การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน

A STUDY ON THE GATE DESIGN FOR PLASTICS INJECTION MOLDING: A CASE STUDY OF SHRINKAGE OF THE PLASTIC PART WHEN USING THE SIMILAR SHEAR RATE

นายปวรานล ชินวรนนท์
MR. PAVARANOL SHINVORANONT
นายพุฒิพงศ์ แจ้งเสนาะ
MR. PUTTIPONG CHAENGSANOH

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน

A STUDY ON THE GATE DESIGN FOR PLASTICS INJECTION MOLDING: A CASE STUDY OF SHRINKAGE OF THE PLASTIC PART WHEN USING THE SIMILAR SHEAR RATE

นายปวรานล ชินวรนนท์
MR. PAVARANOL SHINVORANONT
นายพุฒิพงศ์ แจ้งเสนาะ
MR. PUTTIPONG CHAENGSANOH

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143902
วัน.เดือน.ปี 04 ต.ค. 2559

.b. 18809743
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

A STUDY ON THE GATE DESIGN FOR PLASTICS INJECTION MOLDING: A CASE STUDY OF SHRINKAGE OF THE PLASTIC PART WHEN USING THE SIMILAR SHEAR RATE

MR. PAVARANOL SHINVORANONT
MR. PUTTIPONG CHAENGSANOH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการลดกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน

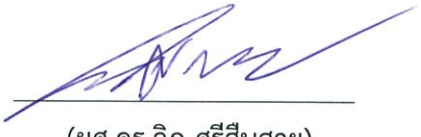
A STUDY ON THE GATE DESIGN FOR PLASTICS INJECTION MOLDING: A CASE STUDY OF SHRINKAGE OF THE PLASTIC PART WHEN USING THE SIMILAR SHEAR RATE

นักศึกษา

นายปวรานล ชินวรนนท์	รหัสประจำตัว	55010735
นายพุฒิพงศ์ แจ้งเสนาะ	รหัสประจำตัว	55010889

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน
นักศึกษา	นายปวรานล ชินวรานนท์
	นายพุฒิพงศ์ แจ้งเสนาะ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย

บทคัดย่อ

เนื่องจากกรรมวิธีการฉีดพลาสติกเพื่อผลิตชิ้นงานพลาสติกได้รับความนิยมอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีคุณภาพสูงเป็นผลมาจากกรรมวิธีการฉีดพลาสติกที่ถูกต้องสมบูรณ์ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการวิเคราะห์การหดตัวของพลาสติก จากอิทธิพลของชนิดทางเข้าและอัตราเฉือนของการไหล ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานใช้เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน การทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้มี 2 ลักษณะทางเข้า คือทางเข้าแบบกลม และทางเข้าแบบสี่เหลี่ยม ที่มีพื้นที่หน้าตัดและมีอัตราเฉือนของการไหลเท่ากัน ชิ้นงานทดสอบใช้เวลาในการฉีดพลาสติกเต็มโพรง มีค่าช่วงเวลา 0.5 วินาที โดยใช้โปรแกรมโมลเด็ก 3 ดี อาร์14 ในการจำลองการฉีดพลาสติกและวิเคราะห์การหดตัวของชิ้นงานทดสอบ ผลการวิเคราะห์พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานเมื่อใช้ทางเข้าแบบกลม มีค่าเฉลี่ยที่ 3.52436 เปอร์เซนต์ และทางเข้าแบบสี่เหลี่ยมให้ค่าการหดตัวของชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยที่ 3.56881 เปอร์เซนต์ ผลจากการศึกษาที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่า ชิ้นงานพลาสติก ชนิดพอลิโพพิลีน (PP) ที่มีทางเข้าชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยมีอัตราเฉือนบริเวณทางเข้าที่เท่ากัน ส่งผลให้มีค่าการหดตัวตามแนวแกน X,Y และ Z เท่ากัน งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีคุณภาพสูงได้

Thesis Title	A Study on The Gate Design For Plastics Injection Molding: A Case Study of Shrinkage of The Plastic Part When Using The Similar Shear Rate
Student	Mr. Pavaranol Shinvoranont
	Mr. Puttipong Chaengsanoh
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2015
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Wipoo Sriseubsai

ABSTRACT

The plastic injection molding process for plastics manufacturing has become very popular in the industry. The high-quality plastic products are the result of the superiority in plastic injection molding process. This research study aims to analyze the shrinkage of plastic that attained from the influence of the type of gates and shear rate in the process of injection molding of the plastic polymer polypropylene. The pin gate and edge gate, were used to study in this research. Those two types of gates were designed with the same shear rate value. The simulation of plastic injection was conducted by using Moldex3D R14 to analyze the shrinkage of the designed part. The filling time 0.5s was set. The result showed: (1) The pin gate presented the average shrinkage of 3.52436 mm, (2) The Edge gate presented the average shrinkage of 3.56881 mm. The results showed both designed gates had the same shrinkage. The results of this study were corresponding to the relevant theory and could be used to design the high quality plastic injection mold.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ และความเอาใจใส่ในทุกๆด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์

กราบขอบพระคุณ ดร.พลชัย โชติปรายนกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้อแนะนำ และช่วยให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และ นายกำธร สุขพิมาย ที่คอยให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือในเรื่องสถานที่และเครื่องมือในการจัดทำ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รัก สำหรับการให้การสนุบสนุน และความช่วยเหลือ ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คุณความดีหรือประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายปวรานล ชินวรนนท์
นายพุฒิพงศ์ แจ้งเสนาะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของพลาสติก 3

2.2 การฉีดพลาสติก 3

2.3 เครื่องฉีดพลาสติก 4

2.3.1 ชุดฉีด (Injection unit) 5

2.3.2 ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) 8

2.3.3 ชุดควบคุม (Control unit) 9

2.4 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 9

2.4.1 ประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 9

2.4.2 การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ 12

2.4.3 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 14

2.5 ทางวิ่ง (Runner) 20

2.5.1 รูปทรงของหน้าตัดของทางวิ่ง (Runner cross-section shape) 21

2.5.2 ขนาดของทางวิ่ง 23

2.6 ทางเข้า (Gates) 23

หน้า

2.6.1 การกำหนดตำแหน่งของทางเข้า (Position of gate) 24
2.6.2 การสมดุลทางเข้า (Balanced gating) 24
2.6.3 ชนิดทางเข้า (Type of gate) 25
2.7 การหล่อเย็นแทม่พิมพ์ (Mold Cooling) 28
2.7.1 ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นกับคาวิตี้ 29
2.7.1 ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นกับคาวิตี้ 29
2.7.1 ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นกับคาวิตี้ 29
2.8 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก 30
2.8.1 ช่วงการฉีด (Injection Phase) 30
2.8.2 ช่วงการแพ็กกิง (Packing) 31
2.8.3 ช่วงการย้ำ (Holding Phase) 32
2.8.4 เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) 32
2.9 รีโอโลยีในการฉีดพลาสติก 33
2.9.1 การไหลแบบนอนนิวทอเนียน 33
2.9.2 การประยุกต์ใช้รีโอโลยีในงานฉีด 34
2.10 Moldex3D 35
2.11 โปรแกรม Minitab 17 36
2.11.1 ANOVA (Analysis of Variance) 36
2.11.2 P-Value 36

บทที่ 3 การดำเนินการ

3.1 การศึกษาขนาดชิ้นงานและองค์ประกอบแม่พิมพ์ 38
3.1.1 การออกแบบขนาดชิ้นงาน 39
3.1.2 การศึกษาองค์ประกอบของแม่พิมพ์ 39
3.2 การศึกษาและออกแบบทางเข้าแบบกลมและแบบเหลี่ยมให้มีอัตราเฉือนเท่ากัน 39
3.2.1 สูตรการคำนวณอัตราเฉือน 40
3.2.2 การคำนวณขนาดของทางเข้าทั้งสองแบบให้มีอัตราเฉือนเท่ากัน 40

หน้า

3.3 การออกแบบแม่พิมพ์ 41
3.3.1 ขนาดและองค์ประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 41
3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง 42
3.5 การจำลองสถานการณ์การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานโดยโปรแกรม Moldex3D 43
3.6 การสร้างแม่พิมพ์ 47
3.7 การทดลองการฉีดพลาสติกและบันทึกผล 48
3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย ANOVA 48

บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

4.1 ผลการทดลองสำหรับการจำลองสถานการณ์การฉีดพลาสติก 49
4.1.1 ผลการทดลองทางเข้าแบบเหลี่ยม 49
4.1.2 ผลการทดลองทางเข้าแบบกลม 51
4.2 ผลการทดลองจากการฉีดพลาสติกจริง 52
4.2.1 ผลการทดลองจากทางเข้าแบบเหลี่ยม 52
4.2.2 ผลการทดลองจากทางเข้าแบบกลม 53

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ 57
5.2 ข้อเสนอแนะ 58

เอกสารอ้างอิง 59
ภาคผนวก ก คุณสมบัติของเม็ดพลาสติก ผก1
ภาคผนวก ข แบบรายละเอียดของแม่พิมพ์ ผข1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดเหล็กสำหรับใช้ทำแม่พิมพ์ฉีด 13
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Hot Runner เทียบกับ Cold Runner ของแม่พิมพ์..... 21
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด..... 27
ตารางที่ 2.4 การออกแบบระบบหล่อเย็น 30
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด 35
ตารางที่ 3.1 การคำนวณระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 42
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ในการจำลองการฉีด 43
ตารางที่ 4.1 ขนาดของชิ้นงานพลาสติกด้วยทางเข้าแบบเหลี่ยม 53
ตารางที่ 4.2 ขนาดของชิ้นงานพลาสติกด้วยทางเข้าแบบกลม..... 53
ตารางที่ 4.3 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน X..... 53
ตารางที่ 4.4 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน Y 54
ตารางที่ 4.5 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน Z..... 55

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก 4
รูปที่ 2.2 หน่วยการทำงานหลักของเครื่องฉีดพลาสติก 4
รูปที่ 2.3 กระบอกฉีดพลาสติก 6
รูปที่ 2.4 สกรูโดยทั่วไปที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก 6
รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบปิด (Shut-off Nozzle) 8
รูปที่ 2.6 ชุดเปิดปิดแม่พิมพ์ทั้งสองแบบ 8
รูปที่ 2.7 ชุดควบคุมของเครื่องฉีดพลาสติก 9
รูปที่ 2.8 รายชื่อและหน้าที่ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 2 Plates 10
รูปที่ 2.9 รายชื่อและหน้าที่ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 3 Plates 11
รูปที่ 2.10 ระยะในการเปิด-ปิดของแม่พิมพ์ 3 Plates 11
รูปที่ 2.11 ชุดแม่พิมพ์ประกอบด้วยปลอกรูฉีด แหวนบังคับศูนย์ ปลอกนำ เพลานำ 14
รูปที่ 2.12 พื้นฐานของแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ 15
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเพลานำและปลอกนำ 15
รูปที่ 2.14 รูปแสดงกรณีการประกบแม่พิมพ์ 16
รูปที่ 2.15 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบอิมเพลสชั่นเดี่ยว 17
รูปที่ 2.16 การกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดด้วยแหวนบังคับศูนย์ 18
รูปที่ 2.17 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพลสชั่น 18
รูปที่ 2.18 การยึดแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนเครื่องฉีด โดยใช้สกรูขันยึดโดยตรง 19
รูปที่ 2.19 แสดงการยึดแม่พิมพ์ทางอ้อม 19
รูปที่ 2.20 แม่พิมพ์แบบ Hot runner 20
รูปที่ 2.21 แสดงประสิทธิภาพของทางวิ่งที่มีรูปทรงหน้าตัดต่างกัน 22
รูปที่ 2.22 การจัดตำแหน่องของเบ้าที่จำเป็นต้องต้องมีการสมดุลทางเข้า 24
รูปที่ 2.23 ทางเข้าขอบแบบเหลี่ยม 26
รูปที่ 2.24 ลักษณะทางเข้าแบบกลม (Pin gate) 28
รูปที่ 2.25 การถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอ 29
รูปที่ 2.26 การถ่ายเทความร้อนสม่ำเสมอ 29
รูปที่ 3.1 ชิ้นงาน Dog bone ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type 1 39
รูปที่ 3.2 แผ่นแม่พิมพ์และระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์ ด้วยโปรแกรม Moldex3D design 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.3 นำเข้าข้อมูลจาก Moldex3D design 43
รูปที่ 3.4 หน้าต่างใส่ข้อมูล Project setting 44
รูปที่ 3.5 หน้าต่างใส่ข้อมูล Filling/Packing setting 44
รูปที่ 3.6 หน้าต่างใส่ข้อมูล Cooling setting 45
รูปที่ 3.7 หน้าต่าง Summary 45
รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดง Modify run หัวข้อ Computation 46
รูปที่ 3.9 หน้าต่าง Check run data 46
รูปที่ 3.10 หน้าต่างคำสั่ง Analysis sequence setting 47
รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างตัวเปลี่ยนทางเข้า 48
รูปที่ 3.12 เครื่องฉีดพลาสติก Toshiba IS80 48
รูปที่ 4.1 ค่าอัตราเฉือนของทางเข้าแบบเหลี่ยม 50
รูปที่ 4.2 ปริมาตรการหดตัวของทางเข้าแบบเหลี่ยม 50
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราเฉือนของทางเข้าแบบกลม 51
รูปที่ 4.4 ปริมาตรการหดตัวของทางเข้าแบบกลม 51
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ระบบดิจิตอล 52
รูปที่ 4.6 แนวแกน X Y และ Z ของชิ้นงาน 52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การหดตัวของพลาสติกนั้นมีความจำเป็นต่อการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกอย่างมาก เพราะการหดตัวของพลาสติกนั้นจะทำให้เกิดขนาดของชิ้นงานเล็กกว่าที่ออกแบบและเกิดตำหนิบนชิ้นงาน เช่น การบุบบนผิวชิ้นงาน การบิดเบี้ยวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานพลาสติกมีด้วยกันหลายอย่างเช่น ความดันในแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพลาสติกในระหว่างการหดตัว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ชนิดของพลาสติกและทิศทางในการไหลของพลาสติก การออกแบบแม่พิมพ์จึงสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของชิ้นงานพลาสติก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์หาผลกระทบของชนิดทางเข้าที่ส่งผลต่อการหดตัวของชิ้นงานพลาสติกฉีด โดยการวิจัยนี้จะใช้ทางเข้าแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือทางเข้าแบบกลม (Pin Gate) และทางเข้าแบบเหลี่ยม (Edge Gate) โดยจะทำการออกแบบให้ทางเข้าแบบทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการเฉือนของการไหลเท่ากัน

เพื่อศึกษาผลของทางเข้าแต่ละชนิดที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานพลาสติกเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์การหดตัวของพลาสติกในแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม Moldex3D จำลองการหดตัวเพื่อหาค่าเชิงตัวเลข

2. เพื่อศึกษาการหดตัวของพลาสติก ซึ่งมีปากทางเข้าของแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหลัก และอัตราการเฉือนเป็นตัวแปรคงที่

3. เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก Dog Bone ที่สามารถเปลี่ยนชนิดทางเข้าโพรงแบบได้ 2 ชนิด ได้แก่ ทางเข้าแบบกลม (Pin Gate) และทางเข้าแบบเหลี่ยม (Edge Gate)

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. วัตถุดิบที่ใช้ คือเม็ดพลาสติก ชนิด PP

2. ใช้โปรแกรม Moldex3D จำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ที่มีทางเข้าแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันทั้ง 2 ชนิด โดยออกแบบให้มีอัตราเฉือนของการไหลเท่ากัน

3. ชิ้นงานที่ใช้ทดลองเป็นแบบ Dog Bone ตามมาตรฐาน ASTM D638

4. ชนิดทางเข้าที่ใช้ (Type of Gate) มี2แบบ ได้แก่ ทางเข้าแบบเหลี่ยม (Edge Gate) และทางเข้าแบบกลม (Pin Gate)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เรียนรู้การจำลองการฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D
2. สามารถสร้างชิ้นงานที่แม่นยำจากตัวแปรที่แตกต่างของปากทางเข้าแม่พิมพ์
3. นำแม่พิมพ์จากการศึกษาในครั้งนี้ ไปใช้ร่วมกับงานวิจัยอื่นๆ
4. เป็นแนวทางเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น โดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมัน ปิโตรเลียม มาทำการแยกสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด โดยส่วนใหญ่นั้นเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกริยาให้มีลักษณะต่อกันเป็นสายโซ่ยาวมากๆก็จะได้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติก ซึ่งพลาสติกนั้นได้นำมาใช้ประโยชน์แทนวัสดุประเภทอื่น เช่น ไม้ โลหะ หรือวัสดุตามธรรมชาติ

พลาสติกนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1 เทอร์โมพลาสติก (Thermo Plastics) พลาสติกชนิดนี้จะอ่อนตัวลงเมื่อได้รับความร้อนและแข็งตัวเมื่ออุณภูมิลดลง เมื่อนำกลับมาให้ความร้อนอีกก็จะอ่อนตัวลง จึงสามารถทำให้กลับเป็นรูปเดิมหรือเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาวมีการเชื่อมต่อระหว่างพอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลวได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิมหรือสามารถทำกลับใช้ใหม่ได้ ตัวอย่างเช่น โพลิเอทิลีน โพลิโพรพิลีน โพลิสไตรีน เป็นต้น

2 พลาสติกเทอร์โมเซต (Thermosetting Plastics) พลาสติกชนิดนี้จะคงรูปหลังจากการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นตัวลงจะมีความแข็งแรงมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าได้รับความร้อนที่สูงพอก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่องโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมากจึงไม่สามรถนำกลับมาหลอมเหลวได้หรือไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ตัวอย่างเช่น เมลามีน โพลิยูรีเทน อิพอกซี เป็นต้น

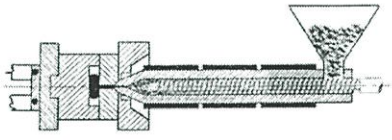
2.2 การฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

การฉีดพลาสติก (Injection Molding) เป็นกระบวนการการผลิตชิ้นงานโดยอาศัยกรรมวิธีการเติมสารพลาสติกทั้งแบบเม็ดหรือแบบผง ซึ่งสารพลาสติกนั้นอาจจะเป็นเทอร์โมเซต เทอร์โมพลาสติกรวมไปถึงอิลาสโตเมอร์ ทั้งนี้ขั้นอยู่กับส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติกที่จะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่างๆ เมื่อพลาสติกผ่านความร้อนจนหลอมละลายเป็นของเหลว เครื่องจักรจะทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ หลังจากที่ชิ้นงานปลดออกจากแม่พิมพ์ก็จะได้ชิ้นงานตามแบบแม่พิมพ์

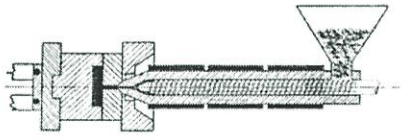
2.3 เครื่องฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

ในกระบวนการฉีดพลาสติกจะประกอบด้วยเครื่องมือและเครื่องจักรที่สำคัญคือแม่พิมพ์ฉีดและเครื่องฉีดพลาสติก เม็ดพลาสติกจะถูกป้อนเข้าไปในถังกรวย สกรูส่งหรือก้านส่งจะพาให้เม็ดพลาสติกเคลื่อนที่ผ่านกระบอกส่งไปยังแม่พิมพ์โดยผ่านตัวทำความร้อน ทำให้พลาสติกหลอมผ่านหัวฉีดและฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จากนั้นจะปล่อยให้เย็นและปลดออกจากแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1

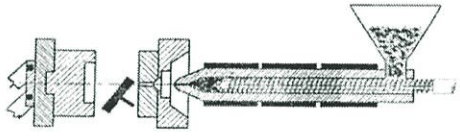
ขั้นที่ 1 พลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์



ขั้นที่ 2 คงความดันและป้อนพลาสติกเหลวเข้ากระบอกส่งพลาสติกหลอมเข้าเต็มแม่พิมพ์ชิ้นงานถูกหล่อเย็น

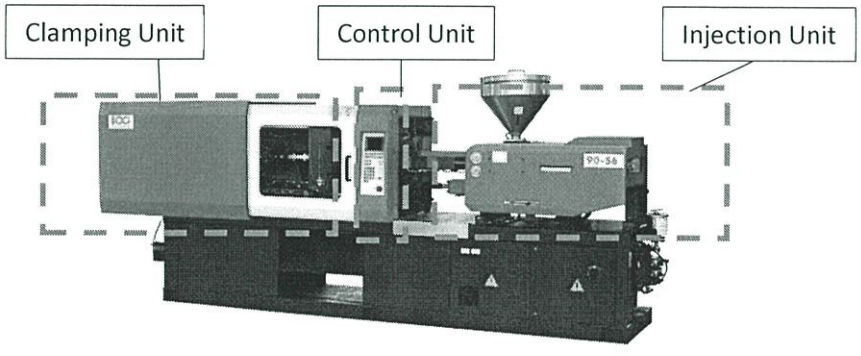


ขั้นที่ 3 ปลดชิ้นงาน



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก (สมเกียรติ ศรีภัทรานุสรณ์ม, 2551)

เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนการทำงานที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หน่วยการทำงานหลักของเครื่องฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.3.1 ชุดฉีด (Injection Unit)

การทำงานของชุดหัวฉีด คือ เม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวยเติมจะค่อยๆลดลงเมื่อสกรูหมุนพาเม็ดพลาสติกออกไปที่กระบอกสูบ และเม็ดพลาสติกจะถูกหลอมละลายในกระบอกสูบด้วยความร้อนของฮีตเตอร์ สกรูจะทำหน้าที่คลุกเคล้าเม็ดพลาสติกที่ละลายแล้วให้เป็นเนื้อเดียวกันพร้อมกับขับดันให้พลาสติกเหลวพุ่งออกจากหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ และหลังจากชิ้นงานในแม่พิมพ์เย็นตัวลงจนปลดออกจากแม่พิมพ์แล้วก็จะทำการหลอมพลาสติกใหม่เพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป ซึ่งชุดฉีดประกอบไปด้วย

2.3.1.1 <u>กรวยเติม (Hopper)</u>

ที่บริเวณรูสำหรับป้อนเม็ดพลาสติก จะมีระบบน้ำหล่อเย็นเลี้ยงรอบๆเพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับชนิดของเม็ดพลาสติก เม็ดพลาสติกจะถูกลำเลียงจาก กรวยเติม (Hopper) ผ่านรูป้อนเพื่อให้ผ่านไปยังกระบอกฉีด (Barrel) ซึ่งในช่วงที่เม็ดพลาสติกถูกป้อนลงมานั้นหากไม่มีระบบน้ำหล่อเย็นเลี้ยงที่บริเวณคอป้อน (Throat) ก็จะทำให้อุณหภูมิของรูป้อนเม็ดสูงขึ้น จะทำให้เม็ดพลาสติกเริ่มหลอมละลายเกาะตัวกันมากขึ้น ส่งผลให้การไหลลงของเม็ดพลาสติกไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบระบบหล่อเย็นสม่ำเสมอ

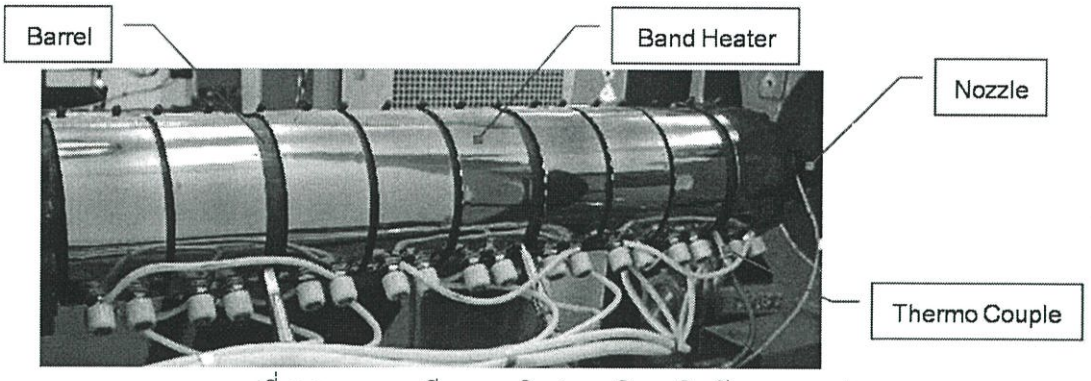
ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิของคอป้อน (Throat) ต่ำมากๆขณะทำการป้อนเม็ดพลาสติกก็จะทำให้เม็ดพลาสติกมีความชื้นเกิดขึ้น โดยเฉพาะเม็ดที่ผ่านกระบวนการไล่ความชื้นมาแล้ว เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การฉีดขึ้นรูปของพลาสติกมีปัญหาได้เช่นกัน

2.3.1.2 <u>กระบอกฉีดพลาสติก (Barrel)</u>

กระบอกฉีดดังแสดงในรูปที่ 2.3 จะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ที่ติดตั้งอยู่กับ กรวยเติม (Hopper) และคอป้อน (Throat) ผิวด้านนอกของกระบอกฉีดจะติดตั้งปลอกหรือแถบทำความร้อน (Band Heater) เพื่อให้ความร้อนในการหลอมเม็ดพลาสติก ส่วนปลายของกระบอกจะต่อเข้ากับหัวฉีด (Nozzle) และภายในของกระบอกฉีดจะมีสกรู (Screw) สวมอยู่เพื่อช่วยในการหลอมเม็ดพลาสติกและอัดฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

2.3.1.3 <u>ปลอกหรือแทบทำความร้อน (Band Heater)</u>

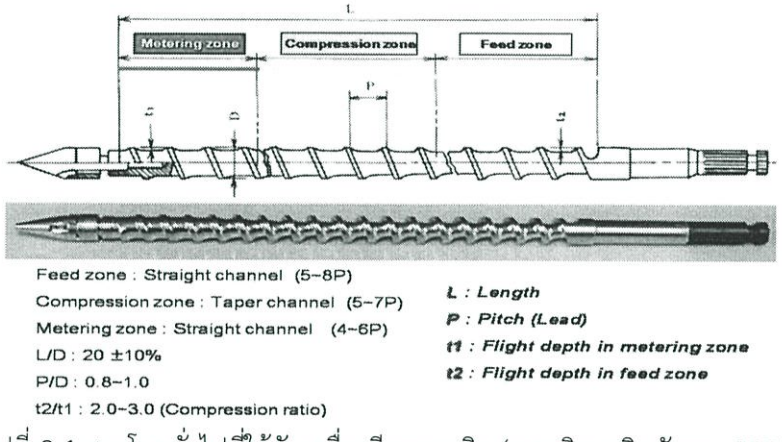
มีหน้าที่ทำความร้อนและถ่ายไปยังกะบอกฉีด (Barrel) เพื่อใช้ในการหลอมละลายเม็ดพลาสติก โดยทั่วไปจะทำการติดตั้งไว้โดยการห่อหุ้มอยู่ภายนอกของกระบอกฉีด (Barrel) โดยการแยกควบคุมอุณหภูมิออกเป็นส่วนๆ



รูปที่ 2.3 กระบอกฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.3.1.4 Screw

โดยทั่วไปสกรูที่ใช้กับเครื่องฉีดพาสติกนั้น มีการออกแบบที่แตกต่างกันไปเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนหลัก คือ Feed Zone, Compression Zone และ Metering Zone ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สกรูโดยทั่วไปที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

1. Feed Zone เป็นช่วงที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงเม็ดพลาสติกที่ไหลลงมาจาก กรวยเติมกับคอป้อน เพื่อที่จะส่งต่อไปยังช่วง Compression Zone ซึ่งความลึกของร่องเกลียวช่วงนี้จะเท่ากันทุกร่องเกลียว การเปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงนี้จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการเสียดสีกันของเม็ดพลาสติก เพราะฉะนั้นความร้อนที่มาจาก ปลอกนำความร้อนในช่วงนี้ต้องไม่สูงมากจนเกินไป เพราะจะทำให้พลาสสติกหลอมเหลวหรือเกาะตัวเป็นก้อนและเพื่อป้องกันการลำเลียงเม็ดพลาสติกไม่ให้ขาดช่วงหรือขาดความต่อเนื่อง

2. Compression Zone เป็นช่วงที่ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลวและผสมผสานกันได้ดียิ่งขึ้น โดยจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของเม็ดพลาสติกเองและทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในเม็ดพลาสติกเกิด

การหลอมเหลวและอัดแน่นกันมากยิ่งขึ้น ขนาดความลึกของเกลียวช่วงนี้จะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆเพื่อทำให้เกิดการอัดตัวของการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก ซึ่งข้อแตกต่างของความลึกของร่องเกลียวช่วงนี้เราเรียกว่า Compression Ratio โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 2:1 จากช่วงของ Compression Zone ปริมาณพลาสติกที่ถูกหลอมละลายจะถูกส่งไปยังส่วนสุดท้ายที่เรียกว่า Metering Zone ต่อไป

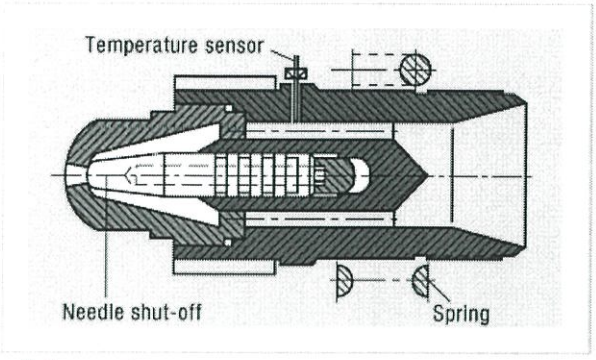
3. Metering Zone เป็นช่วงที่มีการเฉือนกันของพลาสติกมากที่สุดและจะเพิ่มมากขึ้นระหว่างกระบอกฉีดกับ Screw และเพิ่มการหลอมละลายของพลาสติกบางส่วนที่ยังหลอมละลายไม่ดีพอเพื่อที่จะทำการฉีดต่อไป การหลอมละลายในช่วงนี้จะเริ่มมีการสะสมกำลังและแรงดันเพิ่มมากขึ้นที่ด้านปลายของกระบอกฉีด ในช่วง Metering Zone ที่จะทำหน้าที่นำพลาสติกที่หลอมละลายดีแล้วผ่านทะลุ Non-Return Valve ไปยังด้านหน้าสุดของ Screw และไปสะสมกันอยู่ปลายสุดของกระบอกฉีด ในขณะเดียวกันการสะสมของพลาสติกเหลวนี้ก็จะมีกำลังเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่สกรูหมุนกำลังหรือแรงดันนี้จะเป็นตัวที่ดันให้สกรูถอยหลังไปจนถึงระยะของ SM (ตำแหน่งหยุดการหมุนของ Screw) ตามที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งเป็นการสะสมปริมาณพลาสติกเหลวให้ได้ตามที่ต้องการเพื่อที่จะทำการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ในแต่ละรอบการทำงาน

2.3.1.5 <u>หัวฉีด (Nozzle)</u>

มีไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นทางผ่านของพลาสติกเหลวจากกระบอกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งหัวฉีดจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างปลายกระบอกฉีดกับ Sprue bush ของแม่พิมพ์ในขณะทำการฉีกพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ ขนาดรัศมีของปลายหัวฉีด (Nozzle) ต้องมีขาดพอดีที่จะสวมหรือสัมผัสกับขนาดรัศมีของ Sprue Bush ของแม่พิมพ์และต้องไม่มีรอยยุบรอยกระแทกบริเวณใกล้กับรูฉีดของหัวฉีดเพราะอาจทำให้การฉีดมีปัญหา โดยทั่วไปหัวฉีดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

1. หัวฉีดแบบเปิด (Open Nozzle) เป็นหัวฉีดแบบที่ใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดค่อนข้างสูง ซึ่งไหลได้ยากเมื่อถึงจุดหลอมเหลว เป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างกว่างขวางเนื่องจากมีราคาที่ถูก มีความเสียดทานในการไหลน้อยมาก และทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดแบบปิด เนื่องจากหัวฉีดแบบเปิดไม่มีระบบเปิด-ปิดรูของหัวฉีดซึ่งอาจจะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของพลาสติกที่ปลายหัวฉีดได้ จึงต้องใช้วิธีการป้องกันด้วยการดึงกลับของสกรู (Suck Back) เป็นมาตรฐานการใช้งานหัวฉีดแบบเปิด

2. หัวฉีดแบบปิด (Shut-off Nozzle) เป็นหัวฉีดที่นิยมใช่กับพลาสติกที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งไหลได้ง่ายเมื่อถึงจุดหลอมเหลว หัวฉีดแบบนี้จะมีกลไกหรือระบบควบคุมการเปิด-ปิดรูฉีดเพื่อป้องกันไม่พลาสติกเหลวไหลย้อยออกมาที่ปลายหัวฉีด ซึ่งกลไกหรือระบบควบคุมการเปิด-ปิดรูฉีดนั้นมีอยู่มากมายหลายแบบดังรูป 2.5



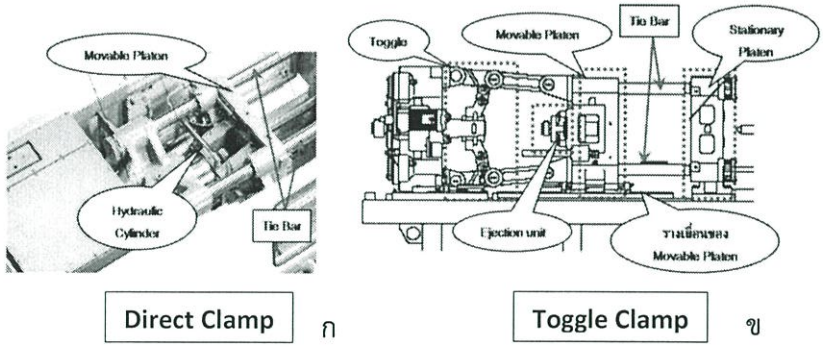
รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบปิด (Shut-off Nozzle) (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.3.2. ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการติดตั้งแม่พิมพ์ เปิด-ปิดแม่พิมพ์และกระทุ้งชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วออกจากแม่พิมพ์ โดยเฉพาะการปิดแม่พิมพ์นั้น ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ จะต้องมีแรงในการปิดที่สามารถต้านทานแรงดันของพลาสติกเหลวในขั้นตอนการฉีดได้ โดยทั่วไปชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์จะมีอยู่ 2 ระบบใหญ่ๆดังนี้

1. Direct Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โดยตรงผ่านต้นกำลัง ซึ่งก็คือลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมใช้ในเครื่องฉีดระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีข้อดีก็คือสามารถติดตั้งได้ง่าย แสดงในรูป 2.6ก

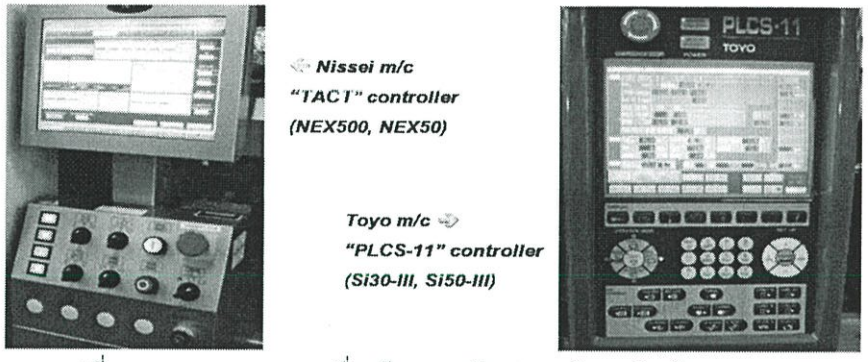
2. Toggle Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ผ่านกลไกหรือระบบ Mechanic ซึ่งสามารถใช้ได้กับต้นกำลังจาก Servo Motor และ Hydraulic ซึ่งมีจ้อดีก็คือแรงในการปิดแม่พิมพ์จะเที่ยงตรงและสม่ำเสมอ แสดงในรูป 2.6ข



รูปที่ 2.6 ชุดเปิดปิดแม่พิมพ์ทั้งสองแบบ (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.3.3 ชุดควบคุม (Control Unit)

มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทุกระบบของเครื่องฉีด เช่น การควบคุมอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel) การควบคุมแรงดันและความเร็วในการฉีด การควบคุมความเร็วในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ การควบคุมเวลาการทำงานในขั้นตอนต่างๆของเครื่องฉีด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชุดควบคุมของเครื่องฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.4 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

แม่พิมพ์ฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่นำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermo Plastics) และในปัจจุบันมีการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ฉีดให้สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติกที่ทำจากพลาสติกประเภทเทอร์โมเซทติ้ง (Thermosetting Plastics) ได้อีกด้วย ทำให้ขอบเขตการใช้งานของแม่พิมพ์ฉีดกว้างยิ่งขึ้น การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดมักจะพิจารณาจากลักษณะรูปร่างของชิ้นงานเป็นหลัก

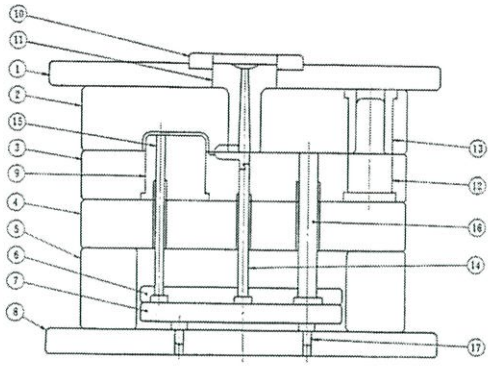
2.4.1 ประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งปะเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection Mold) ตามลักษณะโครงสร้างออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แม่พิมพ์ 2 แผ่น (2 Plates Mold) และแม่พิมพ์ 3 แผ่น (3 Plates Mold)

2.4.1.1 แม่พิมพ์ 2 Plates

แม่พิมพ์ชนิดนี้จะมีด้านที่ขึ้นรูปชิ้นงานอยู่สองฝั่ง ซึ่งในระหว่างรอบการฉีด แม่พิมพ์จะเปิดออกที่ระนาบเดียวโดยที่อีกระนาบจะติดมั่นคงอยู่กับเครื่องจักร ระนาบของการเปิดหรือที่เรียกว่า เส้นแบ่ง (Parting Line) ฉีดชิ้นงานทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นทางเดียวแบบ Cool Runner หรือแบบหลายทางแบบ Hot Runner โครงสร้างแม่พิมพ์จะประกอบด้วยด้าน 2 ด้าน คือ ด้าน Cavity Mold และด้าน-Core

Mold ซึ่งจะมีระบบปลด (Ejection) ชิ้นงานที่แตกต่างกันตามลักษณะรูปร่าง และข้อกำหนดของชิ้นงาน ส่วนประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.8

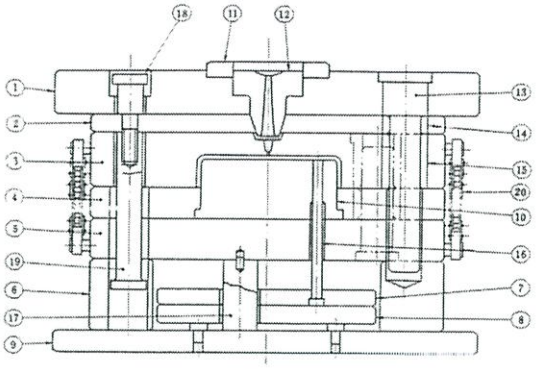


No.	Name	Function
1.	Front clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Fixed (Cavity) ให้ติดอยู่กับ Fixed/Stationary Platen ของเครื่อง
2.	A-plate (Cavity plate)	ติดตั้ง cavity inserts
3.	B-plate (Core plate)	ติดตั้ง core inserts
4.	Support plate (Core back-up plate)	รองรับและเพิ่มความแข็งแรงให้ B-plate (Core Plate)
5.	Support rails (Spacer block)	รองรับ B-plate และสร้างระยะสำหรับการเคลื่อนที่ของ Ejector plate
6.	Ejector retainer plate	ติดตั้งและกำหนดตำแหน่งของ Ejector pins
7.	Ejector plate	ดัน Ejector pins ทั้งชุดเพื่อดันปลดชิ้นงาน
8.	Rear clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Move (Core) ให้ติดอยู่กับ Moving Platen ของเครื่องฉีด
9.	Core insert	ขึ้นรูปชิ้นงาน
10.	Locating ring	กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนเครื่องให้ Sprue bushing ตรงกับหัวฉีดของเครื่อง
11.	Sprue bushing	เชื่อมต่อกับหัวฉีด เพื่อเป็นทางเข้าของน้ำพลาสติกเหลว
12.	Leader pin (Guide Pin/Post)	เพิ่มความเที่ยงตรงในการปิดแม่พิมพ์ให้อยู่ในแนวเส้น (alignment) เดียวกัน
13.	Leader pin bushing (Guide Bush)	ปลอกนำของ Leader pin
14.	Sprue puller (Sprue lock pin)	ดึงให้ Sprue หลุดออกจาก Sprue bushing ในขณะเปิดแม่พิมพ์
15.	Ejector pins	ดันปลดชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์
16.	Return pin	ดันชุด Ejector plate กลับตำแหน่งเดิมในขณะปิดแม่พิมพ์
17.	Ejector stop pin	รองรับ Ejector plate ในตำแหน่งกลับสุด

รูปที่ 2.8 รายชื่อและหน้าที่ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 2 Plates (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

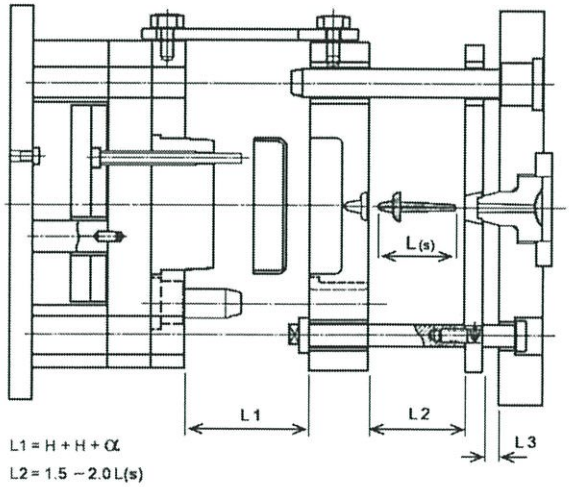
2.4.1.2 แม่พิมพ์ 3 Plates

แม่พิมพ์ 3 Plate คือแม่พิมพ์จะเปิดออกในสองระนาบส่วนที่อยู่กับที่ของแม่พิมพ์จะประกอบด้วยแผ่นสองแผ่น 3 Plate มักจะใช้ทางเข้าแบบเข็ม แม่พิมพ์ลักษณะนี้จะเป็นแม่พิมพ์ที่ฉีดงานที่มีทางเข้าน้ำพลาสติกหลายทางในชิ้นงานเดียวหรือแม่พิมพ์ที่ต้องการหลายชิ้นงาน โดยต้องการให้ทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นการฉีดแบบ Cool Runner ซึ่งยอมให้เห็นรอย Gate ได้เพียงเล็กน้องบยชิ้นงาน ส่วนประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10



No.	Name	Function
1.	Front clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Fixed (Cavity) ให้ติดอยู่กับ Fixed/Stationary Platen ของเครื่อง
2.	Runner stripper plate	ดัน Sprue bush ให้หลุดออกจาก Sprue bushing
3.	A-plate (Cavity plate)	ติดตั้ง cavity inserts
4.	B-plate (Core plate)	ติดตั้ง core inserts
5.	Support plate (Core back-up plate)	รองรับและเพิ่มความแข็งแรงให้ B-plate (Core Plate)
6.	Support rails (Spacer block)	รองรับ B-plate และสร้างระยะสำหรับการเคลื่อนที่ของ Ejector plate
7.	Ejector retainer plate	ติดตั้งและกำหนดตำแหน่งของ Ejector pins
8.	Ejector plate	ดัน Ejector pins ทั้งชุดเพื่อดันปลดชิ้นงาน
9.	Rear clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Move (Core) ให้ติดอยู่กับ Moving Platen ของเครื่องฉีด
10.	Core insert	ขึ้นรูปชิ้นงาน
11.	Locating ring	กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนเครื่องให้ Sprue bushing ตรงกับหัวฉีดของเครื่อง
12.	Sprue bushing	เชื่อมต่อกับหัวฉีด เพื่อเป็นทางเข้าของน้ำพลาสติกเหลว
13.	Support pin	รองรับและเป็น Guide สำหรับ A-plate (Cavity plate) และ Runner stripper plate
14.	Leader pin bushing (Guide Bush)	ปลอกนำของ Support pin สำหรับ Runner stripper plate
15.	Leader pin bushing (Guide Bush)	ปลอกนำของ Support pin สำหรับ A-plate (Cavity plate)
16.	Ejector pins	ดันปลดชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์
17.	Support pillar	รองรับเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ Core plate
18.	Stopper bolt	ยึด Runner stripper plate ติดกับ Puller bolt และกำหนดระยะเคลื่อนที่ของ Runner stripper plate
19.	Puller bolt	ดึง Runner stripper plate เพื่อดัน Sprue bush ให้หลุดออกจาก Sprue bushing
20.	Chain / Tension link	ดึง Cavity plate เพื่อดึงให้ Runner stripper plate เคลื่อนที่ดัน Sprue bush ออก

รูปที่ 2.9 รายชื่อและหน้าที่ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 3 Plates (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)



$L1 = H + H + \alpha$

$L2 = 1.5 - 2.0\,L(s)$

Mold opening stroke = L1 + L 2 + L 3

Minimum Daylight = Mold Thickness + Mold opening stroke

รูปที่ 2.10 ระยะในการเปิด-ปิดของแม่พิมพ์ 3 Plates (เชาวลิต เจริญรักษา, 2554)

2.4.2 การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดนอกจากการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆเพื่อให้แม่พิมพ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของแม่พิมพ์และชิ้นส่วนอื่นๆ ความคงทนต่อการเสียดสีเพื่อให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานได้นาน สามารถผลิตชิ้นงานได้มากตามจำนวนที่ต้องการผลิต ทนต่อปฏิกริยาเคมีที่เกิดจากพลาสติกบางชนิดได้ สามารถตัดเฉือนรูปได้ง่ายสามารถชุบแข็งได้และภายหลังการชุบแข็งมีการเปลี่ยนรูปน้อย มีการขยายตัวน้อยเมื่อได้รับความร้อนเพื่อให้ได้ขนาดและรูปทรงของชิ้นงานอยู่ในพิกัดที่กำหนด อีกทั้งราคาของแม่พิมพ์ สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้สามารถเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์ได้อย่างถูกต้องกับคุณภาพของแม่พิมพ์ที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุจำพวกเหล็กและโลหะซึ่งพอจะแยกออกได้ดังนี้

1. เหล็กนิเกิล-โครเมียม-โมลิบดีนัม (Nickel-Chromium-Molybdenum Steel)

เหล็กชนิดนี้เป็นเหล็กที่นิยมใช้ทำแม่พิมพ์กันมากที่สุด กรรมวิธีชุบแข็งอาจชุบในน้ำมัน อากาศหรือใช้กรรมวิธีคาร์บูไรซิ่งก็ได้ เหล็กเหล่านี้มีจำหน่ายในลักษณะเป็นเพลากลมหรือแท่งเหลี่ยม เหล็กชนิดนี้จะมีส่วนผสมของนิเกิลและโครเมียมต่างกัน เช่น เหล็กผสม 1½ และ 2½ % นิเกิลโครเมียมมีคุณสมบัติแข็งแรงเป็นพิเศษและต้านทานการบิดงอได้ดี เหล็กผสม 1½ % นิเกิลโครมียมจะสามารถตัดเฉือนขึ้นรูปได้ดีแต่เหล็กผสม 2½ และ 3% นิเกิล-โครเมียมจะมีคุณสมบัติด้านความเหนียวเพิ่มขึ้น เหล็กผสม 4 และ 4½ % นิเกิล-โครเมียมเป็นเหล็กผสมในกลุ่มนี้ที่ความแข็งแรงสูงและเป็นเหล็กผสมที่นิยมกันมากที่สุด

2. เหล็กคาร์บอนและโครเมี่ยมสูง (High-Carbon High-Chromium Steels)

เหล็กผสมชนิดนี้จะมีส่วนผสมคาร์บอน 1.25-2.5% และโครเมียม 12-14% เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมที่ไม่แน่นอนจึงไม่นิยมใช้สำหรับแม่พิมพ์ในงานตัดเฉือนขึ้นรูป แต่เหมาะสำหรับแม่พิมพ์ที่ต้องการให้มีการบิดงอเปลี่ยนรูปน้อยและมีความแข็งแรงสูงเพื่อต้านทานการเสียดสีไม่เหมาะสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงสั่นสะเทือนหรือแรงกระแทก

3. เหล็กสเตนเลส (Stainless Steels)

เหล็กชนิดนี้จะใช้สำหรับแม่พิมพ์ฉีดที่ต้องการความต้านทานต่อปฏิกริยาเคมีของพลาสติกบางชนิดโดยเฉพาะ PVC ได้ซึ่งอาจใช้เหล็กผสมทั่วไปแล้วชุบโครเมียมในภายหลังก็ได้แต่การใช้เหล็กสเตนเลสมีข้อดีกว่าตรงที่ว่าการซ่อมบำรุง ปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงแม่พิมพ์ในภายหลังไม่ต้องลอกผิวโครเมียมออกและแก้ปัญหาการชุบโครเมียมบริเวณที่เป็นร่องลึกได้ แต่การตัดเฉือนขึ้นรูปเหล็กสเตนเลสจะมีความยากมากว่าเหล็กผสมชนิดอื่น เหล็กสเตนเลสมีหลายประเภทแต่มีอยู่เพียงไม่กี่ประเภทที่สามารถชุบแข็งให้สามารถทนแรงดันสูงๆในแม่พิมพ์ได้ ประเภทที่เหมาะสมที่สุดตามมาตรฐาน AISI คือประเภท 400 ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายเกรด ซึ่ง เกรด 420 เป็นเกรดที่ใช้กันมากที่สุด ข้อควรระลึกถึงคือ คุณสมบัติการนำความร้อนของเหล็กสเตนเลสจะต่ำกว่าเหล็กที่ไม่ใช่สเตนเลสซึ่งจะช่วยลดปัญหาในการฉีดชิ้นงานที่มีพื้นที่ภาค

ตัดหนาซึ่งระยะเวลาการฉีดช้า ข้อดีอีกประการหนึ่งของวัสดุชนิดนี้ก็คือใช้ในการแยกส่วนที่ร้อนและเย็นออกจากกัน เช่น ในแม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน (Hot-Runner Molds) เป็นต้น และคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำจึงทำให้พลาสติกหลอมไม่แข็งตัวก่อนที่จะเติมเต็มแม่พิมพ์และสามารถใช้อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติกที่ต่ำกว่าได้

4. เหล็กทำแม่พิมพ์อื่นๆ

นอกเหนือจากเหล็กทำแม่พิมพ์ที่กล่าวมาแล้ว เหล็กชนิดอื่นๆ เช่น เหล็กคาร์บอน-มังกานีส เหล็กโครเมียม-วาเนเดียม เหล็กคาร์บอน-ทังสเตน-โครเมียม เป็นต้น ก็มีการนำมาใช้ในงานทำแม่พิมพ์เช่นกัน แต่ไม่แพร่หลายนัก นอกนี้เหล็กเหนียว เหล็กคาร์บอนต่ำ (น้อยกว่า 0.2% คาร์บอน) เหล็กคาร์บอนปานกลาง (0.2-0.6% คาร์บอน) และเหล็กคาร์บอนสูง (0.7-1.3% คาร์บอน) ก็มีการนำมาใช้ทำแม่พิมพ์เช่นกัน เนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกซึ่งเหมาะสำหรับชิ้นส่วนที่ไม่ซับซ้อนตัวอย่างการใช้งาน

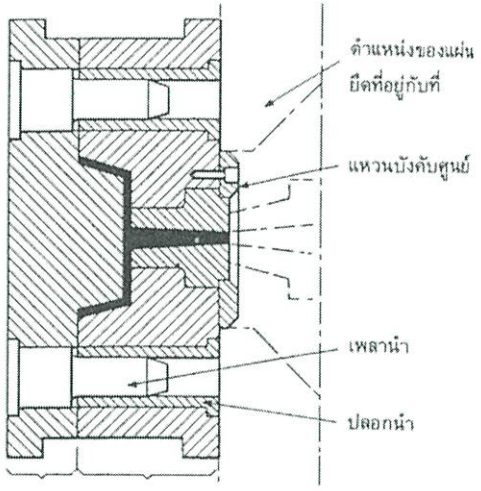
ตารางที่ 2.1 ชนิดเหล็กสำหรับใช้ทำแม่พิมพ์ฉีด (ชาลี ตระการกูล, 2547)

P.20	- เหมาะสำหรับแม่พิมพ์ฉีดทุกชนิดและทุกขนาดที่ขึ้นรูปโดยใช้งานตัดเฉือน โดยปกติจะอยู่ในสภาวะที่ชุบแข็งาก่อนที่มีความแข็งประมาณ 32-35 Rc แม่พิมพ์จะต้องนำไปผ่านกรรมวิธีคาร์บูไรซิ่งและชุบแข็ง เมื่อใช้พลาสติกที่มีความหนืดต่ำ เช่น Glass Filled Plastics หรือสำหรับทำแม่พิมพ์ที่มีอัตราการผลิต 100,000 ชิ้นต่ออิมเพชสชั่น
H.13	- ใช้กับแม่พิมพ์ขนาดเล็กและใหญ่ เมื่อต้องการทั้งความเหนียวและความแข็งแรงในระหว่างกระบวนการชุบแข็งตะสามารถคงขนาดได้ดีและใช้ทำสลักปลด ปลอกปลดตลอดจนแผ่นปลด
A.2	- ใช่สำหรับแม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดเล็ก เมื่อต้องการความแข็งสูง เช่น แม่พิมพ์สำหรับฉีดวัสดุที่ขัดสีผิว (Abrasive Materials)
D.2	- ใช้สำหรับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก เมื่อการสึกหรอเป็นสาเหตุของปัญหาของแม่พิมพ์และใช้สำหรับแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิใช้งานสูงถึง 750°F และใช้ในการทำปลอกรูฉีด
เกรด 420	- ใช้สำหรับแม่พิมพ์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ใช้ฉีดวัสดุที่เป็นกรดกัด เช่น PVC, Delvin เป็นต้น และใช้สำหรับแม่พิมพ์ที่มีปัญหาเนื่องจากความชื้น ทำให้เกิดเป็นสนิมซึ่งเป็นผลให้ผิวของแม่พิมพ์เสียหายข้อควรระวังสำหรับกรรมวิธีทางความร้อนหลังจากชุบแข็งแล้วจะต้องให้ความร้อนที่ 750°F เพื่อให้มีความเหนียวและมีความต้านทานจ่อการกัดกร่อนดีที่สุด ความแข็งที่ได้จะอยู่ระหว่าง 48-52 Rc
SAE.4140	- โดยทั่วไปใช้ทำแผ่นยึดแม่พิมพ์และแผ่นรองหลังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์ที่คุณภาพผิวสำเร็จไม่สูงมากนักโดยปกติจะใช้ในสภาพชุบแข็งก่อนที่ความแข็ง 28-32 Rc

2.4.3 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.4.3.1 ส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่

จะพบว่าชิ้นส่วนต่างๆที่ประกบกันขึ้นเป็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนหรือ 2 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนที่ยึดอยู่กับแผ่นยึดที่อยู่กับที่ของเครื่องฉีดพลาสติก เรียกว่า "ส่วนที่อยู่กับที่" (Fixed-Half) อีกส่วนหนึ่งจะยึดอยู่กับแผ่นยึดที่เคลื่อนที่ของเครื่องฉีดพลาสติก เรียกว่า "ส่วนเคลื่อนที่" (Moving Half) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ชุดแม่พิมพ์ประกอบด้วยปลอกรูฉีด แหวนบังคับศูนย์ ปลอกนำ เพลานำ [2]

2.4.3.2 อิมเพลสชั่น (Impression)

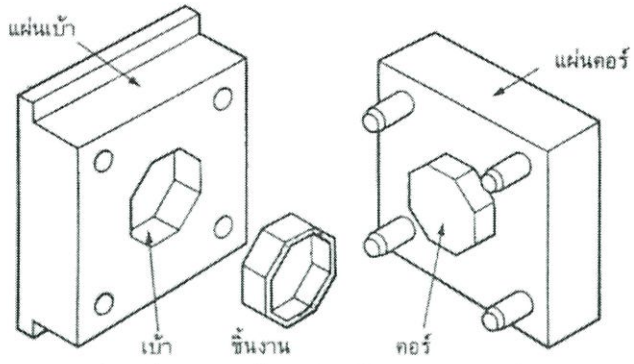
แม่พิมพ์ฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่างๆหลายชิ้นเกิดเป็นโพรงภายในที่เรียกว่า "อิมเพลสชั่น" ที่ซึ่งเนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าไปและเย็นตัวลงได้ชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่างเหมือนกับอิมเพลสชั่น อิมเพลสชั่นเกิดจากการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ 2 ชิ้นคือ

- เบ้า (Cavity) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายนอกชิ้นงาน
- คอร์ (Core) เป็นส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ที่ทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายในของชิ้นงาน

2.4.3.3 แผ่นเบ้าและคอร์ (Cavity and Core Plates)

รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงแม่พิมพ์แบบง่ายๆของภาชนะบรรจุสิ่งของทรงแปดเหลี่ยม แม่พิมพ์แบบง่ายๆในกรณีประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งขุดลึกเป็นโพรงเข้าไปซึ่งเป็นส่วนขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงานและเรียกว่า "แผ่นเบ้า" และอีกแผ่นหนึ่งจะทำเป็นแกนยื่นออกมาและเป็นส่วนขึ้นรูปภายใน

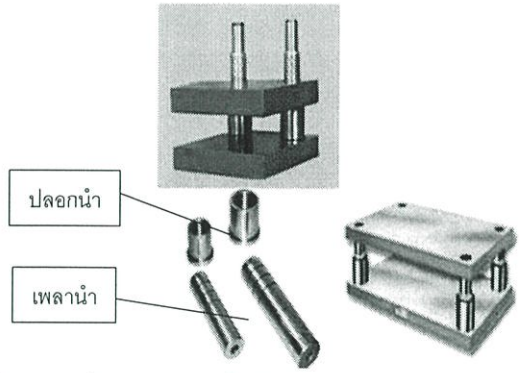
ของชิ้นงานส่วนนี้เรียกกันว่า “แผ่นคอร์” เมื่อแม่พิมพ์ปิดแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์จะเลื่อนเข้าประกบกันทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่า “อิมเพลสชั่น”



รูปที่ 2.12 พื้นฐานของแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ (ชาลี ตระการกูล, 2547)

2.4.3.4 เพลานำและปลอกนำ (Guide Pillars and Bushes)

เพื่อให้ชิ้นงานฉีดพลาสติกได้ชิ้นงานที่มีความหนาของเปลือกชิ้นงานที่สม่ำเสมอจำเป็นจะต้องทำให้เบ้าและคอร์ได้ศูนย์ ลักษณะนี้กระทำได้โดยใช้เพลานำประกอบเข้ากับแม่พิมพ์ด้านหนึ่งซึ่งหลังจากนั้นจะสวมประกอบกับปลอกนำที่อยู่บนแผ่นแม่พิมพ์อีกแผ่นหนึ่งเมื่อแม่พิมพ์ปิด โดยแสดงรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเพลานำและปลอกนำ (http://www.industrialtoolingservices.com/, 1993)

- หน้าที่ของเพลานำ (Function of Guide Pillars)

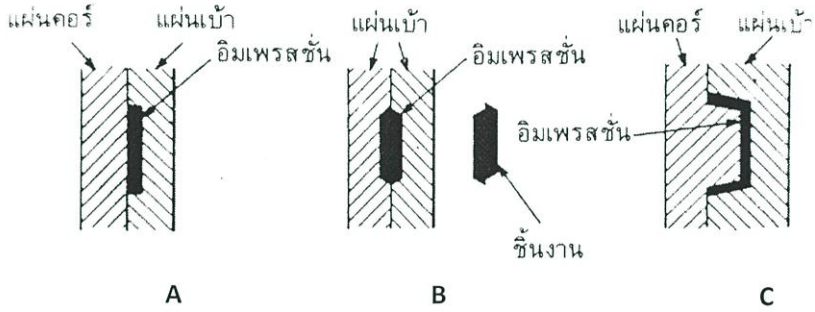
ในเบื้องต้นเพลานำจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการปรับตำแหน่งของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์เมื่อแม่พิมพ์ปิดในระหว่างขั้นตอนการฉีดพลาสติก นอกจากนี้เพลานำยังมีหน้าที่ป้องกันคอร์ของแม่พิมพ์และทำหน้าที่เหมือนกับเป็นสลักบังคับตำแหน่ง (Location Pins) เมื่อจะประกอบแม่พิมพ์เข้าด้วยกัน

โดยปกติชุดแม่พิมพ์จำเป็นจะต้องประกอบด้วยเพลานำเพื่อให้มั่นใจว่าแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองจะอยู่ในแนวศูนย์เดียวกันเมื่อแม่พิพ์ปิด แต่ความจำเป็นในข้อนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบชิ้นส่วนที่

ต้องการผลิต ตัวอย่างเช่น อิมเพลสชั่นในกรณีที่ (1) ชิ้นส่วนที่ต้องการผลิตทั้งหมดอยู่ในแผ่นเบ้าเพียงแผ่นเดียวโดยไม่มีแผ่นคอร์ (รูป 2.14A) ในกรณีนี้ต้องการเพียงแค่บังคับให้แม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการเท่านั้น แม้ว่าจะเกิดการเคลื่อนที่ระหว่างแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองบ้างก็ไม่มีผลต่อขนาดของชิ้นงาน

ในกรณีที่ (2) ที่ซึ่งอิมเพลสชั่นเกิดจากกาทำเบ้าบนแผ่นแม่พิมทั้งสอง (รูปที่ 2.14B) จุดสำคัญคือแม่พิมพ์ทั้งสองต้องอยู่ในตำแหน่งศูนย์เดียวกันอย่างถูกต้อง หากเกิดการคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ชิ้นส่วนมีรอยต่อหรือบ่าเกิดขึ้น

ในกรณีที่ (3) เบ้าและคอร์จะก่อรูปขึ้นเป็นอิมเพลสชั่น หากเกิดการคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย (รูป 2.14C) จะทำให้ความหนาของผนังชิ้นงานส่วนด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น นอกจากนี้เมื่อฉีดพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ เนื้อพลาสติกจะไหลไปทางที่ไปได้ง่ายกว่าและจะไหลเข้าไปในส่วนที่มีความหนามากกว่าก่อน ลักษณะเช่นนี้จะเกิดแรงที่พยายามดันให้คอร์ของแม่พิมพ์ออกห่างจากตำแหน่งศูนย์มากยิ่งขึ้น ผลที่ได้คือได้ชิ้นส่วนที่ใช้งานไม่ได้



รูปที่ 2.14 รูปแสดงกรณีการประกบแม่พิมพ์ทั้ง 1 2 และ 3 (ชาลี ตระการกูล, 2547)

- ปลอกนำ (Guide Bushes)

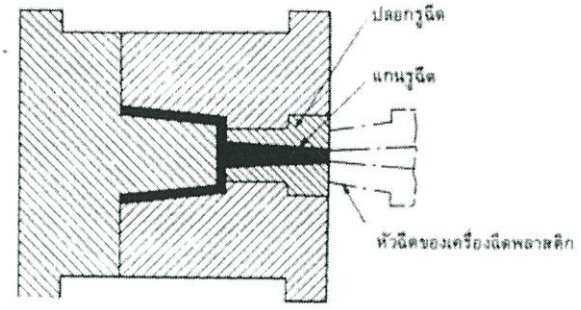
ปลอกนำจะประกอบอยู่ในแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ผิวงานที่ต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีและทำให้สามารถถอดเปลี่ยนได้ในกรณีที่เกิดการสึกหรอหรือเสียหาย โดยปกติเพลานำจะทำจากเหล็กคาร์บอนต่ำและชุบผิวแข็งซึ่งทำให้ได้ผิวที่ต้านทานการสึกหรอ

รูของเพลาจะออกแบบให้สวมพอดีอยู่กับปลอกนำในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกจะสวมอัดอยู่ในแม่พิมพ์ ปลายด้านหน้าของรูจะทำให้โค้งเป็นรัศมี เพื่อเป็นช่วงนำของเพลานำ

2.4.3.5 ปลอกรูฉีด (Sprue Bush)

ในระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติก เนื้อพลาสติกจะถูกส่งออกจากหัวฉีด (Nozzle) ของเครื่องฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลวและเข้าแม่พิมพ์ทางรูฉีดผ่านเข้าไปในอิมเพลสชั่น รูฉีดเข้าแบบง่ายๆจะเป็นรูเรียวที่อยู่ภายในปลอกรูฉีดดังแสดงในรูปที่ 2.15 เนื้อพลาสติกที่อยู่ในรูฉีดนี้เรียกว่า แกนรูฉีด

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.15 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบอิมเพลสชั่นเดี่ยว (ชาลี ตระการกูล, 2547)

เมื่อสิ้นสุดการฉีดพลาสติกปลอกรูฉีดจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแกนรูฉีด (Sprue) ในทางปฏิบัติปลอกรูฉีดจะทำหน้าที่เป็นข้อต่อระหว่างหัวฉีดของเครื่องพลาสติกกับผิวด้านหน้าของแม่พิมพ์และจัดเตรียมรูทะลุที่เหมาะสม ซึ่งเนื้อพลาสติกสามารถไหลไปตามรูนี้จนถึงอิมเพลสชั่นหรือไปยังจุดเริ่มต้นของระบบทางวิ่งในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพลสชั่น

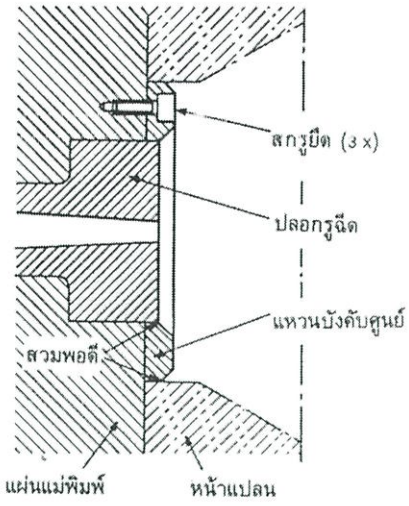
2.4.3.6 แหวนบังคับศูนย์ (Register Ring)

แหวนบังคับศูนย์หรือเรียกอีกอย่างว่า แหวนกำหนดตำแหน่ง (Location Ring) เป็นชิ้นส่วนกลมแบนใช้ประกอบเข้ากับผิวด้านหน้า (และบางทีก็ประกอบกับผิวด้านหลังด้วยเหมือนกัน) ของแม่พิมพ์ จุดมุ่งหมายก็เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องบนหน้าแปลนของเครื่องฉีดพลาสติก

เมื่อนำแม่พิมพ์ขึ้นยึดกับเครื่องพลาสติก แหวนบังคับศูนย์ที่ยึดอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนหน้าจะสวมเข้ากับรูทรงกระบอกซึ่งคว้านได้ขนาดที่ถูกต้องบนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดพลาสติกและอยู่ในแนวเส้นศูนย์กลางเดียวกันกับกระบอกสูบและหัวฉีด วิธีที่นี้ทำให้มั่นใจได้ว่ารูของหัวฉีดจะอยู่ในแนวเส้นศูนย์กลางเดียวกันกับรูของปลอกรูฉีด โดยเหตุที่ปลอกรูฉีดเป็นตัวเชื่อมระหว่างหัวฉีดกับผิวหน้าแม่พิมพ์ รูของหัวฉีดกับรูของปลอกรูฉีดที่อยู่ในแนวศูนย์กลางเดียวกันทำให้ไม่เกิดการกัดขวางทางไหลของเนื้อพลาสติกจากกระบอกสูบผ่านรูหัวฉีดและรูของปลอกรูฉีดเข้าไปในระบบทางวิ่งของแม่พิมพ์และอาจกล่าวได้ว่าแหวนบังคับศูนย์ก่อให้เกิดการเชื่อมกันโดยตรงระหว่างปลอกรูฉีดกับรูในแผ่นหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีด

รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นแหวนบังคับศูนย์ประกอบอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับชิ้นส่วน 2 ชิ้นคือ บนเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของปลอกรูฉีดและในรูของหน้าแปลนยึด

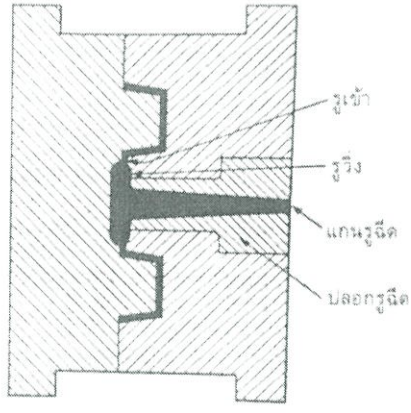
143902



รูปที่ 2.16 การกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดด้วยแหวนบังคับศูนย์

2.4.3.7 ระบบทางวิ่งและทางเข้า (Runner and Gate Systems)

เนื้อพลาสติกอาจถูกฉีดเข้าไปในอิมเพลสชั่น ผ่านปลอกรูฉีดโดยตรงหรือสำหรับแม่พิมพ์หลายอิมเพลสชั่น เนื้อพลาสติกจะฉีดเข้ารูของปลอกรูฉีดและวิ่งไปตามระบบทางวิ่งและทางเข้า ก่อนที่จะเข้าไปในอิมเพลสชั่นโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.17

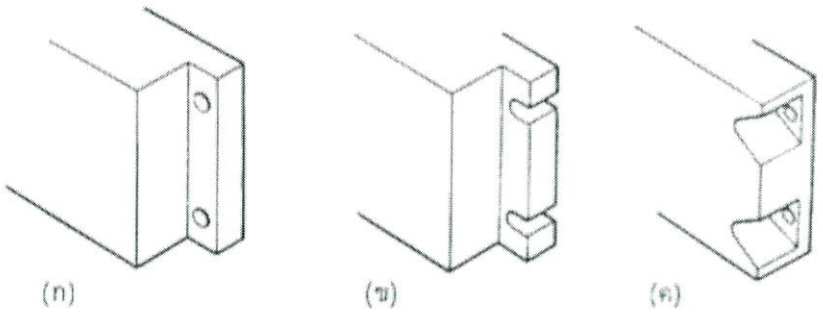


รูปที่ 2.17 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพลสชั่น (ชาลี ตระการกูล, 2547)

2.4.3.8 การยึดแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนของเครื่องฉีด (Attachment of Mold to Platen)

แม่พิมพ์สามารถยึดติดเข้ากับหน้าแปลนของเครื่องฉีดพลาสติกได้ 2 วิธี

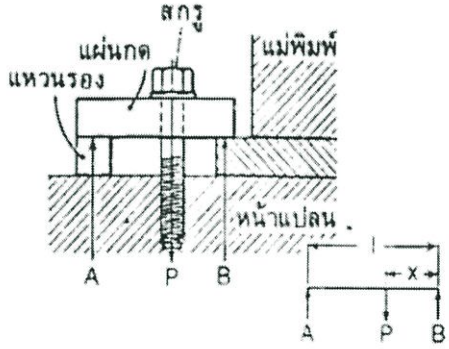
1. วิธีการขันเกลียวยึดโดยตรง (Direct Bolting Method) ในเบื้องแรกรูจะเจาะเตรียมไว้ในแผ่นยึดแม่พิมพ์แต่ละแผ่นที่ตรงกับรูเกลียวบนแผ่นหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีด จากนั้นจึงใช่สกรูขันยึดแผ่นยึดแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การยึดแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนเครื่องฉีด โดยใช้สกรูขันยึดโดยตรง (ชาลี ตระการกูล, 2547)

2. วิธีขันเกลียวยึดทางอ้อม (Indirect Bolting Method) ในการออกแบบวิธีการยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดจะอาศัยแผ่นกด (Clamp Plate) วิธีนี้จะใช้ต่อเมื่อไม่สามารถใช้วิธีขันเกลียวยึดโดยตรงได้ ซึ่งนิยมใช้มากกว่า เช่นในกรณีที่ตำแหน่งของรูเกลียวในแผ่นหน้าแปลนยึดไม่อยู่ในตำแหน่งที่จะเจาะรูบนแผ่นแม่พิมพ์ได่ ซึ่งอาจมีฐานโตกว่าหรือเล็กกว่า

โดยทั่วไปวิธีการขันเกลียวยึดทางอ้อมจะประกอบด้วยชิ้นส่วน 3 ชิ้น คือ แผ่นกด หมอนรอง และสกรู ในการจัดตำแหน่งและสกรูขันยึดควรจัดให้สกรูอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดกดบนแม่พิมพ์มากที่สุด เพื่อให้ได้แรงกดสูงสุด นั่นคือควรมีระยะห่าง x น้อยที่สุดดังแสดงในรูป 2.19



รูปที่ 2.19 การยึดแม่พิมพ์ทางอ้อม (ชาลี ตระการกูล, 2547)

2.5 ทางวิ่ง (Runner) (ชาลี ตระการกูล, 2547)

ทางวิ่งคือ ร่องที่ตัดเฉือนแม่พิมพ์เพื่อให้รูฉีดและทางเข้าอิมเพลสชั่นต่อถึงกันได้ สำหรับแม่พิมพ์แบบสองส่วน ทางวิ่งจะอยู่บนผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ในขณะที่แม่พิมพ์ที่มีการออกแบบค่อนข้างซับซ้อนทางวิ่งอาจอยู่ในตำแหน่งใต้ผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ ระบบ Runner สามารถแบ่งออกเป็นสามชนิดตามระดับอุณหภูมิ

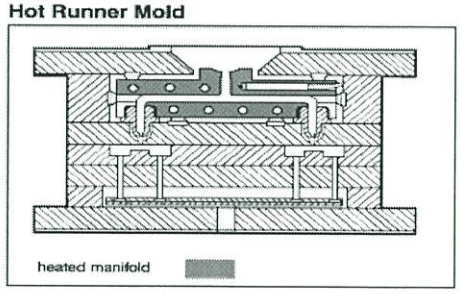
1. ระบบทางวิ่งมาตรฐาน (Standard Runner System)

ช่องทางวิ่งมาตรฐาน ทำได้โดยกัดเซาะแผ่นแม่พิมพ์โดยตรง และไม่มีการติดท่อให้ความร้อน (Heat Manifold) ดังนั้นอุณหภูมิของระบบทางวิ่งจึงเป็นเช่นเดียวกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ทั้งหมดอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Isothermal Runner พลาสติกจะแข็งตัวใน Runner หลังจากการฉีดแต่ละครั้งและต้องปลดออกพร้อมกับชิ้นงาน หลังจากการเปิดแม่พิมพ์ ระบบนี้ใช้กับการฉีดเทอร์โมพลาสติกและวัสดุที่ต้องทำปฏิกริยา เช่น เทอร์โมเซ็ท หรือยาง (Elastomer)

Runner ที่เกิดจากเทอร์โมเซ็ทจะเป็นของเสีย ขณะที่ Runner ที่เกิดจากเทอร์โมพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2. ระบบ Hot Runner

ลักษณะของระบบ Hot Runner ในแม่พิมพ์ฉีดเทอร์มพลาสติก จะต้องติดตั้งท่อให้ความร้อน (Heat Manifold หรือ Heat Cartridge) อุณหภูมิของ Heater คือ 180-300°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวเทอร์โมพลาสติก จึงเห็นได้ชัดว่า สูงกว่าอุณหภูมิปกติของแม่พิมพ์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 20-120°C Manifold หรือ Runner ที่ได้รับความร้อน จะนำน้ำพลาสติกจากหัวฉีดของเครื่องฉีดไปถึง Gate ของคาวิตี้ โดยไม่สูญเสียความร้อน สามารถพิจารณาอย่างง่ายๆ ว่าเป็นหัวฉีดที่ต่อเข้าไปจนถึงคาวิตี้ เทอร์โมพลาสติกใน Hot Runner จะคงหลอมเหลวอยู่ ซึ่งต่างกับ Runner ธรรมดา จึงไม่ต้องปลดส่วนที่เป็น Runner ออก และยังใช้ในการฉีดครั้งต่อไปได้ ปัญหาเบื้องต้นของระบบ Hot Runner คือการกั้นส่วน Manifold ที่ร้อนกับแม่พิมพ์ที่เย็นกว่า ในกรณีที่ Heater วางอยู่ใน Runner (แบบของ DME) จะต้องออกแบบ Runner ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เพราะพลาสติกชั้นนอกจะแข็งตัว เป็นฉนวนกันการสูญเสียความร้อนของแกนในซึ่งยังร้อนอยู่ แม่พิมพ์ระบบ Hot runner ได้แสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แม่พิมพ์แบบ Hot Runner (Megamould, 2009)

3. ระบบ Cold Runner

เมื่อเทียบกับ Hot Runner ในแม่พิมพ์สำหรับเทอร์โมพลาสติก Cold Runner จะใช้สำหรับวัสดุที่ทำปฏิกริยากัน เช่น เทอร์โมเซ็ทและยาง ปัญหาของ Cold Runner ในด้านฉนวน จะตรงกันข้ามกับ Hot Runner ในแม่พิมพ์ร้อนประมาณ 160-180°C ต้องรักษาอุณหภูมิของ Runner ไว้ที่ 80-120°C จนวัสดุไม่ทำปฏิกริยากัน (กลายเป็นของแข็ง) ก่อนเวลาอันควรใน Runner โดยการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Hot Runner เทียบกับ Cold Runner ของแม่พิมพ์แสดงในตารางที่ 2.2

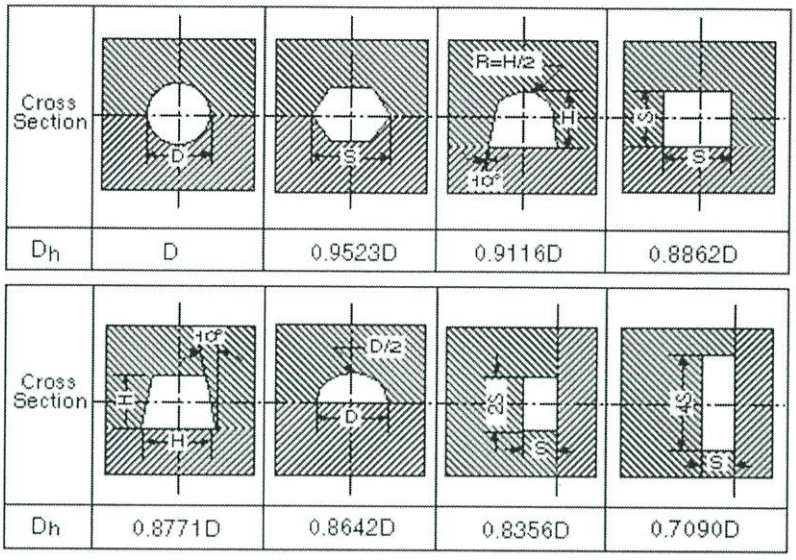
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Hot Runner เทียบกับ Cold Runner ของแม่พิมพ์

ข้อดี	ข้อเสีย
-ประหยัดเศษวัสดุที่ทางวิ่งและค่าใช้จ่ายในการบดเศษมาใช้ใหม่ -ระยะต่อรอบการทำงาน (Cycle Time) สั้นกว่า ไม่เสียเวลาในการเอาเศษทางวิ่งออก ไม่ต้องใช้เวลาหล่อเย็นในกรณีทางวิ่งเย็นตัวช้าไม่ต้องถอยหัวฉีด -ใช้เครื่องฉีดขนาดเล็กกว่า เพราะระบบทางวิ่งร้อนไม่มีแรงต้าน ใช้เนื้อพลาสติกน้อยลง -เลือกตำแหน่งทางเข้า (Gate) ได้อย่างอิสระ ความดันสูญเสียน้อยกว่า เพราะใช้ทางวิ่งขนาดโตกว่าทางวิ่งของแม่พิมพ์ปกติและไม่มีการแข็งตัวในทางวิ่ง ผลของความดันอัดเนื้อพลาสติกในแม่พิมพ์จะนานกว่า สามารถควบคุมความสมดุลของการเติมแม่พิมพ์หลายหลุมแบบได้ด้วยการควบคุมอุณหภูมิ	-ชิ้นงานเสียมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้นฉีด -มีความยุ่งยากในการใช้งานมากกว่า ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ -มีโอกาสเกิดปัญหา เช่น พลาสติกรั่วซึมตามข้อต่อหรือแนวประกบและไฟฟ้าอาจจะรั่วลงกราวด์ที่ชิ้นส่วนได้ -อาจเกิดการสลายตัวของพลาสติก เนื่องจากอุณหภูมิของพลาสติกเหลวไม่สม่ำเสมอ

2.5.1 รูปทรงของหน้าตัดของทางวิ่ง (Runner Cross-Section Shape)

รูปทรงหน้าตัดของทางวิ่งที่ใช้ในแม่พิมพ์ฉีดโดยปกติจะเลือกใช้อยู่ไม่กี่แบบ ทางวิ่งที่มีประสิทธิภาพมีเกณฑ์การพิจารณาหลายประการ กล่าวคือ ทางวิ่งควรมีพื้นที่หน้าตัดโตที่สุดเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายแรงดันและเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายความร้อนทางวิ่งควรจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเนื้อพลาสติกน้อยที่สุด อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบของทางวิ่งจะช่วยชี้บอกถึงประสิทธิภาพของการแบบทางวิ่ง กล่าวคือ หากอัตราส่วนมีค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง อัตราส่วน

ของทางวิ่งที่มีรูปทรงหน้าตัดแบบต่างๆกัน ได้แสดงไว้ในรูป ซึ่งสังเกตเห็นว่าทางวิ่งแบบครึ่งวงกลมและแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าค่าอัตราส่วนต่ำทำให้ไม่นิยมใช้กัน รูปทรงของหน้าตัดทางวิ่งแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงประสิทธิภาพของทางวิ่งที่มีรูปทรงหน้าตัดต่างกัน (อัตราส่วนยิ่งมากประสิทธิภาพยิ่งสูง) (SOSITAR MOLD CO., LIMITED, 2004)

แต่ทางวิ่งแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสมักไม่ค่อยนิยมใช้กัน ทั้งนี้เพราะการปลดรูแกนทางวิ่งกระทำได้ยาก และเพราะเหตุผลข้อนี้ในทางปฏิบัติจึงทำผนังของทางวิ่งให้เอียงเป็นมุม 10° ซึ่งเป็นการปรับปรุงทางวิ่งแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสไปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู สำหรับทางวิ่งหกเหลี่ยมก็คือทางวิ่งแบบเหลี่ยมคางหมูสองอันประกบกัน ซึ่งทางวิ่งทั้งสองจะประกบกันตรงผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์

เนื่องจากพลาสติกหลอมจะถูกฉีดไหลเข้าไปตามทางวิ่งและระบบป้อนของแม่พิมพ์พลาสติกหลอมที่อยู่ติดกับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็น อุณหภูมิของพลาสติกเหลวจะลดลงอย่างรวดเร็วและแข็งตัว ซึ่งเนื้อพลาสติกที่แข็งตัวนั้นจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนและรักษาอุณหภูมิของเนื้อพลาสติกหลอมบริเวณศูนย์กลาง

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการใช้ทางวิ่งแบบกลมคือ ทางวิ่งแบบกลมเกิดขึ้นจากการนำร่องครึ่งวงกลมสองร่องซึ่งตัดเฉือนบนแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นและนำมาประกบเข้าด้วยกัน รอยต่อจะต้องประกบตรงกันพอดีมิเช่นนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของทางวิ่งลดลงและไม่สวยงาม ซึ่งลักษณะนี้จะเกิดขึ้นกับทางวิ่งแบบหกเหลี่ยมเหมือนกัน ความถูกต้องแม่นยำของรอยต่อระหว่างร่องทั้งสองทำให้การผลิตแม่พิมพ์ต้องใช้ความเที่ยงตรงสูง และทำให้แม่พิมพ์ที่ใช้ทางวิ่งแบบกลมและแบบหกเหลี่ยมมีราคาสูงกว่าทั่วไป

2.5.2 ขนาดของทางวิ่ง (Runner Size)

ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ขนาดขนาดของทางวิ่งจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆดังนี้ (1) รูปทรงหน้าตัดของทางวิ่งและปริมาตรของชิ้นงาน (2) ระยะทางของทางวิ่งหลักหรือรูฉีดไปยังอิมเพลสชั่น (3) การพิจารณาเกี่ยวกับการหล่อเย็นระบบทางวิ่ง (4) ขนาดของมีดกัดที่สามารถหาใช้ได้ (5) ชนิดของพลาสติกที่ใช้

1. พื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งจะต้องโตเพียงพอที่จะให้พลาสติกหลอมไหลผ่านได้และเติมอิมเพลสชั่นก่อนที่แกนทางวิ่งจะแข็งตัวและสามารถอัดแรงดันเพื่อแก้ไขขนาดเนื่องจากการหดตัวได้หากต้องการ ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ทางวิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร มักจะไม่ค่อยใช้กันและหากใช้ก็มักจะจำกัดใช้กับทางวิ่งกิ่งที่มีความยาวน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

2. พลาสติกที่วิ่งไหลไปตามทางวิ่ง หากทางวิ่งยาวจะมีความต้านทานในการไหลยิ่งมาก ดังนั้นระยะห่างระหว่างอิมเพลสชั่นกับรูฉีดของแม่พิมพ์จึงมีความเกี่ยวพันโดยตรงกับขนาดหน้าตัดของทางวิ่ง ตัวอย่างเช่น เมื่อทางวิ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จะเหมาะสมกับงานที่มีน้ำหนัก 60 กรัมที่มีระยะห่างตากรูฉีด 25 มิลลิเมตร แต่ชิ้นงานชิ้นเดียวกันนี้เมื่ออยู่ในตำแหน่งห่างออกไปจากทางวิ่ง 100 มิลลิเมตร จะต้องใช้ทางวิ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร เป็นต้น

3. ขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งไม่ควรจะออกแบบจนมีผลต่อการควบคุมวงจรการฉีดพลาสติก แม้ว่าในบางครั้งจะไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยเฉพาะกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งยิ่งโตก็จะมีเนื้อพลาสติกแข็งตัวอยู่ในทางวิ่งมากขึ้นด้วย และต้องใช้เวลาเย็นตัวเพื่อให้เนื้อพลาสติกของชิ้นงานและทางวิ่งแข็งเพียงพอที่จะเปิดแม่พิมพ์และดันปลดออก ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงไม่นิยมทำทางวิ่งให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 10 มิลลิเมตร สำหรับพลาสติกส่วนมากยกเว้นพลาสติกจำพวก PVC แข็ง อะคริลิค เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีความหนืดสูงอาจใช้ทางวิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตถึง 13 มิลลิเมตรได้

4. ขนาดของทางวิ่งที่เลือกใช้ควรจะมีขนาดที่ช่างทำแม่พิมพ์สามารถหาคัตเตอร์มากัดได้โดยไม่ต้องกัดหลายๆเที่ยวโดยใช้คัตเตอร์หลายขนาด

2.6 ทางเข้า (Gates) (ชาลี ตระการกูล, 2547)

ทางเข้า คือ ร่องหรือรูเล็กๆที่ต่อระหว่างทางวิ่งกับอิมเพลสชั่น ขนาดพื้นที่หน้าตัดจะมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับระบบป้อนส่วนที่เหลือ เหตุทำให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กๆก็เพื่อ

1. แกนทางเข้าจะแข็งตัวได้เร็วหลังจากที่อิมเพลสชั่นถูกเติมเนื้อพลาสติกจนเต็มทำให้สามารถถอยก้านฉีด (Injection plunger) ของเครื่องฉีดพลาสติกออกได้โดยไม่ทำให้เกิดเป็นช่องว่างหรือแอ่งบนชิ้นงานเนื่องจากการดูดกลับ (Suck-back) ของเนื้อพลาสติก

2. ทำให้สามารถปลดแกนทางเข้าได้ง่ายและในแม่พิมพ์บางแบบสามารถปลดแกนทางเข้าได้โดยอัตโนมัติ

3. หลังจากปลดแกนทางเข้าแล้วจะเหลือรอยตำหนิบนชิ้นงานเล็กๆเท่านั้น

4. สามารถควบคุมการเติมเนื้อพลาสติกในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพลสชั่นได้ดี

5. ความจำเป็นที่จะต้องอัดเนื้อพลาสติกเข้าไปในอิมเพลสชั่นมากกว่าที่ต้องการ เพื่อแก้ไขขนาดเนื่องจากการหดตัวจะมีน้อยลง

ขนาดของทางเข้าสามารถพิจารณาในรูปของขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของทางเข้า ความยาวของทางเข้าจะหมายถึงขอบเขตทางเข้า (Gate Land) ขนาดของทางเข้าจะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายประการ ได้แก่ (1) คุณสมบัติการไหลของพลาสติกที่ฉีด (2) ความหนาของผนังชิ้นงาน (3) ปริมาณการไหลของวัสดุที่ฉีดเข้าไปในอิมเพลสชั่น (4) อุณหภูมิของพลาสติกหลอม (5) อุณหภูมิของแม่พิมพ์

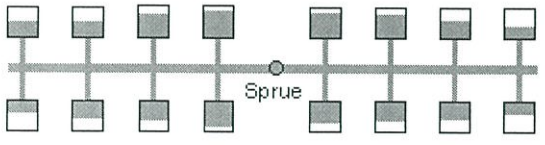
ขนาดของทางเข้าจริงๆไม่มีการกำหนดตามหลักวิชา ในทางปฏิบัติการเลือกใช้ขนาดของทางเข้าสำหรับชิ้นงานแต่ละแบบ โดยปกติจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญที่ผ่านมา

2.6.1. การกำหนดตำแหน่งของทางเข้า (Position of Gate)

ตำแหน่งของทางเข้าควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการไหลเติมเต็มเนื้อพลาสติกในอิมเพลสชั่นอย่างสม่ำเสมอ และกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกเข้าไปยังส่วนต่างๆของอิมเพลสชั่นในเวลาที่ใกล้เคียงกันที่สุดหรือเกือบจะเป็นเวลาเดียวกันโดยวิธีนี้การกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกที่ไหลมาบรรจบกันจะไม่ทำให้เกิดเป็นรอยเชื่อมของเนื้อพลาสติกซึ่งต่อมาจะกลายเป็นจุดอ่อนทางแมคคานิคและเป็นรอยมลทินบนผิวงาน

2.6.2. การสมดุลทางเข้า (Balanced Gating)

สำหรับแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพลสชั่นมีบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องมีการสมดุลทางเข้าเพื่อให้มั่นใจได้ว่าเนื้อพลาสติกหลอมไหลเข้าเติมอิมเพลสชั่นได้เต็มพร้อมๆกันอย่างสม่ำเสมอ การสมดุลทางเข้าจะใช้เชื่อมต่อเมื่อการสมดุลทางวิ่งซึ่งนิยมใช้มากกว่าไม่สามารถทำได้หรือมีความซับซ้อนในการร่างแบบและกัดทางวิ่งมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การจัดตำแหน่งของเบ้าที่จำเป็นต้องมีการสมดุลทางเข้า (Santa Clara University, 2012)

พิจารณาจากการร่างแบบทางวิ่งที่แสดงในรูปที่ 2.22 พลาสติกหลอมจะไหลเข้าไปในช่องที่เข้าได้ง่ายกว่าเมื่อระบบทางวิ่งถูกเติมด้วยเนื้อพลาสติกหลอม อิมเพลสชั่นส่วนที่อยู่ใกล้กับรูฉีดมักจะถูกเติมเต็มก่อนและอิมเพลสชั่นส่วนที่อยู่ไกลที่สุดจะถูกเติมทีหลัง ผลที่ตามมาก็คือ บางอิมเพลสชั่นจะถูกเติมเนื้อพลาสติกอัดแน่นมากเกินไปในขณะที่ส่วนอื่นๆอาจถูกเติมเนื้อพลาสติกไม่เต็มแบบ เพื่อให้การเติมพลาสติกที่สมดุลกันของอิมเพลสชั่นเหล่านี้จำเป็นจะต้องทำให้เกิดการต้านทานในการไหลของพลาสติกตรงทางเข้าของอิมเพลสชั่นที่อยู่ใกล้กับรูฉีดมากและลดลงเรื่อยๆเมื่อมีระยะห่างจากรูฉีดมากขึ้น

2.6.3. ชนิดของทางเข้า (Types of Gate)

เพื่อให้สภาวะการเติมพลาสติกหลอมได้ประโยชน์อย่างเต็มที่ จะต้องเลือกใช้ชนิดของทางเข้าอย่างระมัดระวัง แต่ส่วนมากจะมีทางเข้าเพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการฉีด ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงชนิดของทางเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ทางเข้าแบบเหลี่ยม และทางเข้าแบบกลม

2.6.3.1 <u>ทางเข้าแบบเหลี่ยม</u>

ทางเข้าชนิดนี้เป็นแบบที่ใช้กันในวัตถุประสงค์ทั่วๆไปและแบบง่ายๆ จะทำเพียงตัดเฉือนเป็นร่องสี่เหลี่ยมบนแผ่นแม่พิมพ์ด้านหนึ่งเพื่อต่อระหว่างทางวิ่งกับอิมเพลสชั่น ดังแสดงรูปที่ 2.23 ทางเข้าแบบนี้มีข้อดีที่เหนือทางเข้าแบบอื่น และข้อเสียดังนี้

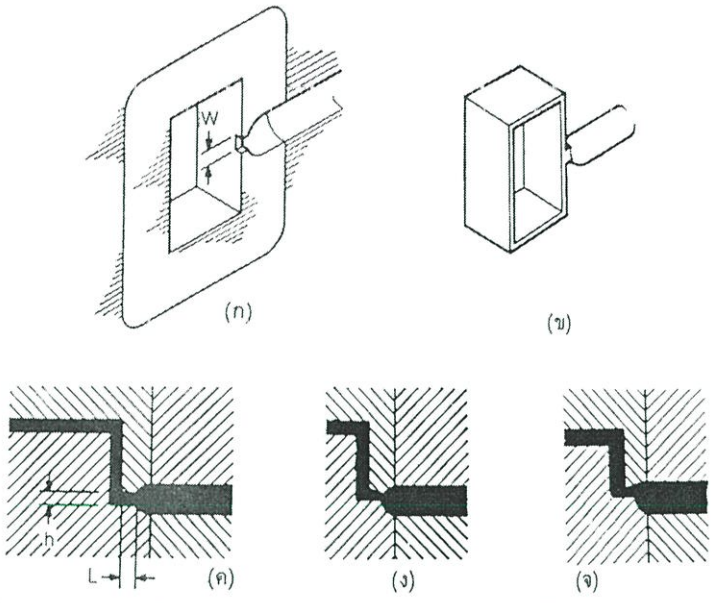
ข้อดี

- ทางเข้าแบบนี้มีรูปหน้าตัดแบบง่ายๆดังนั้นจึงมีราคาในการตัดเฉือนที่ถูก
- ขนาดของทางเข้าสามารถทำให้ได้ขนาดถูกต้องได้ง่าย
- ขนาดของทางเข้าสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายและรวดเร็ว
- อัตราความเร็วในการเติมเนื้อพลาสติกของอิมเพลสชั่นสามารถควบคุมได้อย่างอิสระ
- วัสดุพลาสติกแบบธรรมดาทั่วไปสามารถใช้ฉีดทางเข้าแบบนี้ได้

ข้อเสีย

- หลังจากปลดแกนูเข้าออกจะเหลือเป็นรอยตำหนิบนผิวงานและจะสังเกตได้ชัดเจนในวัสดุบางชนิด เช่น โพลีสไตรีน (Polystyrene)

อะเซตอล (Acetals) เป็นต้น โดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีหักแกนทางเข้าออกของชิ้นงาน



รูปที่ 2.23 ทางเข้าขอบแบบเหลี่ยม : (ก) ทำทางเข้าบนแผ่นเบ้า (ข) ชิ้นงานที่มีรูแกนเข้าติดอยู่ (ค) ภาพตัดของแม่พิมพ์ (ง) (จ) ทางเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยมรูปทรงอื่นๆ (ชาลี ตระการกูล, 2547)

ขนาดของทางเข้า : เนื่องจากเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ดังนั้นขนาดของทางเข้าจึงกำหนดเป็นความกว้าง (W) ความลึก (h) และความยาวของทางเข้า (L)

แรงดันที่ลดลงตรงส่วนของทางเข้าจะเป็นสัดส่วนกับขนาดความยาวของทางเข้า (L) ดังนั้นส่วนนี้จึงควรทำให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ และต้อพอเหมาะกับขนาดของความแข็งแรงของเหล็กส่วนที่เหลืออยู่ระหว่างทางวิ่งกับอิมเพลสชั่น ในทางปฏิบัติขนาดความยาวของทางเข้าจะใช้อยู่ระหว่าง 0.5 มิลลิเมตร ถึง 0.75 มิลลิเมตร

ความลึกของทางเข้าจะควบคุมเวลาในการเปิดของทางเข้า เวลาเปิดของทางเข้าจะต้องนานเพียงพอที่จะให้เนื้อพลาสติกหลอมไหลเข้าเติมอิมเพลสชั่นได้เต็มทุกส่วน ดังนั้นการเลือกใช้ความลึกของทางเข้าจะต้องสัมพันธ์กันกับขนาดความหนาของผนังชิ้นงาน ซึ่งจากการสังเกตในทางปฏิบัติจะได้ความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$h = n \cdot t \qquad (2.1)$$

เมื่อ h = ความลึกของทางเข้า – มิลลิเมตร (นิ้ว)

t = ความหนาของผนังชิ้นงาน – มิลลิเมตร (นิ้ว)

n = ค่าคงที่ของวัสดุพลาสติก

ในทางทฤษฎี ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน แต่เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงได้จัดแบ่งออกเป็นกลุ่มเฉพาะและใช้ค่าคงที่ของแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด

กลุ่มที่	ชนิดของพลาสติก	n
1	Polythene (PE), Polystyrene (PS)	0.5
2	Palyacetal (PA), Polycarbonate (PC)	0.7
3	Polypropylene (PP)	0.8
4	Cellulose Acetate (CA), Nylon Polymethyl Methacrylate (PMM) P.V.C.	0.9

โดยปกติการเลือกใช้ขนาดความกว้างของทางเข้าสำหรับแม่พิมพ์ของชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างที่คล้ายคลึงกับแบบที่เคยทำมาแล้ว มักจะเลือกใช้โดยอาศัยประสบการณ์ที่เคยทำมาเป็นหลัก แต่สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาออกแบบแม่พิมพ์ สูตรความสัมพันธ์ข้างล่างนี้พอจะยึดเป็นแนวทางในการออกแบบได้

$$W = \frac{n\sqrt{A}}{30} \qquad (2.2)$$

เมื่อ W = ความกว้างของทางเข้า (มิลลิเมตร หรือ นิ้ว) กำหนดให้
A = พื้นที่ผิวของเบ้า (มิลลิเมตร หรือ(นิ้ว^2))
n = ค่าคงที่ของวัสดุพลาสติก

2.6.3.2 <u>ทางเข้าแบบกลม</u>

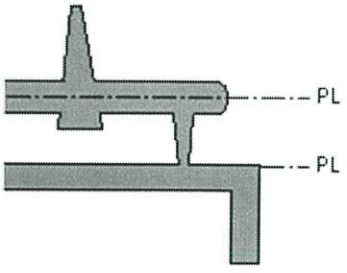
ทางเข้าแบบนี้เป็นแบบกลมที่ใช้ป้อนทางเข้าทางด้านใต้ของชิ้นงานและเพราะทางเข้าแบบนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ดังนั้นจึงมักนิยมใช้มากกว่าทางเข้าแบบรูฉีดซึ่งต้องปรับแต่งผิวในภายหลัง อย่างไรก็ตามทางเข้าแบบเข็มจะใช้ได้กับแม่พิมพ์บางแผ่นเท่านั้น และโดยทั่วไปการออกแบบแม่พิมพ์ที่ซับซ้อนกว่าแบบที่ใช้ทางเข้าแบบรูฉีดหรือใช้เทคนิคทางเข้าทางด้านข้าง

ข้อดี

- ไม่ต้องทำงานเพิ่มในการจัด Sprue
- ร่องรอยของเกทมีขนาดเล็ก

ข้อเสีย

- เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีเสถียรภาพทางความร้อน เช่น (PE, PS) มีข้อจำกัดเมื่อใช้กับพลาสติกอื่น
- มีความต้านทางในการไหลสูง
- ทำให้อุณหภูมิพลาสติกสูงขึ้นได้ในขณะฉีด



รูปที่ 2.24 ลักษณะทางเข้าแบบกลม (Pin gate) (Santa Clara University, 2012)

2.7 การหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold Cooling) (วิวัฒน์ ตันติขจรโกศล, 2538)

หลักการเบื้องต้นของการฉีดพลาสติกคือ พลาสติกร้อนจะถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิที่พลาสติกแข็งตัวเพียงพอท่จะคงรูปร่างของอิมเพลสชั่นไว้ได้ ชิ้นงานนี้ก็จะถูกดันปลดออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นอุณหภูมิของแม่พิมพ์จึงเป็นส่วนสำคัญอันหนึ่ง เนื่องจากมีส่วนในการควบคุมวัฏจักรการฉีดพลาสติก พลาสติกหลอมจะไหลได้สะดวกในแม่พิมพ์ที่ร้อน แต่จะต้องใช้เวลาในการเย็นตัวของพลาสติกหลอมนาน จนกว่าชิ้นงานจะแข็งตัวเพียงพอที่จะดันปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ ในทางตรงกันข้ามพลาสติกหลอมจะเย็นตัวได้เร็วในแม่พิมพ์ที่เย็น แต่พลาสติกหลอมจะไหลไปทั่วถึงส่วนต่างๆ ของอิมเพลสชั่น ดังนั้น จะต้องหาจุดที่จะทำให้แม่พิมพ์สามารถทำงานได้ผลดีที่สุด

อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างพลาสติกที่ฉีดชิ้นงานกับแม่พิมพ์ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความประหยัดของแม่พิมพ์ ความร้อนที่น้ำพลาสติกนำเข้ามาในแม่พิมพ์นั้น ต้องระบายออกจากเนื้อพลาสติก จนชิ้นงานมีสภาวะอยู่ตัวพอที่จะปลดออกได้ เวลาที่ต้องใช้เพื่อให้บรรลุถึงสภาวะเช่นนี้ก็คือเวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) ปริมาณความร้อนที่จะนำออกมาจากชิ้นงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำพลาสติก อุณหภูมิปลดชิ้นงาน และความร้อนจำเพาะของพลาสติกแต่ละชนิด

คุณภาพของชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับความคงที่ของการควบคุมอุณหภูมิในแต่ละรอบ ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนในแม่พิมพ์ จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการผลิต แม่พิมพ์จะต้องถูกทำให้เย็นหรือร้อน ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ใช้ฉีด กระบวนการหล่อเย็นในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ใช้ฉีดเป็นดังนี้

- การนำความร้อน (การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อพลาสติกและเหล็ก)

- การพาความร้อน (การถ่ายเทความร้อนโดยของเหลวหรือก๊าซ พาความร้อนจากของแข็งหรือกลับกัน)

- การแผ่รังสี (การถ่ายเทความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)

2.7.1 ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นกับคาวิตี้

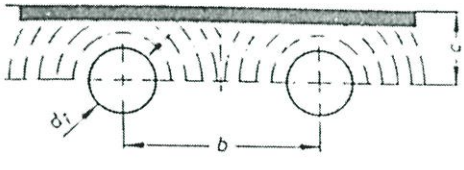
ช่องหล่อเย็นที่มีระยะห่างจากคาวิตี้มากกว่า จะทำให้คาวิตี้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอกว่า และอุณหภูมิผิวคาวิตี้ระหว่างการฉีดจะสูงกว่าด้วย นี่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการลดการผิดรูปของชิ้นงาน ทำให้คุณสมบัติเชิงกล และการไหลเข้าสู่คาวิตี้ดีขึ้น แต่จะทำให้รอบเวลาฉีดของเครื่องฉีดนานขึ้น หากทำช่องหล่อเย็นใกล้คาวิตี้มากขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะเร็วขึ้น และรอบเวลาผแดจะสั้นลง แต่มีข้อเสียคือได้ชิ้นงานที่มีขนาดไม่แน่นอน และคุณภาพเชิงกลไม่ดี

2.7.2 ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นแต่ละช่อง

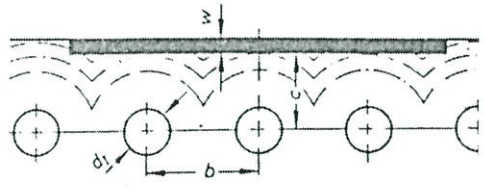
ช่องหล่อเย็นที่อยู่ใกล้กันมากกว่า จะทำให้อุณหภูมิแม่พิมพ์สม่ำเสมอกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าจำเป็นต้องออกแบบ ให้ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นแต่ละช่องกว้างมากแล้ว ก็ต้องเพิ่มระยะห่างจากคาวิตี้และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น ส่วนที่มีผนังหนากว่าจะถ่ายเทความร้อนมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็นจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าด้วย

2.7.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น

เมื่อพิจารณาแบบอย่างที่เคยทำมาแล้วและจากประสบการณ์ ตำแหน่งและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น ควรเป็นไปตาม ตารางที่ 2.4 เพื่อให้เกิดการหล่อเย็นแบบ Soft Cooling ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของช่องหล่อเย็น และการถ่ายเท่ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ดูได้จากระดับเส้นอุณหภูมิ (Isothermal) ในรูปที่ 2.25 และ 2.26



รูปที่ 2.25 การถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอ
(วิวัฒน์ ตันติขจรโกศล, 2538)



รูปที่ 2.26 การถ่ายเทความร้อนสม่ำเสมอ
(วิวัฒน์ ตันติขจรโกศล, 2538)

b = ระยะห่างมาก

c = ระยะห่างน้อย

d1 = เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ทำให้อุณหภูมิ-คาวิตี้ไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 2.4 การออกแบบระบบหล่อเย็น

ความหนาของชิ้นงาน W	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น d1
2 มม.	8 – 10 มม.
4 มม.	10 – 12 มม.
6 มม.	12 - 15 มม.
ระยะห่าง c = 2 – 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น d1	
ระยะห่าง b – 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น d1	

2.8 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก (ผศ.วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2553)

2.8.1 ช่วงการฉีด (Injection Phase)

ในช่วงของการฉีด จะเริ่มต้นตั้งแต่สกรูเริ่มเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุนเพื่อขับดันให้พลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดหน้าปลายสกรูไหลออกจากหัวฉีดเข้าแม่พิมพ์จนเต็มในแม่พิมพ์ ดังนั้นหน้าที่หลักของช่วงการฉีดก็คือทำให้พลาสติกเหลวเต็มในแม่พิมพ์พอดี จนในบางครั้งจะเรียกช่วงฉีดว่าเป็นช่วงเติมเต็ม (Filling Phase) พารามิเตอร์ในช่วงการฉีดประกอบด้วยความดันฉีด ความเร็วฉีด ระยะทางฉีด และเวลาฉีด

1. ความดันในการฉีด (Injection Pressure) สามารถแสดงและปรับตั้งได้เป็นความดันของน้ำมันไฮดรอลิก (สำหรับเครื่องฉีดระบบไฮดรอลิกทั่วไป) และความดันของพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดหน้าปลายสกรู (สำหรับเครื่องฉีดรุ่นใหม่บางรุ่นเท่านั้น) โดยสังเกตง่ายๆ คือถ้าแสดงเป็นความดันของน้ำมันไฮดรอลิกความดันสูงสุดจะไม่เกิน 160 บาร์ (ทั่วไป) และ 200-250 บาร์ (บางรุ่น) แต่ถ้าแสดงความดันพลาสติกเหลวความดันจะมีค่าตั้งแต่ 300 บาร์ ขึ้นไปจนถึง 2,000-3,000 บาร์ ซึ่งค่าความดันฉีดควรแสดงเป็นความดันที่พลาสติกเหลวจะถูกต้องมากที่สุด

2. ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) โดยทั่วไปจะเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของสกรูฉีด (มีหน่วยเป็น mm/s) แต่ถ้าขนาดของสกรูมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ความเร็วตามแนวแกนยังเท่าเดิมจะทำให้อัตราการไหลของพลาสติกเหลวที่ออกจากหัวฉีดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพชิ้นงาน ดังนั้นจึงควรใช้อัตราการฉีดหรืออัตราฉีด (Injection Rate) (ซึ่งมีหน่วยเป็น mm^3/s) จะมีความเหมาะสมกว่า เพราะถ้าเรากำหนดให้อัตราฉีดเท่าเดิม ความเร็วตามแนวแกนของสกรูก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดความโตของสกรู ซึ่งเครื่องฉีดรุ่นใหม่ๆ จะนิยมใช้การบอกความเร็วแบบนี้กันมากขึ้น เพราะเราควรพิจารณาถึงความเป็นไปที่เกิดขึ้นจริงกับพลาสติกจะเหมาะสมที่สุด

3. เวลาในการฉีด (Injection Time) จะต้องกำหนดระยะเวลาให้เพียงพอที่จะฉีดเนื้อพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ตามปริมาณที่ต้องการ โดยเฉพาะการใช้ระยะทางในการสับเปลี่ยนจากการฉีดเข้า

สู่การย้ำ ควรตั้งเวลาฉีดเอาไว้ให้มากกว่าเวลาฉีดที่ต้องใช้จริงเท่ากับ 1 เท่าตัว (100%) แต่ไม่ควรเกิน 10 วินาที เพราะถ้าเกิดปัญหา เช่นพลาสติกเย็นตัวในหัวฉีดหรือในแม่พิมพ์ หรือมีชิ้นส่วนที่เป็น Runner หรือ Gate ติดค้างอยู่ในแม่พิมพ์ สกรูฉีดจะไม่ต้องฉีดค้างอยู่เป็นเวลานาน ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อตัวเครื่องฉีดและแม่พิมพ์ได้

4. ระยะทางการฉีด เป็นพารามิเตอร์ตัวที่น่าจะสำคัญที่สุดในช่วงของการฉีด เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกที่จะเข้าไปในแม่พิมพ์ เพราะถ้ากำหนดระยะการฉีดน้อยเกินไป ชิ้นงานจะไม่เต็มแม่พิมพ์ในช่วงฉีด แต่การย้ำจะทำให้ชิ้นงานเต็มแทน ซึ่งอาจจะเกิดผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานได้ เช่น เกิดความเครียดความหนาแน่นตลอดชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ เกิดรอยยุบในช่วงสุดท้ายของการไหล หรือการย้ำอาจจะไม่สามารถทำให้ชิ้นงานเต็มได้ แม้ว่าจะใช้ความเร็ว ความดัน และเวลาในการฉีดมากแล้วก็ตาม และที่สำคัญที่สุดในกรณีที่ใช้หลายจังหวะการฉีด จะต้องกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวในแต่ละจังหวะให้ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานเสียก่อนจึงจะสามารถตั้งความเร็วและความดันฉีดได้

2.8.2 ช่วงการแพ็กกิง (Packing)

ช่วงการแพ็กกิง (Packing) หรือการอัด (Compression) จะเป็นช่วงที่พลาสติกเหลวในกระบอกฉีดถูกขับดันให้เข้าไปในแม่พิมพ์ที่มีพลาสติกเหลวอยู่เต็มแล้ว ดังนั้นพลาสติกในแม่พิมพ์จะเกิดการอัดตัวและมีความหนาแน่นมากขึ้น ความดันในแม่พิมพ์จะสูงขึ้นอีกและอาจจะสูงขึ้นอย่างทันทีทันใด จุดประสงค์ที่ต้องมีการแพ็กกิงหรือการอัดคือเพื่อให้ชิ้นงานฉีดที่มีคุณภาพที่ดี เช่น ไม่เกิดรอยยุบ มีขนาดเที่ยงตรง มีน้ำหนักได้ตามกำหนดมีสมบัติทางกลและกายภาพตามที่ต้องการ

การอัดไม่สามารถที่จะปรับตั้งหรือกำหนดได้โดยตรงที่ตัวเครื่องฉีด แต่เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับพลาสติกในแม่พิมพ์ ดังนั้นการอัดจะเริ่มต้นเมื่อพลาสติกเหลวเริ่มเต็มแม่พิมพ์หรือเมื่อสิ้นสุดการเติม (Filling) นั่นเอง การอัดจะปรับตั้งได้ทางอ้อมโดยปรับตั้งได้ที่ช่วงการฉีดและช่วงการย้ำเท่านั้น เช่น ถ้าฉีดจนได้พลาสติกเหลวเต็มแม่พิมพ์พอดีแล้วสับเปลี่ยนเข้าสู่การย้ำทันที (ต้องฉีดแบบไม่มีการย้ำแล้วให้ได้ชิ้นงานเต็มพอดี) การอัดเกิดขึ้นในช่วงการย้ำทั้งหมด 100% (สังเกตดูได้ว่าเมื่อเข้าสู่ช่วงการย้ำ สกรูจะยังเคลื่อนที่ต่อไปเรื่อยๆ) แต่ถ้าฉีดได้พลาสติกเหลวจนเต็มแม่พิมพ์แล้ว แต่การฉีดยังไม่เสร็จคือยังไม่ถึงจุดสับเปลี่ยนและเมื่อถึงจุดสับเปลี่ยนแล้วเข้าสู่การย้ำโดยที่สกรูหยุดอยู่เฉยๆ ไม่มีการเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้าหรือมีการถอยหลังกลับ นั่นแสดงว่าการอัดเกิดขึ้นในช่วงฉีดทั้งหมด 100%

2.8.3 ช่วงการย้ำ (Holding Phase)

ช่วงนี้จะรักษาความดันให้คงที่อยู่ตลอดระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นหน้าที่หลักของการย้ำ (Holding) ก็คือป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวที่ไหลเข้าแม่พิมพ์แล้วเกิดการไหลย้อนกลับเข้าไปในกระบอกฉีดอีกโดยไม่มีการเติมพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์เพิ่มเติมด้วย นั่นคือเมื่อเข้าสู่การย้ำสกรูจะต้องหยุดนิ่งจนกว่าจะหมดเวลาที่ตั้ง (ถ้าการอัดเกิดขึ้นในช่วงการฉีดทั้งหมด) แต่ในความเป็นจริงจะทำได้ยาก พารามิเตอร์ในช่วงการฉีดย้ำจะประกอบไปด้วยเวลาในการย้ำ ความดันในการย้ำ และความเร็วของสกรู

1. เวลาในการย้ำ (Holding Time) เวลาในการฉีดย้ำมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ถ้าหากเวลาในการฉีดย้ำน้อยเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวแน่นเต็มแม่พิมพ์ ความดันในโพรงแม่พิมพ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการไหลย้อนกลับของพลาสติกเหลว ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ แต่หากใช้เวลาในการฉีดย้ำนานเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์คงสภาพนานเกินไป ทำให้พลาสติกถูกอัดแน่นเป็นเวลานานจนอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เวลาในการฉีดย้ำที่เหมาะสมนั้นโดยทั่วไปจะมีวิธีการทดสอบโดยการทดลองฉีดด้วยเวลาในการฉีดย้ำที่แตกต่างกัน และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งปัญหาก็คือ การควบคุมพารามิเตอร์อื่นๆให้คงที่ตลอดเวลา โดยแนะนำให้ใช้เวลาในการฉีดย้ำประมาณ 1-3 วินาที หากใช้เวลานานกว่านี้จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดตกค้างขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ พบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความหนาของชิ้นงาน คือเมื่อชิ้นงานหนามาก เวลาฉีดย้ำก็ต้องมากขึ้นด้วย

2. ความดันฉีดย้ำ (Holding Pressure) การฉีดย้ำเป็นขั้นตอนในการฉีดเมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ไปแล้วประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ความสำคัญในการฉีดย้ำ คือ ป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลย้อนกลับ เนื่องจากในโพรงแม่พิมพ์มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของชิ้นงานเนื่องจากการหดตัวของพลาสติกเหลวที่เย็นตัว และความไม่เที่ยงตรงของชิ้นงานกระบวนการฉีดย้ำจะทำจนกระทั่งพลาสติกเหลวบริเวณทางเข้าเกิดการแข็งตัวจนปิดสนิท การฉีดย้ำจะใช้ความดันประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ของความดันระบบ โดยทำการย้ำพลาสติกเหลวที่เหลืออีกประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์เข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็มสำหรับค่าความดันฉีดย้ำที่ทำการปรับตั้งนั้น แนะนำให้ใช้ค่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันฉีด

2.8.4 เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)

การปรับตั้งโดยส่วนใหญ่แล้วผู้ทำการปรับตั้งเครื่องมักจะใช้วิธีการเปิดน้ำและทดลองฉีดจนกว่าจะได้เวลาในการหล่อเย็นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและวัตถุดิบในการทดลองเป็นอย่างมาก จึงมีการนำ

สูตรมาใช้ในการคำนวณหาเวลาในการหล่อเย็น สูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้นก็ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานที่มีลักษณะแบน มีสูตรดังนี้

α = การแผ่ความร้อน $(Thermal\ Diffusivity, mm^2/s)$
s = ความหนาของชิ้นงาน (mm)
T_{melt} = อุณหภูมิพลาสติกเหลว (c°)
T_{mold} = อุณหภูมิแม่พิมพ์ (c°)
$T_{ejected(max)}$ = อุณหภูมิสูงสุดของชิ้นงานตรงกลางความหนา (c°)

$$tk = \frac{s^2}{\pi^2 \alpha} \ln\left(\frac{4}{\pi} \frac{T_{melt} - T_{mold}}{T_{ejected(max)} - T_{mold}}\right) \quad (2.3)$$

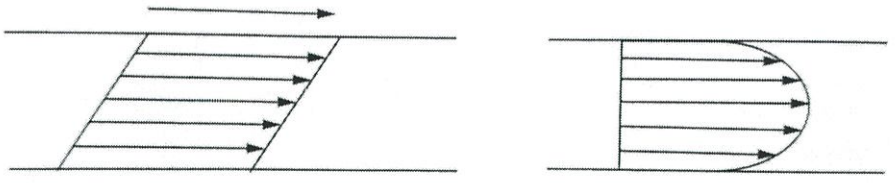
2.9 รีโอโลยีในการฉีดพลาสติก (ผศ.วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2553)

รีโอโลยี (Rheology) ในงานพลาสติกจะเป็นการกล่าวและอธิบายถึงการไหลและการเปลี่ยนรูปทรงการไหลของพลาสติกภายใต้ความเค้น โดยจะมีพารามิเตอร์หลักอยู่ 3 ตัวด้วยกัน คือ ความเค้นเฉือน (Shear stress,τ), ความหนืด (Shear Viscosity, η), และอัตราความเครียดเฉือน (Shear Strain Rate, $\dot{\gamma}$)

ความเค้นเฉือน คือ ความเค้นที่ใช้เพื่อทำให้พลาสติกเหลวมีการไหลตัวแล้วเกิดการเฉือนที่เรียกว่าการไหลเฉือน เช่น ความเค้นเฉือนที่ทำให้พลาสติกเหลวไหลออกจากหัวฉีด ส่วนความหนืดของพลาสติกเหลวที่ความเค้นเฉือนต้องเอาชนะเพื่อให้เกิดการไหลตัวนั้นเรียกว่า ความหนืดเฉือน เมื่อพลาสติกเหลวเกิดการไหลก็จะเกิดความเครียด จึงเกิดการเสียรูป เปลี่ยนรูป และมีความเร็วในการไหล ซึ่งจะนิยมเรียกกันว่า อัตราความเครียดเฉือน

2.9.1 รูปแบบและลักษณะการไหลเฉือน

การไหลเฉือนของพลาสติกเหลวจำเป็นต้องอาศัยพื้นที่ผิวเพื่อให้เกิดการเฉือน คือ ผนังของช่องทางการไหล ซึ่งการไหลเนื่องจากการเฉือนนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 แบบ (1) การไหลของพลาสติกเหลวระหว่างแผ่นระนาบ 2 แผ่น ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นระนาบแผ่นใดแผ่นหนึ่งหรือจากความเร็วที่แตกต่างกันของแผ่นระนาบทั้งสอง และ (2) การไหลภายในท่อ (หน้าตัดของท่อจะเป็นแบบใดก็ได้ เช่น วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจตุรัส สามเหลี่ยม ฯลฯ) อันเนื่องมาจากความดันที่เกิดขึ้นจากด้านใดด้านหนึ่งของท่อหรือเนื่องจากความดันที่แตกต่างกันภายในท่อ ซึ่งความดันด้านที่มีค่ามากกว่าจะเป็นตัวทำให้พลาสติกเหลวเกิดการไหล โดยรูปแบบและลักษณะการไหลเฉือนที่เกิดขึ้นจะมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.27



(ก) การไหลระหว่างแผ่นระนาบ (ข) การไหลภายในท่อ

รูปที่ 2.27 ลักษณะการไหลเฉือน (ผศ.วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2553)

2.9.2 การไหลแบบนอนนิวทอเนียน

การไหลที่กล่าวโดยทั่วๆไปจะเป็นการไหลของของไหลประเภทน้ำ น้ำมัน ซึ่งเป็นการไหลแบบนิวทอเนียน (Newtonian-เป็นไปตามกฎของนิวตัน) แต่พอลิเมอน์หรือพลาสติกส่วนใหญ่จะเป็นการไหลแบบนอนนิวทอเนียน (Non-Newtonian-ไม่เป็นไปตามกฎของนิวตัน) และมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\tau = \eta(\dot{\gamma})^n \tag{2.4}$$

เมื่อ n คือดัชนียกกำลัง (Power Law Index) หรือกฎการไหล

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{4n}\right)\frac{4Q}{\pi R^3}, \tau = \frac{PR}{2L} \quad \text{สำหรับช่องทางการไหลแบบกลม} \tag{2.5}$$

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2n+1}{3n}\right)\frac{6Q}{WH^2}, \tau = \frac{PH}{2L} \quad \text{สำหรับช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม} \tag{2.6}$$

$\left(\frac{2n+1}{3n}\right)$ และ $\left(\frac{3n+1}{4n}\right)$ เป็นแฟกเตอร์แก้ไขเพื่อให้ค่าอัตราเฉือนมีความถูกต้องมากขึ้น

Q = อัตราการไหลของพลาสติก

W = ความกว้างของช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม

H = ความหนาของช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม

R = รัศมีของช่องทางการไหลแบบกลม

n = ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด

หมายเหตุ : การไหลแบบนิวทอเนียนเมื่อค่า n = 1 ส่วนการไหลแบบนอนนิวทอเนียนจะมีค่า $n \neq 1$ ($0<n<1$) ซึ่งทั่วไป n จะอยู่ในช่วง 0.25-0.75 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด

พลาสติก	PS,PVC,SAN	PMMA,ABS	LDPE,PP	LLDPE,PET,PBT	HDPE	PC,PA6	PA66
ค่า n	0.30	0.25	0.35	0.60	0.50	0.70	0.75

2.10 Moldex3D (ยลดา โฉมยา, วราลักษณ์ มณีฝั้น และอาสลิล ทิพยไกรศร, 2554)

Moldex3D เป็นโปรแกรม CAE ระบบ 3 มิติสำหรับใช้วิเคราะห์การไหลของพลาสติกในงานออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยผู้ใช้สามารถวิเคราะห์/ตรวจสอบ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการออกแบบได้โดยไม่ต้องใช้วิธี Trial and Error แบบเดิม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนทรัพยากร และเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ ทำให้ผู้ผลิตสามารถนำสินค้าสู่ตลาดได้เร็วขึ้น ซึ่งหมายถึงการคืนทุนที่รวดเร็วขึ้นและได้กำไรมากขึ้น

Moldex3D เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้วิเคราะก์การฉีดพลาสติกโดยเฉพาะ ทั้งความสามารถในเชิงลึกและเชิงกว้างคลอบคลุมในทุกกระบวนการฉีดพลาสติก สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของพลาสติก การคงตัวก่อนที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง การออกแบบระบบหล่อเย็น และการบิดเบี้ยวของชิ้นงานหลังจากการเปิดแม่พิมพ์ ด้วยรูปแบบการคำนวณที่เป็นสามมิติทุกขั้นตอน อีกทั้ง Moldex3D ยังมีการพัฒนาศักยภาพการสร้างแบบจำลองของโมเดล (Meshing) แบบอัตโนมัติที่สามารถผสมผสาน Element แบบต่างๆเข้าด้วยกัน จึงทำให้ Moldex3D สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงได้มากที่สุด นอกจากนี้ Moldex3D ยังมีระบบรองรับการคำนวณแบบขนาน (Parallel Processing) ที่จะช่วยให้ลดเวลาในการคำนวณสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากๆ จึงทำให้ไม่ต้องเสียเวลาสำหรับการคำนวณมากเกินไปและช่วยดึงศักยภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ได้อย่างเต็มที่

Moldex3D ได้มีการแบ่งขั้นตอนการคำนวณเป็นฟังก์ชั่นต่างๆจากขั้นตอนของกระบวนการฉีดพลาสติกจริงดังนี้

1. Moldex3D-Flow (Filling analysis) เป็นการศึกษารูปแบบการไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ ช่วยให้สามารถทำความเข้าใจลักษณะของ Solid Melt Flow Progresses, Short Shot, ตำแหน่งของ Solid Weld Surface, Air Trap และอื่นๆ

2. Moldex3D-Pack (Packing Analysis) ช่วยในการค้นหา Gate Freeze Time, การกำหนดเวลาและความดันที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนการ Packing

3. Moldex3D-Cooling (Cooling Analysis) มีความแม่นยำสูงในการบอกระดับของอุณหภูมิของแม่พิมพ์ประสิทธิภาพของการจัดวางระบบหล่อเย็น และการตั้งเวลาสำหรับขั้นตอนนี้

4. Moldex3D-Warp (Warpage Analysis) เพื่อหาสาเหตุของการเกิด Shrinkage และการบิดตัว ซึ่งในขั้นตอนนี้จะช่วยให้เห็นปัญหาของแม่พิมพ์ก่อนที่จะมีการสร้างแม่พิมพ์ออกมา ช่วยให้ลดรอบของการทดสอบแม่พิมพ์ให้เหลือน้อยที่สุด

2.11 โปรแกรม Minitab 17 [http://www.thailandindustry.com/]

เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ประมวลผลข้อมูลทางด้านสถิติ สำหรับผู้ใช้สถิติในส่วนของการประมวลผลและการแสดงผลข้อมูลในลักษณะของตัวเลขและผลในลักษณะของกราฟ หรือการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับค่าสถิติต่างๆ มีความเที่ยงตรง รวดเร็ว และแม่นยำ ในการประมวลผลข้อมูล มีหลากหลายฟังก์ชั่นในการใช้งานให้เลือกใช้ตามความต้องการ

2.11.1 ANOVA (Analysis of Variance) [อ.ผ่องอำไพ เสนแสง]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ ANOVA เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่ม โดยสามารถวิเคราะห์ปัจจัยตั้งแต่ 1 ปัจจัย (One-Way) 2 ปัจจัย(Two-Way) หรือมากกว่า (Multi Way) รวมถึงการแสดงผลกราฟปัจจัยอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) ปัจจัยอิทธิพลร่วม (Interaction Effect Plot) และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.11.1.1 <u>ข้อกำหนดในการใช้ ANOVA</u>

- ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน (Interval Scale)
- กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้อง สุ่ม จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ
- กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องเป็นอิสระจากกัน
- กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องได้มาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากัน

2.11.1.2 <u>ประโยชน์ของการใช้ ANOVA</u>

- สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่ง ถ้าเราใช้ T-Test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น

- สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง T-Test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเร็ว (Speed) ความกด (Pressure)

- สามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้ด้วย

- ANOVA เป็นการทดสอบที่เรียกว่า Overall Test คือทดสอบในภาพรวมว่า อย่างน้อยมีค่าเฉลี่ยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกันซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้น ค่อยมาค้นหาต่อไปว่า มีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน (Post Hoc Test or Multiple Comparison)

2.11.2 P Value (http://guru.google.co.th)

คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง โดยมีการตั้งสมมติฐานของเหตุการณ์นั้นขึ้นมา พื้นที่ใต้โค้ง (Normal Curve) คือความน่าจะเป็น (Probability) มีค่า 0 ถึง 1

เมื่อต้องการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น จะสนใจว่า สมมติฐานหลัก (Null hypothesis) ถูกยอมรับหรือปฏิเสธ ถ้าถูกยอมรับ นั่นก็แปลว่า สมมติฐานเป็นจริง หรือแปลว่าสมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง ถ้าถูกปฏิเสธ จึงมีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ เพื่อที่จะบอกยอมรับหรือปฏิเสธ Null hypothesis เรียกว่า Probability Value (P-Value)

ผลการทดสอบสมมติฐานหรือโอกาสในการที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานนั้นๆจะเป็นไปตามทฤษฎี Probability ภายใต้ Normal distribution เท่านั้น

- Null Hypothesis (Ho) คือ 2 ข้อมูลนั้นไม่แตกต่างกัน (No different)
- Alternative Hypothesis (Ha) คือ 2 ข้อมูลนั้นแตกต่างกัน
- ถ้า P Value มีค่าน้อยลงจะทำให้เห็นว่า 2 ข้อมูลนั้นแตกต่างกันมากขึ้น
- ถ้า P Value > 0.05 จะยอมรับ Ho (คือ 2 ข้อมูลนั้นไม่แตกต่าง) ที่ 95% ของช่วงความเชื่อมั่น
- ถ้า P Value < 0.05 จะปฏิเสธ Ho ยอมรับ Ha (คือ 2 ข้อมูลนั้นแตกต่างกัน) ที่ 95% ช่วงความของเชื่อมั่น

บทที่ 3
การดำเนินงาน

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงาน เมื่ออัตราเฉือนบริเวณทางเข้ามีค่าเท่ากัน

ในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ชิ้นงานในการนำมาใช้ในการทดลองนั้นมีเนื้อหาที่ค่อนข้างละเอียด ต้องทำการศึกษาพื้นฐานต่างๆทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติเพื่อนำไปสู่การเริ่มต้นในงานวิจัยนี้ให้ดำเนินไปในแนวทางที่ถูกต้องและบรรลุถึงเป้าหมาย โดยเริ่มทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานตั้งแต่การออกแบบทางเข้า การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ รวมไปถึงการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการและนำมาวิเคราะห์การหดตัวของชิ้นงานพลาสติกที่มีทางเข้าที่แตกต่างกันทั้งสองแบบ คือ ทางเข้าแบบเหลี่ยม และทางเข้าแบบกลม โดยมีอัตราการเฉือนของทั้ง 2 ทางเข้าที่เท่ากัน

ชิ้นงานที่ได้เลือกมาเพื่อทำการวิเคราะห์การหดตัวมีรูปร่างเป็นแบบ Dog Bone ตามมาตรฐาน ASTM D638 ชนิดที่ 1 การออกแบบแม่พิมพ์นี้ใช้การจำลองสถานการณ์การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยโปรแกรม Moldex3D R14 ควบคู่กันไป วิธีการดำเนินงานเป็นดังนี้

1 .การศึกษาขนาดของชิ้นงาน และองค์ประกอบแม่พิมพ์

2. การศึกษาและออกแบบทางเข้า แบบกลมและแบบเหลี่ยมให้มีอัตราเฉือนที่เท่ากัน

3. การออกแบบแม่พิมพ์

4. จำลองสถานการณ์การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานโดยโปรแกรม Moldex3D R14

5. สั่งทำแม่พิมพ์

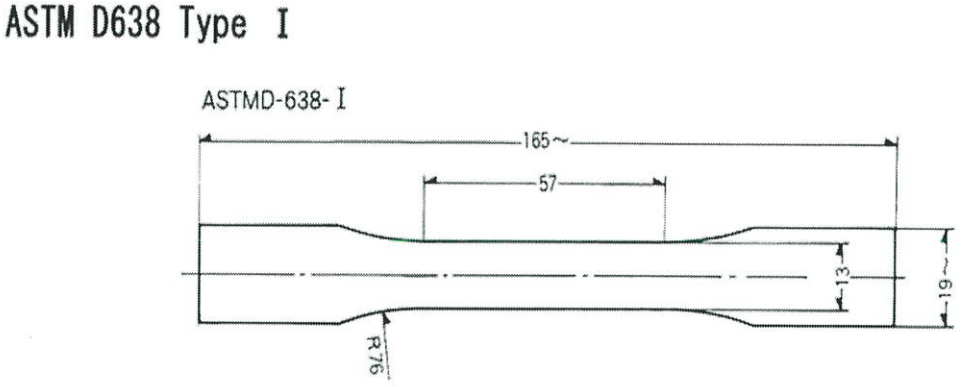
6. การทดลองการฉีดพลาสติก

3.1 การศึกษาขนาดชิ้นงานและองค์ประกอบแม่พิมพ์

ศึกษาขนาดของชิ้นงานพลาสติกนั้น เพื่อทราบถึงขนาดที่ถูกต้องของชิ้นงานซึ่งเป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงก่อนเริ่มทำการออกแบบแม่พิมพ์ หลังจากที่ได้ขนาดชิ้นงานที่ต้องการแล้ว เริ่มต้นศึกษาองค์ประกอบของแม่พิมพ์ต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงส่วนต่างๆและหน้าที่ในการทำงานของส่วนนั้น

3.1.1 การออกแบบขนาดชิ้นงาน

ชิ้นงานในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเลือกชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองตามมาตรฐานของ ASTM D638 Type1 หรือว่าชิ้นงานแบบ Dog bone เพื่อนำมาศึกษาการหดตัวของพลาสติก ซึ่งมีความหนาของชิ้นงานเท่ากับ 3.2 mm ออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม Solid Work 2015 ชิ้นงานมีขนาดดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ชิ้นงาน Dog Bone ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type 1

3.1.2 การศึกษาองค์ประกอบของแม่พิมพ์

การจัดวางตำแหน่งของชิ้นงานบนแม่พิมพ์นั้นจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบของแม่พิมพ์และหน้าที่ในการทำงานของแต่ละส่วน จึงสามารถจัดวางตำแหน่งของชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการฉีดชิ้นงาน ซึ่งจะเน้นทำการศึกษาองค์ประกอบของแม่พิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางการเดินของพลาสติกเหลว เช่น รูฉีด (Sprue) ทางเดิน (Runner) ทางเข้า (Gate) ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ตัวดันชิ้นงานออก (Ejector) และบริเวณแผ่นแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับชิ้นงาน (Mold Plates)

3.2 การศึกษาและออกแบบทางเข้าแบบกลมและแบบเหลี่ยมให้มีอัตราเฉือนเท่ากัน

งานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องอัตราเฉือนที่เท่ากันบริเวณของทั้ง 2 ทางเข้า ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทดลองหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานพลาสติก เพราะฉะนั้นจึงต้องศึกษาทฤษฎีหรือหลักการในการออกแบบทางเข้า เพื่อที่จะทำการออกแบบขนาดของทางเข้าทั้งสองให้มีอัตราเฉือน (Shear Rate) ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยงานวิจัยนี้ใช้ทางเข้าสองแบบ คือ แบบเหลี่ยม และแบบกลม

3.2.1 สูตรการคำนวณอัตราเฉือน

การคำนวณอัตราเฉือนนั้นสามารถหาได้จากสูตรคำนวณ Non-Newtonian ตามทฤษฎีของรีโอโลยี(Rheology) ในงานฉีดพลาสติก โดยทางเข้าแบบเหลี่ยมและทางเข้าแบบกลม มีสูตรการคำนวณอัตราเฉือนที่ต่างกันดังนี้

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{4n}\right)\frac{4Q}{\pi R^3}, \tau = \frac{PR}{2L}$$ สำหรับช่องทางการไหลแบบกลม (3.1)

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2n+1}{3n}\right)\frac{6Q}{WH^2}, \tau = \frac{PH}{2L}$$ สำหรับช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม (3.2)

Q = อัตราการไหลของพลาสติก

W = ความกว้างของช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม

H = ความหนาของช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม

R = รัศมีของช่องทางการไหลแบบกลม

n = ค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิด

3.2.2 การคำนวณขนาดของทางเข้าทั้งสองแบบให้มีอัตราเฉือนเท่ากัน

หลักการในการคำนวณหาอัตรฉาเฉือนสามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณอัตราเฉือน โดยเริ่มจากการหาค่าตัวแปรต่างๆเพื่อนำมาแทนลงในสูตร ซึ่งอัตรการไหลชองพลาสติก (Q) ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ (ในกรณีนี้ไม่ได้คำนึงถึงความเร็วในการไหล)

ทำการกำหนดขนาดของทางเข้าแบบเหลี่ยม ซึ่งได้ทำการกำหนดไว้ที่ 2.24x1.5 mm. (หามาจากสูตรการหาขนาดของทางเข้าแบบเหลี่ยมในทฤษฎีบทที่ 2) จากนั้นนำขนาดที่กำหนดขึ้นนี้ไปแทนลงในสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องทางการไหลแบบเหลี่ยม และแทนค่าคงที่ของพลาสติก (n) ลงในสูตร ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโพพิลีน ที่มีค่าคงที่พลาสติกเท่ากับ 0.35

เมื่อนำค่าทุกตัวมาแทนลงในสูตร ทำให้ได้ค่าอัตราเฉือนมาค่าหนึ่ง จากนั้นนำค่าอัตราเฉือนเดียวกันนี้เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหารัศมีของทางเข้าแบบกลม ก็จะสามารถหาขนาดของทางเข้าแบบกลมได้โดยมีอัตราเฉือนที่เท่ากันกับทางเข้าแบบเหลี่ยม ซึ่งค่ารัศมีที่หาออกมาได้นั้น มีค่าเท่ากับ 0.929145 mm.

3.3 การออกแบบแม่พิมพ์

ในการออกแบบแม่พิมพ์จำเป็นที่จะต้องรู้ขนาดของชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนเพื่อที่จะสามารถกำหนดขนาดของแม่พิมพ์หรือทำการออกแบบส่วนต่างๆได้

นำชิ้นงาน ASTM D638 type 1 จากโปรแกรม Solid work 2015 บันทึกในรูปแบบของ .STL เข้ามาในโปรแกรม Moldex3D design เพื่อทำการออกแบบส่วนอื่นของชิ้นงานสำเร็จรูป เช่น ทางเดินของพลาสติกเหลว (Runner) สปรู (Sprue) รวมไปถึงทางเข้า (Gate) ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างชิ้นงานกับทางเดินของพลาสติกเหลว

เมื่อนำส่วนอื่นๆที่กล่าวมาข้างต้นนั้นประกอบรวมกับชิ้นงานจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่ได้หลังจากการฉีดเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลง ชิ้นงานที่สมบูรณ์นี้ทำให้สามารถหาขนาดของแผ่นโมล (Mold Plate) ที่จะรองรับขนาดของชิ้นงานทั้งหมดได้อย่างเหมาะสม จากนั้นจึงเริ่มจัดวางองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ระบบหล่อเย็น เข็มกระทุ้งชิ้นงาน เป็นต้น

3.3.1 ขนาดและองค์ประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.3.1.1 <u>ขนาดทางเข้า</u>

จากการคำนวณจากข้อ 3.2.2 ให้ค่าอัตราเฉือนของทางเข้าที่เท่ากัน จะได้ขนาด ทางเข้าแบบเหลี่ยม (Edge Gate) เท่ากับ 2.24x1.5 mm. และขนาดทางเข้าแบบกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.85829 mm.

3.3.1.2 <u>การออกแบบเส้นทางเดินของพลาสติกเหลว</u>

เมื่อได้ขนาดของทางเข้าที่สมบูรณ์ตามเงื่อนไข ขั้นตอนต่อไปจึงเป็นการนำทางเข้าที่ได้ทั้งสองแบบมาประกอบรวมกันกับชิ้นงาน และออกแบบทางเดินของพลาสติกเหลวเพื่อเชื่อมเส้นทางจากรูฉีดมายังทางเข้า ซึ่งรูฉีดมีตำแหน่งอยู่ที่กึ่งกลางของแม่พิมพ์ มีรายละเอียดดังนี้

- ทางเดินน้ำพลาสติก มีพื้นที่หน้าตัดแบบกลม เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.5 mm. ความยาวเท่ากับ 150 mm.
- รูฉีด มีเส้นผ่านศูนย์กลางบนเท่ากับ 2.5 mm. และเส้นผ่านศูนย์กลางล่างเท่ากับ 5.5 mm ความสูงเท่ากับ 60 mm.

3.3.1.3 ระบบหล่อเย็น

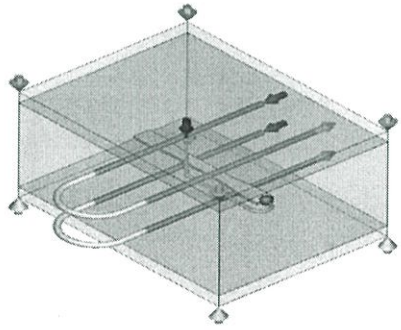
ระบบหล่อเย็น ได้กำหนดตามมาตรฐานและความเหมาะสม โดยชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีความหนา 3.2 mm. ตามตารางที่ 3.1 จัดทำระบบหล่อเย็นดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ 7.5 mm. จำนวน 2 ท่อต่อแผ่นแม่พิมพ์ มีระยะห่างเท่ากับ 70 mm. และสูงจากชิ้นงานเท่ากับ 22.5 mm.

ตารางที่ 3.1 การคำนวณระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ความหนาของชิ้นงาน (มม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็น (มม.)	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางท่อหล่อเย็นกับคาวิตี้ (มม.)	ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละท่อหล่อเย็น (มม.)
2	6 - 10	(ประมาณ2ถึง3) x ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็น	(ประมาณ2ถึง3) x ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็น
4	10 - 12		
6	12 - 15		

3.3.1.4 บริเวณแผ่นแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับชิ้นงาน

หลังจากได้ขนาดองค์ประกอบต่างๆที่สมบูรณ์ทั้งหมด ทำให้ทราบขนาดโดยรวมของชิ้นงาน จึงง่ายต่อการเลือกขนาดของแผ่นแม่พิมพ์และถูกต้องแม่นยำ ซึ่งการเลือกขนาดของแผ่นพิมพ์นั้นเป็นไปตามมาตรฐาน JIS.B5106



รูปที่ 3.2 แผ่นแม่พิมพ์และระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์ ด้วยโปรแกรม Moldex3D design

3.4 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง

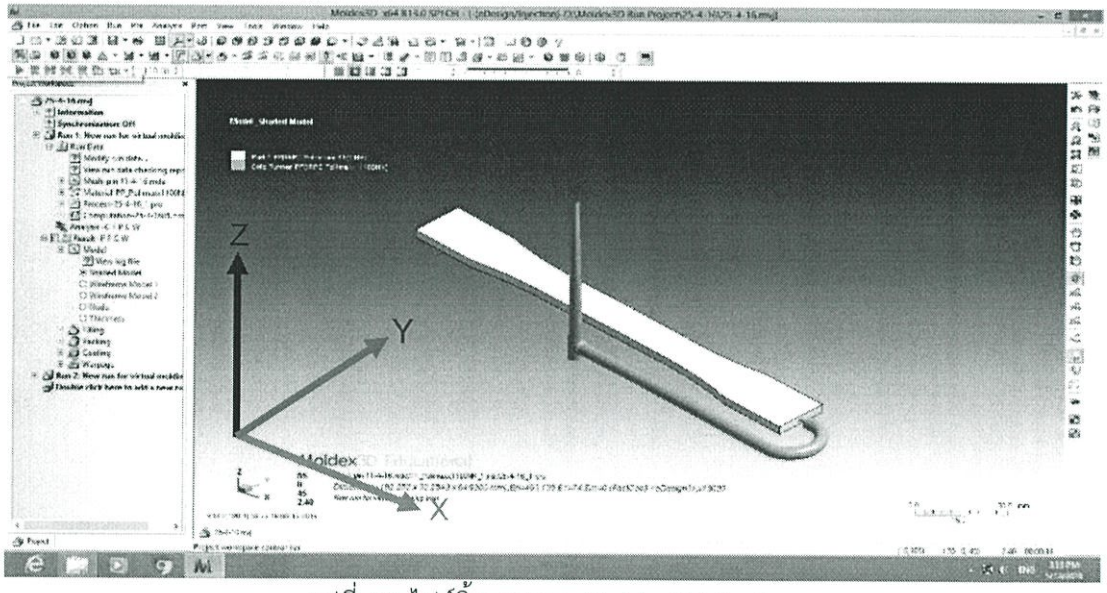
ในการจำลองสถานการณ์การฉีดพลาสติก ต้องกำหนดค่าตัวแปรต่างๆขึ้นมาโดยค่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดขึ้นมานั้นอยู่ในพื้นฐานทางทฤษฎี เช่น เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) เป็นต้น ซึ่งค่าต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ในการจำลองการฉีด

Melt Temperature	215 °C
Mold Temperature	50 °C
Filling Time	0.5 sec
Packing time	2.5 sec
Holding Time	3 sec
Injection Pressure	70 MPa
Cooling Time	23 sec

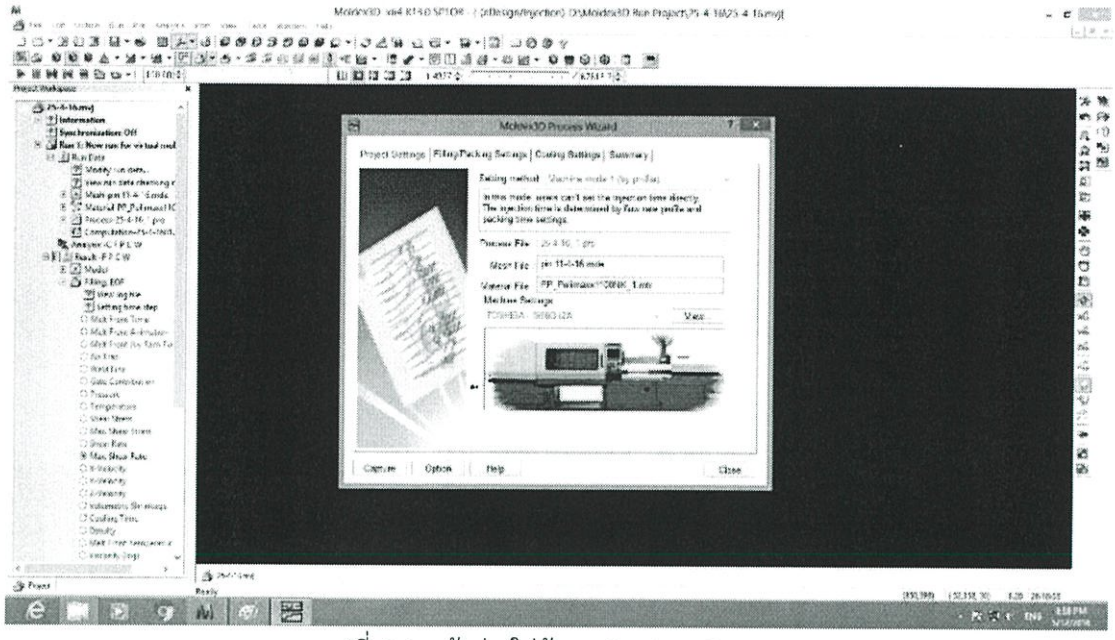
3.5 การจำลองสถานการณ์การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานโดยโปรแกรม Moldex3D

ก่อนสั่งทำแม่พิมพ์จริง เพื่อให้แน่ใจว่าการฉีดพลาสติกจากแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบมานั้นใช้งานได้จริงๆ เนื่องจากการทำแม่พิมพ์ขึ้นมาแต่ละครั้งมีต้นทุนค่อนข้างสูง จึงได้ทำการจำลองการฉีดพลาสติกผ่านโปรแกรม Moldex3D R14 โดยการนำไฟล์ชิ้นงานที่ได้ออกแบบจาก Moldex3D design นำมาใช้ในโปรแกรม Moldex3D เพื่อจำลองการฉีดพลาสติก โดยไฟล์ชิ้นงานดังกล่าว ดังรูปที่ 3.3



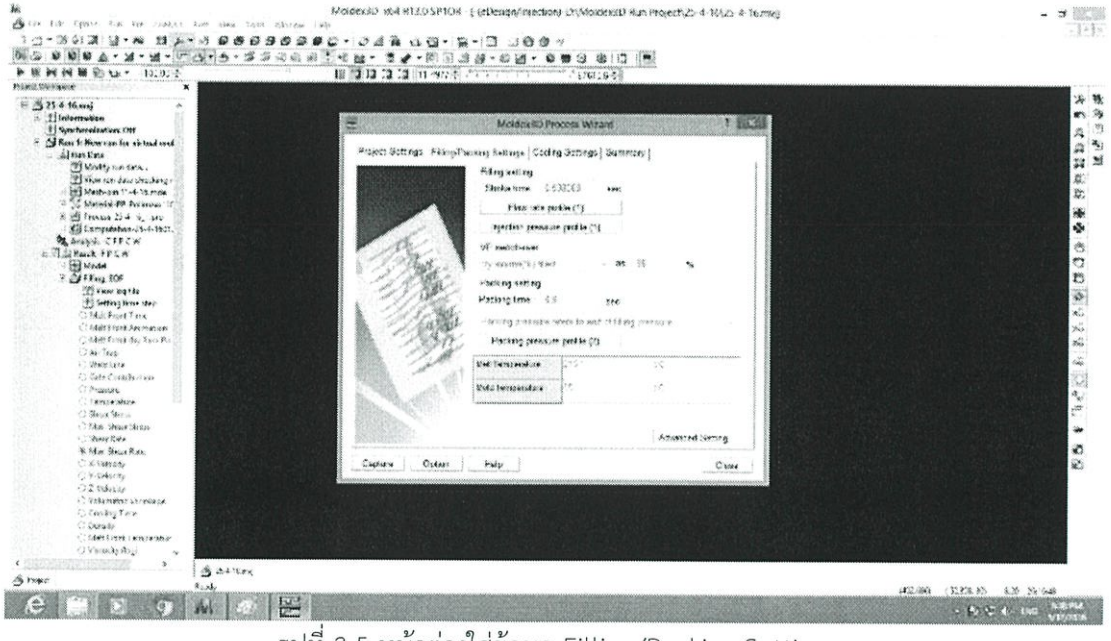
รูปที่ 3.3 ไฟล์ชิ้นงานจาก Moldex3D Design

ป้อนข้อมูลใน Project Setting ตั้งชื่อไฟล์ที่จะใช้บันทึกผล เลือกวัสดุที่จะใช้ในการจำลองการฉีดพลาสติก โดยเลือกใช้พลาสติกชนิด พอลิโพพิลีน(PP) เกรด 1100NK บริษัท IRPC และเลือกเครื่องฉีดโดยปรับตั้งพารามิเตอร์ให้ตรงกับเครื่องที่ใช้จริงในการฉีดพลาสติก ได้แก่ เครื่องฉีดรุ่น TOSHIBA IS80 ดัง ซึ่งลักษณะของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.4



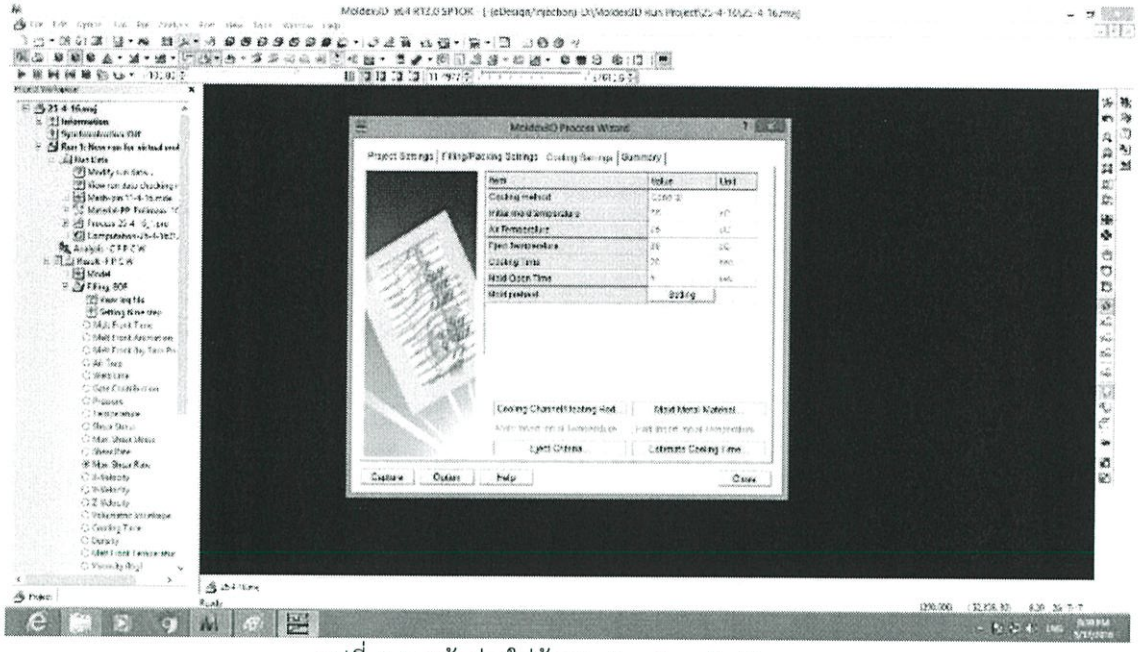
รูปที่ 3.4 หน้าต่างใส่ข้อมูล Project Setting

ป้อนข้อมูล Filling/Packing Setting โดยนำข้อมูลต่างๆตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ แสดงในรูปที่ 3.5



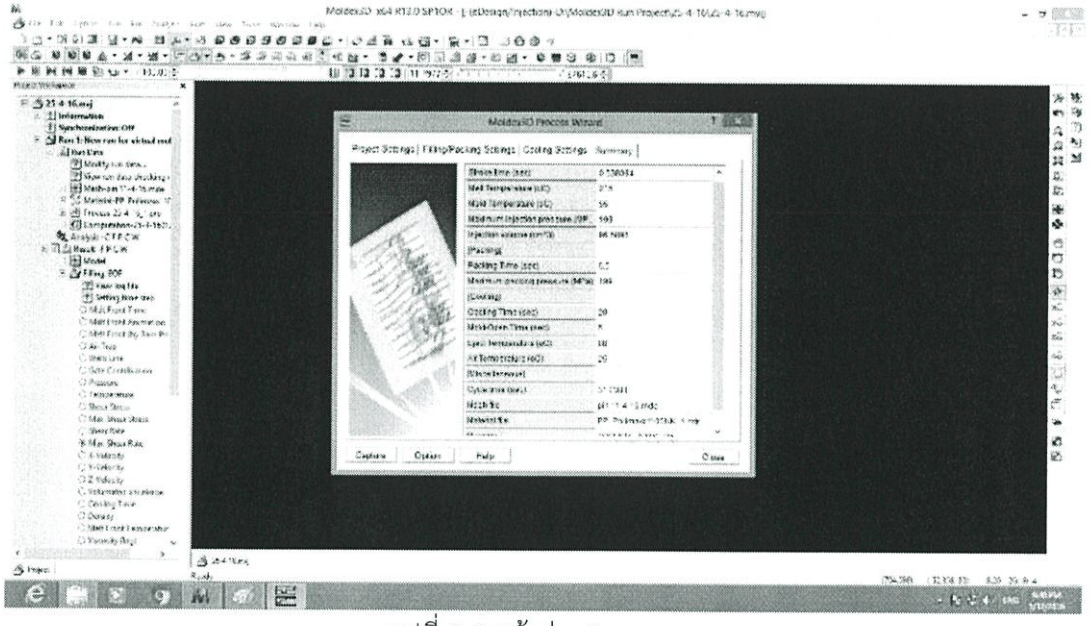
รูปที่ 3.5 หน้าต่างใส่ข้อมูล Filling/Packing Setting

ป้อนข้อมูล Cooling Setting ค่าต่างๆที่ต้องใส่ เช่น อุณหภูมิน้ำการหล่อเย็น เวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น ดังจะแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.6 หน้าต่างใส่ข้อมูล Cooling Setting

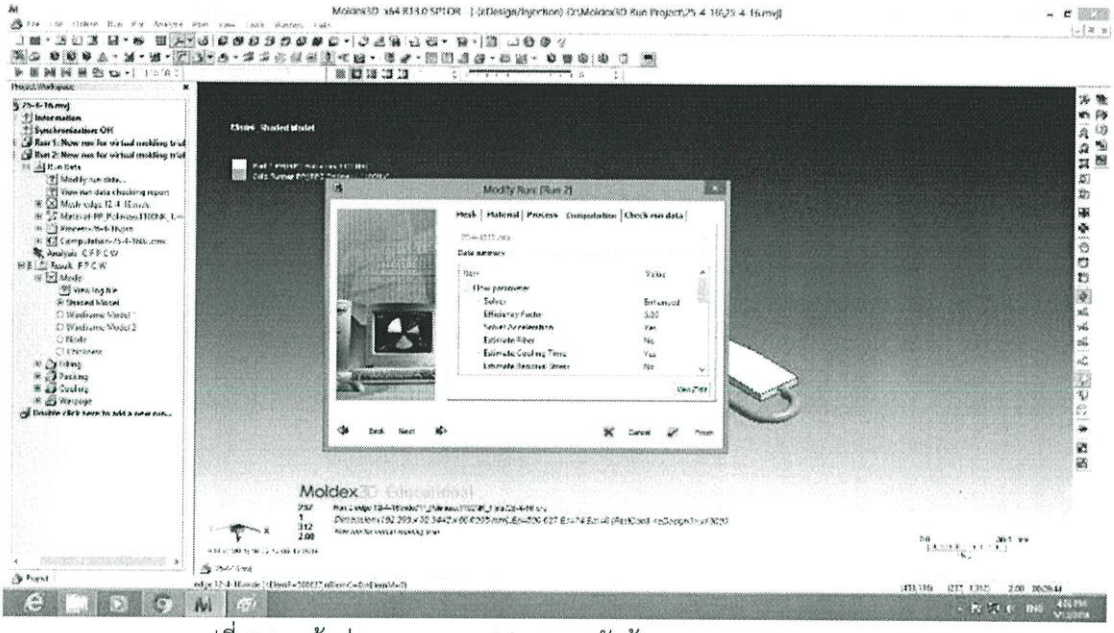
ตรวงสอบความถูกต้องของข้อมูลต่างๆ ในหน้าต่าง Summary เมื่อตรวจสอบว่าถูกต้อง จึงทำการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าต่าง Summary

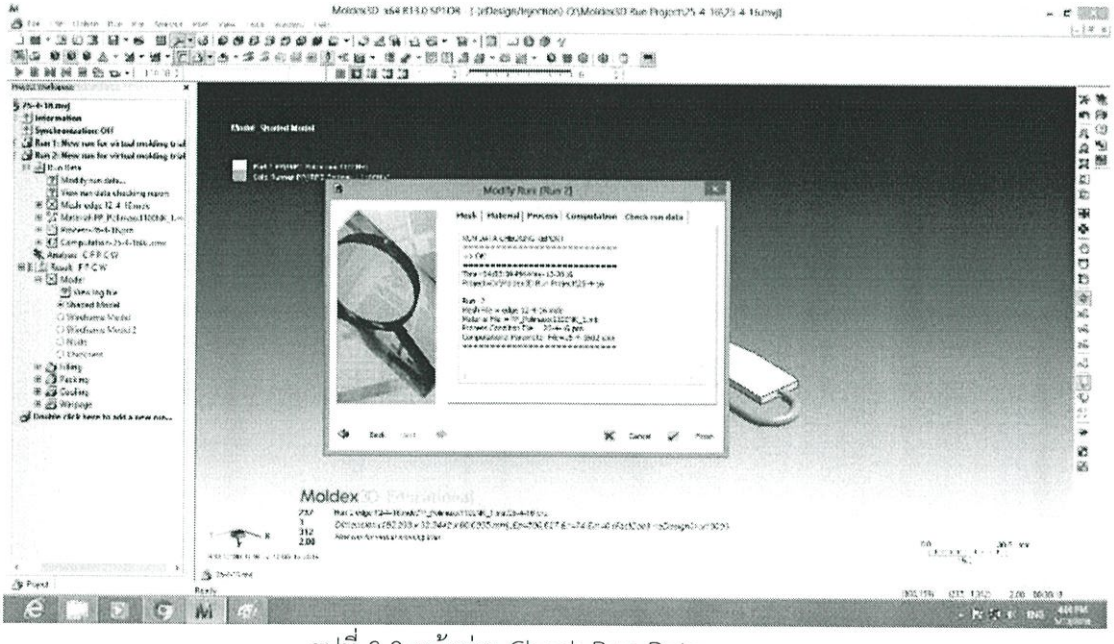
เมื่อป้อนข้อมูลต่างๆแล้ว เลือกคำสั่ง Modify Run ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ป้อนข้อมูลต่างๆให้ครบถ้วนจากการทดลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งจากขั้นตอนที่ผ่านมาทำให้เสร็จสิ้นจนถึงหน้าต่าง Computation ซึ่ง

สามารถเลือกเงื่อนไขต่างๆให้แสดงค่าหลังจากเสร็จสิ้นการจำลอง เช่น Predict Gate Freeze Time เป็นต้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.8



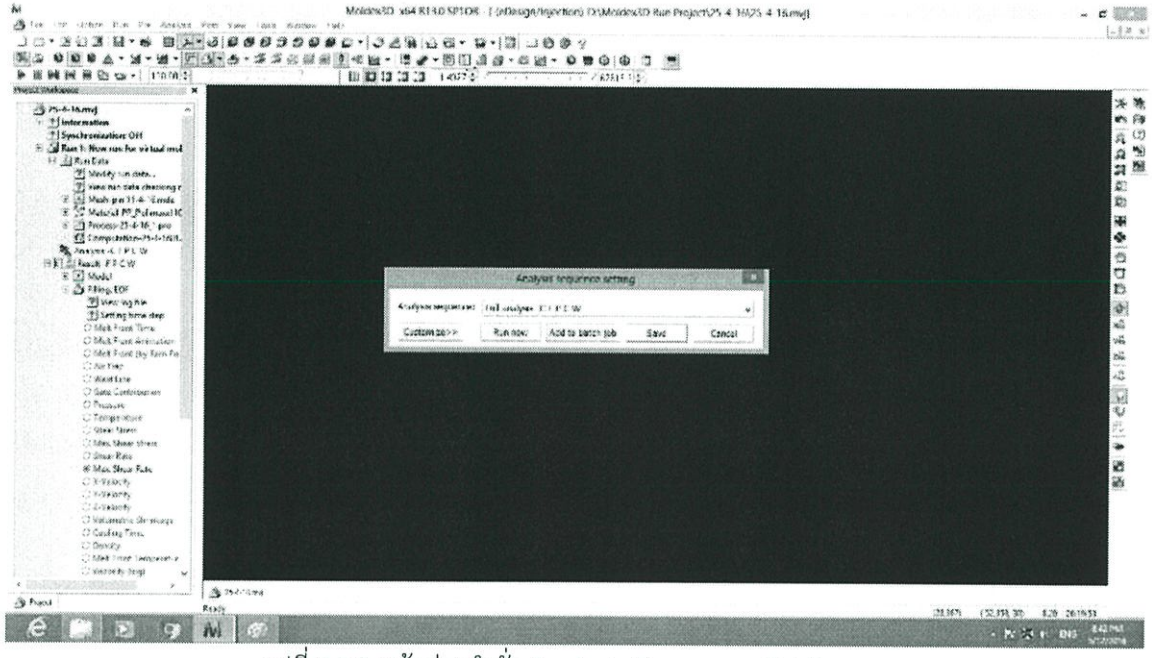
รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดง Modify Run หัวข้อ Computation

ขั้นตอนสุดท้ายก่อนทำการวิเคราะห์ผลข้อมูล คือทำการตรวจสอบ Check Run Data จากนั้นจึงเสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หน้าต่าง Check Run Data

ทำการวิเคราะห์ผลข้อมูล โดยเลือกคำสั่ง Analysis Sequence Setting เพื่อเลือกลำดับการวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดลองที่ต้องการคือจำลองก่อนการปฏิบัติจริงเพื่อไม่ให้เกิดปัญหา เพราะฉะนั้นต้องทำการวิเคราะห์แบบ Full Analysis ได้แก่ Cooling, Filling, Packing, Cooling และ Warpage จากนั้นทำการ run เพื่อวิเคราะห์ผล ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 หน้าต่างคำสั่ง Analysis Sequence Setting

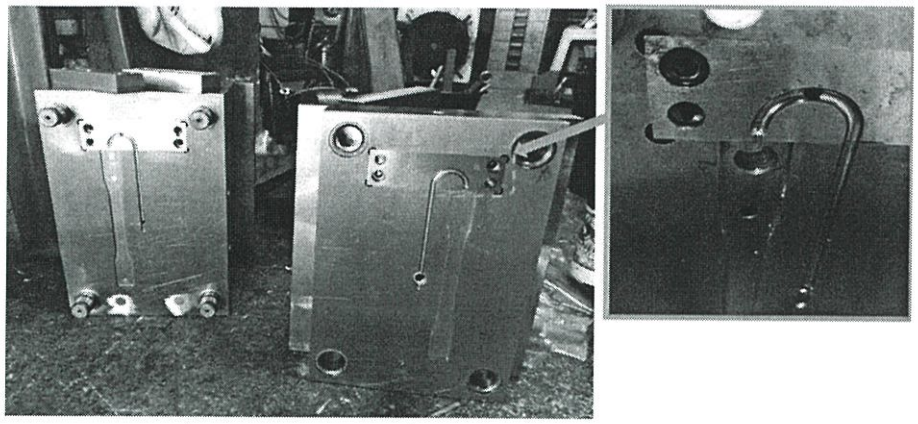
ในการจำลองการฉีดพลาสติกและวิเคราะห์ชิ้นงานชิ้นส่วนประกอบเครื่องพิมพ์ ด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรม Moldex3D โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมการไหลของพลาสติกขณะฉีดชิ้นงานก่อนเริ่มทำการฉีดจริงซึ่งมีต้นทุนค่อนข้างมาก เช่น ค่าใช้จ่ายในการหล่อแม่พิมพ์ ค่าใช้จ่ายในการฉีดพลาสติก ค่าใช้จ่ายสำหรับวัตถุดิบ เป็นต้น

เมื่อพบว่าในการจำลองการฉีดนั้น พลาสติกเหลวมีการฉีดเข้าเต็มชิ้นงานและได้ผลตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ จึงเริ่มทำการหล่อโมลเพื่อใช้ในการทดลองฉีดชิ้นงานจริง

3.6 การสร้างแม่พิมพ์

- เมื่อได้ผลวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D ทำการตรวจสอบแก้ไขจนสำเร็จผล จึงเริ่มสั่งทำแม่พิมพ์ โดยวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์คือเหล็กชนิด S50C เนื่องจากมีราคาถูกและมีความแข็งแรงทนทาน

- โดยออกแบบตัวเปลี่ยนทางเข้า (Insert) เข้าไปในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์ 2 ชุด ซึ่งสามารถเปลี่ยนทางเข้าได้ทั้งแบบเหลี่ยม และทางเข้าแบบกลม ดังรูปที่ 3.11

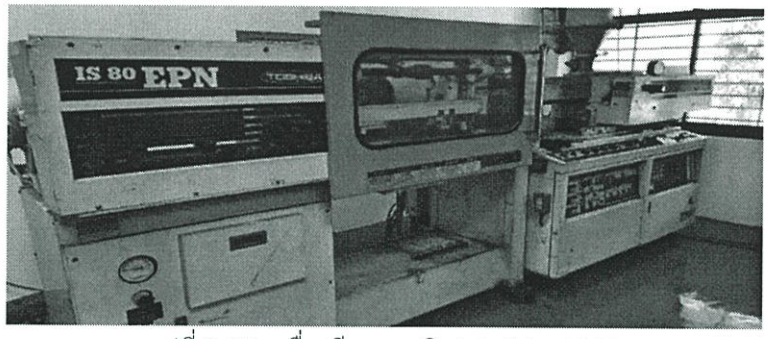


รูปที่ 3.11 ตัวอย่างตัวเปลี่ยนทางเข้าของทางเข้าแบบเหลี่ยม

3.7 ทดลองการฉีดพลาสติกและบันทึกผล

ติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น Toshiba IS80 แสดงในรูปที่ 3.12 โดยตั้งค่าตัวแปรต่างๆที่เครื่องจักรให้ตรงตามที่ทำการจำลองในโปรแกรม Moldex3D จากนั้นทำการฉีดพลาสติกทั้ง 2 ทางเข้า ให้ได้ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 10 ชิ้นงาน

เมื่อได้ชิ้นงานหลังจากเย็นตัวลงแล้ว ทำการวัดขนาดของชิ้นงานด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ระบบดิจิตอลโดยเทียบขนาดชิ้นงานจริงกับขนาดของชิ้นงานตาม Standard ASTM D638 type 1 เพื่อนำมาคิดเปอร์เซ็นต์การหดตัวทั้งของแต่ละชนิดทางเข้าทั้ง 20 ชิ้นงาน จากนั้นนำค่าการหดตัวที่ได้ทั้งหมดบันทึกผล และนำมาคิดหาค่าเฉลี่ยเพื่อสรุปหาค่าการหดตัวของชิ้นงานในทางเข้าแต่ละประเภท ตามแนวแกน X,Y และ Z ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.12 เครื่องฉีดพลาสติก Toshiba IS80

3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย ANOVA

หลังจากที่เก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อทำการสรุปผลว่า เปอร์เซ็นการหดตัวตามแนวแกน X,Y และ Z ของชิ้นงานทั้งสอง นั่นคือ ทางเข้าแบบเหลี่ยม และทางเข้าแบบกลม มีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากัน

บทที่4
ผลการดำเนินการ

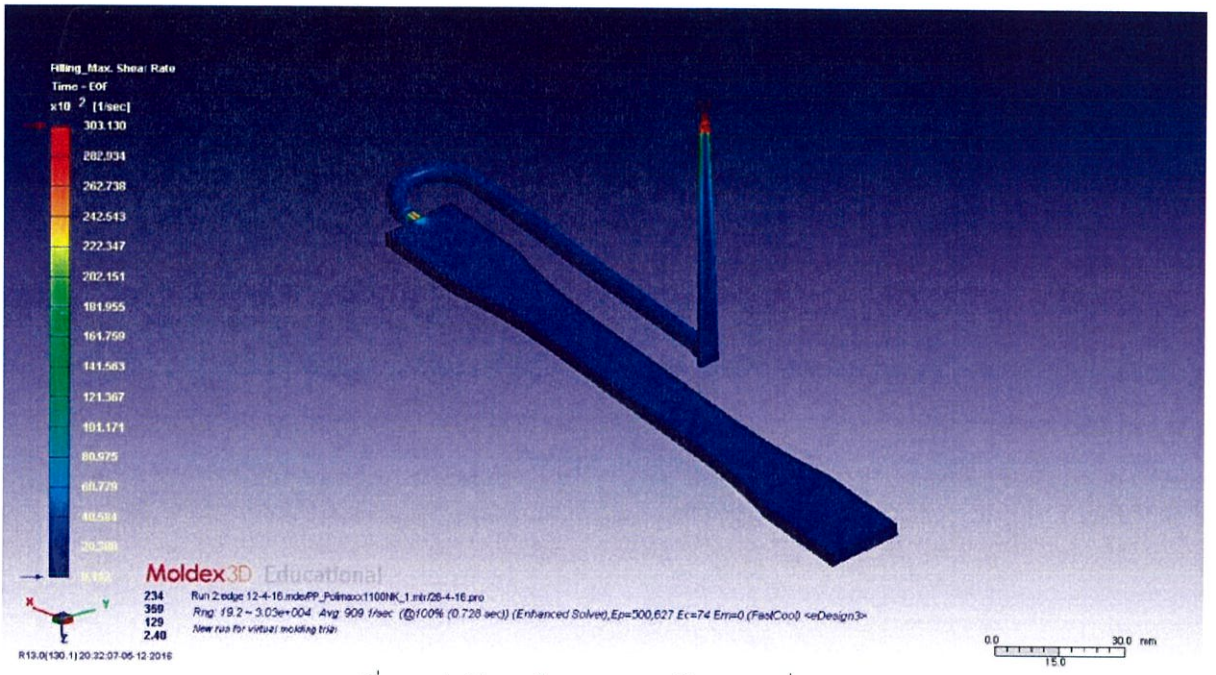
ในการดำเนินการทดลองเพื่อทราบค่าการหดตัวของชิ้นงาน ในแต่ละทางเข้าที่มีรูปร่าง ลักษณะที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการฉีดพลาสติกโดยแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 ได้ทำการจำลองสถานการณ์การฉีดพลาสพลาติกในโปรแกรม Moldex3D R14 โดยได้ตั้งค่าพารามิเตอร์ในการฉีดไว้ค่าหนึ่งสำหรับการจำลองการฉีด จากโปรแกรมได้ทราบค่าการหดตัวของชิ้นงาน จากทั้ง 2 ทางเข้าที่มีอัตราเฉือนเท่ากัน แนวทางที่ 2 ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขึ้นจริง โดยการออกแบบขนาดขององค์ประกอบต่างๆในแม่พิมพ์จริงเป็นขนาดเดียวกันกับที่ใช้ในโปแกรม Moldex3D R14 หลังจากได้แม่พิมพ์แล้ว ได้ทำการฉีดพลาสติกจริงเพื่อนำชิ้นงานจริงมาหาค่าการหดตัวตามแนวแกน X,Y และ Z โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการฉีดเดียวกันกับการจำลองการฉีดในโปรแกรม และทำการบันทึกผลการทดลองจากชิ้นงานหลังการฉีดพลาสติกเสร็จสิ้นแล้ว

4.1 ผลการทดลองสำหรับการจำลองสถานการณ์การฉีดพลาสติก

จากการทดลองได้ผลการทดลองจากโปรแกรม Moldex3D R14 โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะ ประกอบด้วย

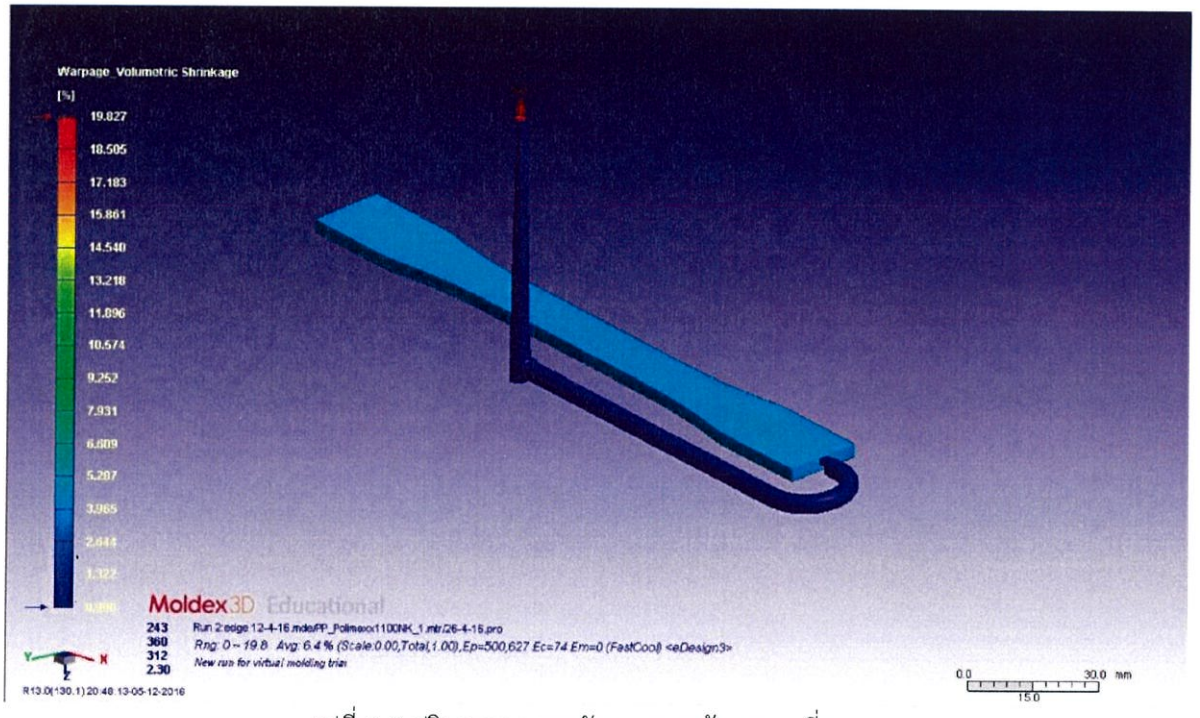
4.1.1 ผลการทดลองทางเข้าแบบเหลี่ยม

- ค่าอัตราเฉือนสูงสุดบริเวณทางเข้าเป็น 30313 [1/sec] ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าอัตราเฉือนของทางเข้าแบบเหลี่ยม

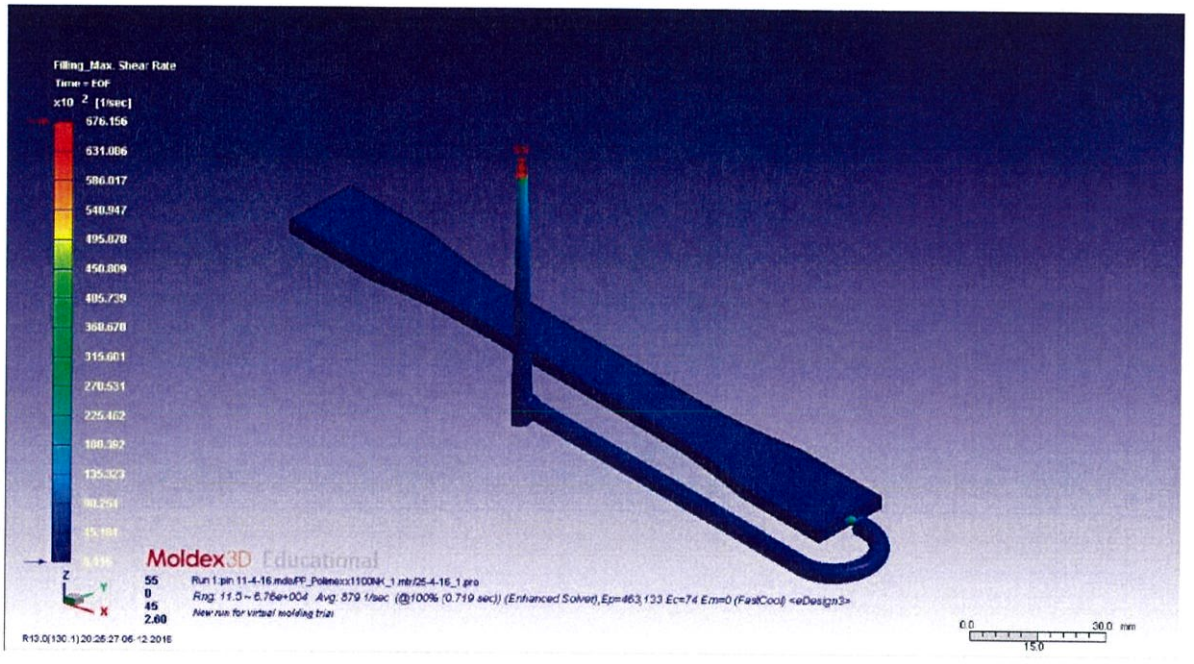
ปริมาตรการหดตัวเฉพาะตัวชิ้นงาน (Volumetric Shrinkage) ประมาณที่ 3.56881 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาตรการหดตัวของทางเข้าแบบเหลี่ยม

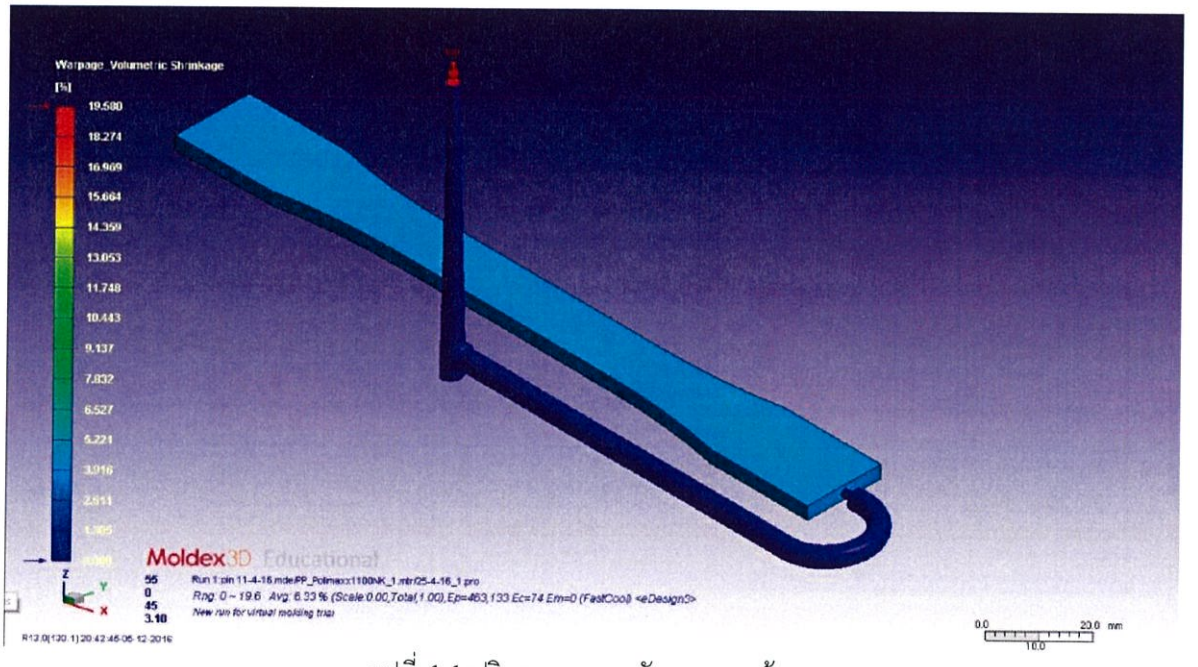
4.1.2 ผลการทดลองทางเข้าแบบกลม

- ค่าอัตราเฉือนสูงสุดบริเวณทางเข้าเป็น 30057.7 [1/sec] ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าอัตราเฉือนของทางเข้าแบบกลม

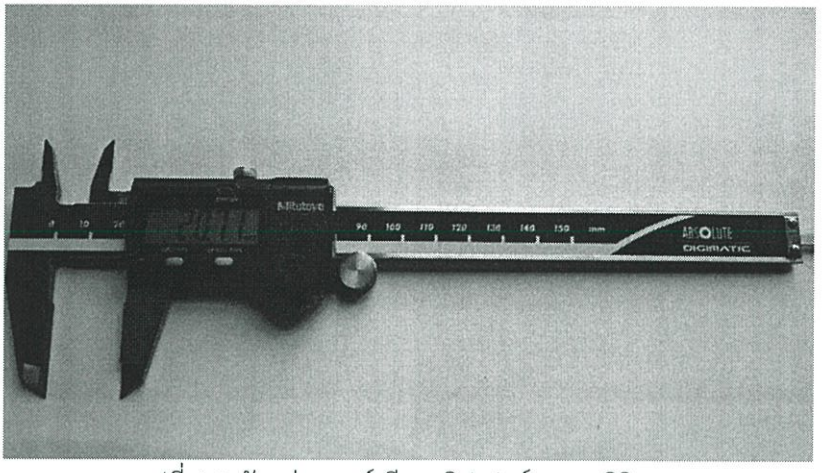
-ปริมาตรการหดตัวเฉพาะตัวชิ้นงาน (Volumetric Shrinkage) ประมาณที่ 3.52436 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



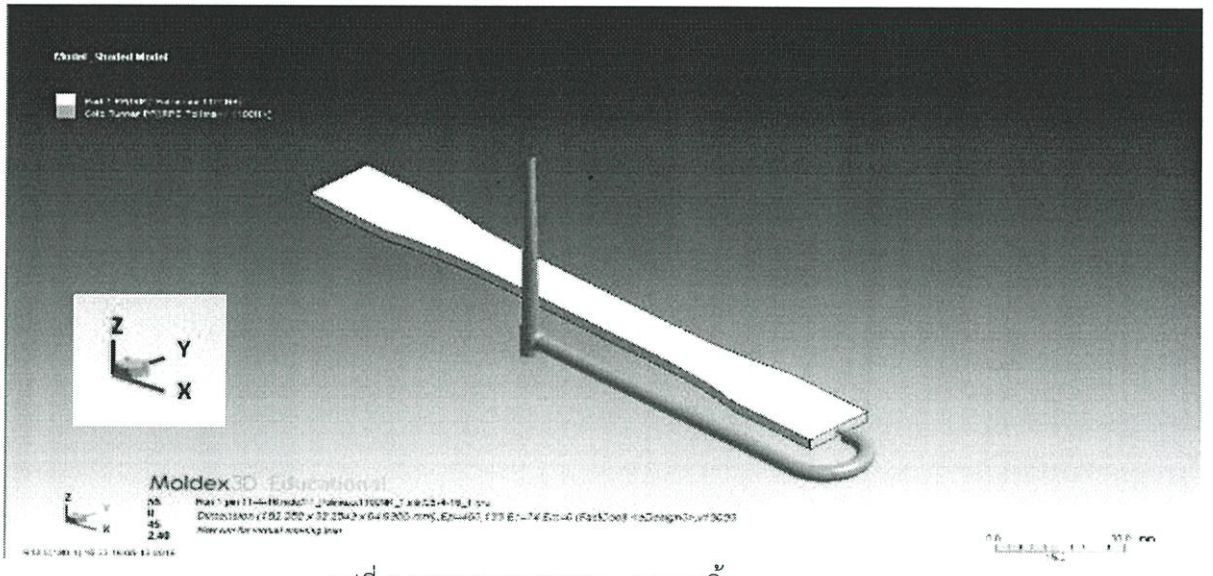
รูปที่ 4.4 ปริมาตรการหดตัวของทางเข้าแบบกลม

4.2 ผลการทดลองจากการฉีดพลาสติกจริง

ผลการทดลองจากการวัดชิ้นงานพลาสติกจริง โดยในการฉีดพลาสติก ใช้ตัวเปลี่ยนทางเข้า (Gate) ในการเปลี่ยนทางเข้าในแม่พิมพ์ ฉีดชิ้นงานพลาสติก จำนวนทางเข้าละ10 ชิ้นงาน นำชิ้นงานมาวัดตามแนวแกน X,Y และ Z ดังรูปที่ 4.6 และเทียบกับขนาดโพรงแบบที่ถูกต้องในแม่พิมพ์ เพื่อหาค่าการหดตัว โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล ในการวัดขนาดของชิ้นงานพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ระบบดิจิตอล



รูปที่ 4.6 แนวแกน X Y และ Z ของชิ้นงาน

4.2.1 ผลการทดลองจากทางเข้าแบบเหลี่ยม

ผลการทดลองจากการฉีดพลาสติกด้วยทางเข้าแบบเหลี่ยม จำนวน 10 ชิ้นงาน วัดขนาดของชิ้นงานพลาสติกตามแกน X Y และ Z และบันทึกผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของชิ้นงานพลาสติกด้วยทางเข้าแบบเหลี่ยม (มิลลิเมตร)

ชิ้นงาน	แกน X	แกน Y	แกน Z
1	162.10	18.63	3.18
2	162.00	18.65	3.18
3	162.10	18.66	3.20
4	162.10	18.64	3.18
5	162.00	18.63	3.16
6	162.00	18.61	3.19
7	162.00	18.66	3.20
8	162.10	18.64	3.18
9	162.00	18.63	3.17
10	162.00	18.61	3.20

4.2.2 ผลการทดลองจากทางเข้าแบบกลม

ผลการทดลองจากการฉีดพลาสติกด้วยทางเข้าแบบกลม จำนวน 10 ชิ้นงาน วัดขนาดของชิ้นงานพลาสติกตามแกน X Y และ Z และบันทึกผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดของชิ้นงานพลาสติกด้วยทางเข้าแบบกลม (มิลลิเมตร)

ชิ้นงาน	แกน X	แกน Y	แกน Z
1	162.00	18.67	3.15
2	162.10	18.65	3.17
3	162.00	18.61	3.15
4	162.00	18.58	3.17
5	162.00	18.60	3.16
6	162.10	18.58	3.15
7	162.00	18.61	3.18
8	162.10	18.63	3.16
9	162.00	18.63	3.18
10	162.00	18.61	3.18

4.2.3 ผลเทียบค่าการหดตัวโดยวิธีการ ANOVA

ทดสอบด้วยวิธีการ ANOVA และตรวจสอบความแตกต่างของข้อมูล โดยดูจากค่า P-Value

ถ้า P Value > 0.05 จะยอมรับว่า 2 ข้อมูลนั้นไม่แตกต่าง ที่ 95% ของช่วงความเชื่อมั่น

- ถ้า P Value < 0.05 จะยอมรับว่า 2 ข้อมูลนั้นแตกต่างกัน ที่ 95% ช่วงความของเชื่อมั่น

4.2.3.1 ผลการเปรียบเทียบค่าการหดตัวในแกน X

พิจารณาว่าความแตกต่างของค่าการหดตัวในแนวแกน X ของทางเข้าทั้งสองแบบ โดยดูจากค่า P-Value ที่ได้ เท่ากับ 0.660 ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ข้อมูลไม่แตกต่างกัน)

ตารางที่ 4.3 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน X

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor   Levels  Values
ชิ้นงาน       2  1, 2


Analysis of Variance

Source    DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
ชิ้นงาน    1  0.000500  0.000500     0.20    0.660
Error     18  0.045000  0.002500
Total     19  0.045500


Model Summary

    S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.05  1.10%      0.00%       0.00%


Means

ชิ้น
งาน     N     Mean  StDev         95% CI
1      10  162.040  0.052  (162.007, 162.073)
2      10  162.030  0.048  (161.997, 162.063)

Pooled StDev = 0.05
```

4.2.3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าการหดตัวในแกน Y

พิจารณาว่าความแตกต่างของค่าการหดตัวในแนวแกน Y ของทางเข้าทั้งสองแบบ โดยดูจากค่า P-Value ที่ได้ เท่ากับ 0.092 ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ข้อมูลไม่แตกต่างกัน)

ตารางที่ 4.4 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน Y

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor     Levels  Values
ชิ้นงาน_1       2  1, 2


Analysis of Variance

Source      DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
ชิ้นงาน_1    1  0.001805  0.001805     3.17    0.092
Error       18  0.010250  0.000569
Total       19  0.012055


Model Summary

        S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.0238630  14.97%     10.25%       0.00%


Means

ชิ้น
งาน_1   N     Mean    StDev         95% CI
1       10  18.6360  0.0178  (18.6201, 18.6519)
2       10  18.6170  0.0287  (18.6011, 18.6329)

Pooled StDev = 0.0238630
```

4.2.3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าการหดตัวในแกน Z

พิจารณาว่าความแตกต่างของค่าการหดตัวในแนวแกน Z ของทางเข้าทั้งสองแบบ โดยดูจากค่า P-Value ที่ได้ เท่ากับ 0.260 ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ข้อมูลไม่แตกต่างกัน)

ตารางที่ 4.5 ผลจากการคำนวณด้วยวิธี ANOVA ในแนวแกน Z

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor     Levels  Values
ชิ้นงาน_2       2  1, 2


Analysis of Variance

Source      DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
ชิ้นงาน_2    1  0.000180  0.000180     1.35    0.260
Error       18  0.002400  0.000133
Total       19  0.002580


Model Summary

        S   R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.0115470  6.98%      1.81%       0.00%


Means

ชิ้น
งาน_2   N     Mean     StDev         95% CI
1       10  3.17800  0.00919  (3.17033, 3.18567)
2       10  3.18400  0.01350  (3.17633, 3.19167)

Pooled StDev = 0.0115470
```

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปของการดำเนินงานโครงการปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการออกแบบทางเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กรณีศึกษาการหดตัวของชิ้นงานเมื่ออัตราเฉือนเท่ากัน โดยจำลองการไหลของพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D R14 ก่อนเริ่มทำการฉีดชิ้นงานจริงเพื่อนำมาพิจารณาความแตกต่างของการหดตัวของชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้า (Gate) ด้วยวิธี ANOVA และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตหรือใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำชิ้นงานมาวัดตามแนวแกน X Y และ Z ทำให้ทราบว่าชิ้นงานมีการหดตัวลงจากขนาดที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อนำชิ้นงานของทั้งสองแบบทางเข้ามาเปรียบกันด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อนำค่า P- Value มาพิจารณาค่าการหดตัวว่าค่าความแตกต่างของชิ้นงานทั้งสองแบบนั้นเท่ากันหรือไม่ พบว่า

- ในแนวแกน X ชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.660 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงถือว่า การหดตัวในแนวแกน X ของชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้า มีค่าการหดตัวที่เท่ากัน
- ในแนวแกน Y ชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.092 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงถือว่า การหดตัวในแนวแกน Y ของชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้า มีค่าการหดตัวที่เท่ากัน
- ในแนวแกน Z ชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.260 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงถือว่า การหดตัวในแนวแกน Z ของชิ้นงานทั้งสองแบบทางเข้า มีค่าการหดตัวที่เท่ากัน

จึงสามารถสรุปได้ว่า ชิ้นงานพลาสติก ชนิด พอลิโพพิลีน (PP) ที่มีทางเข้าชิ้นงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ ทางเข้าแบบเหลี่ยม (Edge gate) และทางเข้าแบบกลม (Pin gate) โดยมีอัตราเฉือนบริเวณทางเข้าที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากๆ ส่งผลให้มีค่าการหดตัวตามแนวแกน X,Y และ Z เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการจำลองสถาณการณ์การฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D R14 ควรใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้ครบถ้วน เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม

2. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองต้องเป็นค่าเดียวกันกับค่าที่ใช้ในการทดลองฉีดพลาสติกจริง เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

3. ในการนำค่าที่ได้จากการทดลองมาใช้จริง ควรพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกอื่นๆประกอบการตัดสินใจ เช่น สมรรถนะของเครื่องจักร เกรดของวัสดุ เป็นต้น

4. ควรศึกษาอัตราเฉือนในกรณีที่มีความเร็วในการฉีดเข้ามาเกี่ยวข้อง และทำการคำนวณอัตราเฉือนบริเวณทางเข้าใหม่ เพื่อศึกษาการหดตัวอย่างละเอียดมากขึ้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] เชาวลิต เจริญรักษา, 2554. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2559 จาก http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=bright-brave&date=23-09-2011&group=3&gblog=2

[2] ชาลี ตระการกูล, การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1 (ฉบับปรับปรุง). โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[3] วิวัฒน์ ตันติขจรโกศล และชัยรัตน์ แก้วดวง, 2538. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[4] สมเกียรติ ศรีภัทรานุสรณ์ม, 2551. งานฉีดพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2559 จาก http://www.plaztek.org/knowledge3_.html

[5] ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT). ประเภทแม่พิมพ์. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2559 จาก http://webportal.ku.ac.th/rdipt/eng/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=341

[6] ผศ.วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2553. วิศวกรรมการฉีดพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมส.ส.ท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[7] พิชัย เล็กโล่ง, 2554. การวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดทางเข้าและความเร็วฉีดที่มีต่อการหดตัวของชิ้นงานฉีด ชนิดโพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นสูง. ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[8] สุรศิษฐ์ โรจนนันต์[1] และสิริพร โรจนนันต์[2], การวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดทางเข้าและความเร็วฉีดที่มีต่อการหดตัว ของชิ้นงานฉีดชนิดพอลีพอพิลีนโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์. [1]ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ [2]สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[9] Ultra 250 Nozzle. Husky. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2559 จาก https://www.husky.ca/hotrunners.aspx?id=304&tabid=339&tmid=346

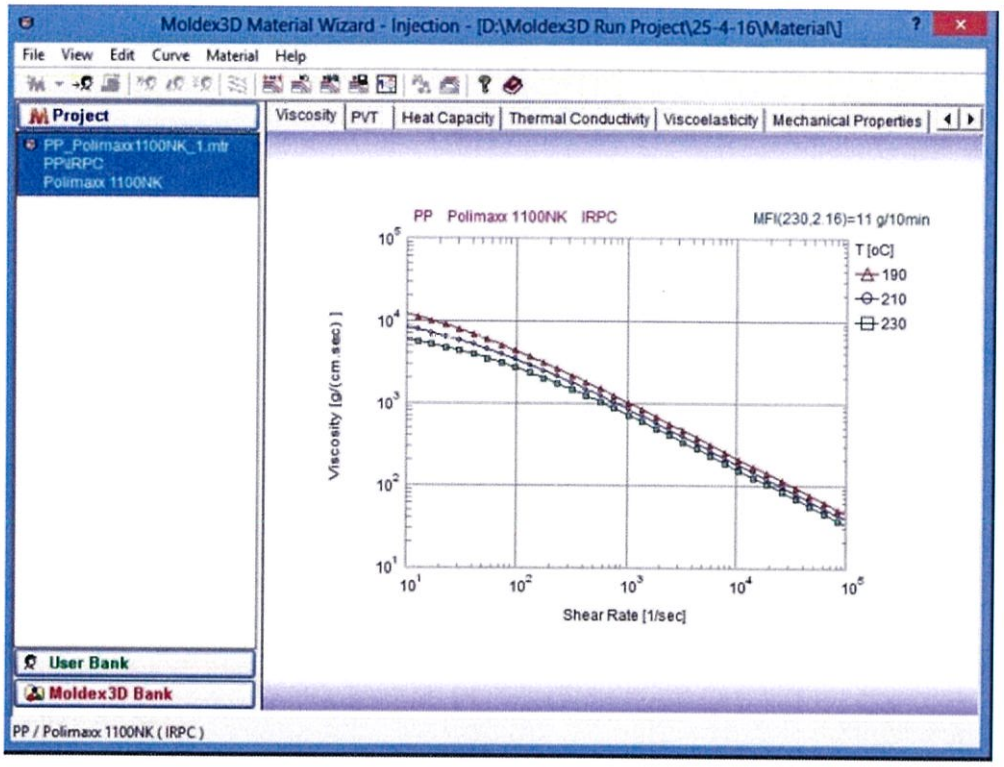
[10] ยลดา โฉมยา, วราลักษณ์ มณีฝั้น และอาสลิล ทิพยไกรศร, การปรับปรุงกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกกรณีศึกษา ชิ้นส่วนประกอบเครื่องพิมพ์. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

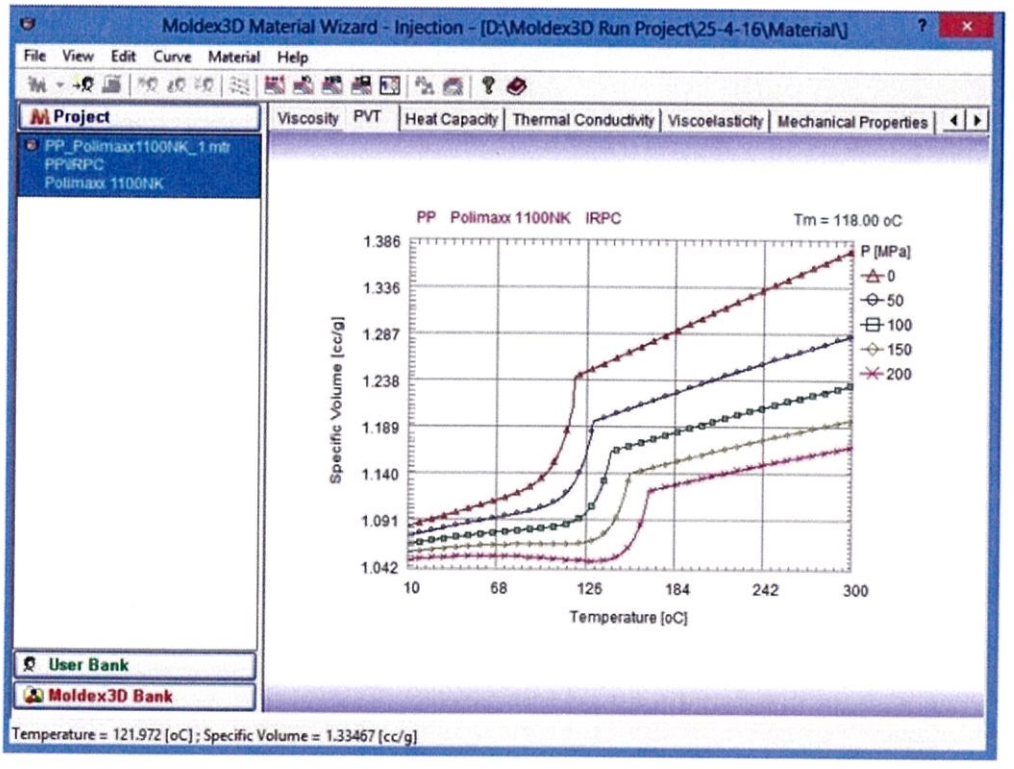
[11] Herbert Rees, Mold Engineering. Munich: Hanser/Gardner Publications, 1995

[12] David O.Kazmer, Injection Mold Design Engineering, USA: Hanser/Gardner Publication, 2007

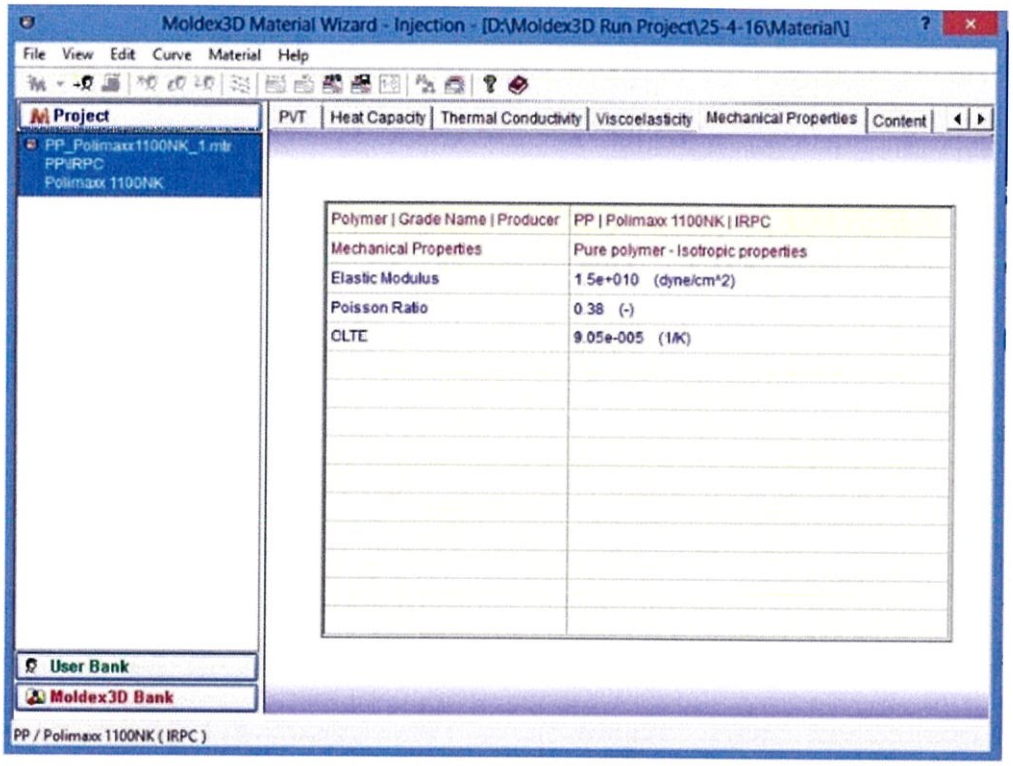
[13] Runner Balancing. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559 จาก http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg_doc/develop/design/runner/34000008.htm

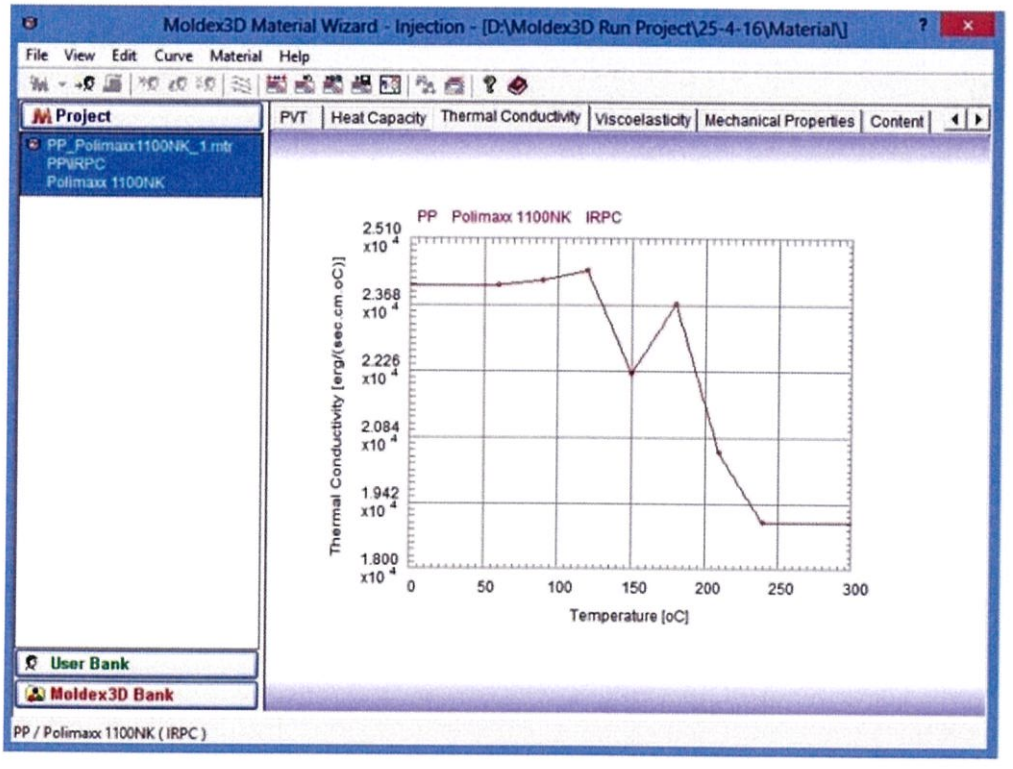
ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของเม็ดพลาสติก


Moldex3D Material Wizard - Injection - [D:\Moldex3D Run Project\25-4-16\Material\]
File View Edit Curve Material Help
Project
PP_Polimaxx1100NK_1.mtr
PP\IRPC
Polimaxx 1100NK
User Bank
Moldex3D Bank
Viscosity PVT Heat Capacity Thermal Conductivity Viscoelasticity Mechanical Properties
PP Polimaxx 1100NK IRPC
MFI(230,2.16)=11 g/10min
T [oC]
190
210
230
Viscosity [g/(cm.sec)]
Shear Rate [1/sec]
PP / Polimaxx 1100NK (IRPC)


Moldex3D Material Wizard - Injection - [D:\Moldex3D Run Project\25-4-16\Material\]
File View Edit Curve Material Help
Project
PP_Polimaxx1100NK_1.mtr
PP\IRPC
Polimaxx 1100NK
User Bank
Moldex3D Bank
Viscosity PVT Heat Capacity Thermal Conductivity Viscoelasticity Mechanical Properties
PP Polimaxx 1100NK IRPC
Tm = 118.00 oC
P [MPa]
0
50
100
150
200
Specific Volume [cc/g]
Temperature [oC]
Temperature = 121.972 [oC] ; Specific Volume = 1.33467 [cc/g]

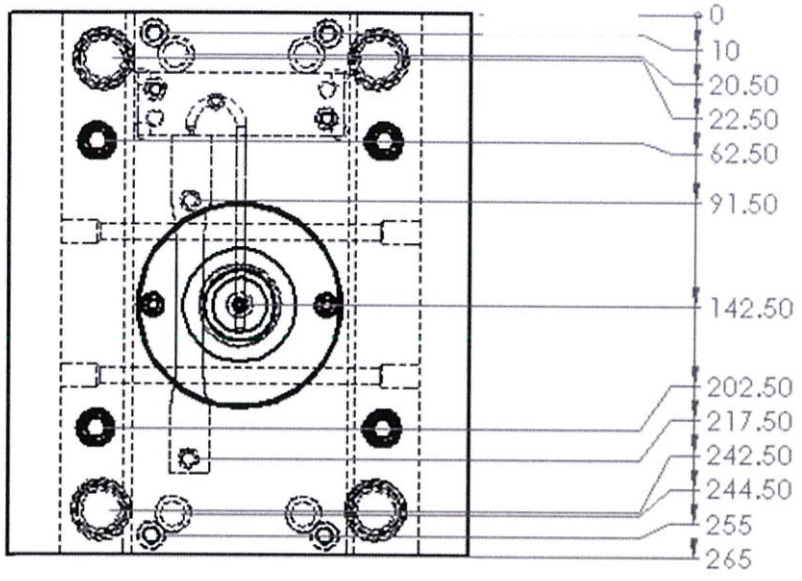
ผก1

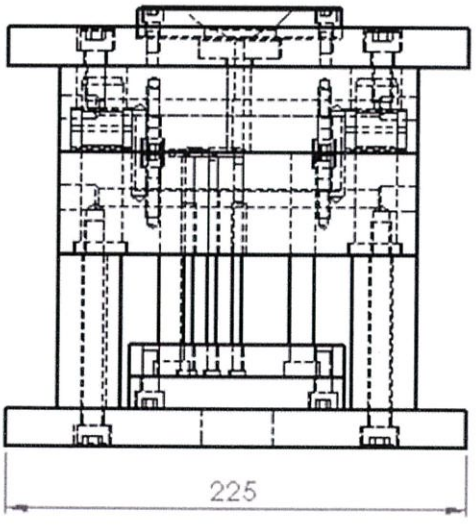

Moldex3D Material Wizard - Injection - [D:\Moldex3D Run Project\25-4-16\Material\]
File View Edit Curve Material Help
Project
PP_Polimaxx1100NK_1.mtr
PP\IRPC
Polimaxx 1100NK
PVT Heat Capacity Thermal Conductivity Viscoelasticity Mechanical Properties Content
Polymer | Grade Name | Producer
PP | Polimaxx 1100NK | IRPC
Mechanical Properties
Pure polymer - Isotropic properties
Elastic Modulus
1.5e+010 (dyne/cm^2)
Poisson Ratio
0.38 (-)
CLTE
9.05e-005 (1/K)
User Bank
Moldex3D Bank
PP / Polimaxx 1100NK (IRPC)

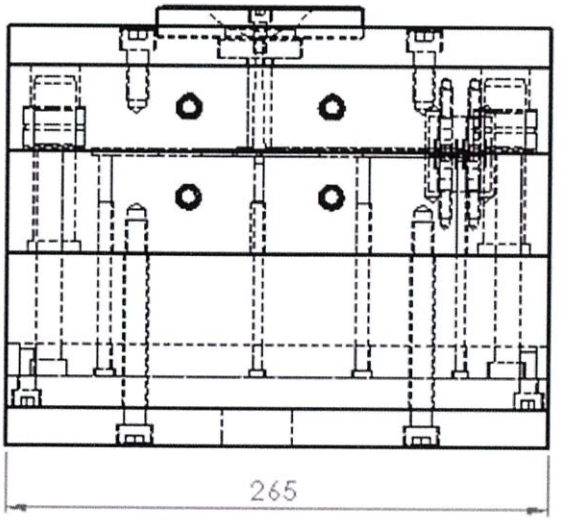

Moldex3D Material Wizard - Injection - [D:\Moldex3D Run Project\25-4-16\Material\]
File View Edit Curve Material Help
Project
PP_Polimaxx1100NK_1.mtr
PP\IRPC
Polimaxx 1100NK
PVT Heat Capacity Thermal Conductivity Viscoelasticity Mechanical Properties Content
PP Polimaxx 1100NK IRPC
Thermal Conductivity [erg/(sec cm oC)]
2.510 x10^4
2.368 x10^4
2.226 x10^4
2.084 x10^4
1.942 x10^4
1.800 x10^4
0
50
100
150
200
250
300
Temperature [oC]
User Bank
Moldex3D Bank
PP / Polimaxx 1100NK (IRPC)

ผก2

ภาคผนวก ข
แบบรายละเอียดของแม่พิมพ์


0
10
20.50
22.50
62.50
91.50
142.50
202.50
217.50
242.50
244.50
255
265


225


265

ผข1