัวฉีดแบบปลายราบ และหัวฉีดแบบปลายโค้ง (แสดงดังรูป

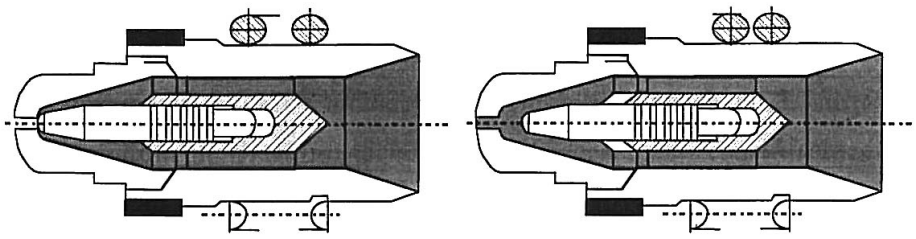
ข้างล่าง) ข้อแตกต่างระหว่างหัวฉีดทั้งสองชนิดนี้ คือ หัวฉีดแบบปลายราบจะออกแบบและสร้างได้ง่ายกว่า และราคาถูกกว่า นอกจากนี้หัวฉีดแบบนี้จะใช้กับแม่พิมพ์ที่ไม่มีปลอกนำฉีด (Sprue Bush) แต่โดยทั่วไป นิยมใช้หัวฉีดที่เป็นแบบปลายโค้งมากกว่า เนื่องจากสามารถตั้งศูนย์ของการฉีดได้ดีกว่า แต่แม่พิมพ์ที่ใช้กับหัวฉีดชนิดนี้ ต้องมีปลอกนำฉีดเสมอ



ภาพที่ 2.12
หัวฉีดแบบปลายโค้งและแบบปลายราบ

2. หัวฉีดปลายปิด (Shutoff Nozzle)

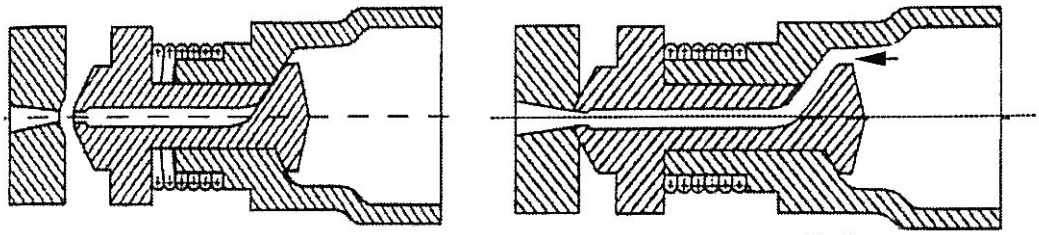
เป็นหัวฉีดที่มีการปิดปลาย เพื่อป้องกันการไหลออกของพลาสติกหลอม มักจะใช้กับการฉีดพลาสติกหลอมที่มีความหนืดต่ำ เช่น การฉีดพอลีเอไมด์ (PA) เป็นต้น การปิดของหัวฉีดเป็นการปิดแบบชั่วคราว กล่าวคือ จะปิดในช่วงที่มีการสะสมพลาสติกหลอม เพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกหลอมไหลออก ซึ่งอาจทำให้ปริมาณของพลาสติกหลอมไม่พอสำหรับการฉีด และก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ เช่น หัวฉีดสกปรก และ การส่งกลิ่นเหม็นของพลาสติกบางชนิด หัวฉีดจะเปิดในจังหวะฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ การออกแบบหัวฉีดแบบปิดมีหลายแบบ แต่ที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบเข็มปิด (Needle Shutoff Nozzle) ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.13 และ แบบเลื่อนปิด (Sliding Element Shutoff Nozzle) ดังภาพที่ 2.14



ก. หัวฉีดปิดขณะสะสมพลาสติกหลอม ข. หัวฉีดเปิดขณะฉีดเข้าเบ้า

ภาพที่ 2.13

หัวฉีดแบบเข็มปิด (Needle Shutoff Nozzle)



ก. หัวฉีดปิดขณะสะสมพลาสติกหลอม ข. หัวฉีดเปิดขณะฉีดเข้าเบ้า

ภาพที่ 2.14

หัวฉีดแบบเลื่อนปิด (Sliding Element Shutoff Nozzle)

การปิดเปิดของหัวฉีดแบบเข็มปิด (ดังภาพที่ 2.13) มีเข็มเป็นตัวปิดรูของหัวฉีดในขณะที่ทำการสะสมพลาสติกหลอม เข็มปิดได้รับแรงจากสปริง เข็มจะเปิดก็ต่อเมื่อถึงจังหวะฉีดโดยความดันจากการฉีดกระทำต่อส่วนปลายของเข็มจนเอาชนะแรงของสปริงได้ ทำให้พลาสติกไหลออกจากหัวฉีดเข้าแม่พิมพ์ได้ ทันทีที่ความดันลดต่ำลงแรงจากสปริงจะมากพอที่จะเลื่อนเข็มปิดหัวฉีดไว้ตามเดิม

หัวฉีดแบบเลื่อนปิด (ดังภาพที่ 2.14) การปิดหัวฉีดมักจะใช้แรงเช่นเดียวกัน แต่หัวฉีดจะเปิดก็ต่อเมื่อหัวฉีดเลื่อนไปชนปลอกนำฉีดของแม่พิมพ์ ทำให้เกิดแรงต้านสวนทางแรงของสปริง ทำให้เกิดการเลื่อนชิ้นส่วนที่ขวางการไหลของพลาสติกหลอมออกหลังจากการฉีดชุดฉีดจะถอยหลังกลับ ทำให้แรงจากสปริงดันให้ชิ้นส่วนเข้าขวางทางการไหลของพลาสติกหลอมเหมือนเดิม ทำให้เกิดการสะสมพลาสติกหลอมและฉีดต่อไป

- กระบอกสูบและลูกสูบไฮดรอลิก

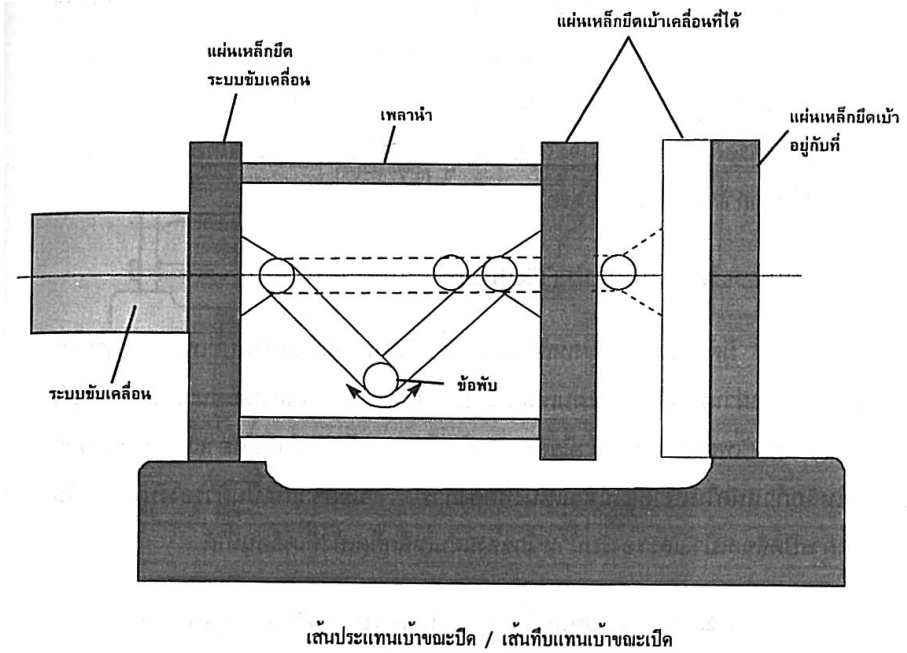
ลูกสูบที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ คือ สกรูที่หยุดหมุน ส่วนกระบอกสูบเป็นที่บรรจุน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้เป็นตัวให้กำลังในการขับเคลื่อนสกรูไปข้างหน้า

- มอเตอร์ขับสกรู

การหมุนของสกรูเพื่อนำพลาสติกจากกรวยเติมลงในกระบอก และการผสมพลาสติกหลอมให้เป็นเนื้อเดียว และส่งพลาสติกหลอมไปสะสมด้านหน้าของสกรู ได้รับแรงขับจากมอเตอร์ไฟฟ้า แม้ว่าจะมีเครื่องฉีดบางชนิดที่ใช้แรงขับจากไฮดรอลิกเป็นแรงขับในการหมุนสกรู

2) **ชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์** (Clamping Unit)

ในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ มีหน่วยที่ทำหน้าที่ในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ การปิดแม่พิมพ์จะต้องมีแรงปิด (Clamping force) เพื่อล็อคแม่พิมพ์ให้แน่นพอที่จะไม่ให้พลาสติกหลอมไหลออกจากรอยแยกแม่พิมพ์ นอกจากนี้หน่วยนี้ยังทำหน้าที่ในการเปิดแม่พิมพ์ เพื่อถอดชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์หลังจากสิ้นสุดการฉีด การปิดและเปิดแม่พิมพ์จะทำด้วยความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ แสดงในภาพที่ 2.15 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.15

รายละเอียดอุปกรณ์ของชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์

- แผ่นเหล็กยึดแม่พิมพ์ (Platens)

ประกอบด้วยแผ่นเหล็กหนาจำนวนสองแผ่น แผ่นแรกยึดติดอยู่กับที่ (Fixed Platen) อยู่ใกล้กับหัวฉีด แผ่นเหล็กแผ่นนี้จะมีรูซึ่งมีศูนย์ร่วมกับหัวฉีด เพื่อเป็นช่องที่ฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ แผ่นเหล็กยึดแม่พิมพ์อีกแผ่นสามารถเคลื่อนที่ในแนวแกนของกระบอกฉีดได้ (Movable Platen) เพื่อทำให้ปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้ แผ่นเหล็กยึดแม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นมีรูเกลียวจำนวนมาก และอาจจะมีคริบติดตั้งไว้ เพื่อใช้ในการยึดติดกับแม่พิมพ์

- แผ่นเหล็กยึดระบบขับเคลื่อน (Supporting Platen)

เป็นแผ่นเหล็กหนาที่อยู่ด้านซ้ายมือสุดของเครื่องฉีด ทำหน้าที่ในการยึดข้อพับหรือกระบอกสูบไฮดรอลิก และเป็นตัวรองรับแรงจากการปิดล็อแม่พิมพ์ด้วย ถ้าระบบขับเคลื่อนเป็นระบบแมคคานิค แผ่นเหล็กยึดระบบขับเคลื่อนจะไม่ยึดติดตายตัว เพื่อให้สามารถเลื่อนปรับระยะปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้ เนื่องจากการฉีดพลาสติกแต่ละชนิดใช้แรงปิดแม่พิมพ์ไม่เท่ากัน การปรับระยะของแผ่นเหล็กเป็นการปรับระดับของแรงที่ใช้ในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ แต่ถ้าใช้ระบบการขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิก แผ่นเหล็กจะถูกยึดติดตายตัว เนื่องจากสามารถปรับระยะการปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้จากการปรับแรงดันไฮดรอลิก

- เพลานำ (Tie Bars)

มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กกลม เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไปมีเพลานำ จำนวน 4 เพลา ซึ่งสอดผ่านมุมทั้งสี่ของแผ่นเหล็กยึดแม่พิมพ์ แต่เครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กอาจจะมีเพลานำเพียงแค่ 2 เพลาเท่านั้น หน้าที่ของเพลานำ คือ การเป็นตัวกำหนดตำแหน่งการวางตัวของแผ่นเหล็กกำหนดให้เบ้าอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ นอกจากนี้เป็นตัวรองรับความเค้น เนื่องจากการปิดล็อคแม่พิมพ์ และรองรับน้ำหนักของแผ่นเหล็กยึดแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่ได้

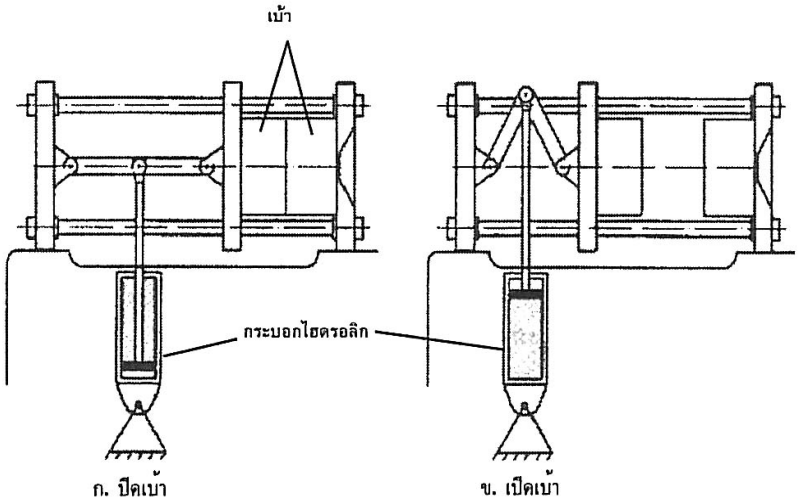
- ระบบขับเคลื่อนปิดและเปิดแม่พิมพ์ (Mechanical Clamping Unit)

ระบบขับเคลื่อนเพื่อการปิดและเปิดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบขับเคลื่อนแบบแมคคานิก (Mechanical Clamping Unit)

ระบบขับเคลื่อนแบบแมคคานิคของเครื่องฉีดพลาสติกมีหลายแบบ แต่ชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ ระบบขับเคลื่อนแบบข้อพับ (Toggle Lever) ระบบนี้ใช้ข้อพับเป็นตัวเลื่อนปิดและเปิดแม่พิมพ์ แม้ว่าระบบขับเคลื่อนแบบนี้ ไม่เป็นระบบการขับเคลื่อนโดยแมคคานิคร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของข้อพับต้องใช้แรงขับจากกระบอกและลูกสูบไฮดรอลิกแต่โดยหลักการแล้วระบบการขับเคลื่อนแบบนี้นับเป็นแบบแมคคานิค

ลักษณะการทำงานของระบบนี้ การปิดแม่พิมพ์จะเกิดขึ้นต่อเมื่อข้อพับเหยียดตรงซึ่งให้แรงในการปิดล็อคแม่พิมพ์สูงสุด และเมื่อข้อพับงอทำให้เกิดการเปิดแม่พิมพ์ แสดงรายละเอียดดังในภาพข้างล่าง ระบบขับเคลื่อนแบบนี้ทำงานค่อนข้างช้า การปรับแรงปิดแม่พิมพ์ทำได้ จากการปรับให้ข้อพับอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน แต่ระยะแขนเหยียดตรงจะให้แรงในการปิดแม่พิมพ์สูงสุด และแรงจะลดลงมาเมื่อข้อพับงอในตำแหน่งต่างๆ

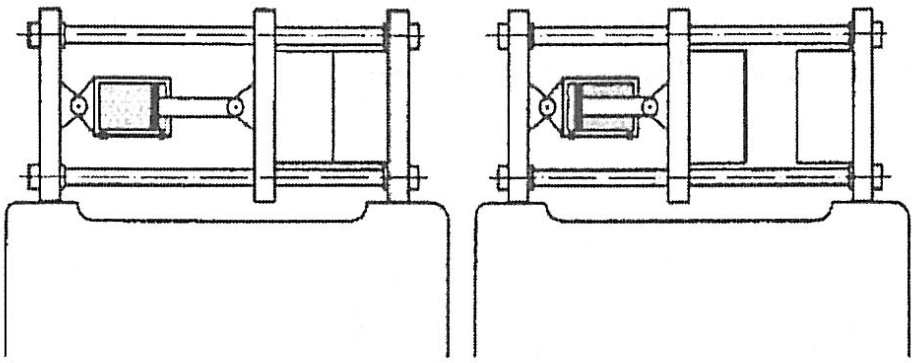


ภาพที่ 2.16
ระบบขับเคลื่อนปิดเปิดแม่พิมพ์แบบแมคคานิค (Mechanical Clamping Unit)

2. ระบบขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Clamping Unit)

ระบบการปิดและเปิดแม่พิมพ์แบบนี้ ใช้ลูกสูบ (Hydraulic Ram) ซึ่งได้กำลังขับจากน้ำมันไฮดรอลิกโดยตรงในการปิดล็อคแม่พิมพ์และเปิดแม่พิมพ์ ลักษณะการทำงานของระบบขับเคลื่อนประเภทนี้แสดงดังตัวอย่างในภาพข้างล่าง ด้านซ้ายมือของรูปแสดง แรงขับจากน้ำมันไฮดรอลิก ดันลูกสูบออกทำให้แม่พิมพ์ปิด ส่วนรูปทางด้านขวามือ น้ำมันไฮดรอลิกดันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้แม่พิมพ์เปิด

ข้อดีของระบบขับเคลื่อนแบบนี้ คือ สามารถปรับแรงที่ใช้ในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้ตามต้องการ และสามารถปรับความเร็วในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้ ทำให้เพิ่มอัตราการผลิตได้ นอกจากนี้ ระบบการขับเคลื่อนแบบนี้ ไม่มีผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องฉีด



ภาพที่ 2.17
ระบบขับเคลื่อนปิดและเปิดแม่พิมพ์แบบไฮโดรลิก

3) **ระบบไฮดรอลิก ระบบควบคุม และระบบไฟฟ้า** (Hydraulics, Controls and Electrical System)

ระบบไฮดรอลิกมีความสำคัญต่อเครื่องฉีดพลาสติกหลายประการ กล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์หลายชนิด ที่จำเป็นต้องใช้แรงขับจากไฮดรอลิก สรุปได้ดังนี้

- การหมุนของสกรู (ของเครื่องฉีดพลาสติกบางชนิด)
- การเคลื่อนที่ของสกรูในแนวราบขณะทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์
- การเคลื่อนที่ของชุดหลอมและฉีดพลาสติกเข้าหาแม่พิมพ์ และถอยออกจากแม่พิมพ์
- การปิดและเปิดแม่พิมพ์
- การกระทุ้งชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ดังนั้นระบบไฮดรอลิกเป็นแหล่งของแรงขับที่สำคัญมากระบบการขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ทนต่อแรงดันสูง กล่าวคือระบบการขับเริ่มจากการใช้ปั้ม (Pump) สูบให้น้ำมันไฮดรอลิกจากถังสะสมน้ำมัน (Accumulator) ไหลผ่านท่อทนแรงดันสูงเพื่อให้ไปดันลูกสูบในกระบอกสูบไฮดรอลิก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ต่อกับลูกสูบ

ระบบควบคุมและระบบการปรับค่าต่างๆ ของเครื่องฉีดพลาสติก มักจะเป็นตู้แยกตัวออกจากเครื่องฉีด และวางอยู่ใกล้กับเครื่องฉีด ดังแสดงตัวอย่างในรูปข้างบน ตู้ควบคุมชุดนี้ประกอบด้วยจอแสดงค่า และปุ่มปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ภายในตู้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าและระบบอิเลคโทรนิค เครื่องฉีดพลาสติกในปัจจุบัน มักจะมีแป้นพิมพ์และจอคอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบหลักในการควบคุม และการแสดงผลของค่าต่างๆ บนจอไมโครคอมพิวเตอร์นับเป็นหัวใจของการควบคุมการผลิตของการฉีดพลาสติกเข้าเบ้าในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถตั้งโปรแกรมให้มีการผลิตชิ้นงานได้ในหลายรูปแบบ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการแปรรูปในขณะที่ทำการผลิต และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพและการผลิตในครั้งต่อไป

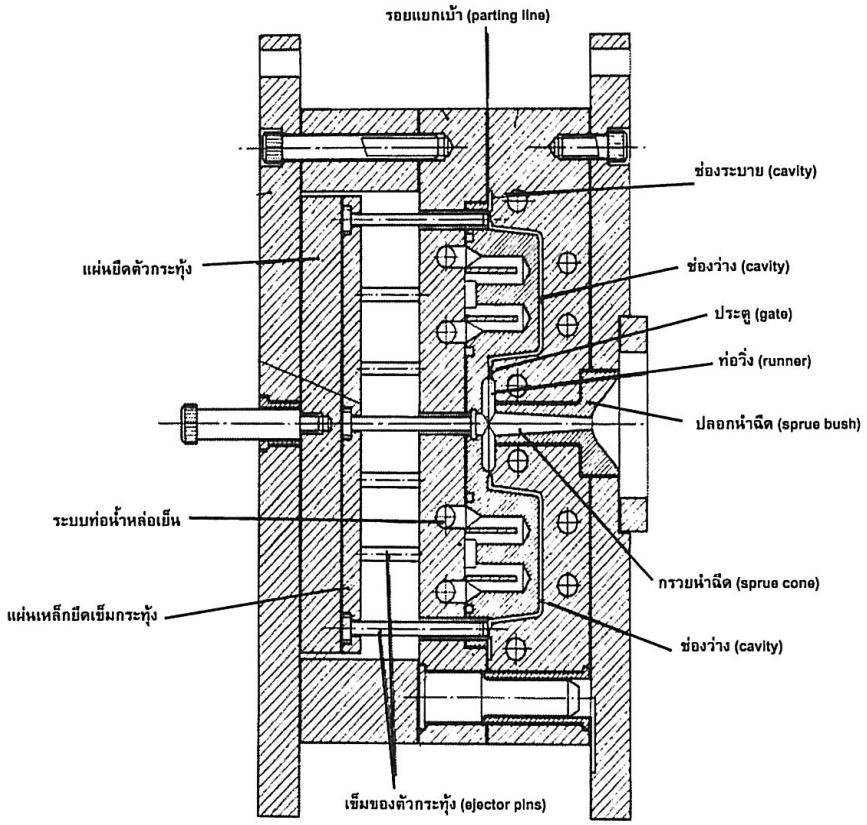
2.2.4 **แม่พิมพ์ฉีด** (Injection Mold)

โดยทั่วไปแม่พิมพ์ไม่นับรวมเป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องฉีดพลาสติก ดังนั้นจึงอธิบายลักษณะรายละเอียดของแม่พิมพ์แยกจากส่วนประกอบอื่นๆ หน้าที่หลักของแม่พิมพ์ คือ การรับเอาพลาสติกหลอมจากหัวฉีดแล้วทำให้เกิดการกระจายตัวเข้าสู่ส่วนต่างๆ ในคาวิตี้ (Cavities) ของแม่พิมพ์ ทำให้เกิดเป็นรูปร่างของชิ้นงาน หลังจากนั้นทำหน้าที่ในการหล่อเย็นเพื่อให้พลาสติกหลอมแข็งตัว ก่อนที่จะปลดออกจากแม่พิมพ์ หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของแม่พิมพ์คือเป็นตัวรองรับแรงที่มาจากการปิดแม่พิมพ์และจากการฉีด

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดพลาสติกมีทั้งที่เป็นแบบคาวิตี้เดียว (Single-Cavity Mold) ซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานพลาสติกได้ครั้งละชิ้นเดียว และแบบแม่พิมพ์หลายคาวิตี้ (Multi-Cavity Mold) สามารถผลิตชิ้นงานพลาสติกได้หลายชิ้นต่อการฉีดครั้งเดียว ซึ่งบางครั้งสามารถผลิตชิ้นงานได้มากกว่า 100 ชิ้นจากการฉีดเพียงครั้งเดียว ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ แสดงดังในภาพที่ 2.18

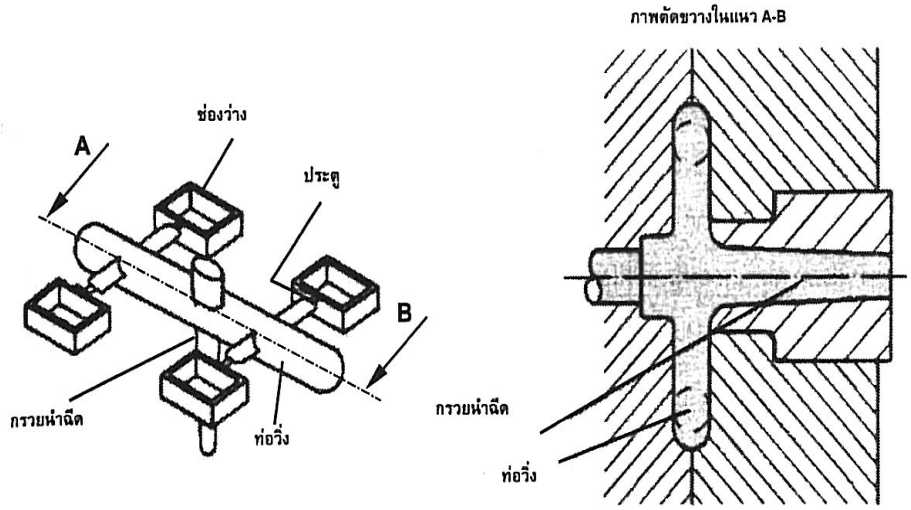
1) **ระบบเกทและท่อฉีด** (Gating and Manifold System)

ระบบเกททางเข้าและระบบท่อฉีด ทำหน้าที่ให้ของพลาสติกหลอมกระจายตัวในคาวิตี้ของแม่พิมพ์ กล่าวคือ หลังจากที่พลาสติกหลอมถูกฉีดออกจากหัวฉีด จะไหลผ่านกรวยนำฉีด (Spruce Cone) เข้าสู่ระบบท่อ (Manifold) ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่าเป็นท่อวิ่ง (Runner) ที่ปลายของระบบท่อพลาสติกหลอมจะไหลเข้าสู่เกท (Gates) เข้าไปในคาวิตี้ของแม่พิมพ์ ตัวอย่างของระบบเกทและระบบท่อแสดงดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.18

อุปกรณ์หลักของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



ภาพที่ 2.19

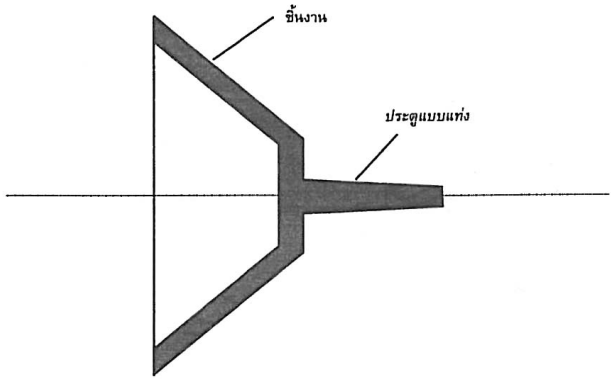
ระบบเกททางเข้าและท่อฉีด

การออกแบบระบบเกทและรันเนอ ทำได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะชิ้นงานและรีโอโลยีของพลาสติกหลอมที่ใช้ แต่การออกแบบทุกแบบจะต้องทำให้พลาสติกหลอมกระจายตัวเต็มคาวิตี้ทุกคาวิตี้พร้อมกัน และพลาสติกหลอมต้องมีอุณหภูมิและความดันใกล้เคียงกัน

ชนิดของเกทและสปรู ขึ้นอยู่กับลักษณะชิ้นงานที่ฉีด สามารถแบ่งชนิดของเกทออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. เกทแบบแท่ง (Bar Gate)

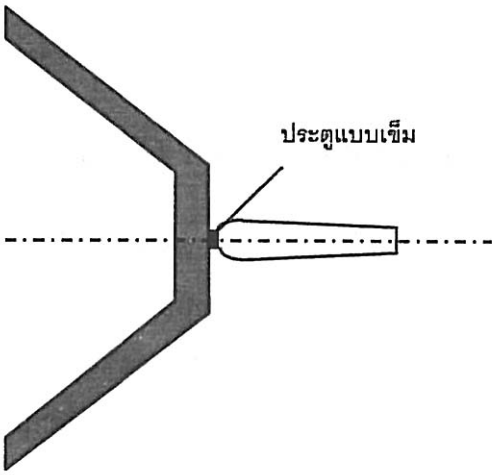
ลักษณะของเกทแบบแท่ง แสดงดังในรูปข้างล่างนิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีผนังหนา ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้พลาสติกหลอมไหลได้ง่ายและต้องไหลผ่านเกทในปริมาณมาก ข้อเสียของเกทแบบนี้ คือ หลังจากปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ส่วนสปรูนำฉีดจะติดอยู่กับชิ้นงานพลาสติก ซึ่งจะต้องตัดออก ทำให้ชิ้นงานมีตำหนิบนตำแหน่งของเกท



ภาพที่ 2.20
เกทแบบแท่ง (Bar Gate)

2. เกทแบบเข็ม (Pin Gate)

ลักษณะของเกทแบบเข็มแตกต่างจากเกทแบบแท่ง คือ ในขณะปลดชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์ ส่วนของพลาสติกที่อยู่ในสปรูนำฉีดจะขาดออกจากเกท ทำให้แม่พิมพ์ที่มีเกทแบบนี้ สามารถผลิตชิ้นงานที่มีตำหนิน้อยกว่าแบบแรก เกทแบบเข็มแสดงดังภาพที่ 2.21

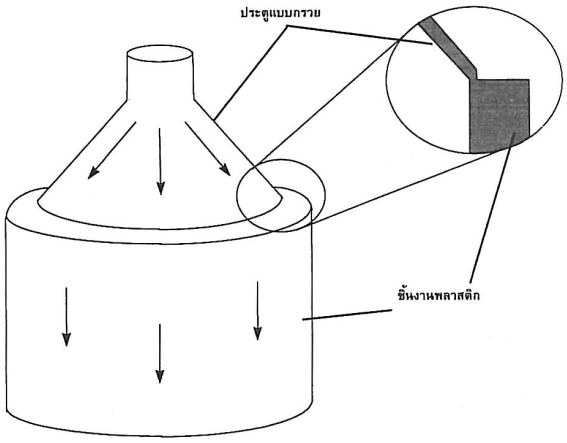


ภาพที่ 2.21

เกทแบบเข็ม (Pin Gate)

3. เกทแบบกรวย (Cone Gate)

ลักษณะของเกทแบบกรวยใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะเป็นท่อและแท่งกลม พลาสติกหลอมเกิดการกระจายตัวในกรวยก่อนที่จะเข้าในคาวิตี้ของแม่พิมพ์ การใช้เกทแบบนี้จะป้องกันการเกิดตำหนิและรอยแตกบนชิ้นงานพลาสติก เนื่องจากการฉีดชิ้นงานที่เป็นท่อและแท่งกลม หากไม่ใช้เกทแบบกรวย จำเป็นต้องใช้เกทหลายเกท (Multiple Gates) ซึ่งจะทำให้มีรอยตำหนิและรอยแตกบนชิ้นงาน ลักษณะเกทแบบกรวยแสดงดังภาพที่ 2.22

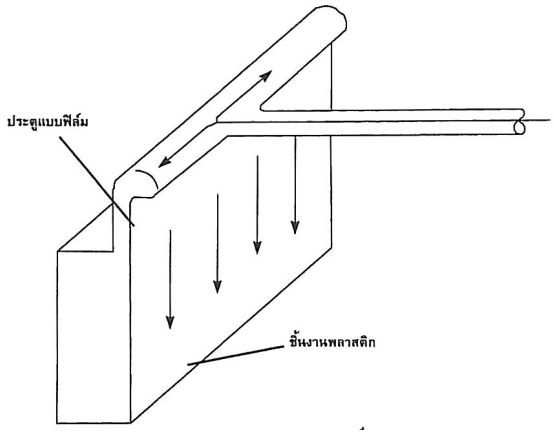


ภาพที่ 2.22

เกทแบบกรวย (Cone Gate)

4. เกทแบบฟิล์ม (Film Gate)

เกทแบบฟิล์มมีหลักการคล้ายกับเกทแบบกรวย แต่ใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่เป็นแผ่น ซึ่งแสดงลักษณะดังภาพที่ 2.23

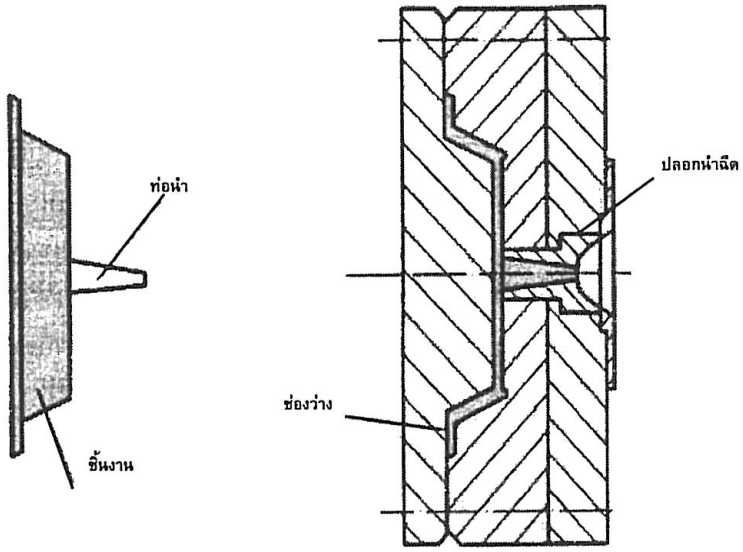


ภาพที่ 2.23
เกทแบบฟิล์ม (Film Gate)

ระบบเกทและสปรูฉีดที่แสดงดังกล่าวข้างต้น มีข้อเสียร่วมกัน คือ การสูญเสียวัสดุในตำแหน่งของเกทและระบบท่อฉีด หลักจากการฉีด มีวัสดุเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียวัสดุในตำแหน่งดังกล่าว ซึ่งทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของระบบท่อฉีดและเกท เพื่อให้พลาสติกมีความสามารถในการไหลได้ดีในตำแหน่งนี้ ดังนั้นระบบท่อฉีดหรือท่อวิ่ง แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบท่อวิ่งร้อน (Hot Runner System) และระบบท่อวิ่งเย็น (Cold Runner System) ระบบท่อวิ่งร้อนใช้ในการฉีดเทอร์โมพลาสติก ทำได้โดยการฝังตัวให้ความร้อนไฟฟ้าหรือน้ำมันร้อนไหลหมุนเวียน เพื่อให้ระบบท่อมีอุณหภูมิสูงพอที่ไม่ให้พลาสติกหลอมแข็งตัว แต่ในการฉีดยางและอีลาสโตเมอร์จะต้องใช้ระบบท่อวิ่งเย็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในระบบท่อและเกทก่อนเวลาอันควร

2) คาวิตี้ (Cavities)

หลังจากพลาสติกหลอมไหลผ่านเกท จะเข้าสู่คาวิตี้ของแม่พิมพ์ ซึ่งจะเกิดการฟอร์มชิ้นงานโดยการแข็งตัวของพลาสติกหลอม รูปร่างของคาวิตี้จะมีลักษณะเป็นภาพเชิงลบ (Negative Image) ของชิ้นงานพลาสติก ตัวอย่างของคาวิตี้ของแม่พิมพ์แสดงดังภาพที่ 2.24



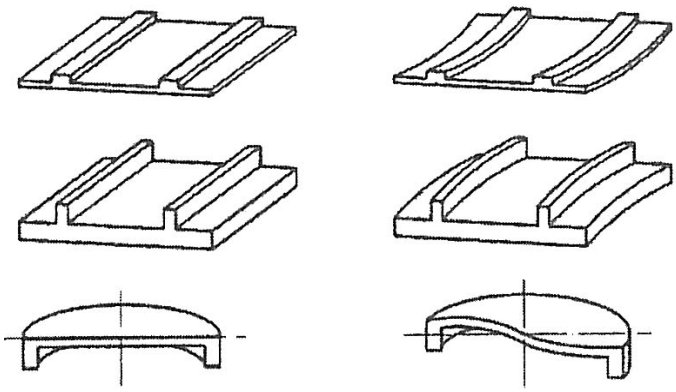
ภาพที่ 2.24
ลักษณะคาวิตี้ของแม่พิมพ์

ในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ มักจะเกิดการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) ในขณะที่เกิดการแข็งตัว ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีปริมาตรน้อยกว่าคาวิตี้ของแม่พิมพ์ ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดทุกประเภท จำเป็นต้องออกแบบให้มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานพลาสติกที่ต้องการผลิตเล็กน้อย ปริมาตรที่ออกแบบให้มากกว่าปริมาตรปกติของชิ้นงาน คือ ปริมาตรที่สูญเสียไปเนื่องจากการหดตัวของพลาสติก การออกแบบในลักษณะนี้ทำให้ได้ลักษณะรูปร่างชิ้นงานตามต้องการ

อย่างไรก็ตาม การออกแบบแม่พิมพ์ก็ต้องขึ้นอยู่กับว่าใช้กับพลาสติกชนิดใด หรือกลุ่มใด เนื่องจากการหดตัวของพลาสติกแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น กลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีผลึก (Amorphous Thermoplastics) มีการหดตัวอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.8% แต่กลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่กึ่งผลึก (Semi-Crystalline Thermoplastics) มีการหดตัวสูงกว่าคือ อยู่ในช่วง 1 ถึง 2%

นอกจากการหดตัวของชิ้นงานพลาสติก ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของชิ้นงานพลาสติก คือ การบิดเบี้ยว (Warpage) ซึ่งเกิดจากการงอหรือเบี้ยวของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นราบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.25 ตัวอย่างข้างล่างบอกถึงสาเหตุของการเกิดการเบี้ยวของชิ้นงานพลาสติก เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพลาสติกในทิศทางตามอิทธิพลของแรงที่ใช้ฉีดพลาสติก ซึ่งมักจะมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลพลาสติกแบบไม่สมดุล

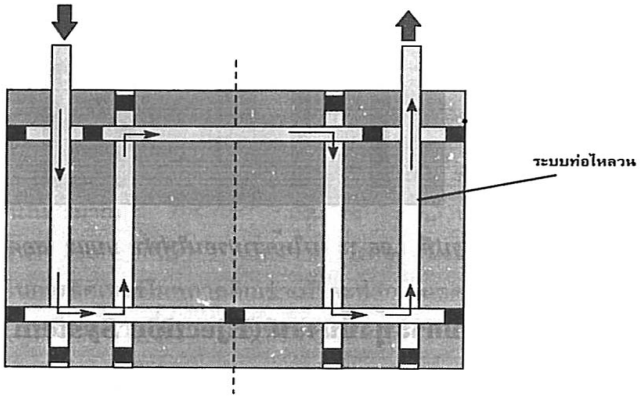
ในการฉีดชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและกว้าง จะเกิดการบิดเบี้ยวขึ้นเสมอ แต่มักจะแก้โดยการใช้สันโครง (Ribs) เป็นตัวเสริมในตำแหน่งที่บิดเบี้ยว แต่ในกรณีที่ใช้สันโครงไม่ได้ จำเป็นต้องอาศัยการออกแบบเพื่อให้ได้ชิ้นงานมีลักษณะตามที่ต้องการ กล่าวคือออกแบบให้ได้ชิ้นงานมีรูปทรงที่เหมาะสมตามความต้องการ หลังจากการการบิดเบี้ยวแล้ว



ภาพที่ 2.25
การเกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน (Warpage)

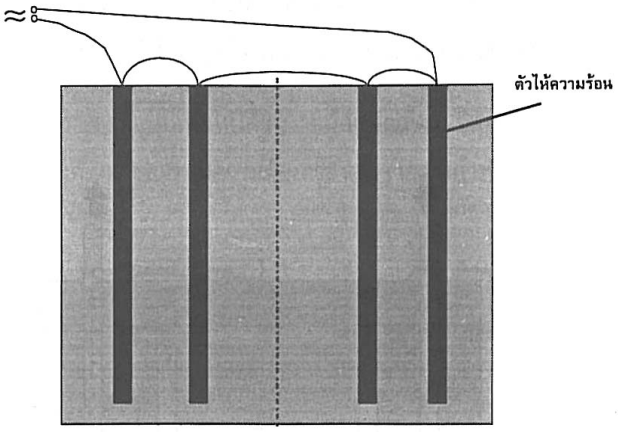
3) ระบบควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Temperature Control System)

แม่พิมพ์ของการฉีดเทอร์โมพลาสติกเป็นแม่พิมพ์เย็น ทั้งนี้เพื่อให้พลาสติกหลอมแข็งตัวหลังจากกระจายเต็มคาวิตี้ การแข็งตัวของพลาสติกหลอมเกิดขึ้นเนื่องจาก การถ่ายเทความร้อนจากพลาสติกไปยังผนังของแม่พิมพ์โดยการนำความร้อน เพื่อให้เกิดแข็งตัวของพลาสติกจำเป็นต้องใช้ระบบหล่อเย็น (Cooling System) โดยทั่วไปจะใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น และจะมีการออกแบบระบบท่อน้ำให้ไหลหมุนเวียนใกล้กับคาวิตี้ ระบบท่อหมุนเวียนมีทั้งในแนวยาวและแนวขวางของแม่พิมพ์ ทั้งนี้เพื่อให้การหล่อเย็นมีประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น อยู่ในช่วง 20 ถึง 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แน่นอนของการหล่อเย็นขึ้นอยู่กับชนิดของเทอร์โมพลาสติก ลักษณะตัวอย่างของระบบท่อน้ำหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดเทอร์โมพลาสติกแสดงดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26
ระบบควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีดเทอร์โมพลาสติก

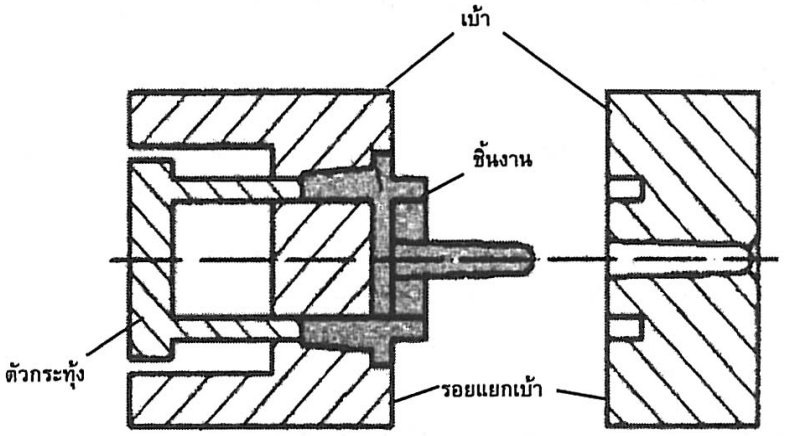
สำหรับการฉีดพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซ็ต และอีลาสโตเมอร์ การควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีดจะแตกต่างจากกรณีแรก ทั้งนี้ เนื่องจากการผลิตชิ้นงานจากโพลิเมอร์ในกลุ่มนี้ต้องให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในแม่พิมพ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา แหล่งความร้อนของแม่พิมพ์ในกรณีนี้ อาจจะเป็นตัวให้ความร้อนแบบไฟฟ้า หรือระบบน้ำมันร้อนหมุนเวียน เช่นเดียวกับระบบน้ำหล่อเย็น ดังภาพที่ 2.27 ด้านล่างแสดงตัวอย่างแผนภูมิของการใช้ตัวให้ความร้อนไฟฟ้าแบบแท่งสอด (Cartridge Heater) เป็นแหล่งให้ความร้อนของแม่พิมพ์ ซึ่งจะให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.27
ระบบให้ความร้อนไฟฟ้าแบบแท่งสอด

4) ระบบกระทุ้งชิ้นงาน (Ejection System)

หลังจากพลาสติกแข็งตัวในแม่พิมพ์ ต้องถอดชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องสามารถให้แม่พิมพ์แยกออกจากกันได้ โดยการแยกจะเกิดขึ้นที่รอยแยกระหว่าง Fixed กับ Moved ที่เรียกว่ารอยประกบ (Parting line) นอกจากนี้เพื่อให้การถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์จะมีตัวกระทุ้ง (Ejector) เป็นตัวช่วยดันให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์ ลักษณะตัวอย่างของตัวกระทุ้งและรอยแยกแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 2.28 ด้านล่าง การกระทุ้งชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์ เป็นการทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากคาวิตี้ โดยแรงกระทุ้งจะต้องมากกว่า แรงยึดติดชิ้นงานในคาวิตี้ หรือความเค้นภายในแม่พิมพ์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.28
ตัวกระทุ้งและรอยแยกแม่พิมพ์

กระบวนการแปรรูปพลาสติกโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์ส่วนใหญ่ทำการผลิตที่อัตราการผลิตสูง และผลิตชิ้นงานในปริมาณมาก จึงมีความจำเป็นต้องใช้ระบบการแปรรูปแบบอัตโนมัติ รวมทั้งระบบการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เนื่องจากการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ด้วยมือเสียเวลามาก ดังนั้น ในการฉีดเทอร์โมพลาสติกจะทำการถอดชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ยกเว้นในบางกรณี เช่น การฉีดชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

ในกระบวนการฉีดอีลาสโตเมอร์ มีความยุ่งยากในการถอดชิ้นงานแบบอัตโนมัติ เนื่องจากชิ้นงานมีความเป็นอีลาสติกสูง ดังนั้น การฉีดอีลาสโตเมอร์เข้าแม่พิมพ์ จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการถอดชิ้นงานด้วยมือ ถึงแม้ว่าจะเป็นการผลิตในปริมาณมากก็ตาม

ตัวกระทุ้งชิ้นงานพลาสติกมีหลายชนิด การเลือกใช้ตัวกระทุ้งชนิดใดขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานพลาสติกที่ทำการผลิต ตำแหน่งของตัวกระทุ้งในแม่พิมพ์ และชนิดของแรงขับที่ใช้ในการกระทุ้ง ตัวอย่างของตัวกระทุ้งชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น ตัวกระทุ้งแบบเข็ม (Pin Ejector) และแบบปลอก เป็นต้น

2.2.5 **กระบวนการฉีดพลาสติก** (Injection Molding Process)

การฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ เริ่มต้นจากการเตรียมความพร้อมของเครื่องฉีดและอุปกรณ์ ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. การเตรียมความพร้อมของแม่พิมพ์และชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์

- เปิดแม่พิมพ์ออก
- ไม่มีเศษชิ้นงานจากการฉีดครั้งก่อนหลงเหลือในแม่พิมพ์
- ตัวกระทุ้งชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งถอยกลับ
- ตั้งอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะกับชนิดพลาสติกที่ต้องการแปรรูป กล่าวคือ กรณี เทอร์โมพลาสติก อุณหภูมิของแม่พิมพ์ถูกควบคุมโดยน้ำหล่อเย็น แต่กรณีการฉีดเทอร์โมเซ็ทต้องตั้งความร้อนของแม่พิมพ์ ตามอุณหภูมิที่เหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของพลาสติกชนิดที่ทำการฉีด

2. การเตรียมความพร้อมในส่วนของชุดหลอมพลาสติกก่อนเริ่มการฉีด

- ให้ความร้อนแก่กระบอกฉีดและหัวฉีด โดยตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด
- ให้สกรูอยู่ในตำแหน่งถอยสุดตัว
- ปิดหัวฉีดเพื่อป้องกันพลาสติกหลอมรั่วออกมาข้างนอก โดยเฉพาะการฉีดพลาสติกที่มีค่าดัชนีการไหล (MFI) สูง

กระบวนการฉีดเริ่มจากชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์เลื่อนให้แม่พิมพ์ทั้ง 2 ฝั่ง ประกบกันเพื่อปิดแม่พิมพ์โดยให้มีแรงปิด (Clamping Force) มากพอที่จะปิดล็อคแม่พิมพ์ให้แน่น หลังจากนั้นชุดหลอมและฉีดพลาสติกจะถูกเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์ โดยแรงขับจากไฮดรอลิก หัวฉีดเปิดออก แล้วฉีดอัดพลาสติกหลอมที่สะสมอยู่ด้านหน้าของสกรูเข้าแม่พิมพ์ โดยการเลื่อนตัวไปทางด้านหน้าของสกรูที่ทำหน้าที่เป็นลูกสูบในการฉีด ทันทีที่สกรูเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ความดันเนื่องจากพลาสติกหลอมในคาวิตี้จะตกลงบนวงแหวนกันการไหลย้อนกลับ (Back-Flow Valve) ส่งผลให้วงแหวนเกิดการเลื่อนตัวกลับแล้วป้องกันไม่ให้พลาสติกหลอมไหลสวนทาง ทันที่พลาสติก