สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพลาสติกชนิดPE80

# ANALYZING OF MOLD DESIGN FOR POLYETHYLENE80 CONNECTOR PIPE

T119343

นางสาวทิวทัศน์ สัตตรัตนขจร
MS.TEWTAD SATTARATTANAKAJORN
นางสาวธัญลักษณ์ จันทร์พาณิชระวี
MS.THANYALAK CHANPANITRAVEE
นายพงศาธิป ชมบำรุง
MR.PONGSATHIP CHOMBAMRUNG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119343
วัน,เดือน,ปี - 7 ส.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ANALYZING OF MOLD DESIGN FOR POLYETHYLENE80 CONNECTOR PIPE

MS.TEWTAD SATTARATTANAKAJORN

MS.THANYALAK CHANPANITRAVEE

MR.PONGSATHIP CHOMBAMRUNG

THIS THESIS IS 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 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพลาสติกชนิดPE80

Analyzing of Mold Design for Polyethylene80 Connector Pipe

**นักศึกษา**

| | | |
|---|---|---|
| นางสาวทิวทัศน์ สัตตรัตนขจร | รหัสประจำตัว | 50010590 |
| นางสาวธัญลักษณ์ จันทร์พาณิชระวี | รหัสประจำตัว | 50010681 |
| นายพงศาธิป ชมบำรุง | รหัสประจำตัว | 50011011 |

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**

(ดร. วิภู ศรีสืบสาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|---|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | การวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพลาสติกชนิดPE80 | | |
| **นักศึกษา** | นางสาวทิวทัศน์ สัตตรัตนขจร | รหัสประจำตัว | 50010590 |
| | นางสาวธัญลักษณ์ จันทร์พาณิชระวี | รหัสประจำตัว | 50010681 |
| | นายพงศาธิป ชมบำรุง | รหัสประจำตัว | 50011011 |
| **หลักสูตร** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | | |
| **ปีการศึกษา** | 2553 | | |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์** | ดร. วิภู ศรีสืบสาย | | |

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสามทางขนาดเข้า 25 มิลลิเมตร ออก 20 มิลลิเมตร ซึ่งวัสดุที่ใช้คือเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด 80 โดยนำโปรแกรมจำลองการฉีดขึ้นรูป (Autodesk Moldflow 2010) ช่วยในการวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูปซึ่งพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดขึ้นรูปและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน จากการวิเคราะห์พบว่าใช้เวลาในการฉีด 1.499 วินาที เวลาในการหล่อเย็น 18.50 วินาที อุณหภูมิในการฉีด 260 องศาเซลเซียส แรงดันในการฉีด 32 เมกะปาสคาล แรงดันปิดแม่พิมพ์ 16.921 ตัน ใช้เครื่องฉีดพลาสติก Allrounder 220s 28 tonne 1.3 oz และนำผลการวิเคราะห์มาออกแบบส่วนประกอบซึ่งได้แก่ การเลือกวัสดุเป็น AISI P20สำหรับทำแม่พิมพ์ การออกแบบขนาดแม่พิมพ์ การเลือกหัวฉีด ทางวิ่งร้อน ชุดหล่อเย็น อุปกรณ์ปลดชิ้นงาน ส่วนเบ้าชิ้นงาน มีขนาดแม่พิมพ์มาตราฐานกว้าง 296 มิลลิเมตร ยาว 296 มิลลิเมตร สูง 460.5 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Analyzing of Mold Design for Polyethylene80 Connector Pipe |
| **Student** | Ms. Tewtad Sattarattanakajorn |
| | Ms. Thanyalak Chanpanitravee |
| | Mr. Pongsathip Chombamrung |
| **Degree** | Bachelor of Engineering in Industrial Engineering |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| **Academic Year** | 2010 |
| **Thesis Advisor** | Dr. Wipoo Sriseubsai |


## ABSTRACT

This project was proposed for the experimental study on mold design of plastic three way pipe connector, diameter size is 25×20 mm which used polyethylene grade 80 to be raw material by using injection molding simulation software, Autodesk Moldflow 2010 to analyze the injection molding, which was considered the factors that affected the plastic injection molding and the defection that occurred in the workpiece. The analysis results showed that injection time is 1.499s, cooling time was 18.50s, injection temperature was 260 °C, injection pressure was 32 MPa, clamping force was 16.921 tonne and the plastic injection machine was Allrounder 220s 28 tonne 1.3 oz. After that taking the analysis results to determine the most efficient factors of injection molding and help in the design components of the mold, including choosing AISI P20 to be mold material, size-mold design and a selection of nozzles, hot runner, mold cooling, mold ejector set, mold cavity and size of plastic injection machine.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกโดยใช้พลาสติกโพลิเอทิลีน เกรด 80 สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับโอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ การดูแลเอาใจใส่และความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

บริษัท เอสซีจี พลาสติกส์ จำกัด กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับโอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงความอนุเคราะห์สำหรับโปรแกรมAutodesk Moldflow2010 ความรู้และคำแนะนำต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงอาจารย์และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อนๆที่คอยให้ความรักและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

นางสาวทิวทัศน์ สัตตรัตนขจร

นางสาวธัญลักษณ์ จันทร์พาณิชระวี

นายพงศาธิป ชมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน ..... 2

**บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

2.1 เครื่องฉีดพลาสติก ..... 3

2.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก ..... 5

2.1.2 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก ..... 6

2.2 ชนิดและส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ..... 7

2.2.1 ชนิดของแม่พิมพ์ ..... 8

2.2.2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ..... 9

2.2.3 แม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน ..... 11

2.2.4 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ..... 14

2.2.5 การปลดชิ้นงาน ..... 18

2.3 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ..... 21

2.4 พลาสติก ..... 24

2.4.1 ชนิดของพลาสติกแบ่งตามโครงสร้าง ..... 24

2.4.2 ชนิดของพลาสติกตามคุณสมบัติ ..... 25

2.4.3 ลักษณะของโซ่โมเลกุลในโครงสร้างของพอลิเมอร์ ..... 25

2.4.4 พลาสติกที่ใช้ในการผลิต ..... 26




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

2.4.5 คุณสมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีน ..... 27
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดพลาสติก ..... 28
2.6 โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ..... 33
2.6.1 ประเภทของการเมช ..... 33
2.6.2 Mesh Type ..... 34
2.6.3 การวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ..... 35
2.7 ท่อพลาสติกและมาตรฐาน ..... 41
2.7.1 ท่อพลาสติกชนิดต่างๆ ..... 41
2.7.2 มาตรฐานและการบอกขนาดท่อ ..... 46

**บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน**

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 47
3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ ..... 49
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk MoldFlow 2010 ..... 50
3.4 กระบวนการทำงาน ..... 51

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน**

4.1การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์ ..... 57
4.2 การเลือกแบบหัวฉีดทางเข้าน้ำพลาสติกและทางวิ่ง ..... 58
4.2.1 หัวฉีด ..... 58
4.2.2 ทางเข้าน้ำพลาสติก ..... 60
4.2.3 ทางวิ่งร้อนและมานิโฟลด์ ..... 62
4.3 การหล่อเย็น ..... 64
4.4 การปลดชิ้นงาน ..... 65
4.5 ช่องระบายอากาศ ..... 69
4.6 ชุดคอร์ ..... 71
4.7 แผ่นของแม่พิมพ์ ..... 72
4.8 การเลือกเครื่องฉีดพลาสติก ..... 73




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

4.9 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 74

**บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน**

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน..... 82

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา..... 82

5.2.1 ปัญหา..... 82

5.2.2 แนวทางการแก้ปัญหา..... 83

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 83

**หนังสืออ้างอิง**..... 84

**ภาคผนวก ก**..... ผก

**ภาคผนวก ข**..... ผข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1 รายชื่อส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ..... 10
ตารางที่ 2.2 ชิ้นส่วนของทางวิ่งร้อน ..... 12
ตารางที่ 2.3 ความลึกของช่องระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับวัสดุแต่ละชนิด ..... 17
ตารางที่ 2.4 มาตรฐานของเหล็กกล้าเครื่องมือ ..... 23
ตารางที่ 2.5 การเลือกใช้วัสดุสำหรับทำแม่พิมพ์ ..... 23
ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของพลาสติกชนิดต่างๆ ..... 24
ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกแต่ละชนิด ..... 27
ตารางที่ 2.8 ข้อบกพร่องของชิ้นงานฉีดพลาสติกและวิธีแก้ไข ..... 38
ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของท่อHDPE ..... 43
ตารางที่ 2.10 ชั้นคุณภาพ PE ..... 44
ตารางที่ 2.11 ความเค้นทดสอบสำหรับคำนวณหาค่าความดันทดสอบ ..... 45
ตารางที่ 2.12 ความดันใช้งานที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตลอดอายุการใช้งาน 50 ปี ..... 45
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด80 ..... 51
ตารางที่ 3.2 Mesh Statistics ..... 54
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 ..... 57
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของหัวฉีด รุ่น T10VG ..... 59
ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลของหัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG ..... 60
ตารางที่ 4.4 ขนาดของทางเข้าน้ำพลาสติกรุ่น SB15 ..... 61
ตารางที่ 4.5 ขนาดระยะต่างในส่วนของแมนิโฟลด์และแม่พิมพ์ ..... 63
ตารางที่ 4.6 ขนาดของความหนาของชิ้นงานกับเส้นผ่านศูนย์กลางระบบหล่อเย็น ..... 65
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกชนิดต่างๆ ..... 66
ตารางที่ 4.8 ขนาดมาตรฐานของสลักปลดชิ้นงาน ..... 68




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ A ..... 4
รูปที่ 2.2 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ B ..... 4
รูปที่ 2.3 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ C ..... 4
รูปที่ 2.4 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ D ..... 5
รูปที่ 2.5 เครื่องฉีดพลาสติก ..... 5
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก ..... 7
รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์ แบบ 2 Plate ..... 8
รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์ แบบ 3 Plate ..... 8
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ..... 9
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ..... 10
รูปที่ 2.11 แม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน ..... 11
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของทางวิ่งร้อน ..... 12
รูปที่ 2.13 ลักษณะของ Manifold ..... 13
รูปที่ 2.14 Parting Line Venting ..... 14
รูปที่ 2.15 การทำรูระบายอากาศที่ Core กับ Ejector Sleeve ..... 15
รูปที่ 2.16 การทำรูระบายอากาศที่ Plate Cavity ..... 15
รูปที่ 2.17 หน้าตัด A-A ..... 16
รูปที่ 2.18 Venting แบบปั๊มดูดอากาศ ..... 16
รูปที่ 2.19 แสดงการไหลของน้ำในแม่พิมพ์ทั่วๆไป A:Section B:Delivery ..... 17
รูปที่ 2.20 การใช้แบบ Logic Sheel ..... 17
รูปที่ 2.21 Ejector Pin ..... 18
รูปที่ 2.22 Stepped Ejector Pin ..... 18
รูปที่ 2.23 D-Shaped Ejector Pin ..... 19
รูปที่ 2.24 Sleeve ..... 19
รูปที่ 2.25 Blade Ejection ..... 20
รูปที่ 2.26 Value Ejection ..... 20
รูปที่ 2.27 Air Ejector ..... 20
รูปที่ 2.28 Stripper Bar Ejection ..... 21




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า


รูปที่ 2.29 Stripper Ejection ..... 21
รูปที่ 2.30 ลักษณะโครงสร้างของ Amorphous Thermoplastics ..... 25
รูปที่ 2.31 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ Semi- Crystalline ..... 26
รูปที่ 2.32 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของคริสตัล ..... 26
รูปที่ 2.33 พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน ..... 29
รูปที่ 2.34 เวลาการฉีด ..... 30
รูปที่ 2.35 PvT Diagram of The Course of State ..... 32
รูปที่ 2.36 Element Type ..... 34
รูปที่ 2.37 Midplane ..... 34
รูปที่ 2.38 Fusion ..... 34
รูปที่ 2.39 3D ..... 35
รูปที่ 2.40 วิธีการประกอบท่อ ..... 43
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 48
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ ..... 49
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานใน โปรแกรม SolidWorks ..... 52
รูปที่ 3.4 ชิ้นงานหลักจากเมช ..... 53
รูปที่ 3.5 Element ที่จำเป็นต้องแก้ไข ..... 53
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งทางเข้า ..... 55
รูปที่ 3.7 ทางเข้าและทางวิ่งของน้ำพลาสติก ..... 55
รูปที่ 3.8 ท่อหล่อเย็น ..... 56
รูปที่ 4.1 หัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG ..... 59
รูปที่ 4.2 ทางเข้าน้ำพลาสติกรุ่น SB15 ..... 61
รูปที่ 4.3 บริเวณทางเข้าน้ำพลาสติก ทางวิ่งและหัวฉีด ..... 62
รูปที่ 4.4 ระยะห่างและขนาดของส่วนต่างๆ ภายในส่วนของทางวิ่งร้อน ..... 62
รูปที่ 4.5 การเว้นช่องเผื่อของแม่พิมพ์และแมนิโฟลด์ ..... 64
รูปที่ 4.6 พื้นที่หน้าตัดของพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ ..... 66
รูปที่ 4.7 ลักษณะของสลักปลดชิ้นงาน ..... 68




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.8 ช่องระบายอากาศ ..... 69
รูปที่ 4.9 บริเวณที่เกิดอากาศภายในชิ้นงาน ..... 70
รูปที่ 4.10 บริเวณของตำแหน่งที่มีช่องระบายอากาศ ..... 70
รูปที่ 4.11 ระบบการเลื่อนของชุดคอร์ ..... 71
รูปที่ 4.12 การเลื่อนของคอร์และการหลุดออกของชิ้นงาน ..... 72
รูปที่ 4.13 เวลาการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ..... 75
รูปที่ 4.14 ความดันฉีด ณ ช่วงเวลาการฉีด ..... 75
รูปที่ 4.15 อัตราการยุบตัว ..... 76
รูปที่ 4.16 การฉีดตามแบบ ..... 76
รูปที่ 4.17 การหดตัว ..... 77
รูปที่ 4.18 การโก่งตัวในแนวแกน X ..... 78
รูปที่ 4.19 การโก่งตัวในแนวแกน Y ..... 79
รูปที่ 4.20 การโก่งตัวในแนวแกน Z ..... 80
รูปที่ 4.21 อัตราการหดตัว ..... 81




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

**1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

เนื่องจากในปัจจุบันพลาสติกถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันตามบ้านเรือน สำนักงาน หรือในภาคอุตสาหกรรม ที่เป็นเช่นนั้นเพราะพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น โดยกระบวนการการผลิตในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปพลาสติกที่ได้รับความนิยมมีหลายวิธี อาทิเช่น การฉีดขึ้นรูป การดันขึ้นรูป การเป่าขึ้นรูป ฯลฯ ซึ่งการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะเป็นวิธีที่ขึ้นรูปได้ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบอย่างง่ายหรือรูปแบบที่มีลักษณะซับซ้อนและเหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมซึ่งต้องการกำลังผลิตจำนวนมาก โดยโครงงานนี้จะนำการจำลองการฉีดขึ้นรูปแล้วทำการวิเคราะห์ เพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติก เพราะท่อเป็นสิ่งที่ใช้ในระบบสาธารณูปโภคของทุกครัวเรือน ซึ่งวัสดุทั่วไปที่นิยมนำมาขึ้นรูปเป็นท่อในปัจจุบันคือ พอลิไวนิลคอไรด์ (PVC) ซึ่งท่อพอลิไวนิลคอไรด์ มีข้อเสียคือ เปราะ กรอบ และแตกหักง่าย ไม่ทนทานต่อแรงกระแทกและแสงแดดหรือแสงยูวี (UV) [1] อาจเกิดการปนเปื้อนจากสารตกค้างของไวนิลคลอไรด์ ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งของระบบอวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะตับ [2] ทำให้ทางบริษัท เอสซีจี พลาสติกส์ จำกัดมีความสนใจที่จะนำพอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) มาเป็นวัสดุในการทำท่อพลาสติกแทนการใช้พอลิไวนิลคอไรด์ ซึ่งข้อดีของพอลิเอทิลีน คือ น้ำหนักเบาเพียง 2ใน3 ของท่อพีวีซี โค้งงอได้ดี ทนทานต่อแสงแดด แรงกด แรงกระแทก และสารเคมี แรงเสียดทานในท่อต่ำ การไหลตัวได้ดี และปราศจากสารพิษเจือปน [3] โดยการต่อท่อที่ทำมาจากพอลิเอทิลีนไม่สามารถใช้กาวได้เนื่องจากเมื่อท่อพอลิเอทิลีนสัมผัสกับกาว จะทำให้พอลิเอทิลีนละลายดังนั้นการจะใช้ท่อพลาสติกที่ทำมาจากพอลิเอทิลีนได้นั้นต้องมีข้อต่อที่สามารถต่อท่อเข้าด้วยกันได้โดยไม่ต้องใช้กาว ข้อต่อท่อพลาสติกแบบนี้จะสะดวกในการถอดเปลี่ยน ซ่อมบำรุง ซึ่งในประเทศไทยมีการผลิตภัณฑ์ท่อพลาสติกพอลิเอทิลีนใช้ยังไม่แพร่หลายมากนัก ในการศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกนี้ ข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นในตัวชิ้นงานจึงเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้สามารถออกแบบแม่พิมพ์ที่ทำให้ตัวชิ้นงานมีความสมบูรณ์มากที่สุดโดยให้เกิดข้อบกพร่องเหล่านี้ขึ้นน้อยที่สุด คือ การโค้งงอของชิ้นงาน (Warpage) การเกิดฟองอากาศ (Air Trap) รอยประสาน (Weld Line) รอยยุบ (Sink Marks) ฉีดไม่เต็มแบบ (Short Short) รอยพ่น (Jetting) รอยการไหล (Flow Line) และ การแตกหัก (Cracking) โดยปกติทั่วไปการจะวิเคราะห์ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับการสร้างแม่พิมพ์นั้น จะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งบางครั้งอาจจะเกิดข้อบกพร่องที่ไม่สามารถรู้ได้หากยังไม่ได้ทำการทดลองฉีดในแม่พิมพ์จริง จึงทำให้สิ้นเปลืองทั้งวัสดุในการสร้างแม่พิมพ์ พลาสติกในการนำมาทดลองฉีด เวลา และงบประมาณ ทำให้ในปัจจุบันมีการนำโปรแกรม ต่างๆมาใช้ช่วยในการจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์การฉีดพลาสติกและช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ โดยในโครงงานนี้จะนำโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมนี้เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองกระบวนการฉีดพลาสติกในคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า Computer Aided Engineering (CAE) ที่มีประสิทธิภาพ นำมาช่วยวิเคราะห์หา Molding Windows และปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยตัวโปรแกรมจะสามารถระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นในการฉีดพลาสติกและตำแหน่งที่จะเกิดข้อบกพร่องได้ เช่น การโค้งงอของชิ้นงาน การเกิดฟองอากาศ การหดตัวของชิ้นงานและรอยต่อ เป็นต้น ซึ่งในโครงงานนี้จะนำค่าตัวแปรและผลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องไปทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยจะกำหนดค่าที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปให้กับแม่พิมพ์และพลาสติก ซึ่งจะใช้เม็ดพลาสติกชนิด PE80 ของบริษัท เอสซีจี พลาสติกส์ จำกัด เป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติก

**1.2 วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพอลิเอทิลีนเกรด80
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพอลิเอทิลีนเกรด80
3. เพื่อแก้ไขปัญหากระบวนการฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด80โดยใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010

**1.3 ขอบเขตของโครงงาน**

ออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกสามทางขนาดเข้า 25 มิลลิเมตร ออก 20 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรมการจำลองการฉีดขึ้นรูปพลาสติก Autodesk Moldflow 2010 ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ซึ่งได้แก่ เวลาในการหลอมเหลว (Melting Temperature) เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) ความดันย้ำ (Packing Pressure) เวลาในการฉีดย้ำ (Packing Time) เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding Time) และ ความดันตาม (Holding Pressure) ในการจำลองการฉีดขึ้นรูปจะต้องเกิดข้อบกพร่องเหล่านี้ขึ้นน้อยที่สุด คือ การโค้งงอของชิ้นงาน การเกิดฟองอากาศ รอยประสาน รอยยุบ ฉีดไม่เต็มแบบ รอยพ่น รอยการไหล และ การแตกหัก โดยใช้วัสดุคือ เม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเกรด 80 ของบริษัท เอสซีจี พลาสติกส์ จำกัด

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. เป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ในอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตที่คล้ายคลึงกัน
2. สามารถออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกได้อย่างเหมาะสม
3. สามารถนำความรู้และเทคนิคที่ได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปข้อต่อท่อพลาสติกไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นกระบวนการที่นิยมในการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้หลากหลายและซับซ้อน โดยจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป ซึ่งโดยทั่วไปแม่พิมพ์ในการฉีดจะมีองค์ประกอบที่มีส่วนต่างๆ ที่เหมาะสมกับการกำหนดปัจจัยเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการฉีดขึ้นรูป โดยการออกแบบแม่พิมพ์เพื่องานฉีดจะต้องรู้ส่วนต่างๆ และองค์ประกอบที่จำเป็น เกี่ยวกับชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานในการฉีดที่สมบูรณ์ โดยในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ จะมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย

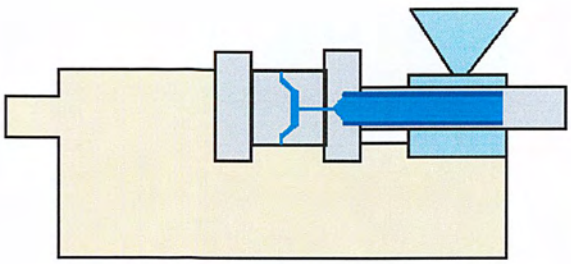
1. เครื่องฉีดพลาสติกและกรรมวิธีการฉีดขึ้นรูปพลาสติก
2. ชนิดและส่วนประกอบของแม่พิมพ์
3. วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์
4. ชนิดของพอลิเมอร์และพลาสติกที่ใช้
5. ปัจจัยที่มีผลต่อการฉีด
6. โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010
7. ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการฉีดขึ้นรูป
8. ท่อและมาตรฐาน

## 2.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)

ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์โมพลาสติกนั้น ได้มีการใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกหลายรูปแบบด้วยกัน แต่ตามหลักการแล้วเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหลายจะแตกต่างกันเฉพาะรูปแบบ วัสดุที่ใช้ ระบบส่งกำลัง ส่วนจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้งานนั้นจะคล้ายกันมาก โดยเครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 4 รูปแบบ คือ

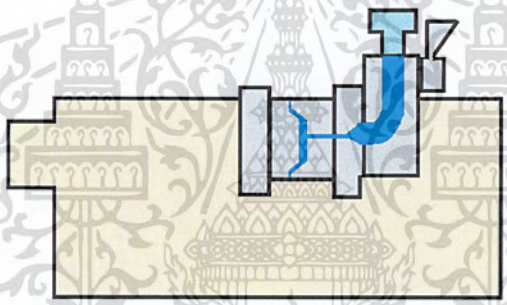
**แบบA** เป็นแบบทำงานตามแนวนอนพลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอน ตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์โดยชุดฉีดและหน่วยเปิด-ปิดแบบ อยู่ในทิศทางเดียวกัน แบบนี้จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



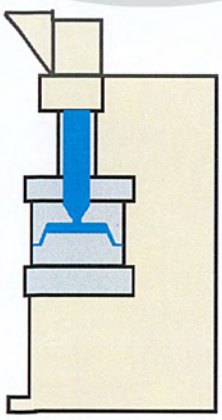
รูปที่ 2.1 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ A [4]

**แบบ B** เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้ง แต่พลาสติกไหลเข้าแม่พิมพ์ใน แนวนอน โดยพลาสติกเหลวออกจากกระบอกสูบในแนวดิ่ง แล้วจะ เปลี่ยนทิศทางไป 90 องศา ไปอยู่ในแนวนอนและไหลเข้าแบบใน แนวตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบเช่นเดียวกับแบบ A ส่วนแบบ B นั้นเป็นการออกแบบพิเศษในกรณีที่การทำงานสภาพปกติไม่สะดวกหรือเหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัดดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ B [4]

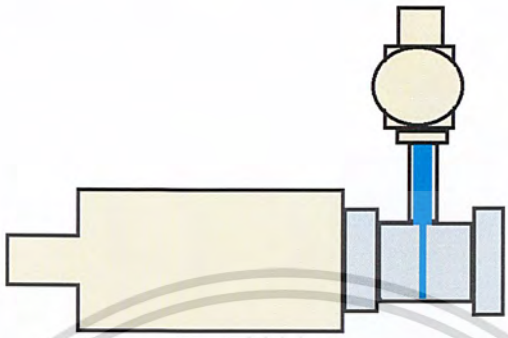
**แบบ C** เป็นแบบทำงานในแนวดิ่ง โดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งเข้าในแม่แบบในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิด-ปิดแบบดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ C [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

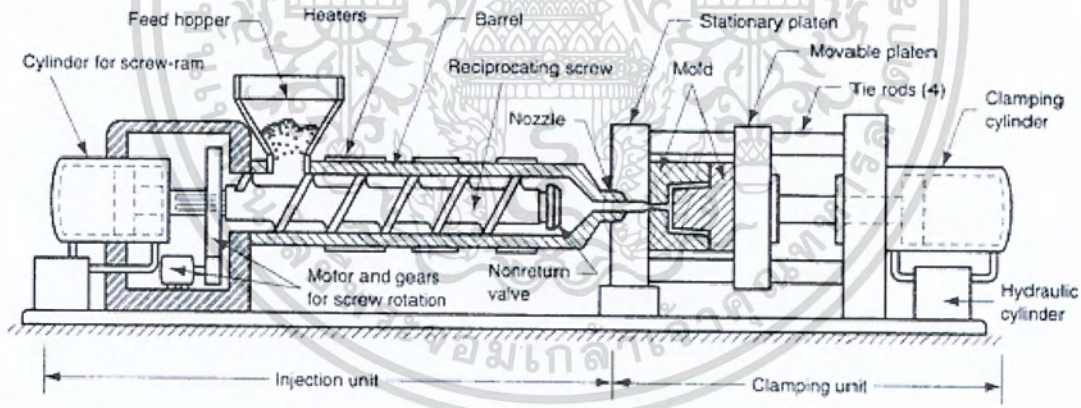
**แบบ D** เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่ง พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิด-ปิดแบบหรืออยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่แบบ เครื่องฉีด แนวดิ่ง แบบ C และ D โดยปกติจะออกแบบไว้สำหรับการฉีดหุ้มชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เช่น ด้ามมีด ด้ามไขควง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ D [4]

**2.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก**

โดยทั่วไปแล้ว เครื่องฉีดพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 2.5




รูปที่ 2.5 เครื่องฉีดพลาสติก [4]

จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

2.1.1.1 <u>ส่วนชุดฉีด (Injection Unit)</u>

ทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลว แล้วส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด ช่วยในการฉีดรักษาความดันย้ำ มีโครงสร้างพื้นฐานดังต่อไปนี้

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นช่องทางออกของพลาสติกหลอมจากกระบอกฉีดและไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ผ่านทางปลอกนำฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลูกสูบและเกลียวหนอน เป็นส่วนที่ช่วยส่งความดันสูงให้พลาสติกที่มีความหนืดสามารถผ่านช่องทางแคบๆ เข้าสู่แม่พิมพ์
- กระบอกหลอมพลาสติก (Barrel) มีลักษณะเป็นท่อหนาที่มีส่วนให้ความร้อน (Heater) หุ้มอยู่ ทำหน้าที่หลอมและผสมพลาสติก ให้เป็น เนื้อเดียวกัน
- แถบให้ความร้อน (Heater Bands) คือ ส่วนที่อยู่ภายในกระบอกสูบที่สามารถปรับอุณหภูมิให้ความร้อนใน แต่ละช่วงภายในกระบอกสูบได้
- กรวยเติมพลาสติก (Hopper) มีลักษณะเป็นกรวยขนาดใหญ่ เป็นส่วนที่ใช้บรรจุเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่ง เพื่อป้อนเข้าเครื่องฉีดพลาสติก
- ลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) เป็นตัวช่วยให้ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้า – ออกจากแม่พิมพ์
- มอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Drive Motor) มอเตอร์ขับสกรู สำหรับหมุนสกรูและขับดันสรู เพื่อฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์

2.1.1.2 <u>ส่วนชุดปิด – เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)</u>

ทำหน้าที่เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ โดยปกติแม่พิมพ์จะมีสองด้านประกบกัน โดยด้านที่พลาสติกเข้าจะเป็นด้านที่อยู่กับที่ และอีกด้านจะเป็นด้านเคลื่อนที่ มีโครงสร้างหลักๆดังนี้

- แม่พิมพ์ (Mold) เป็นชิ้นส่วนที่มีโพรงแบบอยู่ภายในมีรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต
- ตัวจับยึด (Clamping Unit) ตัวจับยึดจะทำหน้าที่เปิด-ปิด โมลโดยอัตโนมัติ และจะคลายโมลเมื่อฉีดเสร็จ โดยใช้ระบบ Hydraulic หรือ Hydro Mechanical
- เหล็กยึด (Tie Bar) คือแกนที่ใช้ในการจับยึดส่วนของโมลและPlatenให้อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ได้โดยไม่เสียหาย
- ตัวปลดชิ้นงาน (Ejector) ตัวคลายตัวจับยึด ทำหน้าที่เปิด-ปิด โมลโดยอัตโนมัต
- แท่งยึด (Platen) แท่งที่ใช้จับยึดโมลควบคุมโดยชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์

2.1.1.3 <u>ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)</u>

มีหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ อีกทั้งยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่อง จะทำด้วยเหล็กเหนียว ที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมากๆได้ดี

**2.1.2 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก**

การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกจะมีขั้นตอนพื้นฐาน 9 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.6 คือ

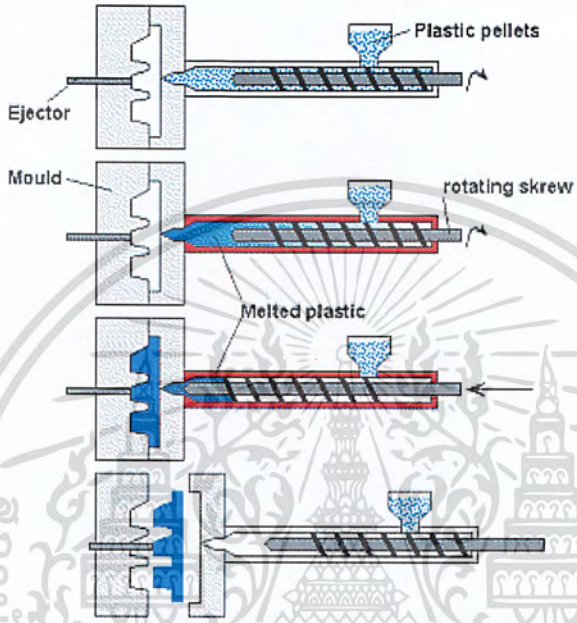
1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิดและล็อคแน่นด้วยความดันที่สูงมากเพื่อป้องกันการเผยอด้วยแรงด้านภายในแม่พิมพ์
2. ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด
3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ ด้วยสกรูที่เคลื่อนที่ตามแนวแกน
4. ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น และไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน
5. หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์โดยที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร
6. การหลอมและป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวที่ต้องการแล้วเกลียวหน้อนจะหยุดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้

8. แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น

9. ทำการปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว




รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก [4]

## 2.2 ชนิดและส่วนประกอบของแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติก มีอยู่หลายชนิด ซึ่งทำให้ยากต่อการจำแนกชนิดได้อย่างชัดเจน โดยการจะกำหนดการแบ่งชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ตามแบบโครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานได้โดยดูจากสิ่งเหล่านี้

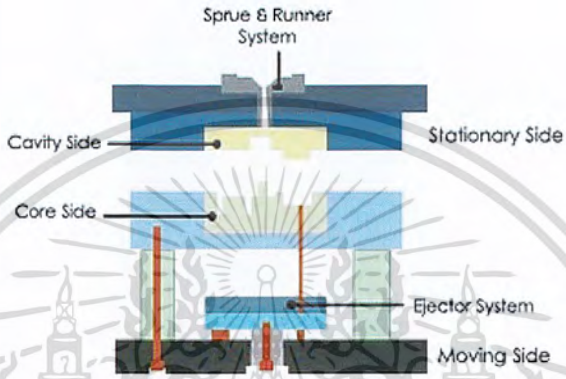
- ชนิดของรูเข้า(Gate) และทางวิ่ง (Runner)
- ชนิดของการปลดชิ้นงาน
- มีหรือไม่มี Undercut และ Slide Core
- ชนิดของตัวกระทุ้งชิ้นงาน (Ejection)
- ระบบขั้นตอนการเคลื่อนที่ของอร์และโพรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.1 ชนิดของแม่พิมพ์**

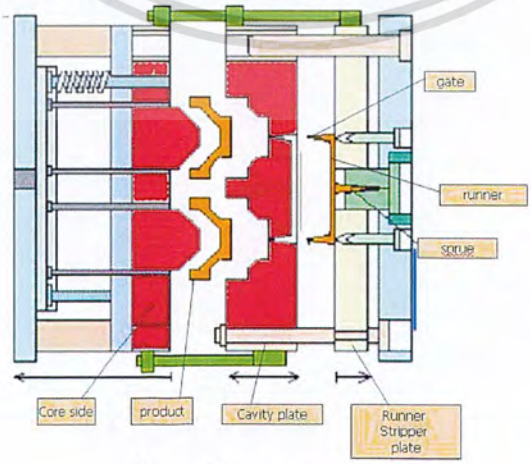
เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างพื้นฐานของแม่พิมพ์ ก็จะทำให้เราสามารถแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็น กลุ่มชนิดของแม่พิมพ์ตามโครงสร้างพื้นฐานได้ ดังนี้

แม่พิมพ์ 2 Plate (Two Plate Mold ) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในระหว่างรอบการฉีด แม่พิมพ์จะเปิดออกที่ระนาบเดียว ระนาบของการเปิดหรือที่เรียกว่าเส้นแบ่ง (Parting Line) ฉีดชิ้นงานทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นทางเดียว แบบทางวิ่งเย็น หรือ แบบหลายทางแบบทางวิ่งร้อน โครงสร้างแม่พิมพ์จะประกอบด้วยด้าน 2 ด้าน คือ ด้าน Cavity Mold และด้าน Core Mold ซึ่งจะมีระบบปลดชิ้นงานที่แตกต่างกันตามลักษณะรูปร่าง และข้อกำหนดของชิ้นงาน




รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์ แบบ 2 Plate [5]

แม่พิมพ์ 3 Plate ( Three Plate Mold) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 คือแม่พิมพ์จะเปิดออกในสองระนาบส่วนที่อยู่กับของแม่พิมพ์จะประกอบด้วย แผ่นสองแผ่นแม่พิมพ์ 3 Plate มักจะใช้รูปเข้าแบบเข็มแม่พิมพ์ลักษณะนี้จะเป็นแม่พิมพ์ที่ฉีดชิ้นงานที่มีทางเข้าน้ำพลาสติกหลายทางในชิ้นเดียว หรือแม่พิมพ์เดียวต้องการหลายชิ้นงานโดยต้องการให้ทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นฉีดแบบทางวิ่งเย็น ซึ่งยอมให้เห็นรอยจุดฉีด ได้เพียงเล็กน้อยบนชิ้นงาน แต่ในบางกรณีก็มีการออกแบบให้มีโครงสร้างและการทำงานในลักษณะเป็นแม่พิมพ์ 3 Plate เพื่อที่จะอาศัยกระบวนการทำงานของแม่พิมพ์ 3 Plate ที่มีการเคลื่อนที่ในCavity Plateเป็นตัวขับระบบปลดUndercut ให้ด้านCavity Moldทำงานซึ่งจะไม่มี Runner Stripper Plate แม่พิมพ์แบบนี้จะเรียกว่า แม่พิมพ์ 2 Plate หรือแม่พิมพ์แบบสพลิต Cavity



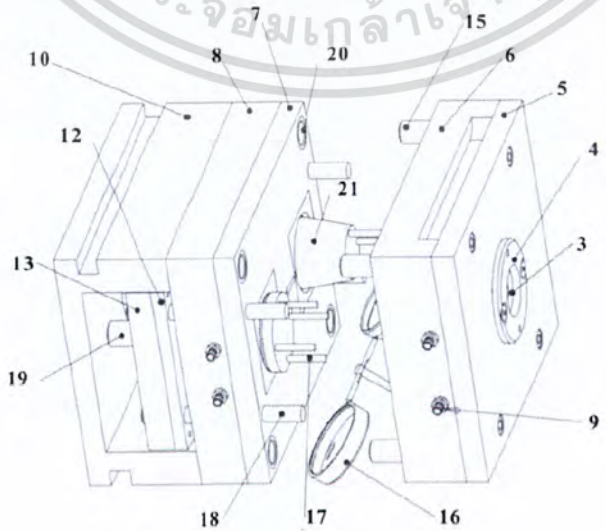

รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์ แบบ 3 Plate [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 ส่วนประกอบและหน้าที่ชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์**

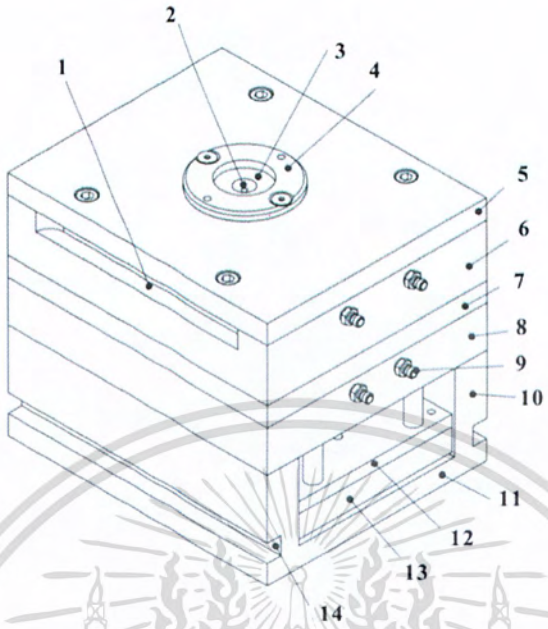
- Top Clamp Slot และ Rear Clamp Slot เป็นช่องไว้ยึดแม่พิมพ์ให้ติดกับเครื่องฉีดโดยส่วน Top Clamp Slot เป็นส่วนที่ยึดติดกับกระบอกฉีดและส่วน Rear Clamp Slot เป็นส่วนที่ยึดติดกับส่วนที่เคลื่อนที่
- Top Clamp Plate และ Rear Clamp Plate เป็นแผ่นที่ยึดแม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่เข้ากับหน้าแปลนของเครื่องฉีด โดย Top Clamp Plate จะยึดกับส่วนที่อยู่กับที่ โดย Rear Clamp Plate ยึดติดกับส่วนที่มีการเคลื่อนที่
- Guide Pin และ Guide Bushing เป็นส่วนที่นำเลื่อนแม่พิมพ์ให้เคลื่อนที่เข้าออกและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
- Locating Ring เป็นส่วนช่วยบังคับให้แม่พิมพ์ติดตั้งได้ศูนย์กับหัวฉีดของเครื่องฉีด
- Sprue Orifice เป็นช่องทางเข้าของน้ำพลาสติก ก่อนที่จะผ่าน Runner เข้าสู่แบบ
- Sprue Bushing เป็นทางวิ่งของพลาสติกจากเครื่องฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์โดยส่วนของปลายหัวฉีดจะสัมผัสกับปลอกรูฉีดพอดี
- Plastic Molding ชิ้นงานที่ได้ออกมาจากแม่พิมพ์ที่ฉีดขึ้นรูปเสร็จแล้ว
- Cavity Plate เป็นแผ่นของช่องว่างเพื่อ ให้น้ำพลาสติกไหลเข้ามาขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน
- Core Plate เป็นแผ่นที่ทำให้เกิดช่องว่าง หรือส่วนที่กลวงในชิ้นงาน
- Cooling Plug เป็นช่องไว้ต่อกับน้ำหล่อเย็น ช่วยให้ชิ้นงานเย็นตัวได้เร็วขึ้น
- Support Plate เป็นแผ่นรองรับส่วนของ Ejector Return Pin และ Ejector Pin
- Support Pillars ไว้รองรับแผ่นCore Plate เพื่อป้องกันการแอ่นของ Core Late
- Ejector Housing เป็นส่วนของแม่พิมพ์ที่ทำหน้าที่รองรับแผ่นแม่พิมพ์หรือแผ่นยึดแม่พิมพ์และจัดเตรียมช่องว่างที่แผ่นประกอบตัวปลดสามารถประกอบเข้าไปและทำงานได้
- Ejector Retainer Plate เป็นแผ่นยึดชิ้นส่วนของตัวปลดชิ้นงาน
- Ejector Plate เป็นแผ่นชิ้นส่วนสำหรับตัวปลดชิ้นงาน
- Ejector Pin สลักดันปลดชิ้นงานด้วยแรงจาก เพลาดันปลด ไว้ดันชิ้นงานออกจากแม่แบบ
- Ejector Return Pin คือส่วนที่มีหน้าที่ทำให้ระบบปลดชิ้นงานกลับเข้าที่เวลาปิดแม่พิมพ์แล้ว

ส่วนประกอบของแม่พิมพ์แสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 หมายเลขแสดงส่วนประกอบของแม่พิมพ์แสดงในตารางที่ 2.1




รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ (a) [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ (b) [7]

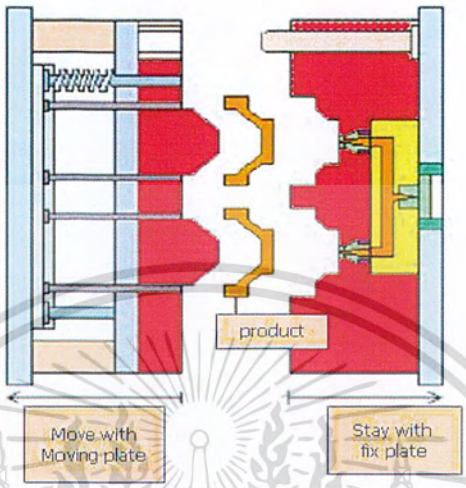
ตารางที่ 2.1 รายชื่อส่วนประกอบของแม่พิมพ์ [7]

| No. | Part | No. | Part | No. | Part |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Top Clamp Slot | 8 | Support Plate | 15 | Guide Pin |
| 2 | Sprue Orifice | 9 | Cooling Plug | 16 | Plastic Molding |
| 3 | Sprue Bushing | 10 | Ejector Housing | 17 | Ejector Pin |
| 4 | Locating Ring | 11 | Rear Clamp Plate | 18 | Ejector Return Pin |
| 5 | Top Clamp Plate | 12 | Ejector Retainer Plate | 19 | Support Pillar |
| 6 | Cavity Plate | 13 | Ejector Plate | 20 | Guide Bushing |
| 7 | Core Plate | 14 | Rear Clamp Slot | 21 | Core |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.3 แม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน**

แม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน แม่พิมพ์ชนิดนี้เป็นแม่พิมพ์ที่ช่วยประหยัดเนื้อพลาสติกที่สูญเสียไปกับระบบทางวิ่งและทางเข้า โดยหลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.11

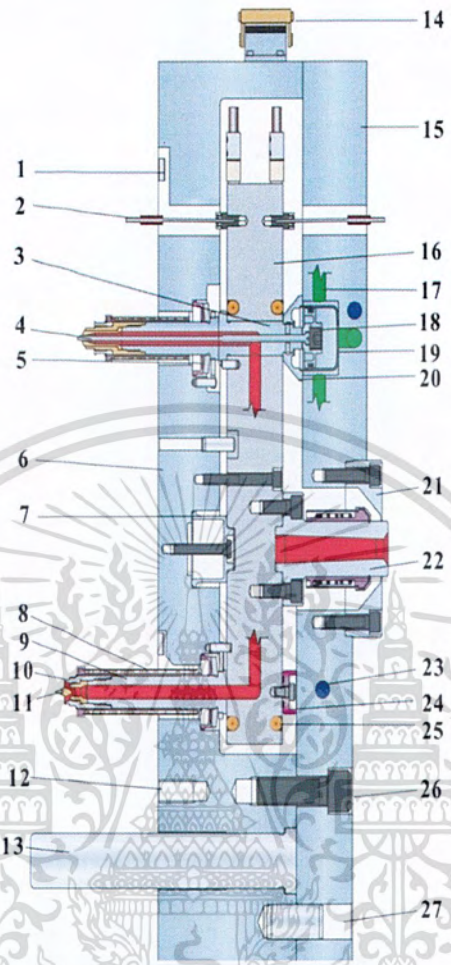



รูปที่ 2.11 แม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน [6]

จากรูปจะเห็นว่ามีแผ่นให้ความร้อนที่เราเรียกว่า Hot Pate ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ติดอยู่ในส่วนที่เป็นระบบทางวิ่งโดยขณะทำการฉีด น้ำพลาสติกจะไหลเข้าแม่พิมพ์ทางรูฉีดแล้วไหลเข้าทางวิ่ง จากนั้นจะผ่านทางเข้าแล้วเข้าสู่โพรงแบบของแม่พิมพ์ หลังจากนั้นชิ้นงานพลาสติกในโพรงแบบจะแข็งตัวแต่พลาสติกในทางวิ่งที่แผ่นให้ความร้อน (Hot Plate) จะไม่แข็งตัวเพราะจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวดังในการทำงานในวงรอบถัดไปเมื่อมีการจัดน้ำพลาสติกผ่านเข้ามาทางรูฉีดพลาสติกเหลวที่ค้างอยู่ที่แผ่นให้ความร้อนจะถูกอัดให้ไหลเข้าไปในโพรงแบบ ดังนั้นจึงไม่มีส่วนของระบบทางวิ่งและทางเข้าที่เป็นของเสียออกมาในการผลิตแต่ละครั้งทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูปทางวิ่งร้อนและส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 2.12 และ ตารางที่ 2.2




รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของทางวิ่งร้อน [8]

ตารางที่ 2.2 ชิ้นส่วนของทางวิ่งร้อน [8]

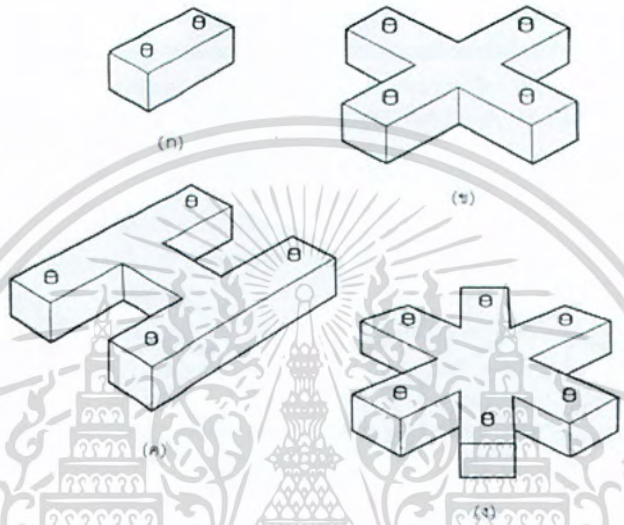
| No. | Part | No. | Part | No. | Part |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Wire Clip | 10 | Tip Retainer | 19 | Cylinder |
| 2 | Manifold Thermocouple | 11 | Tip Insert | 20 | Backup Pad |
| 3 | Manifold Bushing | 12 | Cavity Interface Tap | 21 | Locating Ring |
| 4 | Valve Stem | 13 | Guide Pin | 22 | Sprue Bushing |
| 5 | Ultra Seal | 14 | Electrical Connector | 23 | Plate Cooling |
| 6 | Manifold Plate | 15 | Backing Plate | 24 | Backup Insulator Pad |
| 7 | Center Locating Insulator | 16 | Manifold | 25 | Manifold Heater |
| 8 | Nozzle Heater | 17 | Air Line | 26 | Plate Bolt |
| 9 | Nozzle Housing | 18 | Piston | 27 | Plate Alignment Dowel |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพแสดงให้เห็นถึงลักษณะของระบบทางวิ่งร้อน และชิ้นส่วนต่างๆ ที่แสดงในตาราง ส่วนที่สำคัญของทางวิ่งร้อนจะมี ดังนี้

**แมนิโฟลด์ (Manifold)**

แมนิโฟลด์เป็นส่วนที่อยู่ภายในโครงสร้างของแม่พิมพ์ โดยกล่องแมนิโฟลด์ (Manifold) จะมีฉนวนกั้นแยกจากส่วนอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13ของแม่พิมพ์และมีการควบคุมระดับอุณหภูมิให้สม่ำเสมอโดยจะมี Manifold Thermocouple ช่วยวัดอุณหภูมิให้คงที่ เพื่อให้เนื้อพลาสติกที่อยู่ในรูวิ่งมีสภาวะหลอมเหลวอยู่เสมอ



รูปที่ 2.13 ลักษณะของ Manifold [9]

**หัวฉีด (Nozzle)**

ส่วนของหัวฉีดที่ ฉีดเข้าไปในชิ้นงานโดย ส่วนของหัวฉีดจะมี Heater เพื่อให้ความร้อน พลาสติกจึงมีการหลอมเหลวอยู่เสมอ ซึ่งในภาพได้แสดงหัวฉีดไว้ 2 ชนิดคือ มีดังนี้

1) Shut-off Nozzles หัวฉีดในลักษณะนี้จะมี Valve Stem คอยเปิด-ปิด ช่องทางของน้ำพลาสติก โดยจะมี ลูกสูบ (Piston) และกระบอกสูบ(Cylinder) คอยขับดันตัว Valve Stem
2) Open Hot Runner Nozzles หัวฉีดแบบเปิดหัวฉีดนี้จะมี Tip Retainer และ Tip Insert บริเวณหัวฉีด เป็นส่วนที่ควบคุมไม่ให้น้ำพลาสติกไหลออกไป จึงไม่มีกระบอกสูบและ Valve Stem ปิดเหมือนกับ Shut-off Nozzles

**การเลือกขนาดของหัวฉีด**

การเลือกขนาดของหัวฉีด ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน จะต้องพิจารณาตามข้อมูลต่อไปนี้

- น้ำหนักของชิ้นงาน และ อัตราการฉีด
- ชนิดของพลาสติกและสารเติมแต่ง
- จุดฉีดและรอยจุดฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.4 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Venting)**

เมื่อทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ พลาสติกเหลวที่ฉีดจะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในแม่พิมพ์ อากาศที่อยู่ในแม่พิมพ์จะถูกน้ำพลาสติกไล่ไอยู่ที่ใดที่หนึ่งของแม่พิมพ์ เมื่ออากาศรวมตัวกันและถูกแรงดันจากการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไป อากาศจะมีแรงต้านเกิดขึ้น ทำให้พลาสติกเหลวไม่สามารถเข้าไปแทนที่ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียแก่ชิ้นงานได้ เพราะฉะนั้นต้องทำรูระบายอากาศเรียกว่า Air Vent ซึ่งรูระบายอากาศมีความจำเป็นมากในแม่พิมพ์ฉีด เช่น แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก แม่พิมพ์ฉีดอลูมิเนียม

2.2.4.1 <u>ความสำคัญของรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก</u>

ข้อดีของรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีด คือ

-ทำให้เนื้อพลาสติกเข้าไปแทนที่ได้ทุกส่วนของชิ้นงาน

-ไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยไหม้

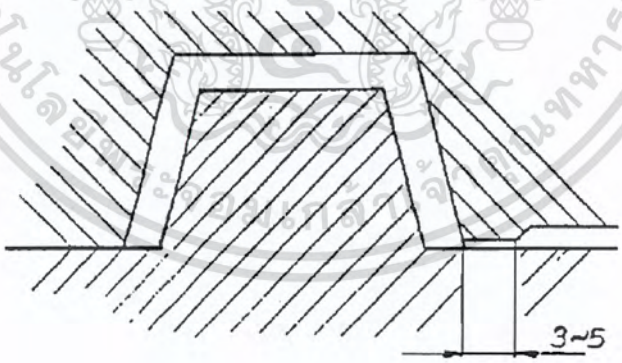
-เพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน

2.2.4.2 <u>ตำแหน่งของรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก</u>

การกำหนดตำแหน่งของรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือ รูปร่างของชิ้นงาน การออกแบบแม่พิมพ์ และทางเข้าของน้ำพลาสติกหรือเกจ (Gate) ตามลำดับเราจึงสามารถกำหนดตำแหน่งของ รูระบายอากาศได้ ในบางครั้งการทำรูระบายอากาศเราจะทำหลังการฉีดทดสอบแล้ว เพราะรูระบายอากาศอาจทำไม่เพียงพอ แต่ในปัจจุบันมีคอมพิวเตอร์ที่สามารถจะวิเคราะห์ตำแหน่งของการระบายอากาศได้อย่างสมบูรณ์

การกำหนดตำแหน่งและชนิดของรูระบายอากาศทั่วๆไปมีดังต่อไปนี้

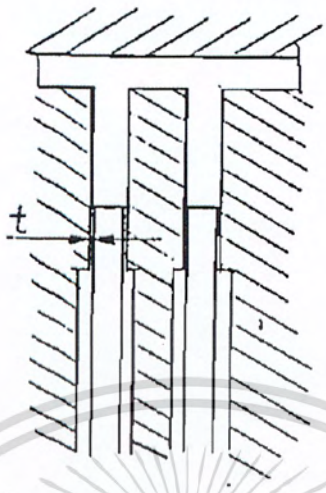
1. การกำหนดตำแหน่งที่แม่พิมพ์ หรือ Parting Line แสดงในรูปที่ 2.14




รูปที่ 2.14 Parting Line Venting [10]

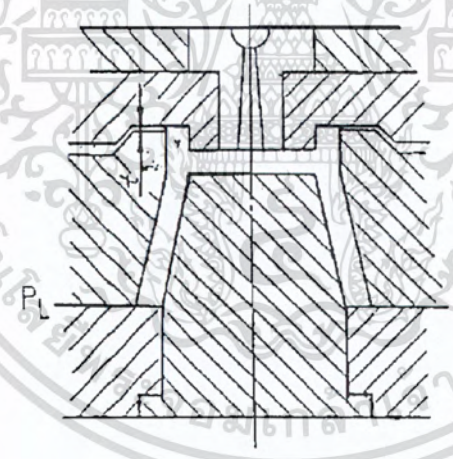
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำรูระบายอากาศที่ Core ดังแสดงในรูปที่ 2.15




รูปที่ 2.15 การทำรูระบายอากาศที่ Core กับ Ejector Sleeve [10]

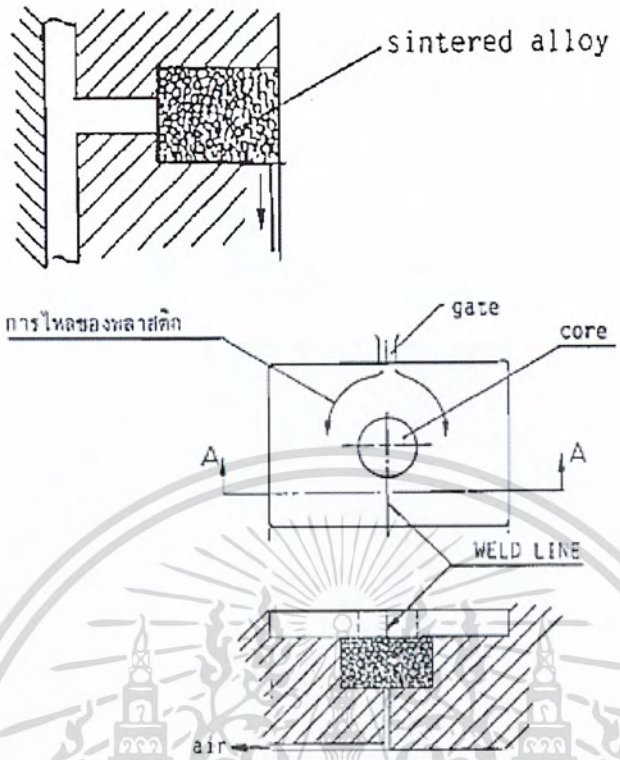
3. การทำรูระบายอากาศที่แผ่น Cavity Plate ดังแสดงในรูปที่ 2.16




รูปที่ 2.16 การทำรูระบายอากาศที่ Plate Cavity [10]

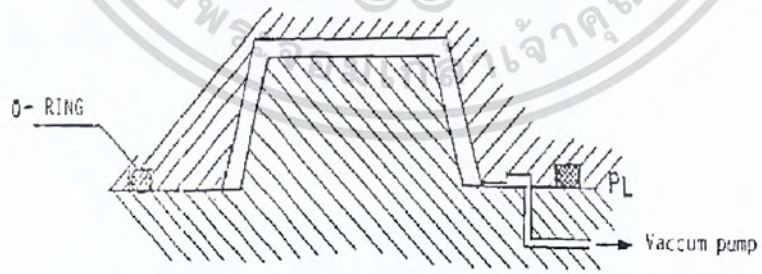
4. รูระบายอากาศชนิดที่ใช้โลหะ Sintered Alloy ดังแสดงในรูปที่ 2.17 การระบายอากาศแบบนี้จะใช้เมื่อไม่สามารถระบายอากาศด้วยวิธีอื่นได้โลหะ Sinter Alloy ส่วนมากจะใช้บรอนซ์ ทองแหลืองในบางครั้งอาจใช้ทองแดง แต่ข้อเสียของทองแดงคืออ่อนเกินไปหรืออาจใช้สแตนเลสก็ได้แต่สแตนเลสมีราคาค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูป 2.17 หน้าตัดA-A [10]

5. การระบายอากาศโดยสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 2.18 การระบายอากาศจะใช้ปั๊มดูดอากาศออกจากแม่พิมพ์ แล้วฉีดพลาสติกเหลวเข้าไป การใช้ปั๊มอากาศดูดออกนี้จะใช้ความดันเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.005 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หรือประมาณ 50 มิลลิเมตรของน้ำ หลักการนี้นำไปใช้ในการฉีดแผ่น CD (Compack Disk)

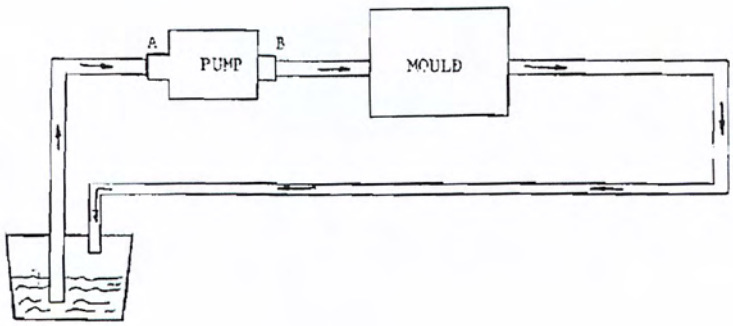



รูปที่ 2.18 Venting แบบปั๊มดูดอากาศ [10]

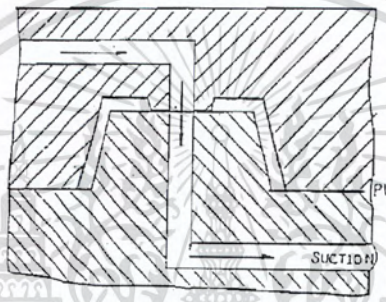
6. การระบายอากาศแบบ Logic Sheel การระบายอากาศแบบนี้ได้ทำการทดลองใช้ในประเทศอเมริกาเป็นครั้งแรก ซึ่งสร้างโดยบริษัท LOGIC DEVICE และได้นำไปใช้ในประเทศญี่ปุ่น เมื่อประมาณปี 2522(1979) การระบายอากาศแบบนี้จะใช้ในแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก โดยเอาท่อ Section ของปั๊มต่อเข้ากับแม่พิมพ์ด้านที่ระบายน้ำร้อนออกจากแม่พิมพ์ และต่อที่ระบายความร้อนด้านเข้ากับแม่พิมพ์เข้ากับแหล่งโดยตรง ดังแสดงรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง




รูปที่ 2.19 แสดงการไหลของน้ำในแม่พิมพ์ทั่วๆไป A:Section B:Delivery [10]




รูปที่ 2.20 การใช้แบบ Logic Sheel [10]

ขนาดรูระบายอากาศของแม่พิมพ์ที่ใช้กับพลาสติกแต่ละชนิดควรมีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความลึกของช่องระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับวัสดุแต่ละชนิด [10]

| ชนิดของพลาสติก | ความลึก (มิลลิเมตร) | ชนิดของพลาสติก | ความลึก (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|---|
| ABS | 0.01-0.03 | PP | 0.01-0.025 |
| POM | 0.01-0.02 | PS | 0.01 |
| PPD | 0.02-0.03 | SB | 0.03 |
| PPS | 0.01-0.03 | PC | 0.02-0.03 |
| SAN | 0.03 | PE | 0.01-0.03 |
| ASA | 0.03 | PE | 0.01-0.025 |
| PVC | 0.03-0.05 | PA | 0.01-0.03 |
| PBTP | 0.01-0.03 | Nylon | 0.05-0.015 |

119343
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรคำนึงในการทำรูระบายอากาศ

1.จะต้องคำนึงถึงความหนืดของพลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งมีปัจจัยดังนี้

- อุณหภูมิแม่พิมพ์
- อุณหภูมิพลาสติก
- ความดันในการรีด

2.อุณหภูมิที่ตำแหน่งรูระบายอากาศ

3.ความดันที่โพรงแบบ

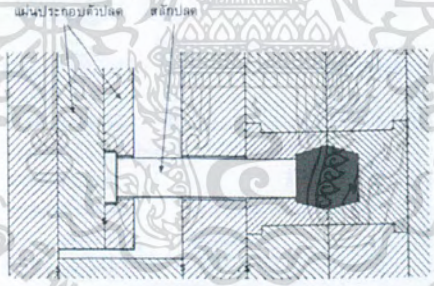
**2.2.5 การปลดชิ้นงาน**

การจะนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ หลังจากชิ้นงานได้แข็งตัวแล้ว ต้องอาศัยระบบปลดชิ้นงาน (Ejector System) ซึ่งกลไกการปลดชิ้นงานนั้นจะมีการ นำแรงดันให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์ซึ่งโดยทั่วไประบบการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จะประกอบไปส่วนใหญ่ๆ คือ ชุดกระทุ้ง (Ejector Assembly) และ ตัวปลดชิ้นงานหรือเข็มปลด (Ejector Pins)

การปลดชิ้นงานจะมีการปลดอยู่หลายแบบ คือ

2.2.5.1 Ejector Pins

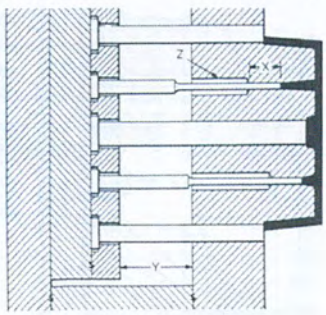
แบบนี้เป็นแบบธรรมดาที่สุดของเทคนิคการปลดชิ้นงาน เพราะสามารถใช้งานร่วมในแม่พิมพ์ได้ง่ายที่สุด โดยชิ้นงานจะถูกกันผลักด้วยแรงจากสลักเพลากลม ที่เรียกว่า Ejector Pin ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 Ejector Pin [11]

2.2.5.2 Stepped Ejector Pins

เป็นสลักปลดแบบลดบ่าใช้สำหรับดันปลดส่วนของชิ้นงานที่เป็นปุ่มและสันดังแสดงในรูปที่ 2.22

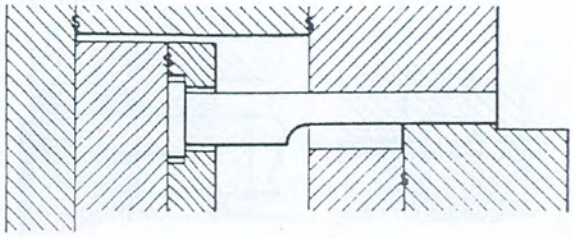


รูปที่ 2.22 Stepped Ejector Pin [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.3 D-Shaped Ejector Pin

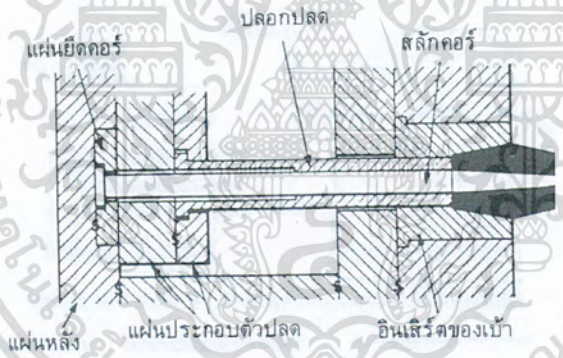
เป็นการใช้เรียกสลักปลดที่มีผิวด้านข้างแบนเรียบ ซึ่งกระทำได้ง่ายโดยการตัดเฉือนผิวด้านข้างของสลักปลดมาตรฐานให้แบนราบ ข้อดีคือ จะทำให้ออกแรงในการดันปลดได้ง่ายกว่า ช่วยให้ลดตนทุนในการทำพิมพ์ลงได้บ้าง โดยลักษณะของ D-Shaped Ejector Pin จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 D-Shaped Ejector Pin [11]

2.2.5.4 Sleeve Ejection

เป็นการปลดชิ้นงานโดยการสลักปลดที่มีรูกลวง ใช้สำหรับดันปลดชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกกลมโดยการปลดชิ้นงานรอบสลักคอร์ (Core) โดยพลอกจะสวมกับคลักคอร์ (Core) ดังแสดงในรูปที่ 2.24

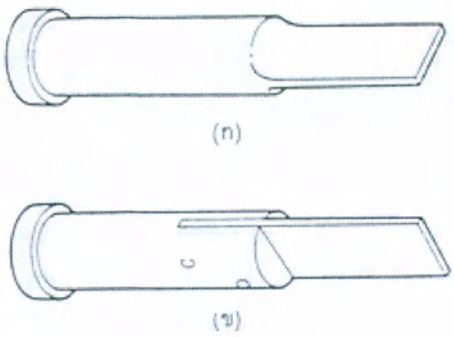



รูปที่ 2.24 Sleeve Ejection [11]

2.2.5.5 Blade Ejection

การใช้ใบปลด คือใช้สำหรับปลดชิ้นส่วนที่มีรูปร่างบอบบางเช่นครีบหรือปีกหรือส่วนอื่นๆที่ยื่นออกมาซึ่งไม่สามารถใช้สลักปลดมาตรฐานดันปลดได้โดย Blade Ejection จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.25

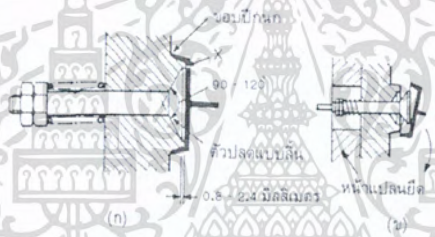
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 Blade Ejection [11]

2.2.5.6 Value Ejection

การปลดชิ้นงานโดยใช้ตัวปลดแบบลิ้นนั้น มาจากสลักปลดแบบมาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าใช้สำหรับดันชิ้นงานที่ค่อนข้างใหญ่ในกรณีที่สามารถใช้สลักแบ่งผิวดันปลดได้การใช้งานเป็นลักสลักเดียวกับ Stripper Plate Ejection ดังแสดงในรูปที่ 2.26

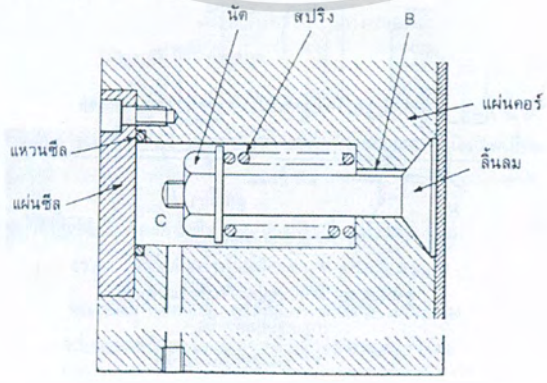


(ก) จังหวะฉีด (ข) จังหวะปลด

รูปที่ 2.26 Value Ejection [11]

2.2.5.7 Air Ejectors

วิธีดันปลดแบบนี้แรงดันปลดได้จากการอัดลมซึ่งเป่าเข้าไปโดยตรงบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานผ่านลิ้นลมดันปลด Air Ejector Value ทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์ดังแสดงรูปที่ 2.27

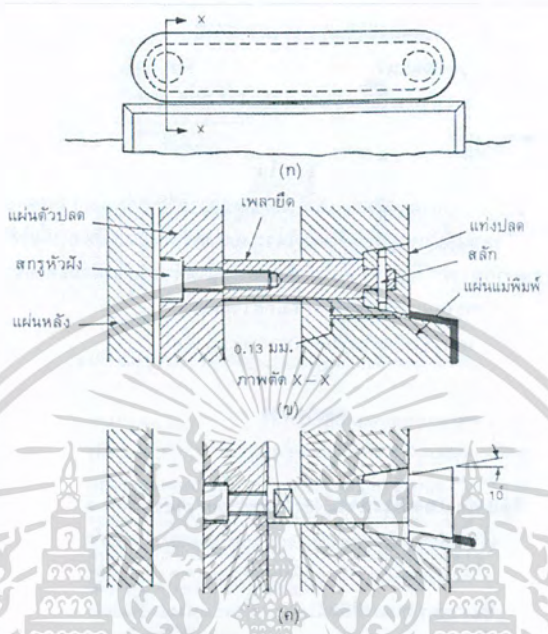



รูปที่ 2.27 Air Ejector [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.8 Stripper Bar Ejection

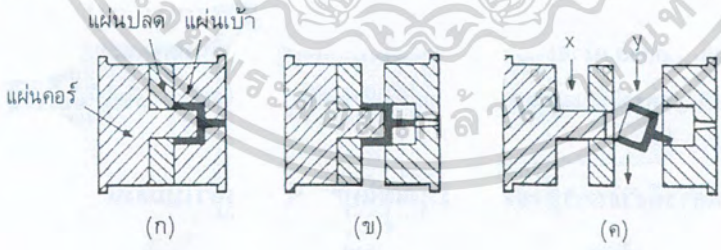
การใช้แท่งดันปลดชิ้นงานเหมาะกับชิ้นงานที่ที่ขอบผนังของชิ้นงานบาง โดยเปลี่ยนจากการให้สลักปลด 3 หรือ 4 อัน ทำให้เกิดรอย บนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.28




รูปที่ 2.28 Stripper Bar Ejection [11]

2.2.5.9 Stripper Plate Ejection

การใช้แผ่นปลดชิ้นงาน ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปลดเหมาะกับการใช้กับชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกกลม โดยแผ่นปลดชิ้นงานจะเป็นแผ่นคอร์ (Core) ของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่2.29




รูปที่2.29 Stripper Ejection [11]

## 2.3 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

วัสดุที่มีการนำมาใช้ทำแม่พิมพ์มีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็นเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสม เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ และอลูมิเนียม ซึ่งนิยมนำเหล็กกล้ามาขึ้นรูปแม่พิมพ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เหล็กกล้าแม่พิมพ์ที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์พลาสติกสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Pre-Hardened Steels เป็นกลุ่มที่มีคาร์บอน 0.20-0.30% มีโครเมียม นิเกิล และโมลิบดินั่มผสมในระดับปานกลาง และสามารถกลึงไสได้ดี แต่ไม่สามารถทำการผลิตด้วยการกัดได้ ในการผลิตด้วยเหล็กกลุ่มนี้จะต้องนำแม่พิมพ์ไปชุบแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนทานต่อการสึกหรอก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการเจาะหรือตัด แม่พิมพ์ที่ผลิตจากวัสดุในกลุ่มนี้มีความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมาก โดยที่แม่พิมพ์ไม่เกิดการสึกหรอ เหล็กกล้าที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ AISI P21 และ AISIP21

2. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Case Hardening Steels เป็นกลุ่มที่มีคาร์บอนต่ำระดับ 0.07-0.10% ดังนั้นจึงสามารถผลิตแม่พิมพ์ด้วยการกัด โดยจะนำเหล็กกล้ามาอบอ่อนก่อนทำการกัดและชุบผิวแข็งแล้วจึงขัดผิวให้เรียบหรือทำการชุบผิวด้วยโครเมียมเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน เหล็กกล้าที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ AISI P4 และ AISI P6

3.เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ทนต่อการกัดกร่อนสูง เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีความสามารถในการชุบแข็งสูง ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ต้านทานการเกิดออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิสูง และมีคุณสมบัติคงรูปจากการอบชุบความร้อนได้ดี เหล็กกล้าในกลุ่มนี้ได้แก่ มาร์เทนซิติก เกรด 420 และ440C นิยมใช้ในการฉีดพลาสติกกลุ่มพีวีซี อะซิเตท หรืองานที่มีความชื้นสูงหรือต้องการงานที่ต้องการผิวของชิ้นงานที่สวยงาม

ในการผลิตแม่พิมพ์ควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกที่ใช้กับแม่พิมพ์และลักษณะการใช้งาน เนื่องจากแม่พิมพ์ต้องสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงาน รับความร้อนจากพลาสติกเหลว รับความดัน แรงกระแทกจากการเปิดปิดแม่พิมพ์และอื่นๆ ดังนั้นในการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำแม่พิมพ์ควรพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุดังนี้

- ความสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องมือทางกลต่างๆ
- การทานทนต่อการสึกหรอและการเสียดสี
- อัตราขยายตัว ในช่วงของอุณหภูมิทำงานฉีดพลาสติก เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่แน่นอน
- ราคาของวัสดุและอายุการใช้งานของวัสดุ
- ความสามารถขัดตกแต่ง
- ความสามารถระบายความร้อน

ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานของเหล็กกล้าเครื่องมือในมาตรฐานของประเทศต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานของเหล็กกล้าเครื่องมือ [12]

| **United States (AISI)** | **Japan (JIS)** | **Germany (DIN)** | **Great Britain (B.S.)** |
|---|---|---|---|
| **เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mold Steels)** | | | |
| เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Pre-Hardened Steels | | | |
| P4 | | 1.2341 | |
| P6 | G4410 : SKC31 | 1.2735, 1.2745 | |
| เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Case Hardening Steels | | | |
| P20 | | 1.2311, 1.2328, 1.2330 | 4659 : (USA P20) |
| P21 | | | |
| เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ทนการกัดกร่อนสูง | | | |
| 440C | G4303 : 440C | 1.4125 | |
| 420 | G4305 : SUS420J1, 420J2 | 1.4021, 1.4024, 1.4028 | 1554 : 420S29,420S37 |

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การเลือกใช้วัสดุสำหรับทำแม่พิมพ์ [12]

| **เกรด** | **ต้านทานการเสียคาร์บอน** | **ความลึกในการชุบแข็ง** | **การบิดเบี้ยว** | **ต้านทานต่อการแตก** | **ความแข็งโดยทั่วไป (HRC)** | **การกลึงไส*** | **ความเหนียว*** | **ความแข็งได้ที่อุณหภูมิสูง*** | **ความค้านทานต่อการสึกหรอ*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P4 | สูง | สูง | ต่ำมาก | สูง | 58-64 (ชุบแข็งผิว) | 5 | 9 | 4 | 1 |
| P6 | สูง | | อากาศ : ต่ำมาก | สูง | 58-61 | 6 | 9 | 3 | 1 |
| | | | น้ำ : ต่ำ | | (ชุบแข็งผิว) | | | | |
| P20 | สูง | ปานกลาง | ต่ำ | สูง | 28-37 | 8 | 8 | 2 | 1 |
| P21 | สูง | ลึก | ต่ำมาก | สูงที่สุด | 30-40 | 5 | 8 | 4 | 1 |

หมายเหตุ * สำหรับระดับความสามารถด้านการกลึงไส ความเหนียว ความแข็งได้ที่อุณหภูมิสูง ความต้านทานต่อการสึกหรอ ตัวเลขยิ่งสูงหมายถึงยิ่งมีคุณสมบัติที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4พลาสติก

พลาสติกหรือที่มีชื่อเรียกทางเคมีว่า พอลิเมอร์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ของโมเลกุลเล็กๆ(Monomer)ที่มีโครงสร้างเหมือนกัน พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะสังเคราะห์มาจากน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน มีส่วนประกอบที่สำคัญคือคาร์บอน(C) และไฮโดรเจน(H)

### 2.4.1 ชนิดของพลาสติกแบ่งตามโครงสร้าง

ชนิดของพลาสติแบ่งตามโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของพลาสติกชนิดต่างๆ[13]

| ชนิดของพลาสติก | ตัวย่อ | โครงสร้างพลาสติก |
|---|---|---|
| Polyamide | PA | O |
| Polyacetal | POM | O |
| Polycarbonate | PC | Δ |
| Polphenylene Ether แปรสภาพ | PPE | Δ |
| Polybytylene Terephtalate | PBT | O |
| Polybytylene Terephtalate เสริม GF | GF-PET | O |
| Ultha High Polymer Polyethylene | UMPE | O |
| Polysalfine | PSF | Δ |
| Polyether Salfone | PES | O |
| Polyphenylene Sulfile | PPS | Δ |
| Polyallyrate (U Polymer) | PAR | Δ |
| Polyamidoimide | PAI | Δ |
| Polyetther Imide | PEI | Δ |
| Polyettheretherketone | PEEK | O |
| Polyimide | PI | Δ X |
| Cystal Polymer | LGP | O |
| Polytetralluorocthlene | FR(PTFE) | O |

O : Crystalline Δ : Amorphous Resin X : Crosslinked Resin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.2 ชนิดของพลาสติกตามคุณสมบัติ**

พลาสติกแบ่งตามคุณสมบัติออกเป็น 2 ประเภท คือ

**เทอร์โมพลาสติก**

เป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้เมื่อได้รับความร้อน และจะแข็งตัวเมื่อเย็นลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะเทอร์โมพลาสติกมีโครงสร้างแบบโซ่ตรงยาว จึงสามารถหลอมเหลวหรืออัดแรงได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิมของพลาสติก และยังสามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายวิธี อาทิเช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีด การปั่นเป็นเส้นใย เป็นต้น

เทอร์โมพลาสติกสามารถนำมาหลอมใหม่และขึ้นรูปซ้ำได้ทำให้สามารถนำวัสดุเศษหรือของเสียที่เกิดจากการผลิต โดยนำเศษพลาสติกมาบดและผสมใช้กับเรซินใหม่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ แต่ก็มีข้อจำกัดคือ พลาสติกที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนหลายๆครั้งสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ เทอร์โมพลาสติกทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) โพลิโพรพิลีน (Polypropylene:PP) โพลิสไตรีน (Polystyrene:PS) ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) ไนลอน (Nylon)

**เทอร์โมเซทติงพลาสติก**

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนต่อปฏิกิริยาเคมี โครงสร้างเป็นร่างแห (Crosslink)หรือเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล ดังนั้นจึงเคลื่อนโมเลกุลโพลิเมอร์ได้ยาก และเมื่อได้รับความร้อนมักจะเสื่อมสภาพ โดยไม่สามารถอ่อนตัวหรือหลอมได้ใหม่ สมบัตินี้ทำให้การนำเทอร์โมเซทกลับมาใช้ใหม่เป็นไปได้ยาก เทอร์โมเซทติงพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde) อีพ็อกซี (Epoxy) โพลิเอสเตอร์ (Polyester) ยูรีเทน (Urethane) โพลิยูรีเทน (Polyurethane)

**2.4.3 ลักษณะของโซ่โมเลกุลในโครงสร้างของพอลิเมอร์**

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ถูกแบ่งตามโครงสร้างเป็น 3 ชนิด คือ โครงสร้างแบบ Amorphous โครงสร้าง Partial Crystalline (Semi- Crystalline Polymer) และโครงสร้างเป็นผลึกคริสตัล

1. คุณสมบัติของ Amorphous Thermoplastic

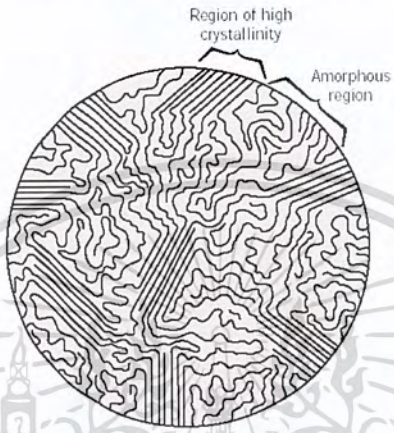
ในโครงสร้าง Amorphous โซ่โมเลกุลจะสานกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 2.30 พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ Polystyrene (PS) Styrene-Butadien (SB) Acrylonitrile-Butadien Styrene (ABS) Cellulosedirivate Polycarbonate (PC) Styrene-Acrylonitrile (SA) Polymethylmethacrylate(PMMA)และPolyvinylchloride (PVC-Hard)

รูปที่ 2.30 ลักษณะโครงสร้างของ Amorphous Thermoplastics [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณสมบัติของ Partial Crystalline Thermoplastics (Semi- Crystalline Polymer)

ในโครงสร้าง Semi-Crystalline Polymer โซ่โมเลกุลส่วนใหญ่จะสานกันแบบไม่มีระเบียบ แต่มีบางส่วนที่เชื่อมต่อกันแบบตาข่าย (Crosslink) ดังแสดงในรูปที่ 2.31 เมื่อได้รับความร้อนพันธะจะถูกทำลายได้ เมื่อเย็นตัวก็กลับมารวมตัวเป็นผลึกได้อีก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วในการเย็นตัว ถ้าค่อยๆเย็นตัวอย่างช้าๆการเกาะตัวก็จะเป็นผลึกมากขึ้น พลาสติกสำคัญในกลุ่มนี้คือ Polyethylene (PE) Polypropylene (PP) Polyamide (PA) Polyoxymethylene (POM) Polytetrafluorethylene (PTFE) และPolyethyleneterephthalate (PET)




รูปที่ 2.31 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ Semi- Crystalline [13]

3.คุณสมบัติของคริสตัล (Crystal)

โครงสร้างเกาะตัวเป็นตาข่าย Crosslinked ดังแสดงในรูปที่ 2.32 ซึ่งโซ่โมเลกุลจะเกาะตัวกันเป็นตาข่ายเหนียวแน่น เมื่อได้รับความร้อนจะไม่อ่อนตัวและไม่หลอมละลายจึงไม่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้ พลาสติกที่โครงสร้างแบบ Crystal นี้มีสองลักษณะคือ แบบตาข่ายชิดกัน (Narrow-Meshed Crosslink) ซึ่งมีความแข็งเปราะเรียกว่า Thermoset และแบบตาข่ายตาห่าง (Wide-Meshed Crosslink)ซึ่งมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง เรียกว่า Elastomer

รูปที่ 2.32 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของคริสตัล [13]

**2.4.4 พลาสติกที่ใช้ในการผลิต**

โพลีเอทิลีน (Polyethylene - PE) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก เป็นสารที่มีสีขาวและโปร่งแสงซึ่งได้จากเอทิลีน (CH2=CH2) สามารถใส่สีผสมเพื่อที่จะสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีต่างๆได้ พอลิเอทิลีนมีทั้งพอลิเอทิลีนทีมีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.92-0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความยืดหยุ่นและความเหนียวมากกว่าชนิดที่มีความหนาแน่นสูง นิยมนำมาใช้ทำถุงพลาสติก หลอดยาสีฟัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นระหว่าง 0.95-0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรมีความแข็งแรงมากกว่าชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ นิยมนำมาใช้ทำท่อน้ำ ลังบรรจุเครื่องดื่ม ของเล่น เป็นต้น

โดยความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกแต่ละชนิดแสดงตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกแต่ละชนิด [10]

| ชนิดของพลาสติก | ความหนาแน่น(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) | ค่าการหดตัว(%) |
|---|---|---|
| Polyethylene (PE) | 0.92 -0.96 | 1.5 – 3 |
| Polypropylenes (PP) | 0.91 – 0.93 | 1.2 – 2.2 |
| Polystyrene (PS) | 1.05 | 0.45 – 0.6 |
| Rigid Poly Vinyl Chloride (RPVC) | 1.35 | 0.5 – 0.7 |
| Soft Poly Vinyl Chloride (SPVC) | 1.1 – 1.4 | 1.0 – 2.0 |
| Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) | 1.05 – 1.1 | 0.4 -0.7 |
| Styrene Acrylonitrile Copolymer (SAN.AS) | 1.08 | 0.2 – 0.7 |
| PolyMethyl Methacrylate (PMMA) อะครีลิค (acrylics) | 1.13 – 1.18 | 0.4 – 0.8 |
| Poly Amide (PA) (nylon) | 1.02 – 1.14 | 0.6 – 1.5 |
| Polyacetal (POM) (PolyOxy Methylene) | 1.41 – 1.42 | 1 - 3 |
| PolyCarbonate (PC) | 1.2 | 0.7 – 0.8 |
| Poly Ethylene Terephthalate (PET) | 1.33 – 1.38 | 1.3 – 1.58 |
| Poly Butylene Terephthalate (PBT) | 1.30 – 1.31 | 1.5 – 2.5 |
| Poly Phenylene Oxide (PPo) | 1.05 – 1.1 | 0.5 – 0.7 |
| Poly Tetra Fluoro Ethylene (PTEE) TEFLON | 2.07 – 2.12 | ดูจากคู่มือของผู้ผลิต |
| Cellulose Acetate (CA) | 1.33 | 0.4 0.7 |
| Cellulose Acetate Butyrate (CAB) | 1.19 | 0.4 – 0.7 |

**2.4.5 คุณสมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีน**

-มีความยืดหยุ่นสูง เหนียวที่อุณหภูมิต่ำ

-มีความทนทานต่อสารเคมี

-ทนต่อสภาวะอากาศได้ดี อากาศสามารถซึมผ่านได้

-ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้สามารถถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

-เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

-ผสมสีได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตเป็นฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์มโปร่งแสงหรือทึบแสงได้

-ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดพลาสติก

**1. อุณหภูมิของพลาสติกหลอม (Melt Temperature)**

อุณหภูมิของพลาสติกหลอมกำหนดโดยการตั้งอุณหภูมิของกระบอกฉีดและหัวฉีด ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของพอลิเมอร์เล็กน้อย โดยการเลือกใช้อุณหภูมิฉีดค่าใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสม การตั้งค่าอุณหภูมิพลาสติกหลอมสูง ทำให้พลาสติกหลอมไหลได้ง่าย แต่อาจเกิดปัญหาเรื่องการเสื่อมสภาพของพลาสติก และการสิ้นเปลืองพลังงาน การตั้งอุณหภูมิต่ำเกินไป อาจจะทำให้พลาสติกมีความหนืดสูงเกิดไปจนไม่เหมาะแก่การฉีด(ไหลไม่เต็มแบบ)

**2. เวลาการหล่อเย็นของชิ้นงาน (Cooling Time)**

รอบเวลาในการฉีด จะถูกกำหนดได้ด้วยเวลาในการหล่อเย็น โดยใช้เวลาประมาณ 80% ของรอบเวลาทั้งหมด ขณะที่เวลาฉีดเต็มและอัดแน่นใช้เพียง 5-15% ตามลำดับ ซึ่งมีหลัก คือ

- รอบการหล่อเย็นที่เร็ว (Hard Cooling) ควรใช้กับชิ้นงานที่พิถีพิถันความเผื่อมาก
- รอบการหล่อเย็นที่ช้า (Soft Cooling) ควรใช้กับชิ้นงานที่พิถีพิถันความเผื่อน้อยๆ

โดยเวลาในการหล่อเย็นนี้จะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตชิ้นงานฉีดพลาสติกเป็นอย่างมา

**3. ความดันในการฉีด (Injection Pressure)**

ความดันฉีดเกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรู เป็นความดันที่ทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าช่องว่างของเบ้า สามารถปรับได้โดยตรงจากแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิก ความเร็วฉีดที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก สภาพของการฉีด และรูปร่างลักษณะของชิ้นงาน เช่น ความหนาบางและส่วนโค้งเว้า

**4. ความเร็วในการฉีด (Injection Speed)**

ความเร็วฉีดต้องสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน และควรมีความเร็วสูงเพราะถ้าใช้ความเร็วในการฉีดต่ำจะทำให้พลาสติกเหลวไหลเข้าเบ้าไม่เพียงพอ หรือจะเกิดความดันในการไหลเข้าที่เบ้าสูง แรงดันฉีดต้องสูงพอที่จะแน่ใจได้ว่า ความเร็วฉีดจะไม่ลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ระหว่างกระบวนการฉีดทั้งหมด ถ้าความเร็วฉีดลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงสิ้นสุดการฉีด แสดงว่าแรงดันฉีดต่ำไปหรือความเร็วฉีดสูงเกินไป

**5. แรงดันรักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ หรือ แรงดันตาม (Holding Pressure)**

แรงดันตามนี้จะมีค่าประมาณ 30-70%ของความดันฉีด ขึ้นอยู่กับความหนืดของพลาสติกที่ฉีด ถ้ามีความหนืดสูงก็จะต้องใช้แรงดันตามสูง และต้องมีค่ามากพอเพื่อที่จะฉีดพลาสติกเข้าคาวิตี้อย่างสมบูรณ์โดยไม่เกิดรอยยุบ อีกทั้งการเปลี่ยนไปให้แรงดันตามในช่วงเวลาที่ถูกต้องจะเป็นการป้องกันการเกิด Overpacking ในCavityของแม่พิมพ์อีกด้วย โดยแรงดันตามนี้อาจแตกต่างกันสำหรับแม่พิมพ์ชุดเดียวกันขึ้นอยู่กับความเร็วฉีด อุณหภูมิของน้ำพลาสติก และรูปร่างของหัวฉีด

**6. ความดันภายหลังการฉีดเต็มแบบ หรือ ความดันย้ำ (Packing Pressure)**

ในการขึ้นรูปพลาสติกโดยวิธีการฉีดขึ้นรูปนั้น ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปในช่วงเวลาภายหลังการเติมเต็มแบบ (Packing Pressure) จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีด โดยเฉพาะในชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีความหนาที่แตกต่างกัน ความดันที่ใช้ขึ้นรูปในเวลาช่วงต้นๆภายหลังพลาสติกไหลเต็มแบบ มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานทั้งชิ้น ในขณะที่ความดันในเวลาช่วงท้ายภายหลังพลาสติกไหลเต็มแบบ มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของชิ้นงานฉีดนั้น สรุปได้ว่าการใช้ระดับความดันที่ไม่เหมาะสมในแต่ละช่วง ของเวลาภายหลังพลาสติกไหลเต็มแบบ จะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการโก่งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**7. เวลาในการฉีดย้ำ (Packing Time)**

ในชิ้นงานแบบเดียวกันหากใช้ความดันย้ำต่ำเป็นระยะเวลานานจะทำให้ชิ้นงานมีระดับความเครียดสูงกว่าการใช้ความดันย้ำสูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ และยังมีผลของการหดตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณของชิ้นงานของการใช้ความดันที่แตกต่างในแต่ละช่วงเวลาภายหลังการเติมเต็มแบบอีกด้วย

**8. เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding Time)**

เวลาที่ใช้ในการฉีด ซึ่งก็คือเวลาที่ใช้ในการป้อนวัตถุดิบ รวมกับ เวลารักษาสภาพแรงดันให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ หากมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ชิ้นงานมีน้ำหนักไม่คงที่ แต่ถ้าใช้มากเกินเวลาที่เกทซีล (เกทแข็งตัวก่อนเพราะส่วนใหญ่จะบางสุด) ไปแล้วจะไม่ผลต่อน้ำหนักของชิ้นงานและทำให้สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า

**9. แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping Force)**

แรงปิดแม่พิมพ์เป็นแรงที่ใช้ดันให้แม่พิมพ์ปิดไม่เผยอออกในขณะฉีดพลาสติกเข้าไปในเบ้าพิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องฉีดพลาสติกจะกำหนดขนาดได้ตามขนาดของแรงปิดแม่พิมพ์สูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้ มักจะใช้หน่วยเป็น kN หรือ Tonne (10 kN = 1 Tonne) การคำนวณหาขนาดของแรงปิดแม่พิมพ์จะคำนวณจากพื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) ของเบ้าพิมพ์ กับความดันภายในส่วนโพรงแบบดังแสดงในรูปที่ 2.33

$$F = AP \tag{2.1}$$

เมื่อ F = แรงปิดแม่พิมพ์(kN)

A = พื้นที่ภาพฉายของส่วนโพรงแบบ(ตารางเซนติเมตร)

P = ความดันภายในส่วนโพรงแบบ(บาร์)

รูปที่ 2.33 พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน [14]

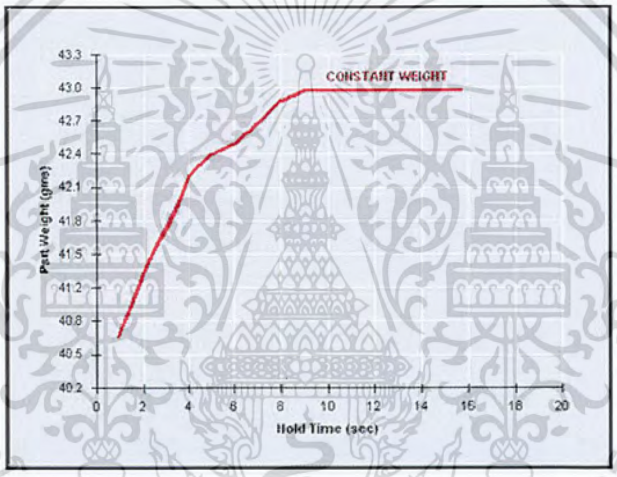
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**10. ระยะเลื่อนของเครื่องฉีด (Machine Injection Stroke)**

เมื่อพิจารณาถึงความสูงของแม่พิมพ์ฉีดที่สามารถจับยึดได้ ระหว่างแผ่นยึดแม่พิมพ์ทั้งสองของเครื่องฉีดพลาสติก จะต้องพิจารณาถึงช่องว่างโตสุดระหว่างหน้าแปลนอยู่กับที่ และเคลื่อนที่เมื่อเครื่องฉีดอยู่ในจังหวะเปิด และช่องว่างเล็กสุดเมื่อเครื่องฉีดอยู่ในจังหวะปิด ช่องว่างโตสุด จะเป็นตัวกำหนดขนาดของแม่พิมพ์สูงสุดบวกกับระยะที่แม่พิมพ์จะต้องเปิดออกเพื่อปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์(ในทางปฏิบัติจะเผื่อไว้ประมาณ 2 เท่าของความสูงชิ้นงาน) ส่วนช่องว่างเล็กสุด จะเป็นตัวกำหนดขนาดความสูงของแม่พิมพ์น้อยที่สุดที่สามารถจับยึดบนเครื่องฉีดพลาสติกได้

**11. Injection Time**

เวลาที่ใช้ในการฉีดจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ของสกรูจนถึงช่วงเกทซีล ถ้าเวลาฉีด( Injection Time รวมกับ Holding Time ) ใช้มากเกินเวลาที่เกทซีลไปแล้วจะไม่มีผลต่อน้ำหนักของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.34 และทำให้สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า




รูปที่ 2.34 เวลาการฉีด [15]

จากรูปกราฟแกน X คือ น้ำหนักของชิ้นงาน แกน Y คือ เวลาของช่วง Holding Time ถ้าเวลาเกิน 9 วินาทีไปแล้วจะไม่มีผลต่อน้ำหนักของชิ้นงานและจะคงที่ที่น้ำหนัก 43กรัม แต่ถ้าเวลาฉีดน้อยเกินไปจะทำให้ชิ้นงานมีน้ำหนักไม่คงที่ นอกจากนั้นการกำหนดเวลาการฉีด (Injection Time) และการรักษาสภาพแรงดัน (Holding Time) จะขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมเครื่องฉีด แต่โดยทั่วไปแล้วการป้อนวัตถุให้เต็มแม่พิมพ์คือ เวลาที่ใช้ในการฉีด

เวลาที่ใช้ในการฉีด คือ เวลาที่ใช้ในการป้อนวัตถุดิบรวมกับเวลารักษาสภาพแรงดัน

**12. อุณหภูมิของโพรงแบบ (Mold Temperature)**

โดยทั่วไปการฉีดเทอร์โมพลาสติกจะใช้น้ำหรือน้ำมันเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของโพรงแบบ โดยเฉพาะเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึกอย่าง HDPE จะมีการตั้งอุณหภูมิของเบ้าค่อนข้างต่ำ เพื่อให้โมเลกุลของพลาสติกมีเวลามากพอที่จะจัดเรียงตัวใหม่ให้เกิดผลึกได้ โดยชิ้นงานพลาสติกจะเย็นตัวอย่างช้าๆส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดผลึกซึ่งประกอบด้วยสฟีรูไลท์ (Spherulites) ขนาดเล็กกว่า ทำให้ชิ้นงานพลาสติกที่ได้มีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น โดยช่วงอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับ HDPE จะอยู่ที่ 30-70 องศาเซลเซียส

**13. อัตราการไหลของเม็ดพลาสติก (Melt Flow Rate : MFR)**

อัตตราการไหลของพลาสติกเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการหลอมไหลของวัสดุภายใต้แรงดัน ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความหนืดของวัสดุภายใต้สภาวะการรับแรงต่างๆ และยังเป็นตัวบอกค่าน้ำหนักของโมเลกุลของเม็ดพลาสติก (Molecular Weight) ได้อีกด้วย

เราสามารถคำนวณค่า MFR ได้จากสมการ:

$$MFR = 10W / T \qquad (2.2)$$

โดยที่ :

MFR คือ ค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Rate in Grams / 10 Minutes.)

W คือ ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของพลาสติกหลอมไหล (Average Weigh of Extrudated in Gram)

T คือ ช่วงเวลาที่ตัดพลาสติกหลอมไหล (The Extrusion Time Per Sample in Minutes)

**14. ความหนืด (Viscosity)**

ความหนืดเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในการต้านการไหลของของไหลที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก โดยความหนืดจะคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่งแต่จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

พลาสติกในสภาวะของไหล

**ลำดับขั้นของกระบวนการตาม PvT Diagram**

การอธิบายลำดับขั้นตอนในกระบวนการฉีดแต่ละขั้นด้วยแผนภาพ PvT เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เราเข้าใจในความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในโพรงแบบ ทั้งยังเป็นทฤษฎีขั้นพื้นฐานที่จำเป็นในกระบวนการฉีด และยังช่วยในการเลือกตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการฉีดอีกด้วย

ในการจะเติมเต็มแผนภาพ PvT ของพลาสติกชนิดนี้ เราจะต้องคอยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันในโพรงแบบ ตามลำดับต่อไปนี้

0→1 ช่วงเติมเต็มโพรงแบบ

เริ่มจาก จุดที่เวลาเป็น 0 น้ำพลาสติกจะเริ่มไหลเข้าเติมโพรงแบบจนเต็ม ความดันในโพรงแบบจะเพิ่มมากขึ้นพร้อมๆไปกับการหล่อเย็น ที่จะเริ่มต้นระบายความร้อนออกจากพลาสติกทันทีที่พลาสติกเหลววิ่งเข้ามาในแม่พิมพ์ไปจนกระทั่งพลาสติกแข็งอยู่ตัวพร้อมที่จะปลดออกจากแม่พิมพ์

1→2 ช่วง Packing

หลังจาช่วงเติมเต็มโพรงแบบ พลาสติกเหลวจะถูกอัดด้วยแรงดันตามเพิ่มเข้าไปในโพรงแบบได้อีกประมาณ 15% ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่มีความดันในโพรงแบบสูงสุด และมีการระบายความร้อนได้เล็กน้อยเท่านั้น

2→3 ช่วง Holding

ในช่วงนี้พลาสติกจะเริ่มเกิดการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำพลาสติก จึงต้องมีการฉีดซ้ำเข้าไปอีกเพื่อชดเชยการหดตัว และป้องกันการเกิดฟองอากาศในเนื้อชิ้นงาน โดยเนื้อพลาสติกจะถูกอัดเข้าไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 25% อีกทั้งผลจากการหล่อเย็น ยังทำให้เกิดการหดตัวอย่างอิสระมากขึ้น ความดันในผนังและระบบทางวิ่งลดลง

3→4 ช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่มีปริมาตรคงที่ ความดันลดลง

เมื่อทางเข้าเริ่มแข็งตัว พลาสติกเหลวจะไม่สามารถเข้ามาชดเชยการหดตัวได้อีก ความดันจะลดลงในขณะที่ปริมาตรคงที่

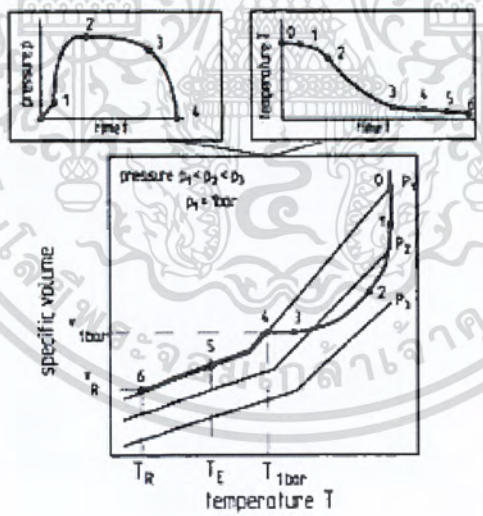
4→5 ช่วงของการหล่อเย็นไปจนถึงการปลดชิ้นงาน

ในกรณีที่สภาวะของกระบวนการดำเนินไปจนถึงจุดที่อยู่นอกการพิจารณา เราจะถือว่าได้เปลี่ยนเข้าสู่สภาวะที่มีขบวนการเปลี่ยนแปลงที่ความดันคงที่ แต่อุณหภูมิและปริมาตรเปลี่ยนไป

5→6 ช่วงของการระบายความร้อนจนถึงอุณหภูมิห้อง

ที่หมายเลข 5 เป็นการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จนกระทั่งชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่มีผลมากที่สุดจะอยู่ช่วงของการอัดย้ำ *(2-4)* ดังแสดงในรูปที่ 2.35 ซึ่งหมายความว่าคุณลักษณะทางคุณภาพทั้งหมดจะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อปริมาตรจำเพาะ ไม่ว่าจะเป็น น้ำหนัก การหดตัวหรือความเค้นที่ตกค้าง ล้วนส่งผลอย่างยิ่งต่อช่วงของการฉีดย้ำรักษาความดัน ปริมาณความดันที่ใช้จึงเป็นจุดสำคัญที่จะทำให้ชดเชยการหดตัวของพลาสติกได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานสำเร็จตามต้องการ โดยการหดตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะหมดลงเมื่อชิ้นงานอยู่ที่อุณหภูมิห้อง แต่ก็ยังคงสามารถหดตัวได้อีกจากผลของการตกผลึกของวัสดุประเภท Semicrystalline




รูปที่ 2.35 PvT Diagram of The Course of State [10]

โดย

0-1 Volumetric Filling

1-2 Packing

2-3 Effect of Holding Pressure

3-4 Isochoric Pressure Decrease

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-5 Cooling to Ejection Temperature, $T_E$

5-6 Cooling to Room Temperature, $T_R$

4-6 Volume Shrinkage

$$S_V = \frac{V_{1bar} - V_R}{V_{1bar}} 100\% \quad (2.3)$$

## 2.6 โปรแกรมAutodesk Moldflow 2010

Autodesk Moldflow 2010 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์และจำลองการไหลในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Computer Aided Engineering:CAE) ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมการฉีดพลาสติก โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ช่วยให้การออกแบบแม่พิมพ์และชิ้นงานพลาสติกง่ายและสะดวกขึ้นมาก ปัจจุบันบริษัทชั้นนำในอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกต่างหันมาใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองการฉีดขึ้นรูปพลาสติกทดแทนการลองผิดลองถูกโดยอาศัยประสบการณ์แบบในอดีต ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิต ลดเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์และลดปัญหาที่เกิดกับชิ้นงานและแม่พิมพ์ นั่นก็คือเมื่อใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow วิเคราะห์และจำลองการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการทดลองฉีดขึ้นรูปจริง การทดลองฉีดขึ้นรูปจริงนั้นใช้เวลานานและทำให้เกิดของเสียขึ้นซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง นอกจากนี้การแก้ไขแม่พิมพ์ยังเป็นไปได้ยากและจะต้องสูญเสียเงินจำนวนมากในการแก้ไขหรือผลิตแม่พิมพ์ขึ้นใหม่ แต่เมื่อมีการนำโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และจำลองสถานการณ์ก็สามารถลดข้อเสียต่างๆเหล่านี้ลงไปได้ ทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 มีMolding Window Analysis ที่มีสามารถทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ได้

1. ขนาดของ Molding Window ในโปรแกรมสามารถบอกได้ว่าตัวแปรเหล่านี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงใด
   - อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature)
   - อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก (Melt Temperature)
   - เวลาในการฉีด (Injection Time)
2. การเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์

ในฐานข้อมูล (Database) ของโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 มีคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำแม่พิมพ์อยู่ เช่น PVT Properties, Thermal Properties, Filler Properties, Mechanical Properties, Rheological Properties, Shrinkage Properties, and Recommended Processing Conditions

-ช่วงความดันที่สามารถฉีดให้เต็มแบบ

-ตำแหน่งทางเข้า (Gate Location)

ในโปรแกรมMold Flow สามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งทางเข้า (Gate Location)ที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องในตัวของชิ้นงานน้อยที่สุดได้ แต่บางครั้งผู้ทำการวิเคราะห์ไม่เลือกใช้ตำแหน่งทางเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม เนื่องจาก บางครั้งจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรมอาจไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องมือที่มีอยู่ได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ หรือจุดที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรมเป็นจุดที่อยู่ตรงกับรอยประกบของแม่พิมพ์ (Parting Line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.1 ประเภทของการเมช (Mesh)**

การวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ชิ้นงานจะต้องมีไฟไนท์อิลิเมนท์ (Finite Element) ที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำการเมช โดยชิ้นงานจะถูกแบ่งออกเป็นรูปทางเลขาคณิตเล็กๆ (Domain or Element) พื้นฐานในการคำนวณจะใช้ไฟไนท์อิลิเมนท์ ซึ่งประกอบรวมกันเป็นการมองวัตถุที่จะทำการวิเคราะห์คำนวณให้เหลือเพียงแค่โครงสร้างที่ไม่มีความหนาและเป็นรูปทรงสามมิติ ข้อกำหนดดังกล่าว ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถจำลองภาพสถานการณ์ (Simulation) ของไฟไนท์อิลิเมนท์ด้วยสมการสองมิติได้

การสร้าง Finite Element Mesh สามารถสร้างได้โดยใช้โปรแกรม (Software) ที่อาศัย

- มุมมองรูปทรงต่างๆถูกกำหนดค่าลงไปที่โคออร์ดิเนต x,y,z ณ ค่าหนึ่งๆ
- มุมสองมุมคู่ใดๆถูกเชื่อมต่อด้วยเส้นตรงทั้งหมด
- ชุดของเส้นที่ปิดหรือเชื่อมต่อกันเป็นวง จะล้อมรอบจนเกิดเป็นพื้นที่

ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 มีไฟไนท์อิลิเมนท์ อยู่ 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.36 คือ

1.Beam เป็น Element ที่มี 2 Nodes มักถูกใช้สำหรับ Feed System, Cooling Channels และอื่นๆ

2.Triangle เป็น Element ที่มี 3 Nodes มักถูกใช้สำหรับชิ้นงาน, Mold Insert และอื่นๆ

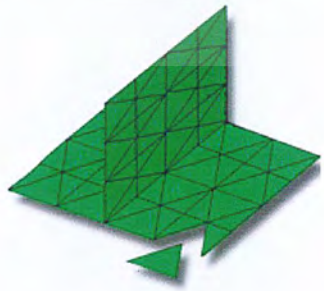
3.Tetrahedron เป็น Element ที่มี 4 Nodes มักถูกใช้สำหรับชิ้นงาน Cores, Feed System และอื่นๆ

รูปที่ 2.36 Element Type [16]

**2.6.2 Mesh Type**

มีการเมชอยู่ 3ประเภทในโปรแกรม Autodesk Moldflow คือ

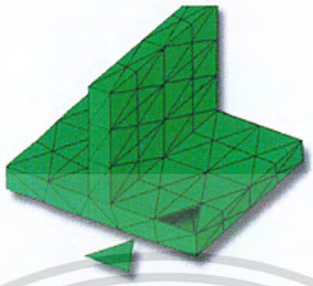
1. Midplane การ Mesh ถูกกำหนดให้ทำการวิเคราะห์ตรงแกนกลางของชิ้นงาน (Centerline) ใช้ Element แบบTriangular ในการวิเคราะห์ชิ้นงาน และใช้ Beam Element ในการวิเคราะห์ Feed System, Cooling Channel การเมชโดยใช้ Midplane ดังแสดงในรูปที่2.37



รูปที่ 2.37 Midplane [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Fusion หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Dual Domain ใช้ Triangular Element ดังแสดงในรูปที่ 2.38 วิเคราะห์บนพื้นผิวของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.38 และอาจใช้ Beam Element ในการวิเคราะห์ Feed System, Cooling Channels ซึ่งในงานวิจัยของเราเลือกใช้การเมชแบบ Dual Domain



รูปที่ 2.38 Fusion [16]

3. 3D เป็นการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบสามมิติ (Volume Mesh) ดังแสดงในรูปที่ 2.39 ใช้ Tetrahedral ในการวิเคราะห์ชิ้นงานและ Feed System และใช้ Beam ในการวิเคราะห์ Feed System การวิเคราะห์ชิ้นงานแบบสามมิติเหมาะสำหรับชิ้นงานที่หนาและสั้น การเมชแบบ3D

รูปที่ 2.39 3D [16]

**2.6.3 การวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010**

1. Fill Analysis

เป็นการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเข้าไปในแม่แบบหรือเรียกว่า Isochrones รวมไปถึงวิเคราะห์เครื่องฉีดพลาสติก ใน Fill Analysis ต้องแน่ใจแล้วว่าได้ทำการเมช ที่ดีคือมี Edge Length ที่น้อย โดย Fill Analysis แสดงให้เห็นว่า ที่ตำแหน่งใกล้ๆกับทางเข้าของพลาสติก (Gate) มีค่า Flow Front Velocity (FFV) สูง

ค่า Flow Front Velocity (FFV) หาได้จาก

$$\text{Flow Front Velocity(FFV)} = \frac{\text{Volumetric Injection Flow Rate}}{\text{Flow Front Area(FFA)}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เราสามารถแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆได้ โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่มีผลต่อการฉีดให้เหมาะสม ใน Fill Analysis โดยการวิเคราะห์จากการเมชแบบ Dual Domain สามารถแสดงค่าของการวิเคราะห์ต่างได้ดังนี้

-% Shot Weight
-Average Velocity
-Bulk Temperature at End of Fill
-Fill Time
-Frozen Layer Fraction at End of Fill
-Pressure
-Ram Speed, Recommended XY Plot
-Temperature
-Air Trap
-Bulk Temperature (Elemental, Nodal)
-Clamp Force
-Flow Rate, Beams
-Orientation at Core, Skin, Bottom Skin
-Real Thickness, Cavity
-Share Rate
-Weld Lines

2. Pack Analysis

Pack Analysis เป็นการวิเคราะห์ปริมาตรการหดตัวของชิ้นงาน ก่อนทำการ Pack Analysis ต้องแน่ใจว่าการ Mesh มีค่า Edge Length ที่ไม่มากเกินไปเพื่อป้องกันการวิเคราะห์ที่อาจเกิดผิดพลาดขึ้น ค่า Packing Pressureสูงสุดที่สามารถใช้กับเครื่องฉีดหนึ่งๆหาได้จาก

$$Pmax = \frac{\text{Machine Clamp ForceLlimit}}{\text{Total Projected Area of The Shot}} \times \text{Unit Conversion} \times 0.8 \qquad (2.5)$$

Pmax = The Maximum Packing Pressure That could be Used

Machine Clamp Force Limit = Tonnes(Metric) or Tons

Total Projected Area of The Shot = $Cm^2$ or $Iinches^2$

Unit Conversion = 100 for Metric Units, 2000 for English Units

0.8 = Safety Factor to Only Use 80% of Machine Capacity

โดยใน Pack Analysis ที่มีการวิเคราะห์การ Mesh แบบ Dual Domain สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

- Frozen Pressure
- Time to Reach Ejection Temperature
- Volumetric Shrinkage at Ejection
- In-Cavity Residual Stress in First Principal Direction
- In-Cavity Residual Stress in Second Principal Direction
-Hold Pressure
-Volumetric Shrinkage
-Sink Marks

3. Warp Analysis

Warp Analysis เป็นการวิเคราะห์การโก่งตัวที่เกิดกับชิ้นงาน โดยจะแสดงให้เห็นถึงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การวิเคราะห์โดยใช้การเมช แบบ Dual Domain สามารถแสดงผลต่างๆเหล่านี้ได้

-Deflection All Effects
-Deflection Differential Shrinkage
-Deflection Differential Cooling
-Deflection Orientation Effects

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Deflection Differential Shrinkage

-Deflection Orientation Effects

-Deflection Corner Effect

-Von-Mises Stress Result

-Stress, Normal to Core Result

-Parallel Shrinkage, Before Warpage

-Perpendicularnshrinkage, Before Warpage

4. Gate Location Analysis

Gate Location Analysis เป็นการวิเคราะห์หาตำแหน่งของ Gate ที่เหมาะสมโดยที่ตำแหน่งนี้จะให้ข้อบกพร่องน้อยที่สุด แต่บางครั้งตำแหน่ง Gate ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรมอาจไม่สามารถใช้เป็น Gate Location จริงได้เนื่องด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ เครื่องฉีด หรืออื่นๆที่ทำให้ไม่สามารถใช้ Gate Location ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม หรือ Gate Location ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรมอยู่ตรง Parting Line พอดีซึ่งไม่สามารถทำได้สร้างได้ ในการวิเคราะห์ Gate Location สามารถแสดงผลได้ดังนี้

-Best Gate Location

-Flow Resistance Indication

-Gating Suitability

5. Cool Analysis

Cool Analysis เป็นการวิเคราะห์การเย็นตัวของชิ้นงานโดยการจำลองการไหลของน้ำหล่อเย็นใน Cool Analysis โดยใช้การเมชแบบ Dual Domain สามารถแสดงผลได้ดังนี้

-Average Temperature, Cold Runner

-Average Temperature, Part

-Circuit Coolant Temperature

-Circuit Flow Rate

-Circuit Metal Temperature

-Circuit Pressure

-Temperature, Maximum Cold Runner and Part

-Frozen Layer Percentage, Part

-Maximum Temperature Position, Part

-Temperature at Surface, Hot Runner, Cool Runner, Part, Insert

-Temperature Profile, Cold Runner, Part

-Temperature Mold

-Time to Reach Ejection Temperature, Cold Runner

-Time to Reach Ejection Temperature, Part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 2.8 พร้อมวิธีแก้ไขดังนี้

ตารางที่ 2.8 ข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกและวิธีแก้ไข [17]

| ข้อบกพร่อง | ลักษณะ | สาเหตุ | วิธีการแก้ไข |
|---|---|---|---|
| **Flow Lines** | มีลักษณะเป็นลายรอบจุดฉีด ลักษณะเป็นวงแหวนหรือลูกคลื่นที่ผิวชิ้นงาน | อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำเกินไป | เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ |
| | | พลาสติกแข็งตัวไม่สม่ำเสมอ | เพิ่มอุณหภูมิในกระบอกฉีด |
| | | ความเร็วของการฉีดช่วงแรกช้าไป | เพิ่มความเร็วในการฉีด |
| | | ขนาด Gate หรือ Runner เล็กเกินไป | เพิ่มขนาดของ Gate หรือ Runner |
| | | ความหนาของผนังมีค่าไม่คงที่ | ออกแบบชิ้นส่วนภายในแม่พิมพ์ใหม่เพื่อให้ได้ผนังที่มีความหนาเป็นค่าเดียว |
| **Shrinkage** | การหดตัวของชิ้นงานมากเกินไป | อุณหภูมิของเนื้อพลาสติกและแม่พิมพ์ร้อนหรือเย็นเกินไป | ปรับอุณหภูมิของเนื้อพลาสติกและแม่พิมพ์ให้เหมาะสม |
| | | ความดันฉีด และ ความดันย้ำน้อยเกินไป | เพิ่มความดันฉีด และ ความดันย้ำ |
| | | ความเร็วในช่วงเติมพลาสติกเหลวให้เต็มแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม | ปรับความเร็วในช่วงเติมพลาสติกเหลวให้เต็มแม่พิมพ์ให้เหมาะสม |
| | | Cycle Time สั้นเกินไป | เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นให้มากขึ้น |
| | | เม็ดพลาสติกมีความหนาแน่นมากเกินไป | เลือกใช้เม็ดพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า |
| **Air Trap** | ช่องว่างคล้ายฟองอากาศในเนื้อชิ้นงาน | การระบายอากาศไม่เหมาะสม | ปรับปรุงการระบายอากาศ |
| | | อุณหภูมิในการฉีดสูงเกินไป | ลดอุณหภูมิในการฉีด |
| | | ตำแหน่งของ Gate หรือ Runner ไม่เหมาะสม | วางตำแหน่งของ Gate หรือ Runner ให้เหมาะสม |
| | | แรงดันในการฉีดต่ำเกินไป | เพิ่มแรงดันในการฉีด |
| | | ความเร็วในการฉีดมากเกินไป | ลดความเร็วในการฉีด |
| | | ระยะเวลาของรอบการผลิตสั้นเกิน | เพิ่มระยะเวลาของรอบการผลิต |
| **Cracking** | รอยแตกร้าวในชิ้นงาน | องศาในการถอดแบบลาดเอียงมากไป | ทำองศาให้ถอดแบบได้ง่ายใช้สารช่วยถอดแบบ |
| | | แรงดันในการฉีดต่ำเกินไป | เพิ่มแรงดันที่ใช้ในการฉีด |
| | | Holding Time มากเกินไป | ลด Holding Time |
| | | อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงเกินไป | ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ข้อพร่องของชิ้นงานพลาสติกและวิธีแก้ไข(ต่อ) [17]

| ข้อบกพร่อง | ลักษณะ | สาเหตุ | วิธีการแก้ไข |
|---|---|---|---|
| **Sink Marks** | โพรงอากาศกลมหรือยาว มองเห็นได้แต่ในพลาสติกใส การยุบตัวของผิวชิ้นงาน | ไม่มีการชดเชยปริมาตรในระหว่างช่วงการหล่อเย็น | เพิ่มเวลาการให้แรงดันตาม เพิ่มขนาดแรงดัน ลดอุณหภูมิน้ำพลาสติก และเปลี่ยนอุณหภูมิแม่พิมพ์ (ในกรณีของการเกิดโพรงต้องเพิ่ม และในกรณีของการยุบตัวต้องลด) ตรวจส่วนที่เป็นแอ่งรับน้ำพลาสติก เพิ่มขนาดรูที่หัวฉีดและ Gate |
| | | การออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติกไม่ถูกต้อง เช่น มีความแตกต่างของความหนาผนังมากเกินไป | ออกแบบชิ้นงานใหม่ เช่น หลีกเลี่ยงส่วนที่มีการเปลี่ยนความหนาของผนังอย่างหักมุม และส่วนที่มีการสะสมน้ำพลาสติก เลือกขนาดและรูปร่างหน้าตัดของ Runner และ Gate ให้เหมาะกับชิ้นงาน |
| | | เวลาการหล่อเย็นของชิ้นงาน (Cooling Time) สั้นเกินไป | ปรับลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ และเพิ่มเวลาการหล่อเย็น |
| | | ปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวต่อ Shot ไม่พอเพียง | เพิ่มปริมาณเนื้อพลาสติก |
| | | พลาสติกเกิดการหดตัวมากเกินไปเมื่อเย็นตัวเนื่องจาก อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงเกินไป | ปรับลดอุณหภูมิกระบอกฉีด |
| | | ความดันในการฉีดต่ำเกินไป | ปรับเพิ่มความดันในการฉีด |
| | | | ปรับเพิ่มความดันย้ำ และเพิ่มเวลาในการฉีด |
| **Jetting** | น้ำพลาสติกซึ่งไหลเข้าไปในคาวิตี้ก่อนจะปรากฏเป็นรอยให้เห็นที่ผิวชิ้นงาน | การวางตำแหน่งและขนาดของ Gate ไม่เหมาะสม | ป้องกันการเกิด Jetting โดยย้าย Gate ไปไว้ที่อื่น (ฉีดไปชนผนังหรือเพิ่มขนาดของ Gate) |
| | | อัตราการฉีดพลาสติกสูงเกินไป | ลดอัตราการฉีดพลาสติกหรือฉีดตามขั้นตอน ช้า-เร็ว |
| | | อุณหภูมิน้ำพลาสติกต่ำเกินไป | เพิ่มอุณหภูมิน้ำพลาสติกและแม่พิมพ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ข้อพร่องของชิ้นงานพลาสติกและวิธีแก้ไข(ต่อ) [17]

| ข้อบกพร่อง | ลักษณะ | สาเหตุ | วิธีการแก้ไข |
|---|---|---|---|
| **Short-Shot** | การไหลเข้าเติมคาวิตี้ไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะที่ปลายเส้นทางการไหลหรือใกล้จุดที่มีผนังบาง | พลาสติกมีการไหลที่ไม่ดีพอ | เพิ่มอุณหภูมิน้ำพลาสติกและแม่พิมพ์ |
| | | อัตราการฉีดพลาสติกต่ำเกินไป | เพิ่มอัตราการฉีดพลาสติกและ/หรือแรงดันฉีด |
| | | ชิ้นงานมีผนังบางเกินไป | เพิ่มความหนาผนังของชิ้นงาน |
| | | หัวฉีดและแม่พิมพ์แนบกันไม่สนิทพอ | เพิ่มแรงดันในการสัมผัสของหัวฉีด ตรวจรัศมีความโค้งของหัวฉีด และ Sprue Bush ตรวจการร่วมศูนย์ (Centering) |
| | | ขนาดของ Runners, Gates และ Nozzle เล็กเกินไป | ปรับขนาดของ Runners, Gates และ Nozzleให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปต่างๆ |
| | | มีอากาศตกค้างทำเกิด Back Pressure ภายในแม่พิมพ์ | เพิ่มรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ให้มากขึ้น |
| | | ความดันของการฉีดน้อยเกินไป | เพิ่มความดันของการฉีดให้มากขึ้น |
| **Weld Lines** | พลาสติกที่ไหลมาบรรจบกันมองเห็นเป็นรอยต่อได้อย่างชัดเจน | การไหลของพลาสติกไม่ดีพอ | เพิ่มอุณหภูมิของน้ำพลาสติกและแม่พิมพ์ ย้าย Gate ไปไว้ที่อื่นถ้าจำเป็นเพื่อปรับปรุงสภาพการไหลให้ดีขึ้น |
| | | การไหลของพลาสติกไม่ดีพอ | |
| | | อัตราการฉีดพลาสติกต่ำเกินไป | ใช้เม็ดพลาสติกที่มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น |
| | | ความหนาผนังบางเกินไป | เพิ่มอัตราการฉีดพลาสติก |
| | | การระบายอากาศในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ | เพิ่มความหนาผนังของชิ้นงาน |
| | | | ปรับปรุงการระบายอากาศในแม่พิมพ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.ข้อพร่องของชิ้นงานพลาสติกและวิธีแก้ไข(ต่อ) [17]

| ข้อบกพร่อง | ลักษณะ | สาเหตุ | วิธีการแก้ไข |
|---|---|---|---|
| **Warpage** | ชิ้นงานไม่มีความราบตรง มีการบิดและสวมเข้าด้วยกันไม่ได้ | ความหนาของผนังแตกต่างกันมาก อัตราการไหลออกภายในแม่พิมพ์มีขนาดต่างกันมากและ Orientaion ของเส้นใยแก้ว | ออกแบบชิ้นงานใหม่ เปลี่ยนตำแหน่งของ Gate |
| | | อุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม | ให้ความร้อนแม่พิมพ์ทั้งสองส่วนจนมีอุณหภูมิเท่ากัน |
| | | จุดที่มีการเปลี่ยนจากการฉีดเต็มความดันไปเป็นการให้แรงดันตามนั้นทำไม่ถูกต้อง | แก้ไขจุดเปลี่ยนให้เหมาะสม |
| | | เกิดสุญญากาศขึ้นระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ ในตอนปลดชิ้นงาน | ปรับปรุงการระบายอากาศ |
| | | มุมลาดเอียงเล็กเกินไป | เพิ่มขนาดมุมลาดเอียง (Draft Angle) |
| | | แม่พิมพ์เกิดการยุบตัวและคอร์มีการขยับเนื่องจากแรงดันฉีด | เพิ่มความแข็งแรง Stiffness ของแม่พิมพ์ และจับยึดคอร์ให้เหมาะสม |
| | | ปลดชิ้นงานเร็วเกินไป | เพิ่มรอบเวลาในการฉีด |

## 2.7 ท่อพลาสติกและมาตราฐาน

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาท่อพลาสติกได้ถูกเลือกใช้ในหลายๆ ส่วนของงาน และเนื่องจากการใช้งานได้หลากหลาย จึงมีการผลิตท่อพลาสติกหลายชนิดเพื่อให้เหมาะต่อการใช้งาน และชนิดที่รู้จักกันดีมีดังนี้

### 2.7.1 ท่อพลาสติกชนิดต่างๆ

1. ท่อPVC (Polyvinyl Chloride)

ท่อ PVC เป็นชื่อเรียกที่คนทั่วไปรู้จักมักคุ้นกันเป็นอย่างดี PVC ย่อมาจากคำว่า Polyvinyl Chloride เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น มีความเหนียวยืดหยุ่นตัวได้ ทนต่อแรงดันน้ำได้ดี ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดหรือด่างได้ดี ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีเพราะไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นวัสดุไม่ติดไฟ ผิวมันเรียบช่วยให้การไหลของน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบาและราคาถูก แต่มีข้อด้อยอยู่บ้าง เช่น มีความเปราะไม่ทนทานต่อแรงกระแทก ไม่ทนทานต่อ แสง UV เพราะจะทำให้กรอบและแตกหักได้ ท่อ PVC ที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างยังแบ่งออกได้อีก 3 ชนิดคือ

- ท่อสีฟ้า สำหรับงานสุขาภิบาลในอาคาร
- ท่อสีเหลือง สำหรับงานร้อยสายไฟหรือสายโทรศัพท์
- ท่อสีเทา สำหรับการระบายน้ำทางการเกษตรหรือระบายน้ำสิ่งปฏิกูล ที่ไม่ต้องรับแรงดันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ท่อ PP-R (Random Copolymer Polypropylene)

ท่อ PP-R 80 ย่อมาจาก Random Copolymer Polypropylene (80) เป็นพลาสติกคุณภาพสูงชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นท่อที่คิดค้นขึ้นภายใต้คุณสมบัติด้านเคมี และฟิสิกส์ ที่เกิดคุณสมบัติพิเศษที่เหมาะสมต่อการ ใช้งานท่อประปา และงานท่อประเภทต่างๆ ถือว่าเป็นพลาสติกที่สะอาดมากที่สุดชนิดหนึ่ง สามารถใช้งานได้กับน้ำร้อนและน้ำธรรมดา ใช้งานร่วมกับท่อชนิดอื่นได้ แต่เสียตรงที่มีราคาสูง และมีวิธีการติดตั้งที่ซับซ้อน

3. ท่อ PB (Polybutylene Resin)

เป็นท่อน้ำที่ผลิตจากเรซินโพลิบิวทิลีน (Polybutylene Resin) ซึ่งเป็นเรซินที่มีคุณภาพจากยุโรปและอเมริกา เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight) ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางการภาพต่างๆรวมทั้งค่าของความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม (ESCR Environmental Stress Cracking Resistance) สูงตามไปด้วย ทำให้ท่อพีบี เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นท่อน้ำประปาทั่วไป ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้ –40 องศาเซลเซียส สูงถึง 48 องศาเซลเซียส และท่อน้ำร้อนสามารถทนอุณหภูมิได้ –15 องศาเซลเซียส สูงถึง 90 องศาเซลเซียส มีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นได้ดี น้ำหนักเบากว่า PVC 50% ทนต่อแรงกระแทก แรงดันและ อุณหภูมิได้สูง ปราศจากสารเป็นพิษ ทนต่อสารเคมีและมีอายุการใช้งานยาวนานทนทานต่อแสงอาทิตย์

4. ท่อ ABS

ท่อ ABS เป็นท่อที่ค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย แต่มีใช้กันในประเทศอังกฤษ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และอีกหลายประเทศในทวีปยุโรป และในตะวันออกกลาง เป็นท่อที่ผลิตโดยใช้พลาสติก 3 ชนิดมารวมกันคือ Acrylonitrile (อย่างน้อย 15%) Butadiene และ Styrene ผลที่ได้คือท่อที่มีความแข็งและทนต่อการกระแทก ใช้ได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ -30 องศาเซลเซียส จนถึง 70 องศาเซลเซียส เหมือนกับท่อพลาสติกอื่นๆ ท่อ ABS เบากว่าท่อเหล็กประมาณ 70% ถึง 90% ต่อเชื่อมได้โดยใช้น้ำยาและกาวเฉพาะของมันเอง นอกจากนี้ท่อ ABS ยังสามารถต่อเชื่อมกับท่อชนิดอื่นได้โดยใช้เกลียวหรือหน้าแปลนด้วยเหตุที่ว่าท่อมีผิวในที่ค่อนข้างเรียบจึงช่วยลดการเกาะตัวของตะกรันเป็นอย่างดี

5. ท่อ UPVC (Unplasticized Polyvinyl Chloride) และท่อ CPVC (Chlorinated Polyvinyl Chloride)

ท่อ UPVC ในต่างประเทศมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายๆ ประเภท มีการแบ่งท่อออกเป็น 2 ประเภทคือ Type I หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Rigid PVC หรือ UPVC และ Type II หรือเรียกว่า High-impact หรือ Non-rigid PVC ซึ่งทนต่อการกระแทกมากกว่า Type I เนื่องจากมีส่วนผสมของยางปนอยู่ด้วยอุณหภูมิสูงสุดในการใช้งานของท่อ UPVC อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีการพัฒนาท่อ CPVC ขึ้นมาเพื่อให้ใช้งานลำเลียงของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

ท่อ CPVC มีส่วนประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับท่อ UPVC Type I แต่เพิ่มคุณสมบัติในการทนต่อความร้อนได้มากขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส และถึงแม้ว่ามันจะสามารถทนต่อสารเคมีชนิดเดียวกันกับท่อ UPVC แต่เนื่องจากราคาที่สูงกว่าของมันจึงทำให้การใช้งานของมันถูกจำกัดเฉพาะ ท่อ CPVC สามารถใช้ลำเลียงน้ำที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส ที่แรงดัน 100 Psi และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวท่อ CPVC จึงถูกนำมาใช้งานแทนท่อทองแดงในหลายภูมิภาคของยุโรปและสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ท่อHDPE (High Density Polyethylene)

ท่อโพลีเอทิลีน (HDPE) เป็นวัสดุทางเคมีที่มีค่าความหนาแน่นสูง คือ ไม่น้อยกว่า 950 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีคุณสมบัติทางเคมี ไฟฟ้าและทางกลที่ดีเยี่ยม สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานในวงการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานสนามกอล์ฟ งานประปา งานระบบชลประทาน งานระบายน้ำดี งานระบายน้ำเสีย งานเกษตรกรรม งานบ่อบาดาล งานในโรงงานอุตสาหกรรม การติดตั้ง สามารถติดตั้งได้ 2 ระบบ คือ

1. การต่อท่อระบบสวมอัด (Compression) ใช้กับท่อขนาดตั้งแต่ 16-110 มิลลิเมตร
2. การต่อท่อแบบเชื่อมชน (Butt Fusion ) ใช้กับท่อขนาดตั้งแต่ 110 มิลลิเมตร ขึ้นไป

โดยการประกอบข้อต่อท่อ PE แบบ Compression ตัวข้อต่อแบบนี้มีข้อดีที่รัดได้แน่นโดยไม่ต้องทำการเชื่อม มีขนาดใหญ่สุดถึง 4 นิ้วให้เลือกใช้งาน ดังแสดงในรูป 2.40

รูปที่ 2.40 วิธีการประกอบท่อ [18]

ท่อHDPEมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่2.9

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของท่อHDPE [19]

| สมบัติ | ท่อHDPE |
|---|---|
| น้ำหนัก | เบา |
| การขนส่ง | น้ำหนักเบา บรรทุกได้มากว่า สะดวกต่อการขนส่ง สามารถสอดท่อขนาดเล็กลงในท่อขนาดใหญ่ และขดเป็นม้วนได้สำหรับท่อเล็กกว่า 100 มิลลิเมตร |
| การโค้งงอ | ได้ 25-40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ |
| การไหลของน้ำในท่อ(ค่าสัมประสิทธิ์) | C = 150 |
| ความเร็วของคลื่นความดันน้ำในท่อ | 200-400 เมตร/วินาที |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของท่อ HDPE(ต่อ) [19]

| สมบัติ | ท่อHDPE |
|---|---|
| ทนแรงดันสูงสุด | 16กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร |
| ทนอุณหภูมิสูงสุด | -40 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส |
| อายุการใช้งานสูงสุด | มากกว่า 50 ปี |
| ผิวภายในท่อ | ไม่เป็นสนิม และไม่จับคราบหินปูน |
| ความทนทานต่อสารเคมี | ทนต่อสารเคมี กรด ด่าง ได้ดี |
| การวางท่อในพื้นดิน | เชื่อมท่อบนดินแล้วจึงวางท่อในร่องดินภายหลังได้ |
| ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และติดตั้งเทียบกับมูลค่าของท่อแต่ละประเภท (ไม่รวมอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ปั๊ม วาล์ว ฯลฯ) | 10% |
| การต่อท่อ | Butt Welding รอยเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ไม่มีการรั่วไหล |
| การติดตั้ง | ง่ายและรวดเร็ว |
| การซ่อม | ใช้วิธีเชื่อมหรือใช้ Repair Coupler |
| Water Hammer ที่เกิด | น้อย |
| การต่อท่อ Water Hammer | มาก |
| การใช้งานสภาพที่ดินมีการทรุดตัว | ไม่มีผลกระทบ |
| การใช้งานในสภาพที่แนวท่อมีการเปลี่ยนระดับหรือทิศทางบ่อย | ใช้อุปกรณ์ข้อต่อน้อยมาก เนื่องจากตัวท่อสามารถโค้งงอได้ตามธรรมชาติ |
| การทนต่อแรงกระแทก | สูง |

ส่วนตัวพลาสติกแบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ โดยมีความแข็งแรงขั้นต่ำของวัสดุ (Minimum Required Strength, MRS) และความเค้นตามแนวเส้นรอบวงสูงสุด (Hoop Stress or Hydrostatic Design Stress, $\sigma$ s) ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ชั้นคุณภาพ PE [20]

หน่วยเป็นเมกะพาสคัล

| ชั้นคุณภาพ | MRS | $\sigma_s$ |
|---|---|---|
| PE 100 | 10 | 8.0 |
| PE 80 | 8 | 6.3 |
| PE 63 | 6.3 | 5.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการทนความดัน เมื่อทดสอบตาม ISO 1167 โดยใช้ความเค้นทดสอบ (Test Stress, $\sigma$) ดังแสดงในตารางที่ 2.11 เมื่อคำนวณหาค่าความดันทดสอบจากสูตรแล้ว ท่อจะต้องไม่แตก รั่ว หรือร้าว

ตารางที่ 2.11 ความเค้นทดสอบสำหรับคำนวณหาค่าความดันทดสอบ [20]

| ชั้นคุณภาพ PE | $\sigma$ (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | 100 ชั่วโมง@ 20 องศาเซลเซียส | 165 ชั่วโมง @80 องศาเซลเซียส | 1000 ชั่วโมง@80องศาเซลเซียส |
| PE100 | 12.4 | 5.5 | 5.0 |
| PE80 | 9.0 | 4.6 | 4.0 |
| PE63 | 8.0 | 3.5 | 3.2 |

ตารางแสดงความเค้นทดสอบของพลาสติกแต่ละเกรดที่ทนรับได้โดยท่อไม่แตกรั่วหรือร้าว
โดยที่ ความดันทดสอบ คำนวณจากสูตร

$$P = \frac{2\sigma e_{min}}{d_{em} - e_{min}} \tag{2.6}$$

*เมื่อ* $P$ คือ ความดันทดสอบ เป็นเมกะพาสคัล
$\sigma$ คือ ความเค้นทดสอบ เป็นเมกะพาสคัล
$e_{\min}$ คือ ความหนาของผนังท่อที่วัดได้ต่ำสุด เป็นมิลลิเมตร
$d_{em}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย เป็นมิลลิเมตร

ความดันใช้งานที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดอายุการใช้งาน 50 ปี ให้เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ความดันใช้งานที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตลอดอายุการใช้งาน 50 ปี [20]

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความดันใช้งาน (เมกะพาสคัล) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PN 3.2 | PN 4 | PN 6 | PN 6.3 | PN 8 | PN 10 | PN 12.5 | PN 16 | PN 20 | PN 25 |
| 20 | 0.32 | 0.40 | 0.60 | 0.63 | 0.80 | 1.00 | 1.25 | 1.60 | 2.00 | 2.50 |
| 25 | 0.29 | 0.37 | 0.55 | 0.58 | 0.74 | 0.93 | 1.16 | 1.48 | 1.86 | 2.32 |
| 27 | 0.29 | 0.36 | 0.55 | 0.57 | 0.73 | 0.91 | 1.14 | 1.46 | 1.82 | 2.27 |
| 30 | 0.27 | 0.34 | 0.52 | 0.54 | 0.69 | 0.87 | 1.08 | 1.39 | 1.74 | 2.17 |
| 35 | 0.25 | 0.32 | 0.48 | 0.50 | 0.64 | 0.80 | 1.00 | 1.28 | 1.60 | 2.00 |
| 40 | 0.23 | 0.29 | 0.44 | 0.46 | 0.59 | 0.74 | 0.92 | 1.18 | 1.48 | 1.85 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.2 มาตรฐานและการบอกขนาดท่อ**

**การกำหนดขนาด (Pipe Size Designation)**

การกำหนดขนาดของท่อเป็น Nominal Pipe Size (NPS) หรือ Nominal Bore (NB) การกำหนดใน 2 ลักษณะนี้ จะมีหน่วยวัดเป็น นิ้ว (Inch) ซึ่งเป็นมาตรฐานอเมริกัน ส่วนการบอกขนาดอีกลักษณะที่มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) จะใช้อักษร A กำกับอยู่ด้วย เมื่อกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (O.D) ได้แล้ว สิ่งสำคัญคือต้องมีการระบุความหนาของท่อไว้ด้วยซึ่งจะให้ทราบว่า ท่อนี้จะสามารถทนความดันได้เท่าไรเพื่อที่จะสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย การระบุความหนาของท่อจะบอกเป็น Schedule หรือย่อว่า SCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

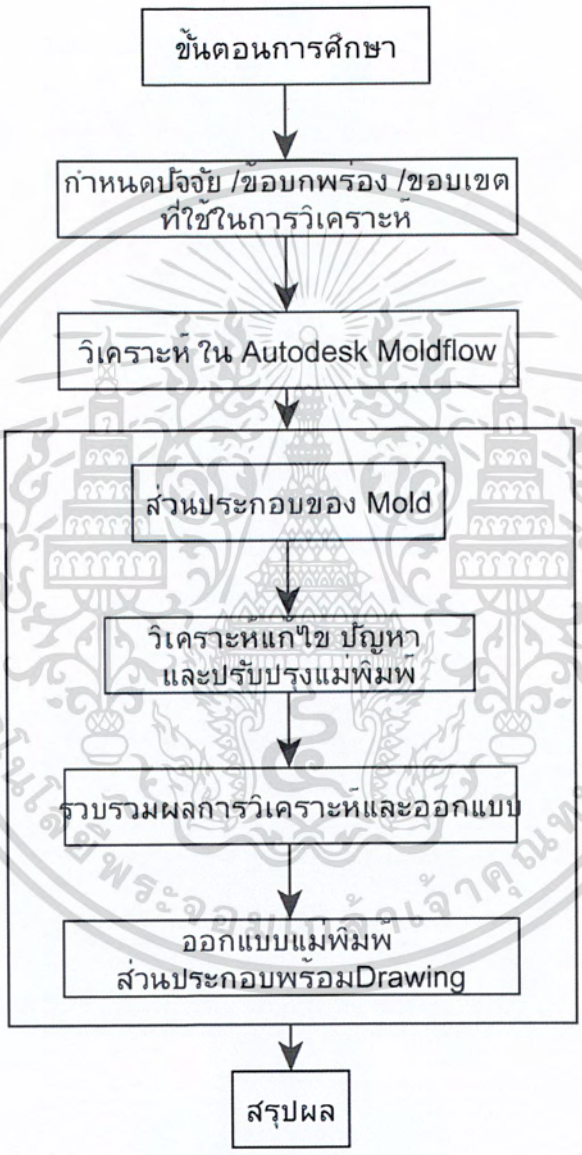
# การออกแบบการดำเนินงาน

## 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานจะแบ่งออกเป็นแต่ละขั้นดังแสดงในรูปที่ 3.1

1. ศึกษาและรวมรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยจะทำการศึกษาโดยแบ่งตามหัวข้อดังนี้
    - การฉีดพลาสติก ปัจจัยที่มีผล และคุณสมบัติพลาสติก
    - ข้อบกพร่องและการแก้ไข
    - แม่พิมพ์และส่วนประกอบของแม่พิมพ์
    - โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010
2. กำหนดขอบเขตของข้อบกพร่องที่จะทำการแก้ไขและปัจจัยที่นำมาทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์และออกแบบชิ้นงานข้อต่อท่อพลาสติก และทำการเขียนชิ้นงานในโปรแกรม SolidWorks
3. นำชิ้นงานมาทำการวิเคราะห์ ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010
4. กำหนดส่วนประกอบของแม่พิมพ์และเลือกใช้ส่วนประกอบที่มีความเหมาะสมแก่ชิ้นงานข้อต่อท่อพลาสติกและกำหนดขนาดของชิ้นงานตามมาตรฐานของชิ้นส่วนต่างๆ
5. วิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010
6. รวบรวมผลการวิเคราะห์รวมถึงปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อนำมาทำการออกแบบแม่พิมพ์
7. นำผลการวิเคราะห์มาออกแบบแม่พิมพ์ในโปรแกรม SolidWorks เพื่อให้เห็นถึงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบ
8. รวบรวมข้อมูลและสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

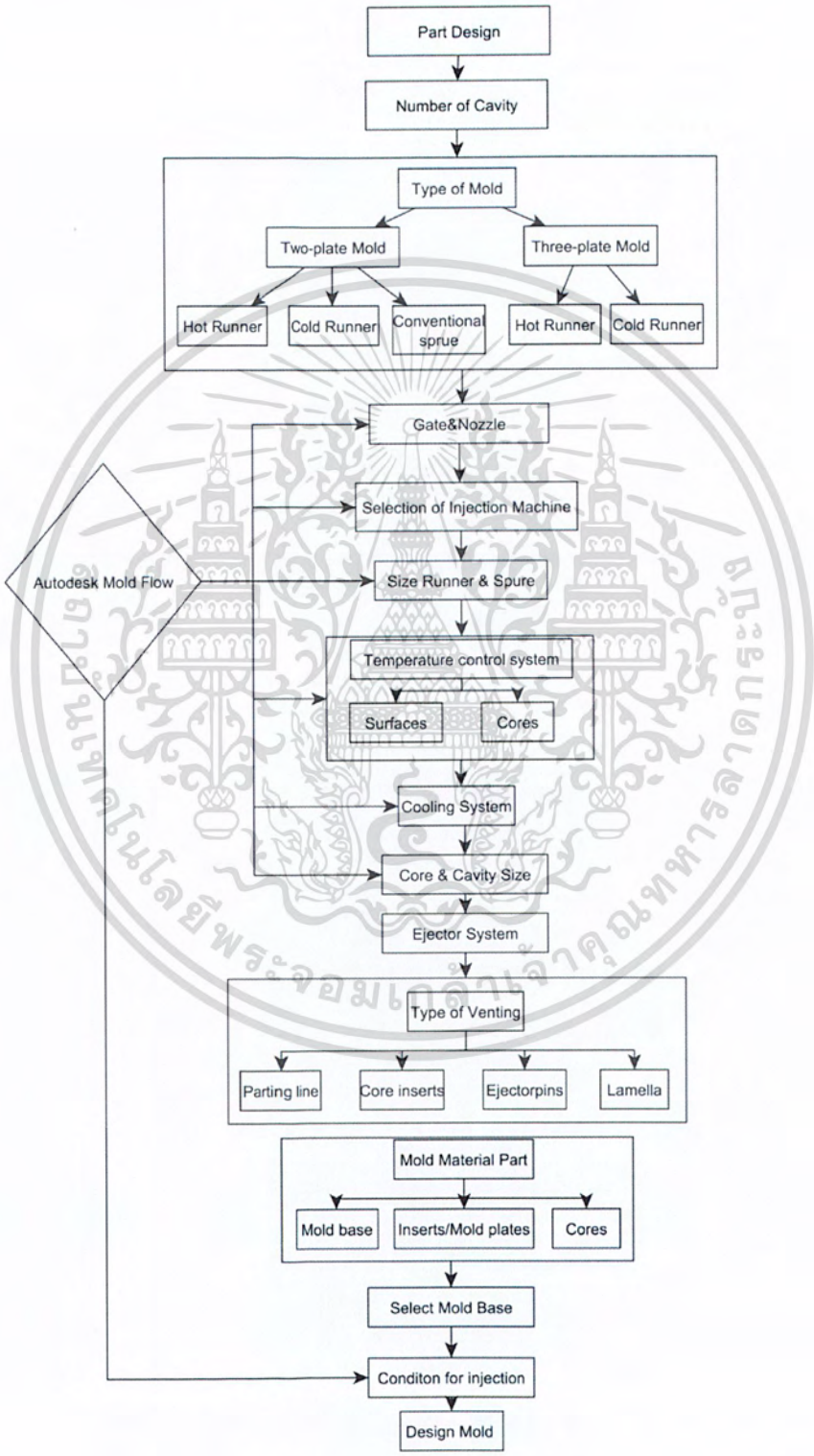



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

โดยขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์เป็นดังนี้

1. นำชิ้นงาน ที่ออกแบบ มาทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานที่จะฉีดในแม่พิมพ์ ว่ามีจำนวนกี่ชิ้น
2. เลือกชนิดของแม่พิมพ์ ว่าเป็นแม่พิมพ์แบบใดชนิดใด มีทางวิ่งแบบใด โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดให้แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีด เป็นชนิด Two-Plate Mold แบบทางวิ่งร้อน
3. กำหนดวัสดุเพื่อนำมาทำแม่พิมพ์
4. นำผลวิเคราะห์จากเวลาในการฉีดและปริมาตรชิ้นงานมาทำการกำหนด จุดฉีด และ หัวฉีด โดยเลือกจากมาตรฐาน หัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group
5. กำหนดระบบหล่อเย็นชิ้นงาน การวางระบบหล่อเย็น ขนาดของท่อหล่อเย็น ชนิดของน้ำหล่อเย็น โดยการกำหนดและจำลองท่อหล่อเย็นในโปรแกรม Autodesk MoldFlow 2010
6. กำหนดขนาดของไส้แบบ และโพรงแบบ ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ภายในโปรแกรม เพื่อให้แม่พิมพ์มีขนาดเผื่อสำหรับการหดตัวของพลาสติก
7. ระบบปลดชิ้นงาน เป็นการออกแบบระบบปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
8. การบอกแบบช่องระบายอากาศ (Venting)
9. กำหนดขนาดของแม่พิมพ์มาตรฐาน
10. นำผลจากการวิเคราะห์มากำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการฉีด เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์
11. รวมรวมข้อมูลแล้วทำการออกแบบแม่พิมพ์ในโปรแกรม พร้อมทั้งวาดแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อที่จะสามารถนำไปสร้างแม่พิมพ์ได้

### 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk MoldFlow 2010

1. ทำการนำเข้า (Import) ชิ้นงานจากโปรแกรม SolidWorks เพื่อนำชิ้นงานมาทำการเมช (Mesh) โดยเลือกชนิดของการเมท คือแบบ Dual Domain ซึ่งเป็นแบ่ง Finite Element ย่อยๆที่ผิวของชิ้นงาน

2. เลือกชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้ขึ้นรูป

3. ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งทางเข้า (Gate Locations) หรือกำหนดตำแหน่งฉีดที่ต้องการ

4. เลือกสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ว่าเป็นแบบ Fill, Pack and Warp Analysis หรือทั้งสามอย่าง แต่สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ทั้งสามแบบ ในขั้นแรกทำการวิเคราะห์แบบ Fill Analysis

Fill Analysis เป็นการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก ในการวิเคราะห์ต้องใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก เวลาฉีด เป็นต้น เพื่อไปทำการวิเคราะห์ การวิเคราะห์แบบ Fill Analysis สามารถแสดงข้อบกพร่องๆต่างๆของชิ้นงานได้ เช่น การเกิดฟองอากาศ การฉีดไม่เต็มแบบ และสามารถแสดงบริเวณที่มีความเค้น ความดัน และ แรงปิดแม่พิมพ์สูงๆได้ด้วย

5. คำนวณหาขนาดของทางวิ่ง และการวางทางวิ่ง วิเคราะห์ความดันที่ส่งผลกระทบต่อทางวิ่ง

6. คำนวณขนาดและจำนวนช่องของท่อหล่อเย็น วิเคราะห์ลักษณะการวางตัวว่าควรวางตัวในทิศทางใด

7. ทำการวิเคราะห์แบบ Pack Analysis และ Warp Analysis

- Pack Analysis เป็นการวิเคราะห์การหดตัวของชิ้นงาน โปรแกรม Autodesk MoldFlow 2010 จะแสดงผลการวิเคราะห์ต่างๆ เช่น Frozen Pressure, Hold Pressure, Volumetric Shrinkage เป็นต้น ทำให้เห็นถึงข้อบกพร่องของชิ้นงานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Warp Analysis เป็นการวิเคราะห์การโก่งตัวของชิ้นงาน การวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นถึงการโก่งตัวในแต่ละทิศทางของชิ้นงาน (X,Y,Z)

**3.4 กระบวนการทำงาน**

1. ทำการศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกโดยทั่วไปและพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด80 (Polyethelene:PE80) ที่จะนำมาฉีดขึ้นรูป พบว่าพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด 80 มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติพลาสติกพอลิเอทิลีนเกรด80 [21]

| Properties | Test Method | Value |
|---|---|---|
| Melt Flow Rate | ISO 1133 @ 190°C,5.0 kg | 0.38 g/10 min |
| Density (Compound) | ISO 1183 | 0.959 $g/cm^3$ |
| Tensile Strength at Yield | ISO 527@Crosshead Speed 100mm/min | 22 MPa |
| Tensile Strength at Break | ISO 527@Crosshead Speed 100mm/min | 33 MPa |
| Elongation at Break | ISO 527@Crosshead Speed 100mm/min | 812 % |
| Oxidative Induction Time | ISO/TR10837@200 °C | >70 min |
| MRS (Minimum Required Strength) | ISO TR9080 | 8 MPa |
| Resistance to Slow Crack Growth | ISO 13479@80 °C | >500 Hrs |
| Rapid Crack Propagation | ISO 13477 | >8 bar |
| Resistance to Gas Constituents | ISO 1167 | >20 Hrs |
| Carbon Black Content | ISO 6964 | 2.3 %wt |
| Flexural Modulus | ASTM D790 | 1000 MPa |
| Notched Izod Impact | ASTM D256@23 °C | 26.5 kg.cm/cm |
| Notched Izod Impact | ASTM D256@0 °C | 16 kg.cm/cm |
| Notched Izod Impact | ASTM D256@-20°C | 7.6 kg.cm/cm |
| Hardness | ASTM D2240 | 62 Shore D |
| ESCR | ASTM D1693 | >10000 Hrs |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรใช้อุณหภูมิหลอมเหลว ( Melt Temperature ) อยู่ในช่วง 170-200 องศาเซลเซียส และควรอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน

และทำการศึกษาส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก รูปแบบและลักษณะการฉีดที่แตกต่างกัน กรรมวิธีในการฉีด และทำการศึกษาส่วนประกอบของแม่พิมพ์ (Mold) ว่าแม่พิมพ์แต่ละแบบมีความแตกต่างกันอย่างไร มีวิธีการคำนวณและกำหนดส่วนประกอบต่างๆเหล่านั้นอย่างไรบ้าง

2. ศึกษาการใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เพื่อนำโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 มาช่วยในการวิเคราะห์และจำลองการฉีดขึ้นรูป โดยในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 สามารถจำลองการฉีดขึ้นรูป หาตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสม วิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์และสามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสมได้ นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ยังมีคุณสมบัติต่างๆอีกมากมาย

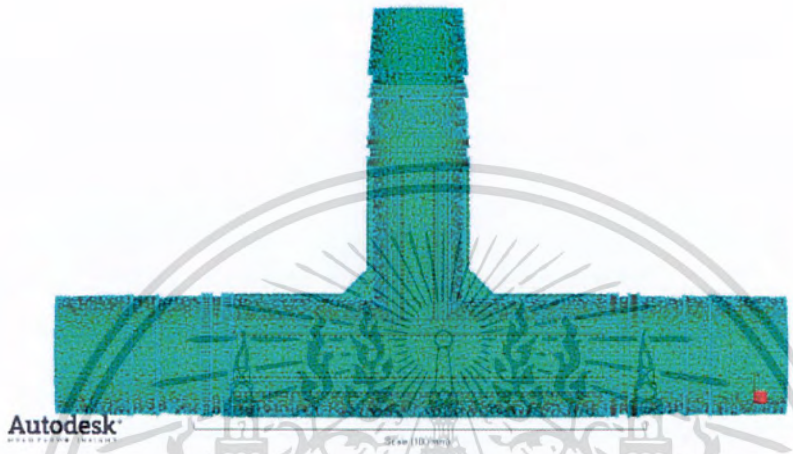
3. ทำการกำหนดขนาดของข้อต่อท่อสามทางและนำขนาดของข้อต่อที่ได้ไปทำการวาดในโปรแกรม SolidWorks เพื่อใช้นำไปทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ชิ้นงานใน โปรแกรม SolidWorks

จากนั้นทำการแปลงไฟล์จาก SolidWorks (.SLDPRT) ให้เป็น STL file ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ ในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ได้

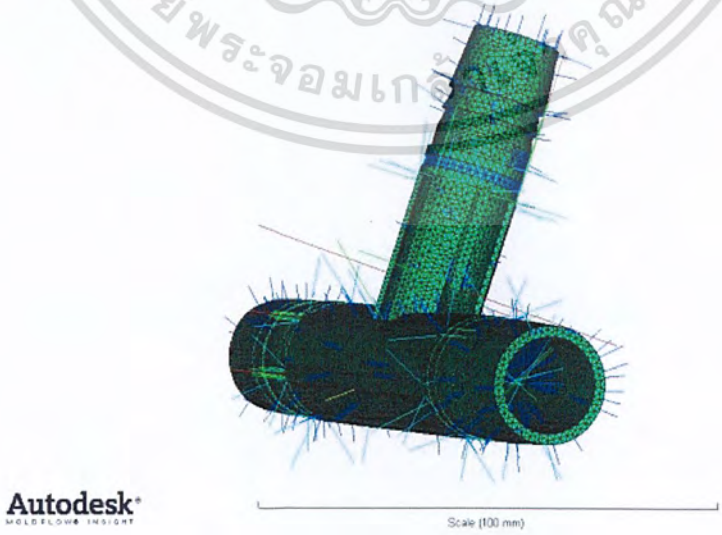
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำชิ้นงานข้อต่อท่อพลาสติกจากโปรแกรม SolidWorks เข้าสู่โปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์โดยใช้ Finite Element หรือที่เรียกว่าการเมช ( Mesh ) คือการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยแบ่งชิ้นงานเป็นรูปทรงเลขาคณิตเล็กๆทั่วทั้งชิ้นงาน การเมช ( Mesh ) ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.4




รูปที่ 3.4 ชิ้นงานหลักจากเมท

5.ทำการแก้ไขการเมช ( Mesh ) คือการแก้ไขให้ค่า Aspect Ratio ของแต่ละ Element ของชิ้นงานมีค่าไม่เกิน 6 โดย Element ที่มีค่า Aspect Ratio เกิน 6 จะแสดงเป็นเส้นพุ่งออกมาจาก Element และเมื่อทำการแก้ไขให้ค่า Aspect Ratio น้อยกว่า 6 แล้วเส้นที่พุ่งออกมาจาก Elementก็จะหายไป แสดงภาพของ Element ที่มีค่า Aspect Ratio เกิน 6 ดังแสดงในรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.5 Element ที่จำเป็นต้องแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

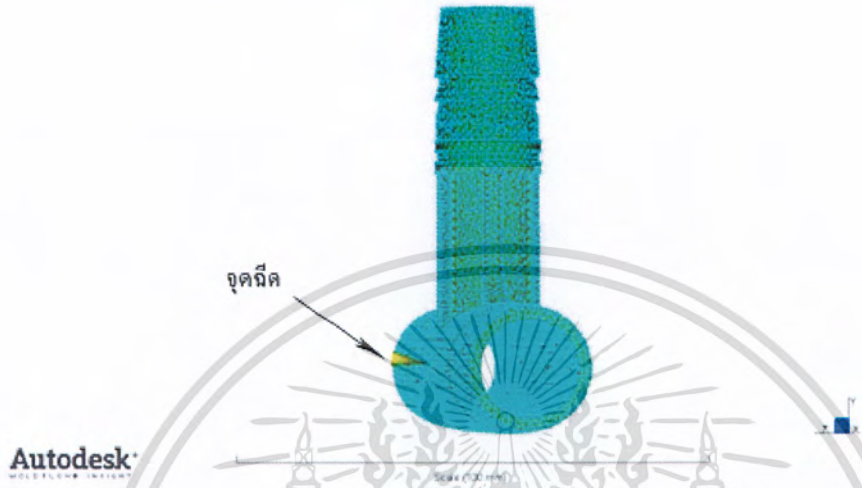
หลังจากที่ทำการแก้ไขเมท เรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงค่า Mesh Statistics ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 Mesh Statistics

| **Entity Counts** | |
|---|---|
| Surface Triangles | 42110 |
| Nodes | 21053 |
| Beams | 0 |
| Connectivity Regions | 1 |
| Mesh Volume | 38.1789 $cm^3$ |
| Mesh Area | 318.794 $cm^3$ |
| **Edge Details** | |
| Free Edges | 0 |
| Manifold Edges | 63165 |
| Non-Manifold Edges | 0 |
| **Orientation Details** | |
| Elements not Oriented | 0 |
| Intersection Details | |
| Element Intersections | 0 |
| Fully Overlapping Elements | 0 |
| Duplicate Beams | 0 |
| **Surface Triangle Aspect Ratio** | |
| Minimum Aspect Ratio | 1.155000 |
| Maximum Aspect Ratio | 5.992000 |
| Average Aspect Ratio | 1.952000 |
| **Match Percentage** | |
| Match Percentage | 87.2% |
| Reciprocal Percentage | 84.3% |

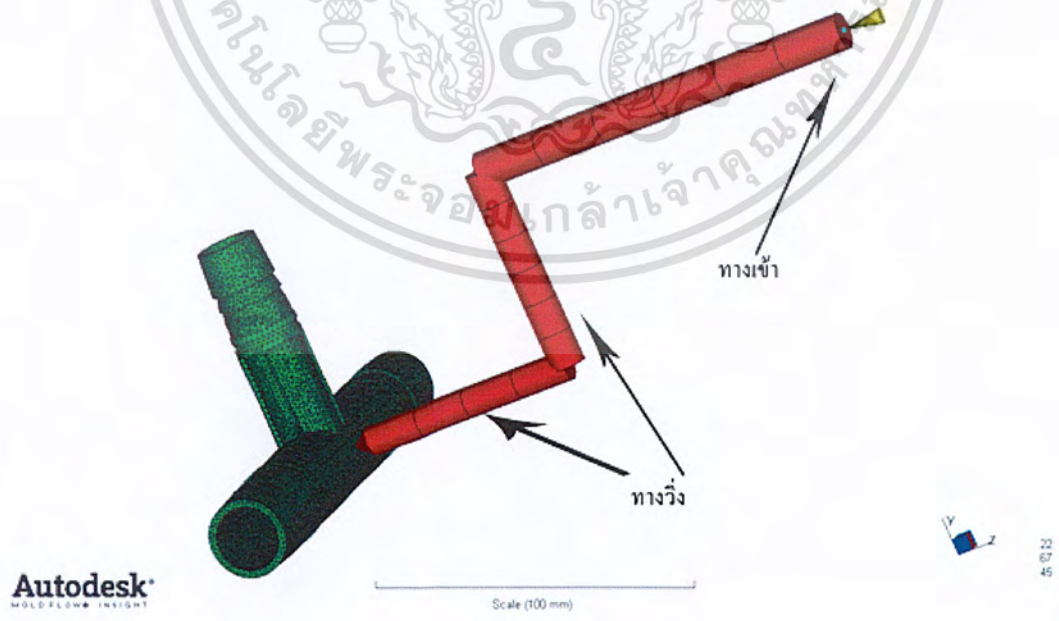
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสมโดยโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 และทำการเลือกตำแหน่งทางเข้าที่ต้องการ เพราะตำแหน่งทางเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรมไม่สามารถนำมาใช้เป็นจุดฉีดจริงได้เนื่องจากเป็นจุดที่ที่กำหนดเป็น Parting Line ดังแสดงในรูปที่ 3.6




รูปที่ 3.6 ตำแหน่งทางเข้า

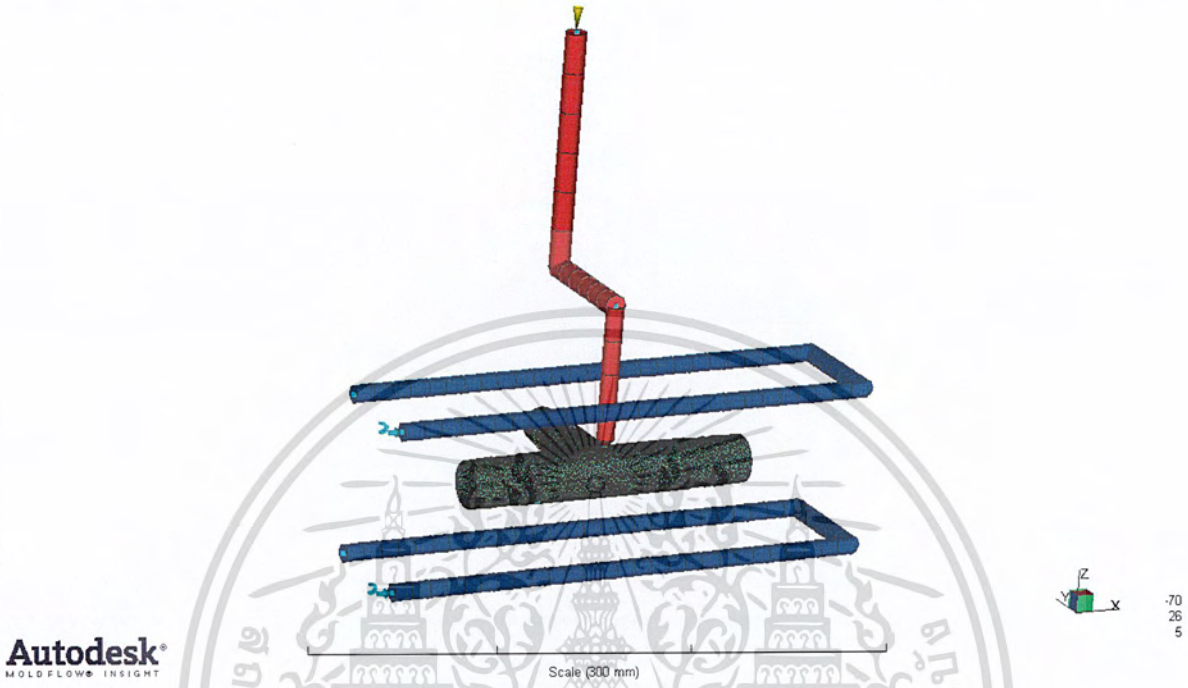
7. การกำหนดขนาดของ ทางเข้า และทางวิ่งของน้ำพลาสติก จะกำหนดตามขนาดของ รุ่นของ ทางเข้าและทางวิ่ง ตามขนาดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group และนำไปสร้างในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เพื่อทำการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.7




รูปที่ 3.7 ทางเข้าและทางวิ่งของน้ำพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การวางตำแหน่ง และขนาดของน้ำหล่อเย็น โดยกำหนดตามมาตรฐานทั่วไปคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างท่อกับชิ้นงานเป็นสามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็น แล้วนำมาสร้างในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 ซึ่งได้ดังแสดงในรูปที่ 3.8




รูปที่ 3.8 ท่อหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงาน

การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปพลาสติกซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ โดยผลการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกโดยใช้พลาสติกโพลิเอทิลีนเกรด 80 เป็นไปดังต่อไปนี้

**4.1 การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์**

เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mold Steels) ส่วนใหญ่จะถูกใช้งานที่อุณหภูมิ 175-200°c ภายใต้ความดันสูง มีการกัดกร่อนจากสารเคมี และต้องรับแรงเสียดสีจากผงพลาสติก จึงต้องมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเหล็กกล้าเครื่องมือชนิดอื่น โดยมีการพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ คือ ความต้านทานแรงอัด ความแข็งที่ผิว ความแข็งแรงที่แกน ความสามารถในการกลึงไส ความแน่นอนของขนาดภายหลังการชุบแข็ง ความสามารถในการขัดผิวให้เรียบ และความต้านทานการกัดกร่อนที่ผิว

เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือผสม Cr Mn Preharden ในกลุ่ม Pre-hardened steels มีความแข็ง 29-33 HRC มีคุณสมบัติการกลึงไส (Machinability) ดี ขัดผิวเงาได้ดีมาก มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 [22]

| **Mold material properties** | |
|---|---|
| Mold density | 7.8 g/cm^3 |
| Mold specific heat | 460 J/kg-C |
| Mold thermal conductivity | 29 W/m-C |
| Elastic modulus(E) | 205000 MPa |
| Poissons ratio(v) | 0.29 |
| Mold coefficient of thermal expansion | 1.2e-005 1/C |
| **Mechanical Properties (at room temperature)** | |
| Tensile Strength | 1000-1068 N/mm² |
| Yield Stress | 861-930 N/mm² |
| Reduction of Area | 45-50% |
| Elongation | 14-17% |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AISI P20 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือเกรดที่มีธาตุผสมต่ำ เหมาะกับงานที่ทนต่อแรงอัดสูง สามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมากโดยไม่ทำให้แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ แต่มีข้อจำกัดสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ การผลิตแม่พิมพ์จะทำโดยการนำเหล็กมาชุบแข็งแล้วจึงเจาะหรือตัดให้เป็นช่องว่าง สามารถนำมาใช้งานได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องชุบแข็งอีก หรืออาจทำการชุบแข็งผิวด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่งเพื่อเพิ่มความแข็ง และการต้านทานต่อการสึกหรอ ทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการบิดงอ และเสียรูป แต่เนื่องจากแม่พิมพ์ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลมาก่อน จึงควรนำไปอบคลายความเค้นก่อนใช้งาน เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานบิดตัวขณะใช้งาน

**4.2 การเลือกแบบหัวฉีด (Nozzle) ทางเข้าน้ำพลาสติก (Spure) และทางวิ่ง (Runner)**

การออกแบบแม่พิมพ์แบบทางวิ่งร้อน (Hot Runner) ในส่วนของหัวฉีด ทางวิ่ง และ ทางเข้าน้ำพลาสติก จะมีความสัมพันธ์กัน เพราะในส่วนที่ให้ความร้อนหรือแมนิโฟลด์ (Manifold) จะมีส่วนที่ต้องการการกำหนดขนาด และระยะต่างๆ เช่น หัวฉีด ทางวิ่ง และ ทางเข้าน้ำพลาสติก โดยการออกแบบส่วนต่างๆจะเป็นดังนี้

**4.2.1 หัวฉีด (Nozzle)**

การกำหนดขนาดและรุ่นของหัวฉีดเป็นสิ่งแรกที่ต้องหาค่าเพราะจะส่งผลถึงขนาดของแมนิโฟลด์ ทางวิ่ง และ ทางเข้าน้ำพลาสติก การกำหนดขนาดและรุ่นของหัวฉีด จะขึ้นอยู่กับ อัตราการไหล ของพลาสติกที่เข้ามาในชิ้นงาน โดยคำนวณจาก

$$\text{อัตราการไหล (กรัม/วินาที)} = \frac{(\text{Melt density})\times(\text{Volume})}{\text{Fill time}} \qquad (4.1)$$

ความหนาแน่นของพลาสติกขณะหลอมเหลว (Melt Density) = 0.71245 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตรของชิ้นงาน (Volume) = 38.1789 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เวลาในการเติมพลาสติกให้เต็มแม่พิมพ์ (Fill Time) = 1.456 วินาที

ดังนั้น ขนาดของหัวฉีดจะคำนวณจาก

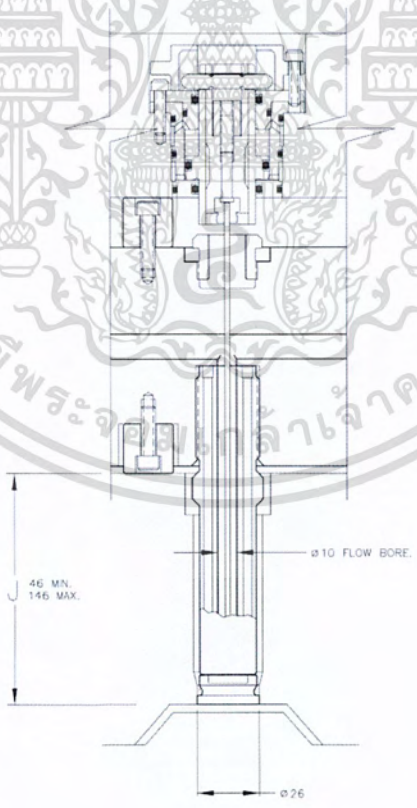
$$\frac{(0.71245g)\times(38.1789cm^3)}{1.456\ sec} = 18.681701445 \text{ กรัม/วินาที} \qquad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเลือกหัวฉีด ของ Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG เพราะขนาดของหัวฉีดรุ่นนี้มีขนาด 25 กรัม/วินาที ซึ่งมีความใกล้เคียงกับอัตราการไหลของชิ้นงานที่ต้องการ โดยที่หัวฉีดชนิดนี้มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2 และมีขนาดรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของหัวฉีด รุ่น T10VG [23]

| คุณสมบัติ | ขนาด |
|---|---|
| Maximum Nozzle Bore Diameter | Ø10 มิลลิเมตร |
| Mold Depth , J | 46 – 146 มิลลิเมตร |
| Application Data | ØTip:26 มิลลิเมตร |
| Nozzle Clearance Hole | Ø30 มิลลิเมตร |
| Valve Pin | 3 มิลลิเมตร |
| Gate Spacing | 70 มิรลลิเม |




รูปที่ 4.1 หัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอัตราการไหลของพลาสติกชนิดต่างๆของหัวฉีดรุ่น T10VG ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลของหัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG [23]

| วัสดุ | อัตราการไหล |
|---|---|
| PP | 200 กรัม/วินาที |
| NYLON | 130 กรัม/วินาที |
| PVC | 80 กรัม/วินาที |
| ACETAL | 10 กรัม/วินาที |
| PE | 25 กรัม/วินาที |
| ACRYLIC | 35 กรัม/วินาที |
| TPR | 200 กรัม/วินาที |
| ABS | 40 กรัม/วินาที |
| PC | 12 กรัม/วินาที |
| PPO | 12 กรัม/วินาที |
| PBT | 7 กรัม/วินาที |
| PBT/PC | 7 กรัม/วินาที |
| PC/ABS | 5 กรัม/วินาที |
| PS | 200 กรัม/วินาที |

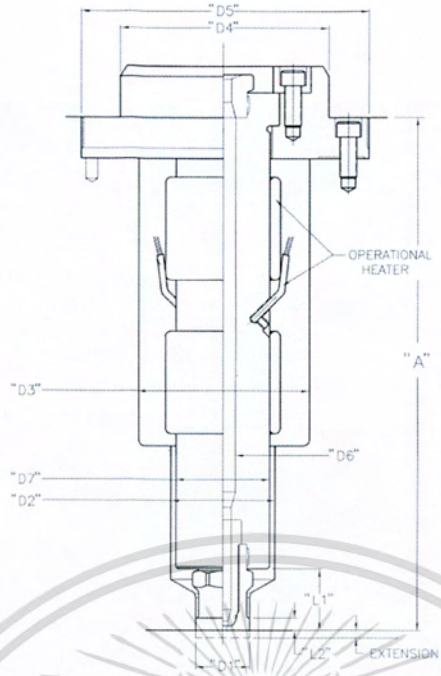
**4.2.2 ทางเข้าน้ำพลาสติก (Spure Bushing)**

ทางเข้าน้ำพลาสติก (Sprue Bushing) เป็นส่วนที่ต่อกับหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกซึ่งเป็นทางที่พลาสติกจากเครื่องฉีดไหลเข้าในแม่พิมพ์เป็นอันดับแรก ซึ่งแม่พิมพ์แบบ ทางวิ่งร้อน จะใช้ทางเข้าน้ำพลาสติกแบบร้อนด้วย (Hot spure bushing) โดยเลือกแม่พิมพ์ตามความเหมาะสมของขนาดของชิ้นงาน ซึ่งเลือกจาก ทางเข้าน้ำพลาสติกแบบร้อนของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group โดยเลือก รุ่น SB15 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. แรงดันสูงสุดที่รับได้ 20,00psi (1400bar)
2. อุณหภูมิสูงสุดที่รับได้ 650F (345C)

โดยขนาดของทางเข้าน้ำพลาสติกแบบร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.2 และขนาดของส่วนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.2 ทางเข้าน้ำพลาสติกรุ่น SB15 [23]

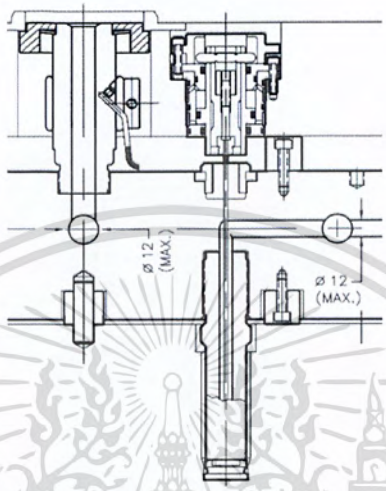
ตารางที่ 4.4 ขนาดของทางเข้าน้ำพลาสติกรุ่น SB15 [23]

| ระยะ | หน่วย (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| “A min” | 106 |
| “A max” | 380 |
| “D1” | 26 |
| “D2” | 50 |
| “D3” | 82 |
| “D4” | 101.4 |
| “D5” | 140 |
| “D6” | 15 |
| “D7” | 45 |
| “L1” | 30 |
| “L2” | 6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

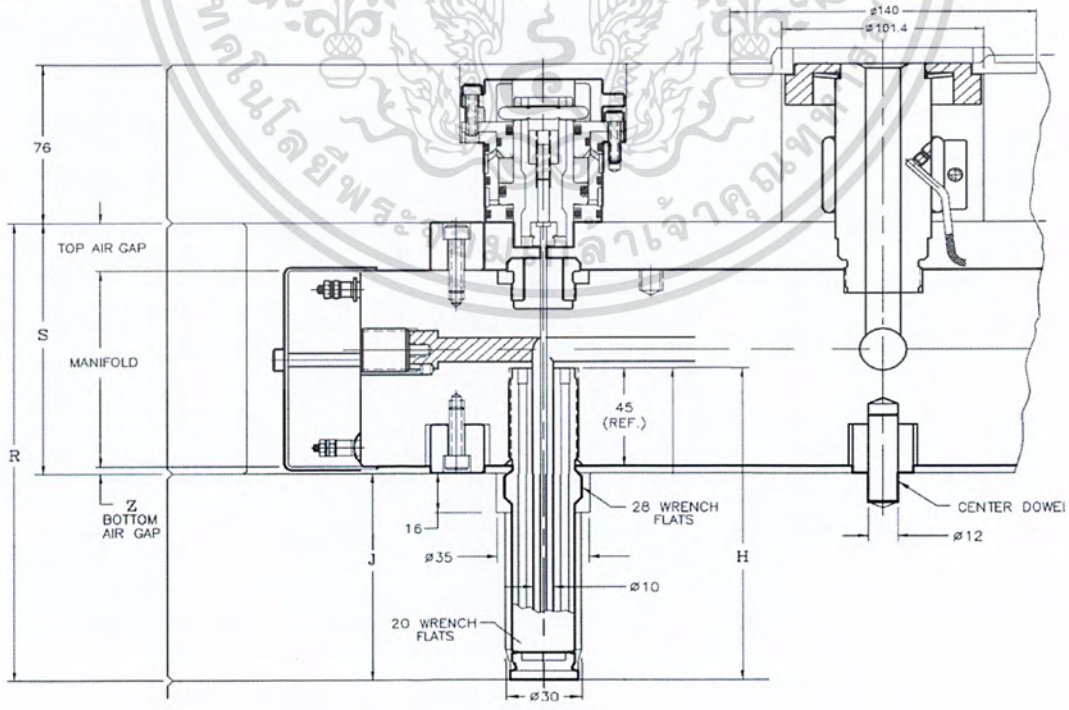
**4.2.3 ทางวิ่งร้อนและมานิโฟลด์ (Hot Runner and Manifold)**

ทางวิ่งร้อน (Hot Runner) เป็นส่วนที่พลาสติกไหลผ่าน ก่อนผ่านหัวฉีด และเข้าชิ้นงาน ซึ่ง ระบบทางวิ่งร้อนจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวตลอดเวลาก่อนจะเข้าชิ้นงาน โดยจะมีกล่องแมนิโฟลด์ (Manifold Box) เป็นส่วนให้ความร้อน ซึ่งจะให้ความร้อนผ่านทางเครื่องทำความร้อน (Heater) ทำให้พลาสติกภายในทางวิ่ง (Runner) ไม่แข็งตัว โดยลักษณะของทางวิ่งร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.3




รูปที่ 4.3 บริเวณทางเข้าน้ำพลาสติก ทางวิ่งและหัวฉีด [23]

ซึ่งขนาดของทางวิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร โดยการจัดวางชิ้นส่วนต่างๆและการระยะห่างของแมนิโฟลด์( Manifold ) กับส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 ระยะห่างและขนาดของส่วนต่างๆ ภายในส่วนของทางวิ่งร้อน [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าจากตารางมาคำนวณหาระยะต่างๆ โดยเลือกจากระยะ J ของหัวฉีดที่ใช้งานดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ขนาดระยะต่างในส่วนของ แมนิโฟลด์ และแม่พิมพ์ [23]

| J | | H | H | "RD" Max. |
|---|---|---|---|---|
| MIN. | MAX. | cold | hot | CV-10,11 |
| 46 | 56 | 103.69 | 104 | 67.7 |
| 56 | 66 | 113.66 | 114 | 111.2 |
| 66 | 76 | 123.63 | 124 | 168.5 |
| 76 | 86 | 133.60 | 134 | 226.8 |
| 86 | 96 | 143.57 | 144 | 282.2 |
| 96 | 106 | 153.54 | 154 | 343.8 |
| 106 | 116 | 163.51 | 164 | 411.4 |
| 116 | 126 | 173.48 | 174 | 484.9 |
| 126 | 136 | 183.45 | 184 | 564.7 |
| 136 | 146 | 193.42 | 194 | 650.5 |

"RD" = Radial Distance from Nozzle to Center Dowel

Manifold Thickness = 80 มิลลิเมตร

Top Air Gap = 28 มิลลิเมตร

Manifold Width = 88 มิลลิเมตร

$$Z = H - 44.95 - J(.997)$$

$$Z = 103.69 - 44.95 - 56(.997)$$

$$Z = 2.908 \text{ มิลลิเมตร}$$

ซึ่ง Z = ระยะเผื่อไม่ให้กล่องแมนิโฟลด์สัมผัสกับ แผ่นของแม่พิมพ์

$$R = \text{Manifold Thickness} + 3 + J\ \max + \text{Top Air Gap.}$$

$$R = 80 + 3 + 56 + 28$$

$$R = 167 \text{ มิลลิเมตร}$$

ซึ่ง R = ระยะจากหัวฉีดถึง Backing Plate (มิลลิเมตร)

$$S = R - J$$

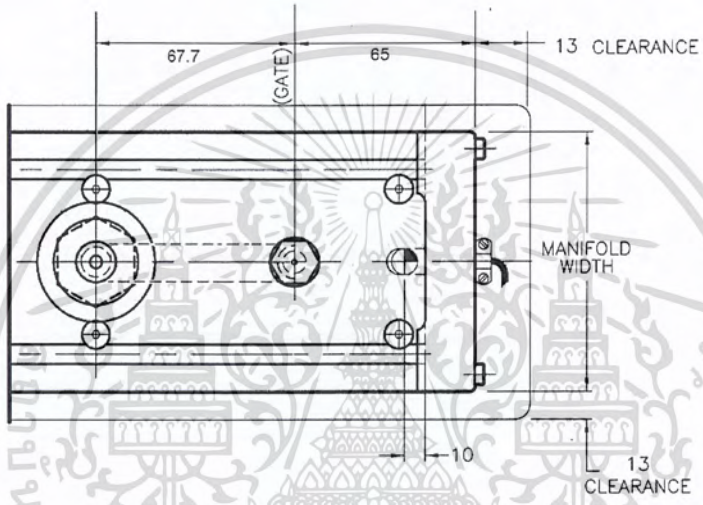
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = 167 – 56

S = 111 มิลลิเมตร

โดย S = ความหนาของฐานแม่พิมพ์ (Mold Base) ตำแหน่งที่มีแมนิโฟลด์ ( Manifold ) อยู่ (มิลลิเมตร)

ซึ่ง ขนาดของกล่องแมนิโฟลด์ ( Manifold ) ที่ได้นั้นจะ มีระยะห่างเป็นช่องว่างภายในแม่พิมพ์เพื่อไม่ให้สัมผัสกับแม่พิมพ์ โดยขนาดของแมนิโฟลด์ ( Manifold ) เป็นไปตามในรูปที่ 4.5




รูปที่ 4.5 การเว้นช่องเผื่อของแม่พิมพ์และแมนิโฟลด์ [23]

ความหนาของแมนิโฟลด์ เท่ากับ 88 มิลลิเมตร

ระยะขอบเผื่อของกล่องแมนิโฟลด์ กว้าง 13 มิลลิเมตร

**4.3 การหล่อเย็น (Cooling)**

การออกแบบระบบหล่อเย็นเป็นสิ่งสำคัญ ควรออกแบบไปพร้อมๆกับระบบอื่น เพราะระบบหล่อเย็นที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เช่น ระบบการหล่อเย็นที่ใหญ่เกินไปนั้นทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียด บิดงอ หรืออาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวได้แต่ถ้าออกแบบระบบหล่อเย็นให้เล็กเกินไปก็จะทำให้เวลารอบในการฉีด (Cycle Time) มากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบระบบน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสมเพื่อที่การหล่อเย็นจะได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ผิวของท่อน้ำหล่อเย็นควรจะเรียบเพื่อให้ถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการเกิดสนิมในท่อก็ทำให้ประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็นลดลงด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการกัดกร่อนภายในท่อจึงควรทำฟอสเฟต ( Phosphatising )

การวางตำแหน่งของท่อน้ำหล่อเย็น ถ้าวางให้ใกล้กับตัวของชิ้นงานมากเกินไป จะทำให้ส่วนของโพรงแบบไม่แข็งแรงและทำให้การระบายความร้อนเกิดขึ้นมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการหดตัวและการบิดตัวที่มากขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนถ้าวางตำแหน่งท่อหล่อเย็นไกลก็จะทำให้ระบายความร้อนได้น้อย ตำแหน่งที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับความหนาของชิ้นงานของการวางตำแหน่งท่อหล่อเย็นดเงแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ขนาดของความหนาของชิ้นงานกับเส้นผ่านศูนย์กลางระบบหล่อเย็น [24]

| **Molding Thickness** | **Channel Diameter** |
|---|---|
| 2 มิลลิเมตร | 8 – 10 มิลลิเมตร |
| 4 มิลลิเมตร | 10 -12 มิลลิเมตร |
| 6 มิลลิเมตร | 12 – 15 มิลลิเมตร |
| ระยะห่างระหว่างตัวชิ้นงานกับท่อหล่อเย็นเท่ากับ 2-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็น | |
| ระยะห่างระหว่างท่อหล่อเย็นแต่ละท่อเท่ากับ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหล่อเย็น | |

ชิ้นงานท่อหนา 2.5 มิลลิเมตร จึงกำหนดค่า เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็นเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังนั้นระยะห่างระหว่างท่อหล่อเย็นกับชิ้นงานให้เท่ากับ 3 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหล่อเย็นเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ระยะห่างของแต่ละท่อเท่ากับ 20 มิลลิเมตร

**4.4 การปลดชิ้นงาน (Ejector)**

วัสดุเทอร์โมพลาสติกจะหดตัวเมื่อเกิดการแข็งตัว ดังนั้นชิ้นงานจะหดติดกับแม่พิมพ์และคอร์ ( Core ) ที่ขึ้นรูปส่วนในของชิ้นงาน การหดตัวนี้ทำให้การปลดชิ้นงานกระทำได้ยาก เพื่อความสะดวกในการทำงาน ในเครื่องฉีดพลาสติกจึงมีการสร้างระบบกระทุ้งอัตโนมัติสำหรับดันให้ระบบปลดชิ้นงานทำงาน และระบบกระทุ้งอัตโนมัติจะอยู่ด้านหลังของส่วนเคลื่อนที่ซึ่งจะทำให้ระบบปลดชิ้นงานมีประสิทธิภาพ

ในการออกแบบระบบปลดชิ้นงานได้ทำการคำนวณหาขนาดของตัวปลดชิ้นงานจากแรงต่ำสุดที่สามารถปลดชิ้นงานออกได้ดังต่อไปนี้

$$F_{friction} = \mu_s . F_{normal} \quad (4.3)$$

$$F_{eject} = \cos(\phi).F_{friction} \quad (4.4)$$

$$F_{eject} = \mu_s . \cos(\phi). F_{normal} \quad (4.5)$$

$$F_{normal} = \sigma.A_{eff} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon = CTE.( T_{solidification} - T_{ejection}) \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = E\varepsilon = E.CTE.(T_{solidification}-T_{ejection}) \quad (4.8)$$

$$F_{eject} = \mu_s . \cos(\phi). E.CTE.(T_{solidification}-T_{ejection}) . A_{eff} \quad (4.9)$$

ซึ่ง $F_{ejec}$ = แรงที่เพียงพอสำหรับการถีบชิ้นงาน (นิวตัน)

$\mu_s$ = Coefficient of Polyethylene

$\cos(\phi)$ = Draft Angle (Degree)

E = Typical Coefficient for Plastic and Steel

CTE = Coeficent of Thermal Expansion

โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกชนิดต่างๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

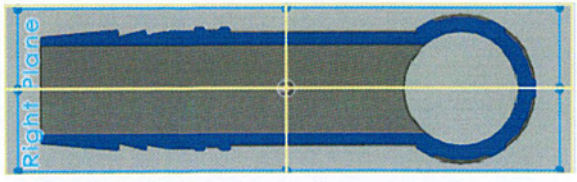
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพลาสติกชนิดต่างๆ [25]

| วัสดุ | ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน |
|---|---|
| PC | 0.55 |
| ABS | 0.5 |
| SAN | 0.5 |
| Nylon | 0.4 |
| PM7MA | 0.4 |
| PS | 0.4 |
| PPE | 0.35 |
| PP | 0.33 |
| HDPE | 0.26 |

HDPE coefficient of friction = 0.26

Coeficent of thermal expansion = 100µm/m-°C

โดยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณหาแรงในการถีบชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 พื้นที่หน้าตัดของพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_{eff}$ หาจาก $a = \P R^2 - \P r^2$ (4.8)

$= \P(12.5^2) - \P(10.25^2)$

$a = 160.81$ ตารางมิลลิเมตร

360° มีพื้นที่ 160.81 ตารางมิลลิเมตร

240° มีพื้นที่ $\frac{160.81 \times 240}{360} = 107.2067$ ตารางมิลลิเมตร

$b = 2 \times (1.5 \times 67.83)$

$b = 203.49$ ตารางมิลลิเมตร

$A_{eff} = 107.2067 + 203.49$

$A_{eff} = 310.7$ ตารางมิลลิเมตร

ดั้งนั้น

$F_{eject} = 0.26 \times 1 \times 911 Mpa \times 100 \mu m/m\text{-}^{o}C (130-94)^{o}C \times 310.7\ mm^2$

$F_{eject} = 264.93$ N นิวตัน

Lower Fatigue Limit Stress of 450 MPa for P20

$A_{ejector} > \frac{F}{\sigma}$

$A_{ejector} > \frac{264.93N}{450MPa} = 5.8873 \times 10^{-7} m^2$

$= 0.58873$ ตารางมิลลิเมตร

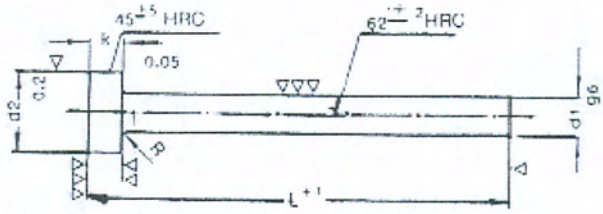
$D_{min(pin)} > \sqrt{\frac{4 \times 0.58873/3}{\P}}$

$D_{min(pin)} > 0.25$ มิลลิเมตร

เลือกใช้สลักปลดชิ้นงาน ขนาด $d_1$ เท่ากับ 3 เซนติเมตร และ 5.2 เซนติเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดของสลักปลดมาตรฐานตาม DIN 1530A จะแสดงดังรูปที่ 4.7 และเลือกขนาดที่เหมาะสมจากตาราง ตารางที่ 4.8




รูปที่ 4.7 ลักษณะของสลักปลดชิ้นงาน [10]

ตารางที่ 4.8 ขนาดมาตรฐานของสลักปลดชิ้นงาน [10]

| $d_2$ | K | R | $d_1$ | L | $d_2$ | K | R | $d_1$ | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2 | 0.3 | 2 | 40 | 10 | 3 | 0.3 | 5.2 | 160 |
| | | | | 60 | | | | | 200 |
| | | | | 80 | 12 | 5 | 0.5 | 6 | 40 |
| | | | | 100 | | | | | 60 |
| | | | | 125 | | | | | 80 |
| | | | | 160 | | | | | 100 |
| | | | | 200 | | | | | 125 |
| 4 | 2 | 0.3 | 2.2 | 100 | | | | | 160 |
| | | | | 125 | | | | | 200 |
| | | | | 160 | | | | | 250 |
| | | | | 200 | 12 | 5 | 0.5 | 6.2 | 125 |
| 5 | 2 | 0.3 | 2.5 | 100 | | | | | 160 |
| | | | | 125 | | | | | 200 |
| | | | | 160 | | | | | 250 |
| | | | | 200 | 14 | 5 | 0.5 | 8 | 60 |
| 6 | 3 | 0.3 | 3 | 40 | | | | | 80 |
| | | | | 60 | | | | | 100 |
| | | | | 80 | | | | | 125 |
| | | | | 100 | | | | | 160 |
| | | | | 125 | | | | | 200 |
| | | | | 160 | | | | | 250 |
| | | | | 200 | 14 | 5 | 0.5 | 8.2 | 125 |
| 6 | 3 | 0.3 | 3.2 | 100 | | | | | 160 |
| | | | | 125 | | | | | 200 |
| | | | | 160 | | | | | 250 |
| | | | | 200 | 16 | 5 | 0.5 | 10 | 100 |
| 8 | 3 | 0.3 | 4 | 40 | | | | | 125 |
| | | | | 60 | | | | | 160 |
| | | | | 80 | | | | | 200 |
| | | | | 100 | | | | | 250 |
| | | | | 125 | | | | | 315 |

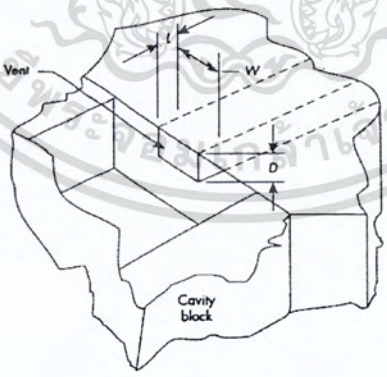
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ขนาดมาตรฐานของสลักปลดชิ้นงาน(ต่อ) [10]

| $d_2$ | K | R | $d_1$ | L | $d_2$ | K | R | $d_1$ | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 3 | 0.3 | 4 | 160 | 16 | 5 | 0.5 | 10.2 | 160 |
| | | | | 200 | | | | | 200 |
| 8 | 3 | 0.3 | 4.2 | 100 | | | | | 250 |
| | | | | 125 | | | | | 315 |
| | | | | 160 | 20 | 7 | 0.8 | 12 | 100 |
| | | | | 200 | | | | | 125 |
| 10 | 3 | 0.3 | 5 | 40 | | | | | 160 |
| | | | | 60 | | | | | 200 |
| | | | | 80 | | | | | 250 |
| | | | | 100 | | | | | 315 |
| | | | | 125 | 22 | 7 | 0.8 | 16 | 160 |
| | | | | 160 | | | | | 200 |
| | | | | 200 | | | | | 250 |
| 10 | 3 | 0.3 | 5.2 | 100 | | | | | 315 |
| | | | | 125 | | | | | |

**4.5 ช่องระบายอากาศ (Venting)**

การกำหนดขนาดของช่องระบายอากาศ จะกำหนดจากชนิดของพลาสติก โดยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene ; PE) จะมีความลึก (D)ไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร และความกว้าง (w) ของช่องระบายอากาศมีขนาดอย่างน้อย ประมาณ 0.3175 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8



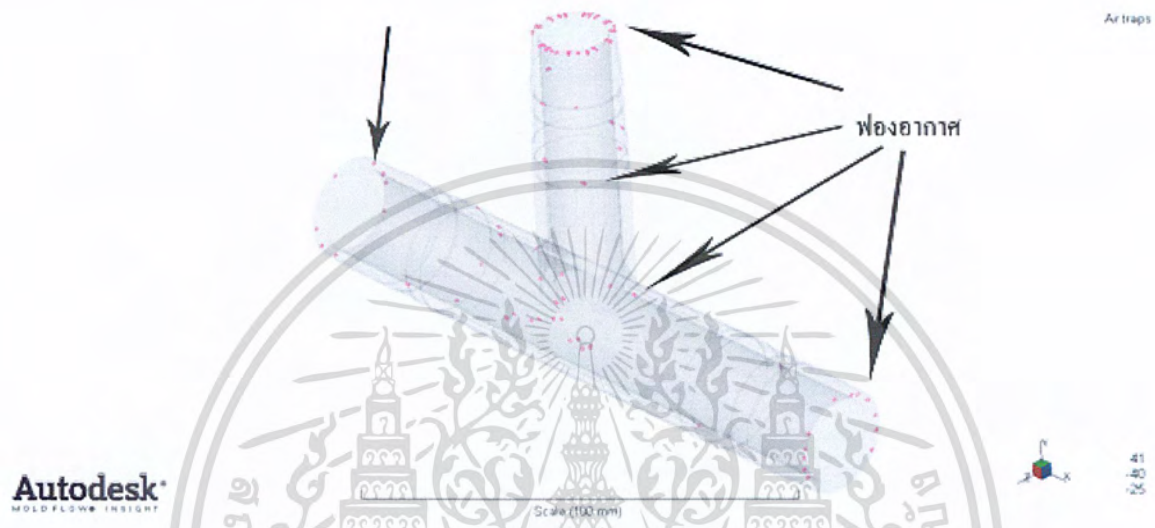

รูปที่ 4.8 ช่องระบายอากาศ (Venting) [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตำแหน่งของช่องระบายอากาศ นั้นจะกำหนดจาก

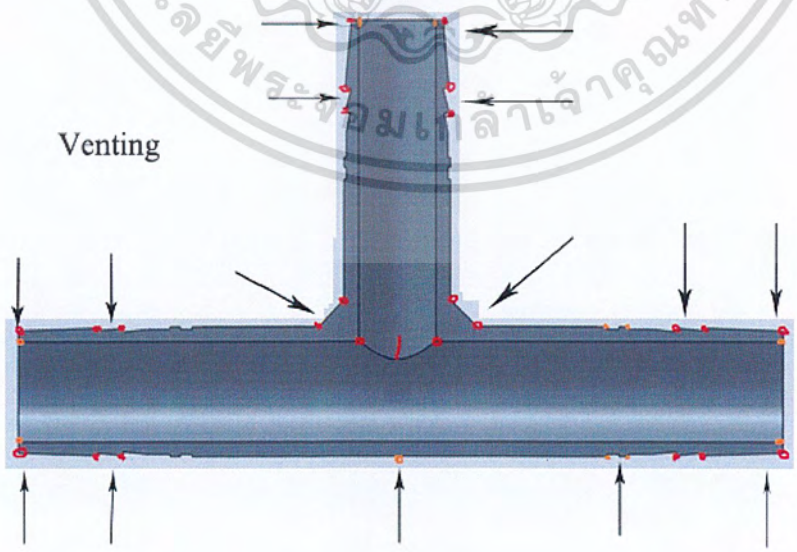
1. ส่วนปลายของเส้นทางการไหลของน้ำพลาสติก
2. มุมหรือจุดที่การไหลหยุดลง
3. ส่วนที่มีการเชื่อมกันของน้ำพลาสติก

โดยจะดูจากฟองอากาศ (Air Trap) ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9




รูปที่ 4.9 บริเวณที่เกิดอากาศภายในชิ้นงาน

ซึ่งตำแหน่งที่กำหนดให้มีช่องระบายอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.10

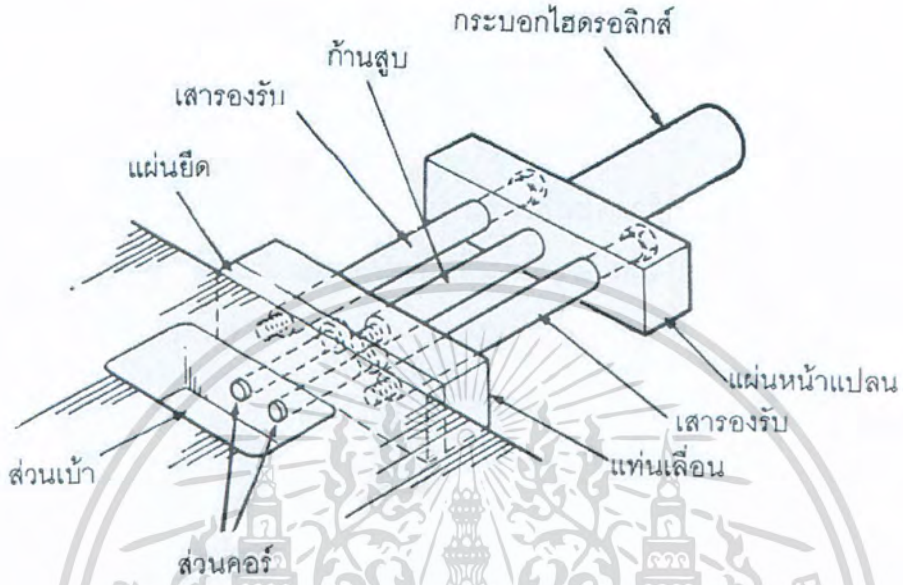



รูปที่ 4.10 บริเวณของตำแหน่งที่มีช่องระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.6 ชุดคอร์ (Core)**

ชุดคอร์(Core) หรือส่วนเบ้าด้านข้างที่อยู่ภายนอกแม่พิมพ์ จะประกอบไปด้วยแท่นเลื่อนที่ยึดอยู่ภายนอกแม่พิมพ์ แผ่นยึดเสารองรับก้านสูบแผ่นหน้าแปลน (Platform) กระบอกไฮโดรลิกส์หรือนิวแมติกส์ดังแสดงในรูปที่ 4.11



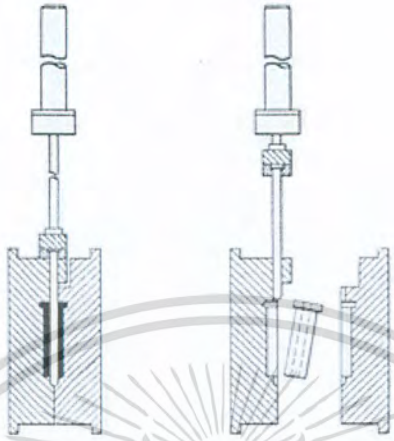

รูปที่ 4.11 ระบบการเลื่อนของชุดคอร์ [9]

ส่วนคอร์ ( Core ) หรือส่วนเบ้าด้านข้างจะต้องมีการปรับแนวศูนย์ และส่วนคอร์ ( Core ) จะสวมอยู่ในรูที่มีค่าความเผื่อที่น้อยมาก ซึ่งเจาะทะลุผนังด้านข้างของส่วนเบ้า และส่วนคอร์ ( Core ) ด้านข้างนี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยส่วนมากแท่นเลื่อนจะถูกประคองโดยเสาของชุดเสาค้ำภายนอก ส่วนแท่นเลื่อนจะถูกล็อกให้อยู่ในตำแหน่งที่เลื่อนมาข้างหน้าเพื่อต้านกับแรงที่เกิดจากความดันของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ที่จะมากระทำกับชิ้นส่วนด้านข้าง แรงที่เกิดขึ้นจะมีผลมาจากความดันในส่วนเบ้าและพื้นที่ของชิ้นงานส่วนด้านข้าง

วิธีที่ง่ายที่สุดในการดันขับชุดแท่นเลื่อนภายนอกคือการใช้กระบอกสูบไฮดรอลิกหรือนิวแมติกส์เพราะสามารถดันขับแท่นเลื่อนได้ทุกเวลาที่เหมาะสม เช่น สามารถดึงส่วนคอร์ ( Core ) และส่วนเบ้าด้านข้างออกก่อนที่แม่พิมพ์จะเปิดได้ สามารถดึงส่วนคอร์ ( Core ) ด้านข้างที่ยาวได้ง่าย ซึ่งทำให้ควบคุมการทำงานของกระบอกสูบสูบไฮดรอลิกหรือนิวแมติกส์ได้ง่าย ทำให้สะดวกในการเลื่อนเข้าเลื่อนออกของคอร์(Core) ก้านสูบอาจต่อเข้ากับแท่นเลื่อนโดยตรงหรือต่อผ่านระบบข้อต่อพับได้ (Toggle-Linkage System) เราจะเลือกการต่อก้านสูบเข้ากับแท่นเลื่อนโดยตรงเพราะสะดวกและกรรมวิธีไม่ยุ่งยาก ก้านสูบจะต่อกับแท่นเลื่อนโดยใช้เกลียวหรือใช้หน้าแปลนยึด กระบอกสูบจะต้องวางให้เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในแนวเดียวกับคอร์ ( Core ) เพื่อให้สามารถดันคอร์ ( Core ) ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเคลื่อนที่ของคอร์แ ( Core ) ละการหลุดออกของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเลื่อนของคอร์และการหลุดออกของชิ้นงาน [9]

เนื่องจากส่วนเบ้าด้านข้างจะต้องเคลื่อนที่ในขณะที่มีแรงปิดแม่พิมพ์ซึ่งกระทำบนแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองอยู่ ดังนั้นจึงต้องกำหนดขนาดของเบ้าด้านข้างและร่องประกอบให้พอดี เพื่อให้แม่พิมพ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วส่วนเบ้าด้านข้างจะเลื่อนกลับไปตำแหน่งเตรียมฉีดก่อนที่แม่พิมพ์จะปิด เพื่อให้มั่นใจว่าเบ้าด้านข้างสัมผัสกับอินเสิร์ต (Insert) แล้ว เพลายึดจะเป็นตัวต่อระหว่างส่วนเบ้าด้านข้างกับแท่นเลื่อน และขับดันด้วยกระบอกสูบไฮดรอลิกส์

ระบบไฮดลอลิกส์ที่ใช้สามารถต่อเข้ากับวงจรไฮดลอลิกส์ของเครื่องฉีดพลาสติกโดยตรงหรือต่อเข้ากับปั๊มไฮดรอลิกส์ที่จัดเตรียมไว้ ทั้งสองกรณีจะใช้ความดันของน้ำมันไฮดลอลิกส์อยู่ที่ช่วงระหว่าง $7x10^6$ -$14x10^6$ $N/m^2$ หรือ 7-14 MPa ซึ่งสามารถใช้ได้เพราะในแม่แบบเกิดความดันเนื่องจากพลาสติกหลอมเหลวเพียง 0.2 เมกะปาสคาล ซึ่งน้อยกว่า 7-14 เมกะปาสคาล ดังนั้นจึงสามารถใช้ความดันของไฮดลอลิกส์ในช่วงนี้ได้

**4.7 แผ่นของแม่พิมพ์**

ฐานแม่พิมพ์ (Mold Base) [27] เป็นที่ตั้งและส่วนที่ยึดส่วนประกอบทุกชิ้นของแม่พิมพ์เข้าด้วยกัน ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. Backing Plate เป็นแผ่นที่ช่วยยึดแม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่ และยึดติดกระบอกฉีดเข้ากับหน้าแปลนของเครื่องฉีด เป็นที่อยู่ของชุดควบคุมกระบอกสูบ ซึ่งเป็นเป็นทางวิ่งของน้ำพลาสติกจากเครื่องฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ มีขนาดกว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 76 มิลลิเมตร
2. Manifold Plate เป็นแผ่นที่เป็นที่อยู่ของชุดแมนิโฟลด์ ( Manifold ) ซึ่งเป็นกล่องมีฉนวนกั้นแยกจากส่วนอื่นๆ ของแม่พิมพ์และมีการควบคุมระดับอุณหภูมิให้สม่ำเสมอด้วย เทอร์โมคัปเปิลแมนิโฟลด์ (Manifold Thermocouple) เพื่อให้เนื้อพลาสติกที่อยู่ในรูวิ่ง (Runner) มีสภาวะหลอมเหลวอยู่เสมอ เป็นแผ่นที่ยึดสลักนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Guide Pin) ซึ่งเป็นส่วนที่นำเลื่อนแม่พิมพ์ให้เคลื่อนที่เข้าออกและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 11 มิลลิเมตร

3. Cavity Plate แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ
   - Plate A เป็นแผ่นที่เป็นที่อยู่ของหัวฉีด และ ท่อน้ำหล่อเย็น (Cooling Plug) ซึ่งเป็นช่องที่ต่อกับน้ำหล่อเย็น ช่วยให้ชิ้นงานเย็นตัวได้เร็วขึ้น รวมถึงมีช่องว่างหรือโพรงแบบครึ่งบนของชิ้นงานที่ให้น้ำพลาสติกไหลเข้ามารวมกับโพรงแบบครึ่งล่างขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 68.5 มิลลิเมตร
4. Plate B เป็นแผ่นที่มีโพรงแบบส่วนล่าง มีคอร์ (Core) ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดช่องว่างอยู่กึ่งกลางของโพรงแบบ มีท่อน้ำหล่อเย็น เช่นเดียวกับ Plate A มีช่องว่างสำหรับเข็มกระทุ้ง (Ejector Pin) ซึ่งจะสัมผัสกับพื้นผิวของชิ้นงานพอดี รวมถึงช่องว่างสำหรับสลักดันกลับ (Ejector Return Pin) ซึ่งมีหน้าที่เป็นระบบปลดชิ้นงานกลับเข้าที่เวลาปิดแม่พิมพ์แล้ว มีขนาดกว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 66 มิลลิเมตร
5. Support Plate เป็นแผ่นรองรับส่วนของคอร์ (Core) และเข็มกระทุ้ง มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 36 มิลลิเมตร
6. Ejector Housing เป็นส่วนของแม่พิมพ์ที่ทำหน้าที่รองรับแผ่นแม่พิมพ์หรือแผ่นยึดแม่พิมพ์และจัดเตรียมช่องว่างที่แผ่นประกอบตัวปลดสามารถประกอบเข้าไปและทำงานได้ มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 43 × 296 × 76 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น
7. Ejector Retainer Plate เป็นแผ่นยึดชิ้นส่วนของตัวปลดชิ้นงาน มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 208 × 296 × 12 มิลลิเมตร
8. Ejector Plate เป็นแผ่นชิ้นส่วนสำหรับตัวปลดชิ้นงาน มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 208 × 296 × 17 มิลลิเมตร
9. Rear Clamp Plate เป็นแผ่นที่ยึดแม่พิมพ์ส่วนที่มีการเคลื่อนที่ มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 296 × 296 × 27 มิลลิเมตร

**4.8 การเลือกเครื่องฉีดพลาสติก**

ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการฉีดขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกนั้น มีหลายบริษัทที่ผลิตเครื่องฉีดพลาสติกออกมามากมายหลายแบบและหลายขนาด เครื่องพลาสติกจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละรูปแบบ วัสดุที่ใช้ระบบส่งกำลัง ส่วนจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้การนั้นคล้ายคลึงกัน มีหลักการการเลือกเครื่องฉีดพลาสติกดังนี้

1. พิจารณาจากน้ำหนักของเครื่องฉีดที่สามารถฉีดได้สูงสุด
2. พิจารณาจากแรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force)
3. พิจารณาจากระยะห่างของแกนยึด (Tie Bar)
4. พิจารณาจากระยะเปิดแม่พิมพ์ว่ากว้างพอที่จะสามรถกระทุ้งชิ้นงานได้หรือไม่

จากผลการทดลองในโปรแกรมAutodesk Moldflow 2010พบว่า

ในการฉีดต้องใช้ความดันฉีด (Injection Pressure) = 32 เมกะปาสคาล

ปริมาตราของชิ้นงาน = 38.1789 ลูกบาศก์เซนติเมตร

และนำค่าความดันฉีดที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาแรงปิดแม่พิมพ์จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = P \times A \quad (4.8)$$

โดย F = Clamp Force (นิวตัน,N)

P = Injection Pressure (พาสคัล,Pa)

A = Area of Mold Base (ตารางเมตร,$m^2$)

$$F = (32X10^6) \times [(160X25X10^{-6}) + (62.5X19X10^{-6})]$$

$$F = 166000 \text{ นิวตัน}$$

$$F = 16921.51 \text{ กิโลกรัม}$$

$$F = 16.921 \text{ ตัน}$$

จะเห็นได้ว่าค่าจากการทดลองเหล่านี้สามารถนำไปหาขนาดเครื่องฉีดพลาสติกที่เหมาะสมได้ คือ Allrounder 220s 28 tonne 1.3 oz(18mm) เครื่องฉีดพลาสติกนี้มีคุณสมบัติ

| | | |
|---|---|---|
| Maximum Machine Injection Stoke | 55.58 | mm |
| Maximum Machine Injection Rate | 55.02 | $cm^3/s$ |
| Machine Screw Diameter | 18 | mm |
| Maximum Machine Clamp Force | 25.3933 | tonne |

**4.9 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง**

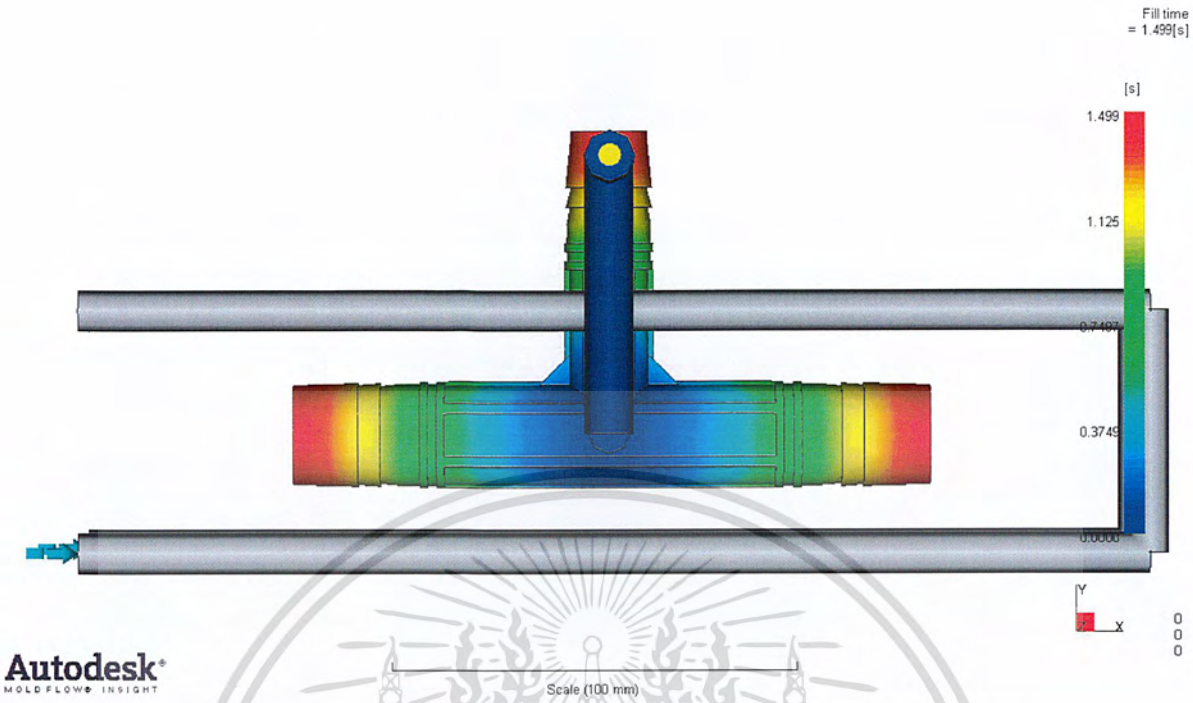
การจำลองการฉีดขึ้นรูปโดยใช้โปรแกรม Autodesk Moldflow โดยมีเงื่อนไขการฉีด คือ

- ทำการเมช (Mesh) โดยใช้ Dual-Domain Mesh
- วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ โพลิเอทิลีน (Polyethylenes:PE ) Trade Name= TUB171
- Mold surface Temperature 20 °C
- Melt Temperature 260 °C
- Injection + Packing + Cooling Time 30 s

ได้แสดงผลการวิเคราะห์การทดลองดังต่อไปนี้

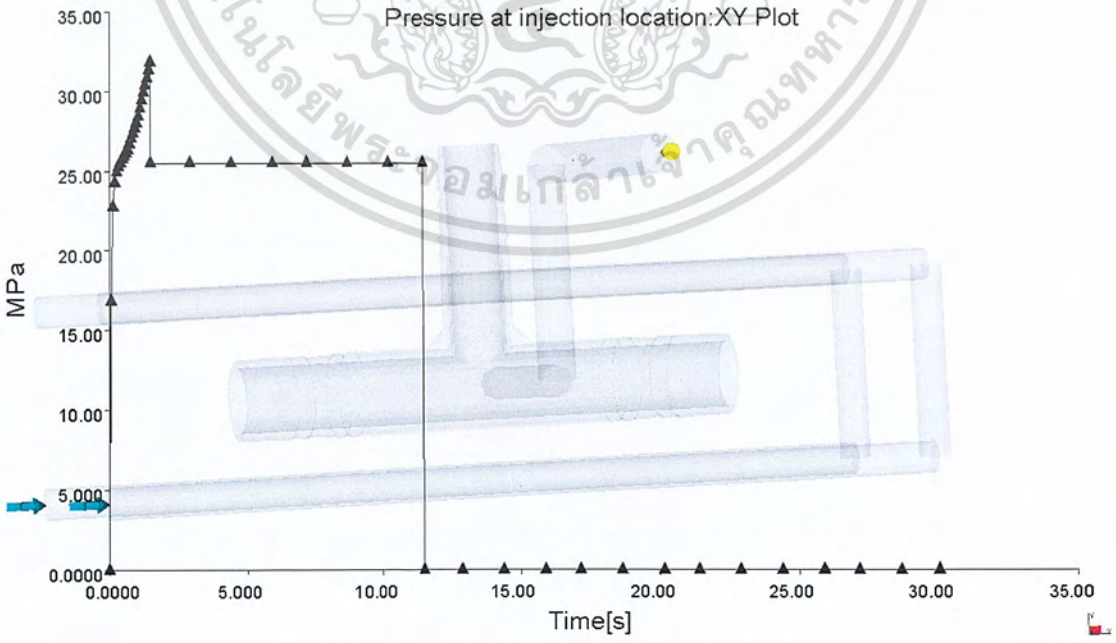
เวลาในการฉีดพลาสติก (Fill time) = 1.499 วินาที ภาพการฉีดขึ้นรูปพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.13 เวลาการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

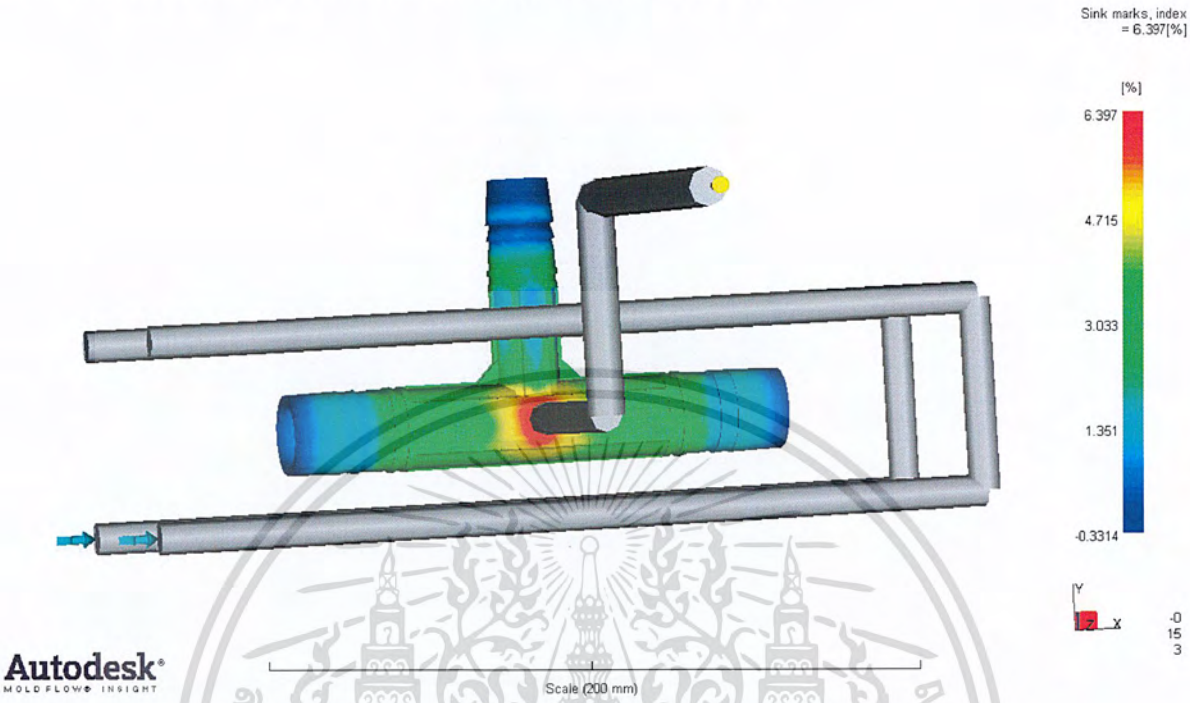
ความดันฉีด = 32 เมกะปาสคาล และใช้ความดันย้ำ (Packing Pressure) และความดันตาม (Holding Pressure) เท่ากันที่ความดัน 26 เมกะปาสคาลเป็นเวลา 10 วินาที เวลาในการหล่อเย็น = 18.50 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.14




รูปที่ 4.14 ความดันฉีด ณ ช่วงเวลาการฉีด

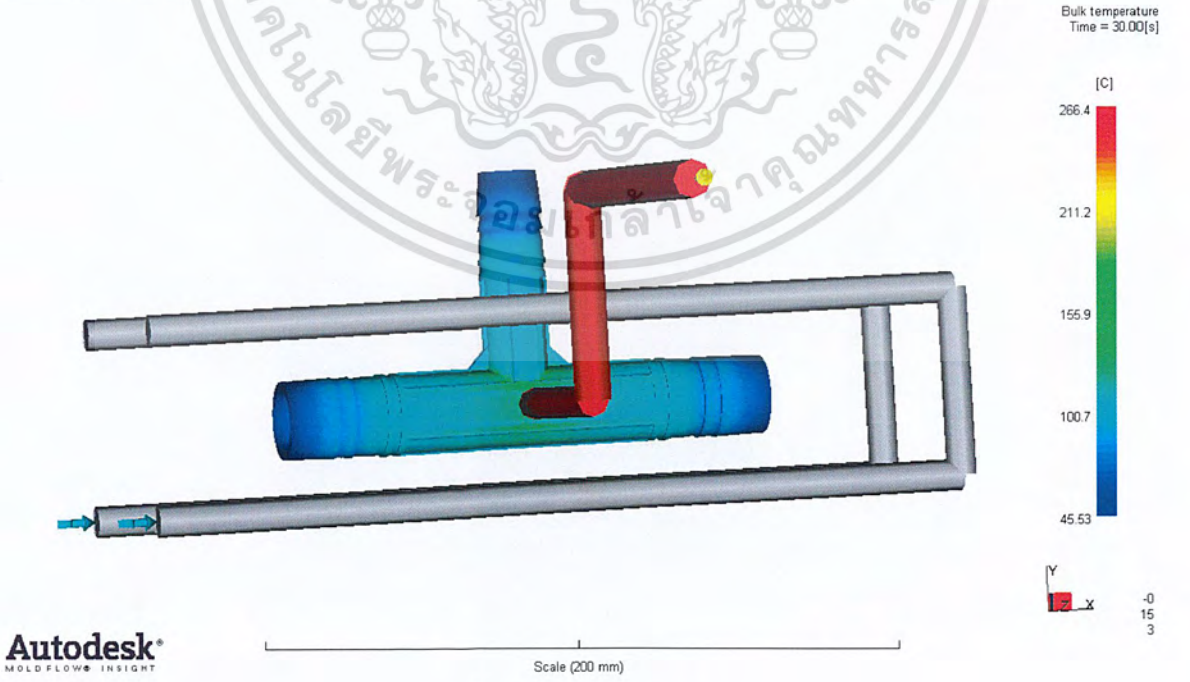
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการยุบตัวจากการทดลองพบว่าเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณจุดฉีดชิ้นงาน (Gate) คือ 6.397% เมื่อเทียบกับปริมาตรเริ่มต้นของชิ้นงาน ส่วนบริเวณอื่นมีอัตราการยุบตัวดังแสดงในรูปที่ 4.15




รูปที่ 4.15 อัตราการยุบตัว

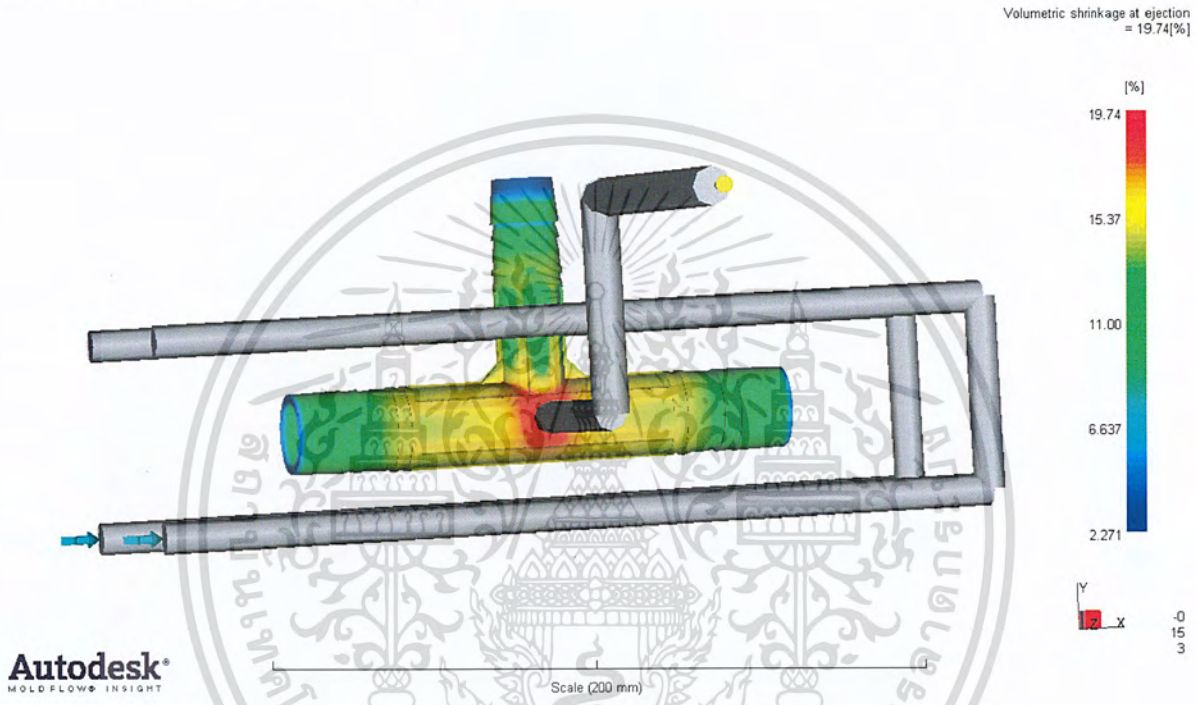
ข้อบกพร่องของการฉีดไม่เต็มแบบ (Short Shot) ไม่ถูกอนุญาตให้เกิดขึ้นเนื่องจาก ถ้าเกิดข้อบกพร่องการฉีดไม่เต็มแบบเกิดขึ้นจะทำให้ตัวชิ้นงานเกิดความเสียหาย เกิดการรั่วไหลของน้ำ ทำให้ชิ้นงานไม่สามารถใช้การได้ การเติมเต็มชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.16




รูปที่ 4.16 การฉีดตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

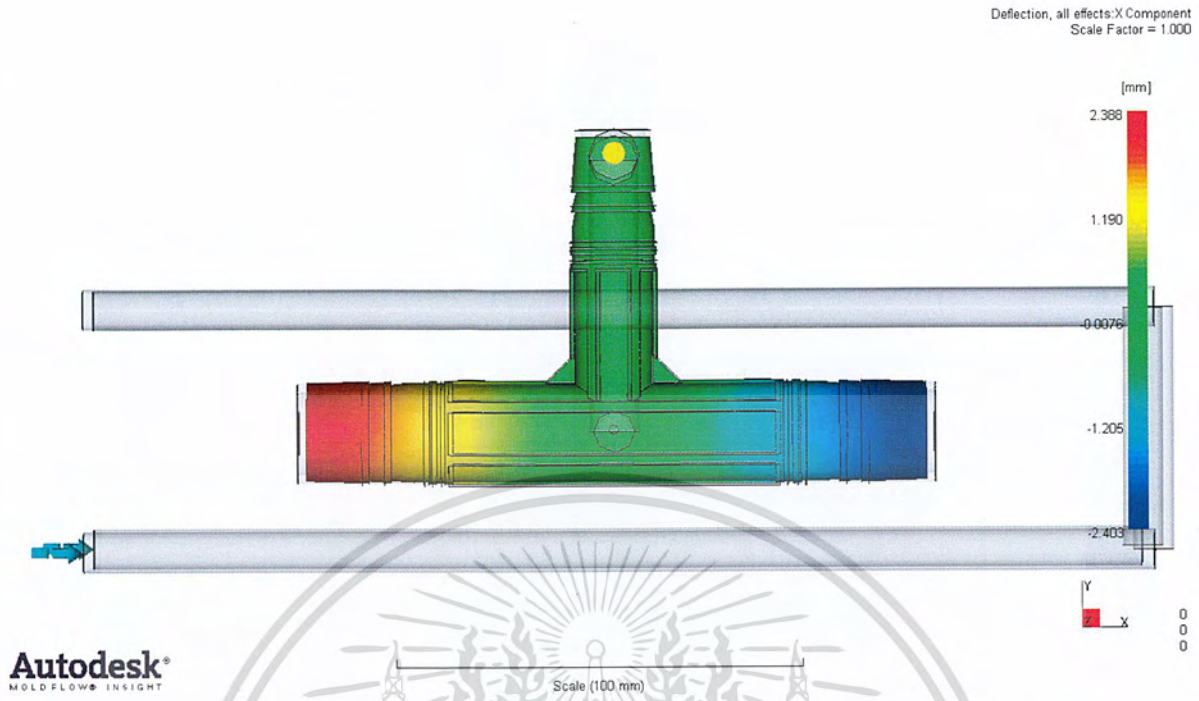
การหดตัวของพลาสติกโพลิเอทิลีน (Polyethelene) โดยมาตราฐาน HDPE 1 นิ้ว จะหดตัว 0.03 นิ้ว จากการคำนวณพบว่า 1 เซนติเมตร พลาสติกจะหดตัว 0.03 เซนติเมตร ดังนั้น พลาสติกHDPEปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเหลือปริมาตร 0.97X0.97X0.97 = 0.912673 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งก็คือ % การหดตัวประมาณ 9 % นั่นเอง จากผลการจำลองการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้โปรแกรมAutodesk Moldflow พบว่าเกิด% การหดตัวเฉลี่ยคือ 11 % ซึ่งถือว่ามากกว่ามาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 4.17 ที่เป็นเช่นนั้นเพราะ ชิ้นงานที่ทำการทดลองมีขนาดใหญ่ ปริมาตรในการฉีดสูงดังนั้นจึงมีการหดตัวที่มาก แต่การหดตัวนี้สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีระยะเผื่อสำหรับการหดตัว ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดตามต้องการ




รูปที่ 4.17 การหดตัว

การวิเคราะห์การโก่งตัวในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 การโก่งตัวที่เกิดขึ้นเกิดจากการหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (Shrinkage) การเย็นตัวที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน (Cooling) และ ผลจากการปรับตัว (Orientation Effects) ผลจากการวิเคราะห์สามารถหาค่าระยะเผื่อในแม่พิมพ์ได้โดยคิดจากค่าที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละทิศทาง การโก่งตัวที่เกิดขึ้นในแนวแกน X ดังแสดงในรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.18 การโก่งตัวในแนวแกน X

จะเห็นได้ว่าการโก่งตัวเกิดขึ้นไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน ดังนั้นจึงการทำการคำนวณหาระยะเผื่อตามช่วงที่เกิดการหดตัว โดยทำการแบ่งเป็นสามช่วง ช่วงแรกเป็นส่วนปลายของข้อต่อท่อทั้งสอง บริเวณสีแดงและสีน้ำเงินซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการโก่งตัวสูง ระยะจริงที่ต้องทำเพื่อเผื่อระยะหดตัวในแม่พิมพ์หาได้จาก

$$\text{Cavity Dimension} = \frac{\text{Part Dimention}}{(1 - \text{Mold Shrinkage})} \tag{4.9}$$

ช่วงสีแดง,น้ำเงิน

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{แดง,น้ำเงิน}} = \frac{2.2}{1-0.2068} \rightarrow = \frac{0.866142}{1-0.08142}$$

$$= 0.942911 \text{ นิ้ว}$$

$$= 2.394995 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{แดง,น้ำเงิน}} = 23.94995 \text{ มิลลิเมตร}$$

ช่วงสีเหลือง,ฟ้า

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{เหลือง,ฟ้า}} = \frac{3.725}{1-0.1323} \rightarrow = \frac{1.466535}{1-0.0520866}$$

$$= 1.54712 \text{ นิ้ว}$$

$$= 3.92968 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{เหลือง,ฟ้า}} = 39.2968 \text{ มิลลิเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงสีเขียว

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{เขียว}} = \frac{4.15}{1-0.00126} \rightarrow = \frac{1.6338583}{1-4.9610^{-4}}$$

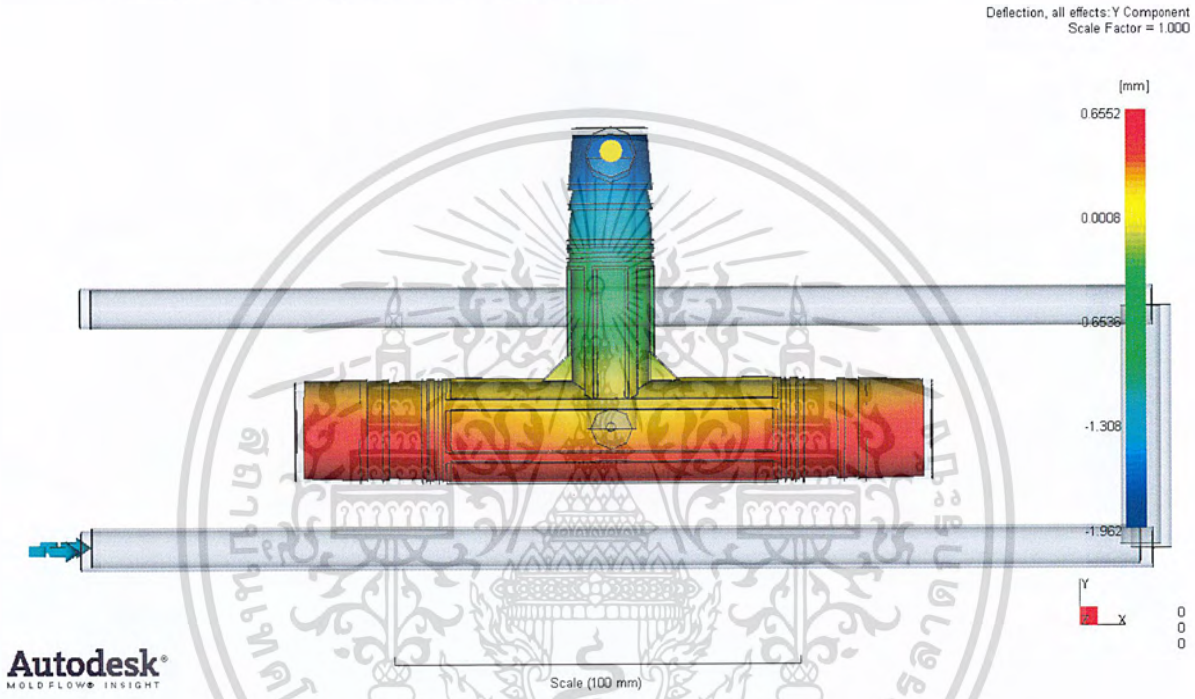
= 1.63467 นิ้ว

= 4.15206 เซนติเมตร

Cavity Dimension$_{\text{เขียว}}$ = 41.5206 มิลลิเมตร

ดังนั้นในแนวแกน X โพรงแบบท่อยาว = (23.94995 x 2) + ( 39.2968 x 2) + 41.5206 = 168.0141 มิลลิเมตร

การโก่งตัวที่เกิดขึ้นในแนวแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 4.19




รูปที่ 4.19 การโก่งตัวในแนวแกน Y

สำหรับในแนวแกน Y ระยะจริงที่ต้องทำเพื่อเผื่อระยะหดตัวในแม่พิมพ์ แบ่งเป็นสามช่วงคือช่วงสีน้ำเงิน สีฟ้า และสีเขียว

ช่วงสีน้ำเงิน

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{น้ำเงิน}} = \frac{1.9}{1-0.1706} \rightarrow = \frac{0.748}{1-0.06716}$$

= 0.801857 นิ้ว

= 2.03672 เซนติเมตร

Cavity Dimension$_{\text{น้ำเงิน}}$ = 20.3672 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงสีฟ้า

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{ฟ้า}} = \frac{1.55}{1-0.01188} \rightarrow = \frac{0.61024}{1-4.67710^{-3}}$$

= 0.61311 นิ้ว

= 1.5573 เซนติเมตร

$\text{Cavity Dimension}_{\text{ฟ้า}}$ = 15.573 mm

ช่วงสีเขียว

$$\text{Cavity Dimension}_{\text{เขียว}} = \frac{2.8}{1-0.05129} \rightarrow = \frac{1.1023622}{1-0.0201929}$$

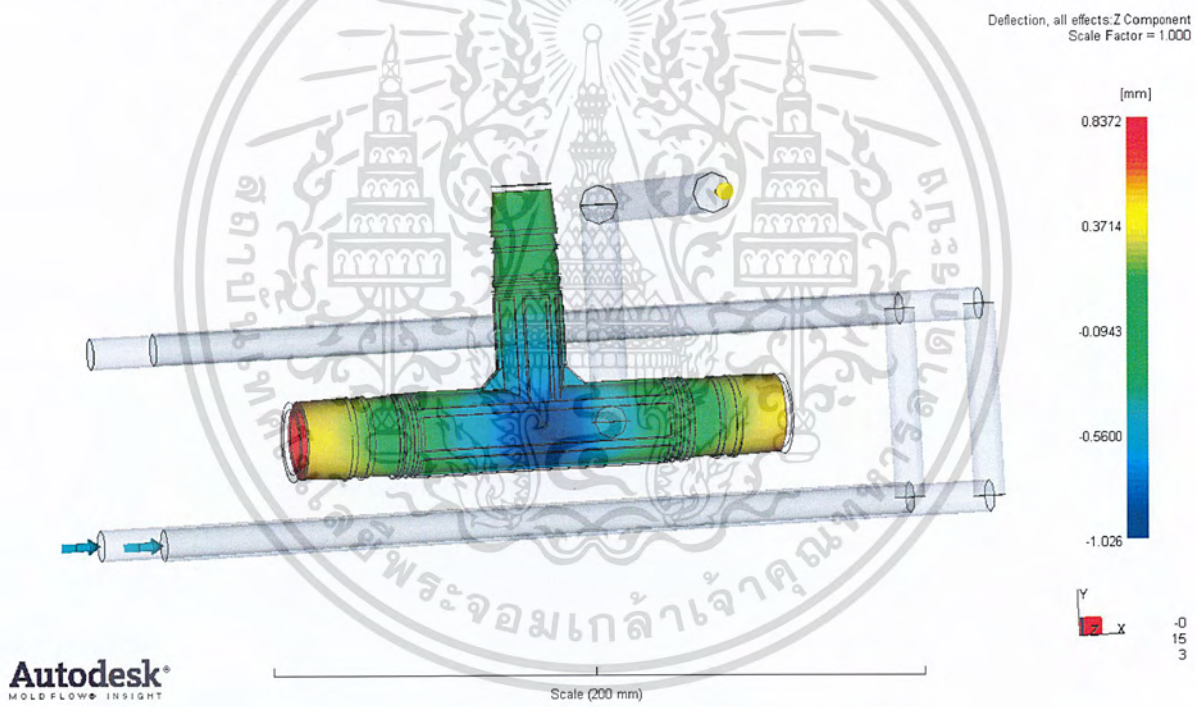
= 1.12508 นิ้ว

= 2.8577 เซนติเมตร

$\text{Cavity Dimension}_{\text{เขียว}}$ = 28.577 มิลลิเมตร

ดังนั้นในแนวแกน Y โพรงแบบท่อยาว = 20.3672 + 15.573 + 28.577 = 64.5127 มิลลิเมตร

การโก่งตัวที่เกิดขึ้นในแนวแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 4.20




รูปที่ 4.20 การโก่งตัวในแนวแกน Z

ในแนวแกน Z จะประมาณการหดตัวว่าเท่ากันหมดเพราะค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากในแนวแกน Z มีระยะที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน Z

$$\text{Cavity Dimension}_z = \frac{0.25}{1-0.08372\ \text{cm}} \rightarrow = \frac{0.0984252}{1-0.03296}$$

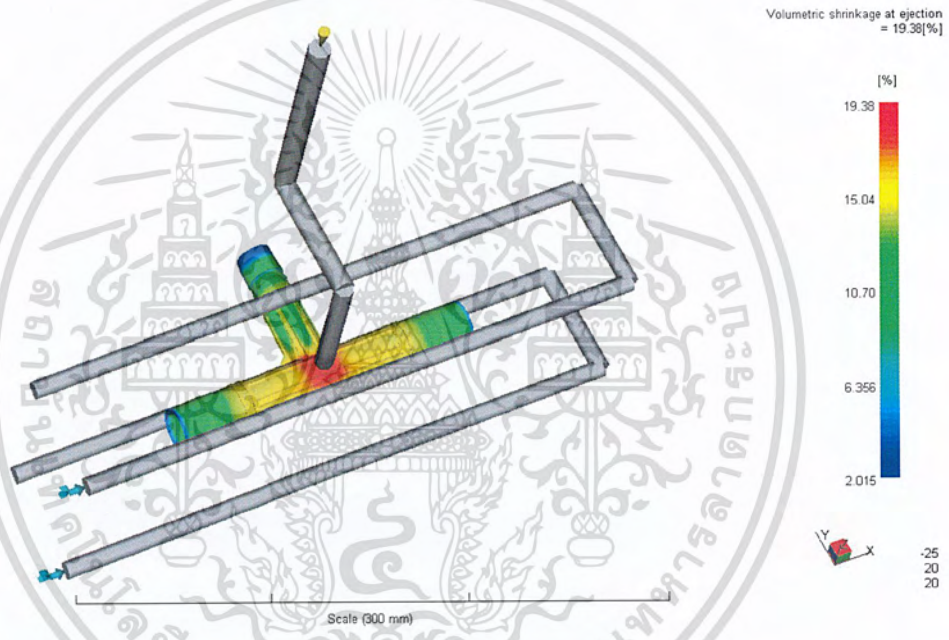
= 0.10178 นิ้ว

= 0.25852 เซนติเมตร

Cavity Dimension$_z$ = 2.5852 มิลลิเมตร

**นำชิ้นงานที่ได้ทำระยะเผื่อแล้วไปทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม Autodesk Moldflow2010**

ได้ชิ้นงานก่อนการหดตัวที่มีปริมาตร 39.9044 ลูกบาศก์เซนติเมตร การหดตัวของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.21




รูปที่ 4.21 อัตราการหดตัว

จะเห็นได้ว่าอัตราการหดตัวเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10.7% ดั้งนั้นปริมาตรของชิ้นงานหลังการเย็นตัวคือ 39.9044-(39.9044x0.107) = 35.63463ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งปริมาตรของชิ้นงานที่ต้องการคือ 38.1789 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นปริมาตรหลังการหดตัวของชิ้นงานคิดเป็น 93.463% ของปริมาตรชิ้นงานที่ต้องการ คือมีความคลาดเคลื่อน 6.664% ซึ่งสามารถยอมรับได้เพราะมาตรฐานกาหดตัวของพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับ 9 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

**5.1 สรุปผลการดำเนินงาน**

ทำการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพอลิเอทิลีน เกรด 80 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Autodesk Moldflow 2010 ช่วยในการวิเคราะห์ ได้ผลดังต่อไปนี้

1. ออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกสามทางขนาดทางเข้า 25 มิลลิเมตร ทางออก 20 มิลลิเมตร แม่พิมพ์มีขนาดขนาด 296 x 296 มิลลิเมตร สูง 460.5 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เลือกหัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG ซึ่งสามารถฉีดได้ 25 กรัม/วินาที โดยทางเข้าน้ำพลาสติก (Spure) รุ่น SB15 และทางวิ่ง (Runner) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ช่องระบายอากาศ (Venting) ความลึก (D)ไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร และความกว้าง (W) ของช่องระบายอากาศมีขนาดอย่างน้อย ประมาณ 0.3175 มิลลิเมตร ระบบหล่อเย็นมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 10 มิลลิเมตร ชุดฉีบชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และ 5.2 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตรใช้เครื่องฉีดพลาสติกAllrounder 220s 28 tonne 1.3 oz (18มิลลิเมตร)ซึ่งมีแรงดันปิดแม่พิมพ์สูงสุด25.3933 ตัน

2. ใช้เวลาในการฉีดพลาสติกให้เต็มแบบ (Fill Time ) 1.499 วินาที ใช้ความดันฉีด ( Injection Pressure ) 32 เมกะปาสคาล และใช้ความดันฉีดย้ำ เท่ากันที่ความดัน 26 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 10 วินาที เวลาในการหล่อเย็น 18.50 วินาที มีอัตราการยุบตัวมากที่สุดบริเวณจุดฉีดชิ้นงาน (Gate) 6.397% และการหดตัวเฉลี่ย 11 %

3. ชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการฉีดขึ้นรูปโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Autodesk Moldflow 2010) มีการหดตัวและการยุบตัวเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีระยะเผื่อสำหรับการหดตัวและยุบตัว

4.จากการเผื่อระยะสำหรับการโก่งตัวและการยุบตัว ได้ชิ้นงานมีปริมาตร= 35.63463 ลูกบาศก์เซนติเมตร คิดเป็น 93.463% ของปริมาตรชิ้นงานที่ต้องการ นั่นก็คือเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น 6.664%

**5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา**

จากกระบวนการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดข้อต่อท่อพลาสติกที่ผ่านมา ทำให้พบปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ดังนี้

**5.2.1 ปัญหา**

1. ปัญหาการเกิดการหดตัวของชิ้นงานไม่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้การวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ Autodesk Moldflow 2010

2. ปัจจัยที่มีผลสำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกบางปัจจัย เช่น การแตกหัก รอยจากจุดฉีด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์Autodesk Moldflow 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากการจำลองการฉีดขึ้นรูปโดยโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เกิดฟองอากาศขึ้นเป็นจำนวนมากบริเวณขอบและปลายของชิ้นงาน

**5.2.2 แนวทางการแก้ปัญหา**

1. หาอัตราการยุบตัวจากการจำลองการฉีดขึ้นรูปในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 แล้วนำค่าการหดตัวในแต่ละด้านที่คำนวณได้มาทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยให้มีค่าระยะเผื่อที่มีความเหมาะสมเพื่อให้ชิ้นงานที่มีขนาดเที่ยงตรงตามที่ได้ออกแบบไว้
2. สามารถป้องกันการแตกหักของชิ้นงานในการฉีดขึ้นรูปได้โดยการคำนวณหาค่าความเค้นความเครียดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้ แล้วทำการฉีดให้มีค่าความเค้นความเครียดน้อยกว่าที่ค่าความเค้นความเครียดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้
3. สามารถทำให้ฟองอากาศลดลงได้ด้วยการสร้างรูระบายอากาศ (Venting) บริเวณที่ต้องการจะลดปริมาณการเกิดฟองอากาศ เพื่อทำให้ฟองอากาศที่อยู่ในตัวชิ้นงานสามารถออกจากตัวชิ้นงานได้ผ่านออกไปทางรูระบายอากาศ

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

1. เมื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตจริง สามารถออกแบบเป็นแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและลดต้นทุนในการผลิต
2. การใช้พลาสติกที่มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน และลดปัญหาการหดตัว แต่ก็จะทำให้ต้องใช้แรงดันฉีดเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลต่อขนาดของเครื่องฉีด ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

**5.1 สรุปผลการดำเนินงาน**

ทำการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกสำหรับพอลิเอทิลีน เกรด 80 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Autodesk Moldflow 2010 ช่วยในการวิเคราะห์ ได้ผลดังต่อไปนี้

1. ออกแบบแม่พิมพ์ข้อต่อท่อพลาสติกสามทางขนาดทางเข้า 25 มิลลิเมตร ทางออก 20 มิลลิเมตร แม่พิมพ์มีขนาดขนาด 296 x 296 มิลลิเมตร สูง 460.5 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เลือกหัวฉีดของบริษัท Kona Dynisco Hot Runner Group รุ่น T10VG ซึ่งสามารถฉีดได้ 25 กรัม/วินาที โดยทางเข้าน้ำพลาสติก (Spure) รุ่น SB15 และทางวิ่ง (Runner) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ช่องระบายอากาศ (Venting) ความลึก (D) ไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร และความกว้าง (W) ของช่องระบายอากาศมีขนาดอย่างน้อย ประมาณ 0.3175 มิลลิเมตร ระบบหล่อเย็นมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 10 มิลลิเมตร ชุดฉีบชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และ 5.2 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตรใช้เครื่องฉีดพลาสติกAllrounder 220s 28 tonne 1.3 oz (18มิลลิเมตร)ซึ่งมีแรงดันปิดแม่พิมพ์สูงสุด25.3933 ตัน

2. ใช้เวลาในการฉีดพลาสติกให้เต็มแบบ (Fill Time ) 1.499 วินาที ใช้ความดันฉีด ( Injection Pressure ) 32 เมกะปาสคาล และใช้ความดันฉีดย้ำ เท่ากันที่ความดัน 26 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 10 วินาที เวลาในการหล่อเย็น 18.50 วินาที มีอัตราการยุบตัวมากที่สุดบริเวณจุดฉีดชิ้นงาน (Gate) 6.397% และการหดตัวเฉลี่ย 11 %

3. ชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการฉีดขึ้นรูปโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Autodesk Moldflow 2010) มีการหดตัวและการยุบตัวเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีระยะเผื่อสำหรับการหดตัวและยุบตัว

4.จากการเผื่อระยะสำหรับการโก่งตัวและการยุบตัว ได้ชิ้นงานมีปริมาตร= 35.63463 ลูกบาศก์เซนติเมตร คิดเป็น 93.463% ของปริมาตรชิ้นงานที่ต้องการ นั่นก็คือเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น 6.664%

**5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา**

จากกระบวนการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดข้อต่อท่อพลาสติกที่ผ่านมา ทำให้พบปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ดังนี้

**5.2.1 ปัญหา**

1. ปัญหาการเกิดการหดตัวของชิ้นงานไม่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้การวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ Autodesk Moldflow 2010

2. ปัจจัยที่มีผลสำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกบางปัจจัย เช่น การแตกหัก รอยจากจุดฉีด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์Autodesk Moldflow 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากการจำลองการฉีดขึ้นรูปโดยโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 เกิดฟองอากาศขึ้นเป็นจำนวนมากบริเวณขอบและปลายของชิ้นงาน

**5.2.2 แนวทางการแก้ปัญหา**

1. หาอัตราการยุบตัวจากการจำลองการฉีดขึ้นรูปในโปรแกรม Autodesk Moldflow 2010 แล้วนำค่าการหดตัวในแต่ละด้านที่คำนวณได้มาทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยให้มีค่าระยะเผื่อที่มีความเหมาะสมเพื่อให้ชิ้นงานที่มีขนาดเที่ยงตรงตามที่ได้ออกแบบไว้
2. สามารถป้องกันการแตกหักของชิ้นงานในการฉีดขึ้นรูปได้โดยการคำนวณหาค่าความเค้นความเครียดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้ แล้วทำการฉีดให้มีค่าความเค้นความเครียดน้อยกว่าที่ค่าความเค้นความเครียดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้
3. สามารถทำให้ฟองอากาศลดลงได้ด้วยการสร้างรูระบายอากาศ (Venting) บริเวณที่ต้องการจะลดปริมาณการเกิดฟองอากาศ เพื่อทำให้ฟองอากาศที่อยู่ในตัวชิ้นงานสามารถออกจากตัวชิ้นงานได้ผ่านออกไปทางรูระบายอากาศ

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

1. เมื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตจริง สามารถออกแบบเป็นแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบเผื่อเป็นการประหยัดเวลาและลดต้นทุนในการผลิต
2. การใช้พลาสติกที่มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน และลดปัญหาการหดตัว แต่ก็จะทำให้ต้องใช้แรงดันฉีดเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลต่อขนาดของเครื่องฉีด ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง


[1] นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร, 2548. มารู้จักท่อพีวีซี ท่อพีอี และท่อพีบี กันเถอะ. สมอ สาร ปีที่ 31 : 5-6.

[2] มุสลิมไทยดอทคอม, 2553. การทำงานเกี่ยวข้องกับไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ (VCM). สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553. จาก http://www.muslimthai.com/main/1428/content.php?category=110&id=11188.

[3] Siam Pathum Group Co.,Ltd., 2550. คุณลักษณะเฉพาะของHDPE. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553. จาก http://www.sp2999.com/Default.aspx?pageid=149

[4] สมเกียรติ ศรีภัทรานุสรณ์, 2551. งานฉีดพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553 จาก http://mold.net46.net/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=9.

[5] Injection Mold Design Tutorial, Technology and Engineering 2007. Construction Injection Molds Classification. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553. จาก http://mould-technology.blogspot.com/2007/12/injection-molds-classification.html.

[6] Injection Mold Design Tutorial, Technology and Engineering 2007. Mold part and construction. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553. จาก http://mould-technology.blogspot.com/2007/03/mold-part-and-construction.html.

[7] Kazmer, David O., 2007. Injection Mold Design Engineering. Ohio : Hanser Gardner.

[8] Husky Injection Molding Systems Inc., 2009. Hot Runner Design Center. Vermont : Husky.

[9] ชาลี ตระการกูล, 2542. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 2. ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[10] ชัยรัตน์ แก้วด้วง, 2544. เทคโนโลยีการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก. กรุงเทพ : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[11] ชาลี ตระการกูล, 2542. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1. ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[12] Lingiuan Ma, 2553. เหล็กกล้าเครื่องมือ(Tool Steels). สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2553. จาก http://www.docstoc.com/docs/58912116/(Tool-Steels)

[13] บรรเลง ศรนิล, 2546. เทคโนโลยีพลาสติก. ครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[14] Meapim, 2552. การคำนวณแรงปิดแม่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://www.meapim.pr.in.th/webpage/Plastic_design/step_design10.html.

[15] Thai Plastic Injection Mold, 2010. Gate Seal. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://thai-mold.blogspot.com/2010_12_01_archive.html.

[16] Shoemaker, Jay, 2006. Moldflow Design Guide. Ohio : Hanser Gardner.

[17] สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย, 2552. ข้อบกพร่องของชิ้นงานฉีดพลาสติกและวิธีแก้ไข. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://www.tpia.org/faq/answer.asp?no=91.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง(ต่อ)


[18] สปริงเกิ้ลไทยดอทคอม, 2553. การประกอบข้อต่อท่อ PE แบบ Compression. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://www.sprinklethai.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538957672&Ntype=1.

[19] บริษัท เพชรสยามพีอี ไพ้พ์ จำกัด, 2553. ข้อมูลเทคนิก PE HDPE. เมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://www.pspipe.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=71:-pe-hdpe&catid=48:known-drink-hdpe-pe&Itemid=79.

[20] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อพอลิเอทิลีนสำหรับน้ำดื่ม เล่มที่ 122 ตอนที่ 77 ง : 2,9,15.

[21] SCG Plastics Company Limited, 2009. EL-Lene H5211PC. Bangkok : SCG Chemicals .

[22] UK Special Steel Stockholders and Suppliers, 2008. P20 Tool Steel. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2553. จาก http://www.westyorkssteel.com/p20.html

[23] Kona Dynisco Hot Runner Group, 1993. KONA Hot Runner Systems Design Manual. Massachusetts : Kona Hot Runner System.

[24] ภัคนันท์ สุขสำราญ, 2550. การศึกษาการถ่ายโอนความร้อนของแม่พิมพ์อิพอกซี่เรซิ่นเติมอะลูมเนียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาลัยเกษตรศาสตร์.

[25] Wipoo Sriseubsai, 2008. Dynamic Viscosity Purging of a Hot Runner Manifold. Ph.D. Dissertation University of Massachusetts Lowell, UML.

[26] Douglas M. Bryce, 1996. Plastic Injection Molding 1: Manufacturing Process Fundamentals. Michigan : Society Of Manufacturing Engineers.

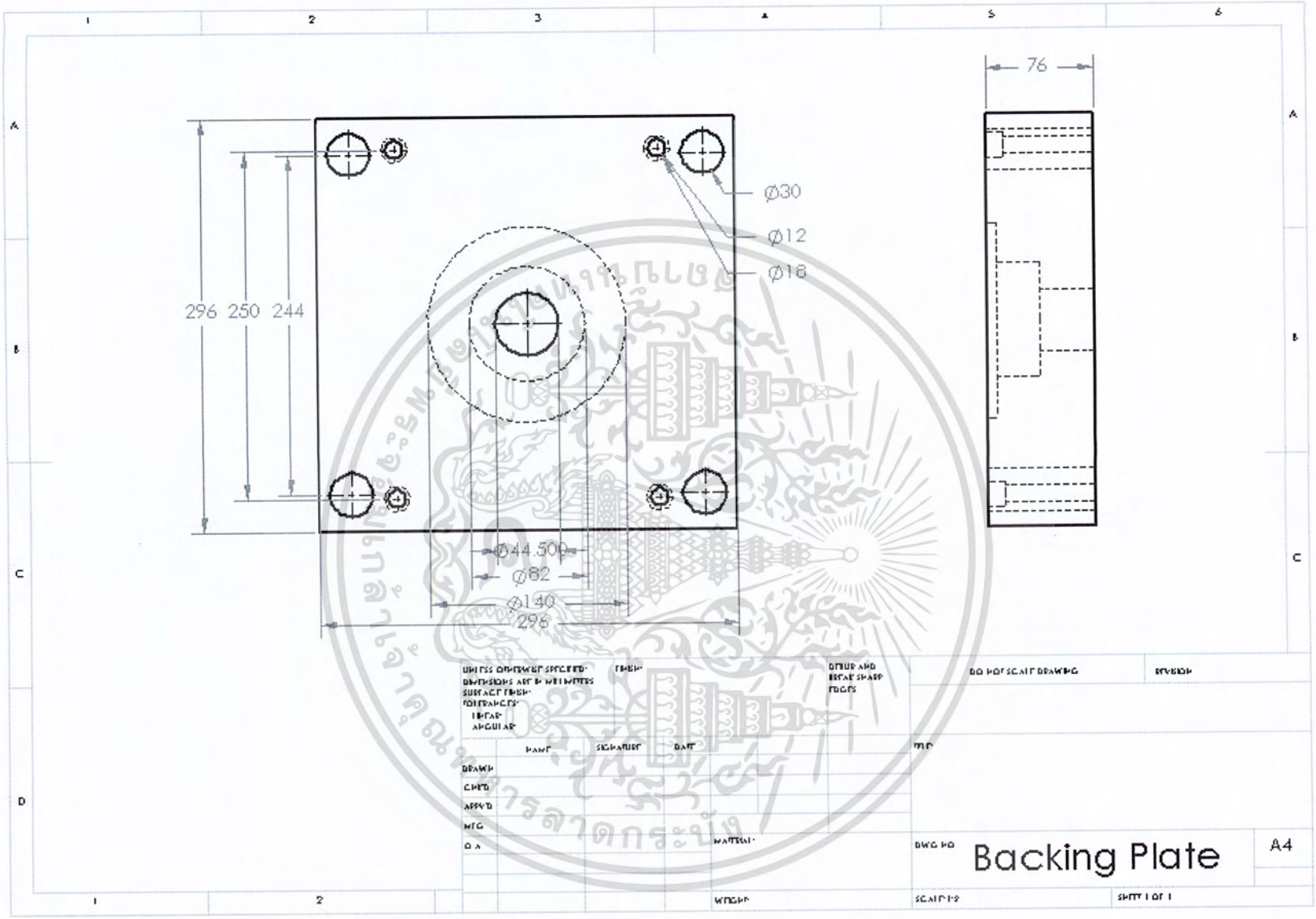
[27] D-M-E Company, 2011. D-M-E Euro-Series Mold Bases. Michigan : D-M-E Every step of the way.



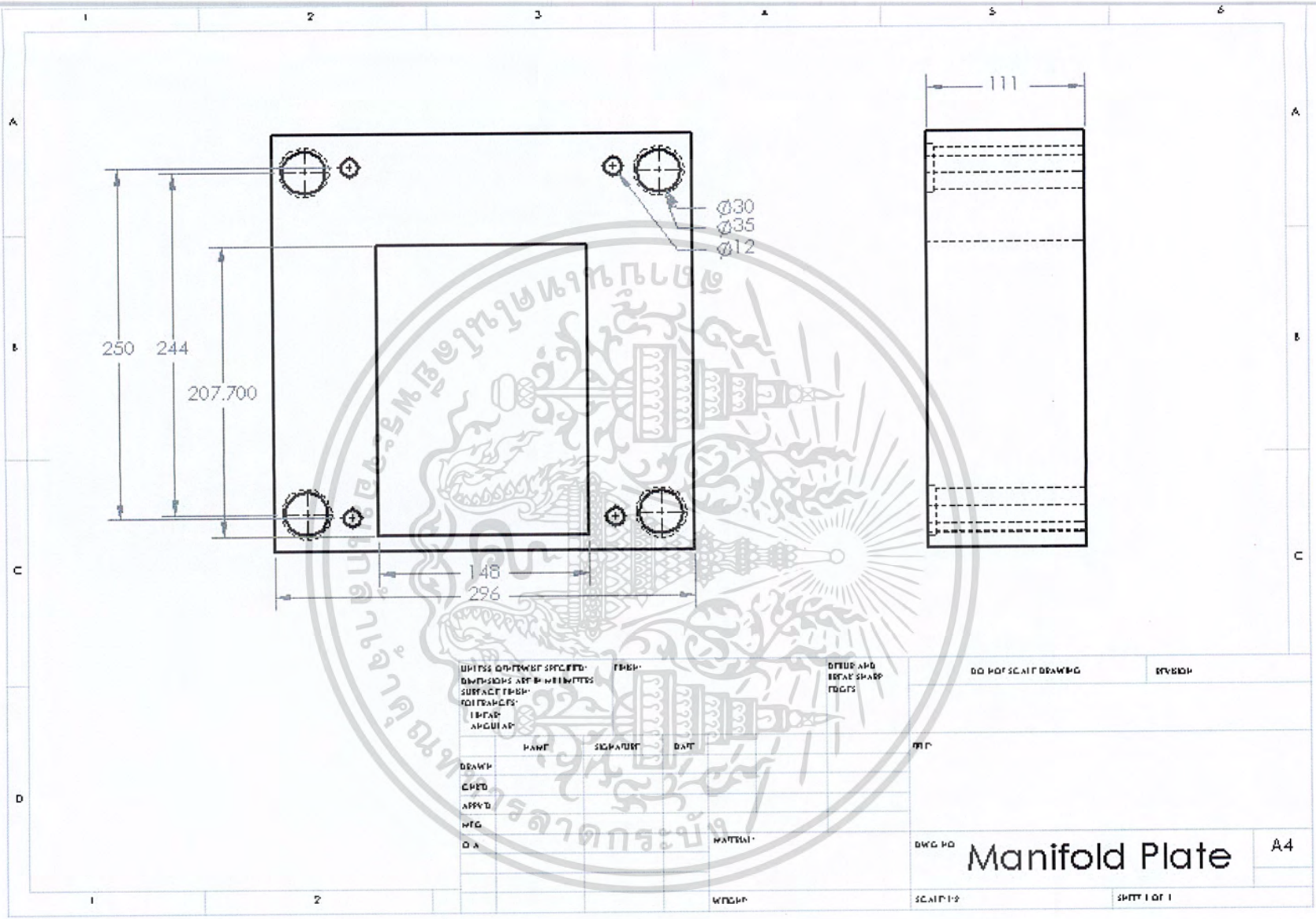

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

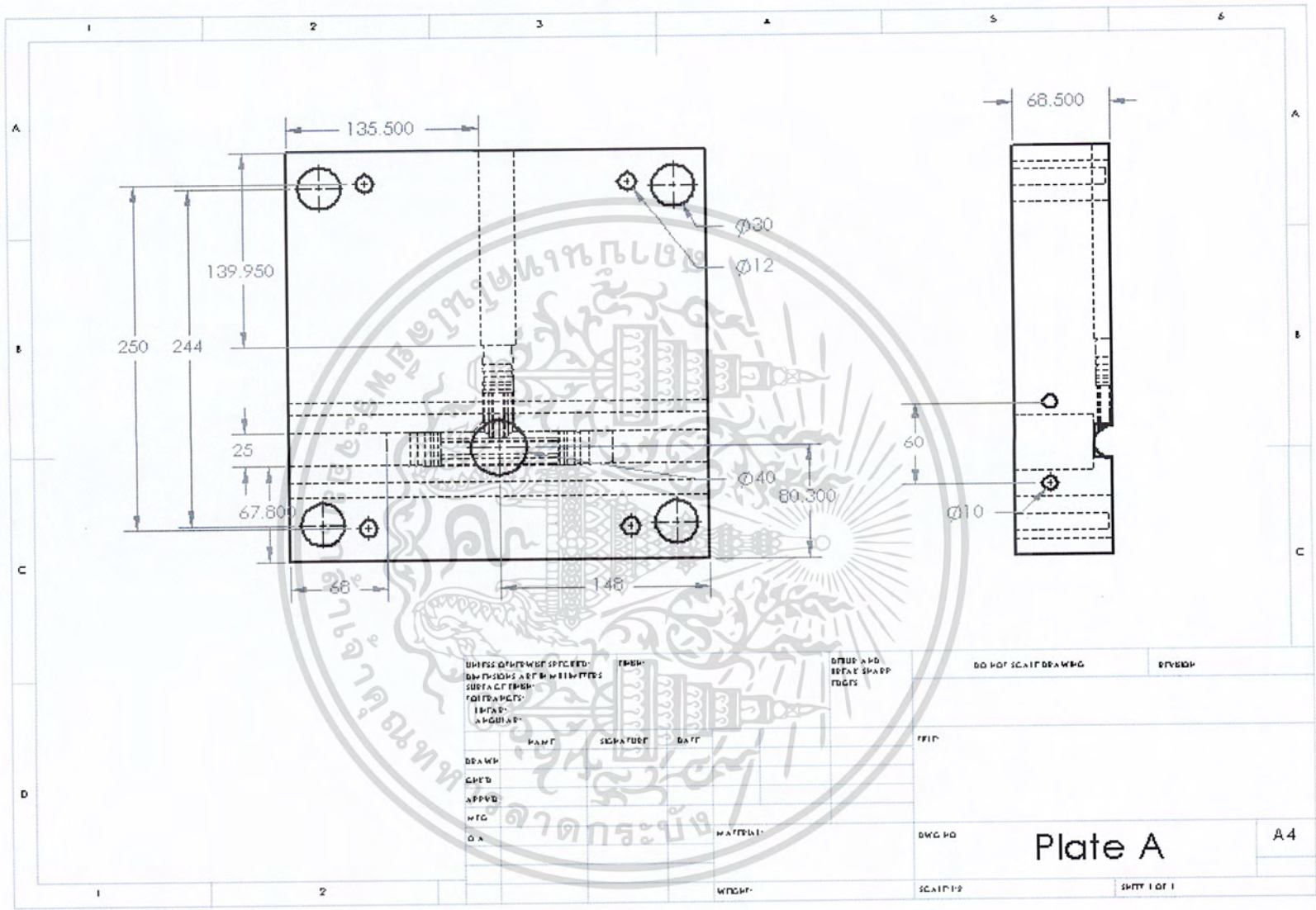
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



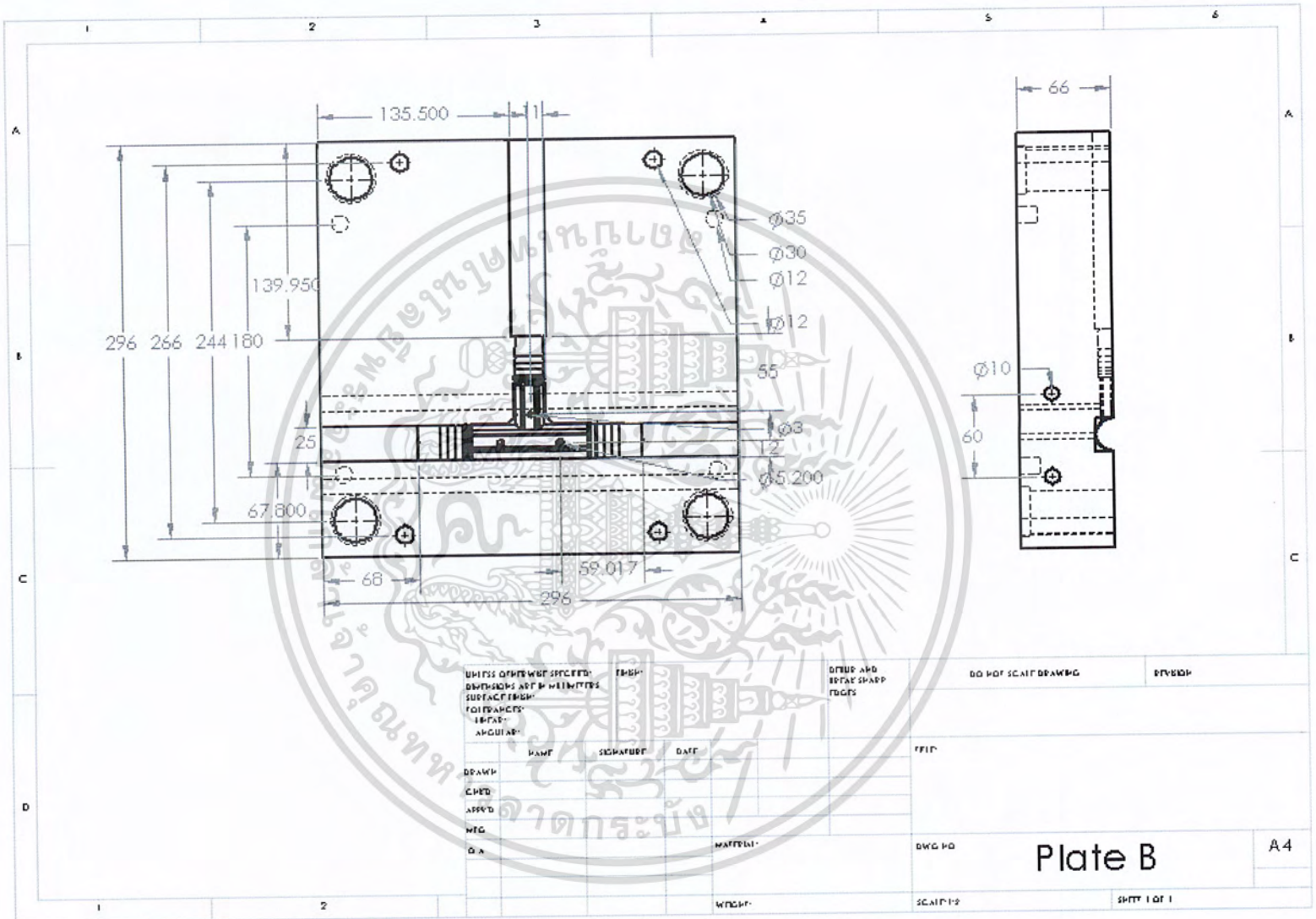

รูปที่ ผก1 Backing Plate



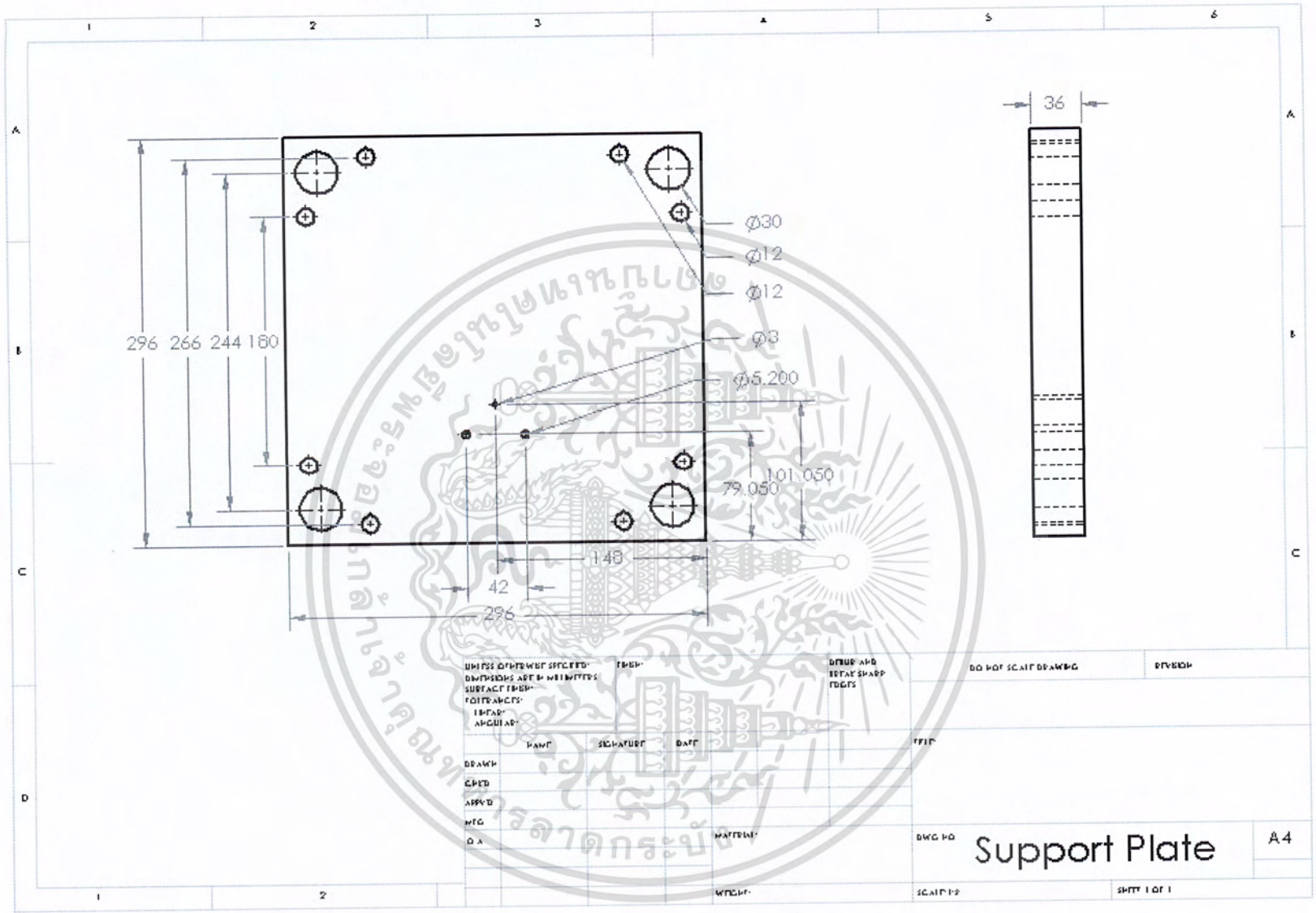

รูปที่ ผก2 Manifold Plate



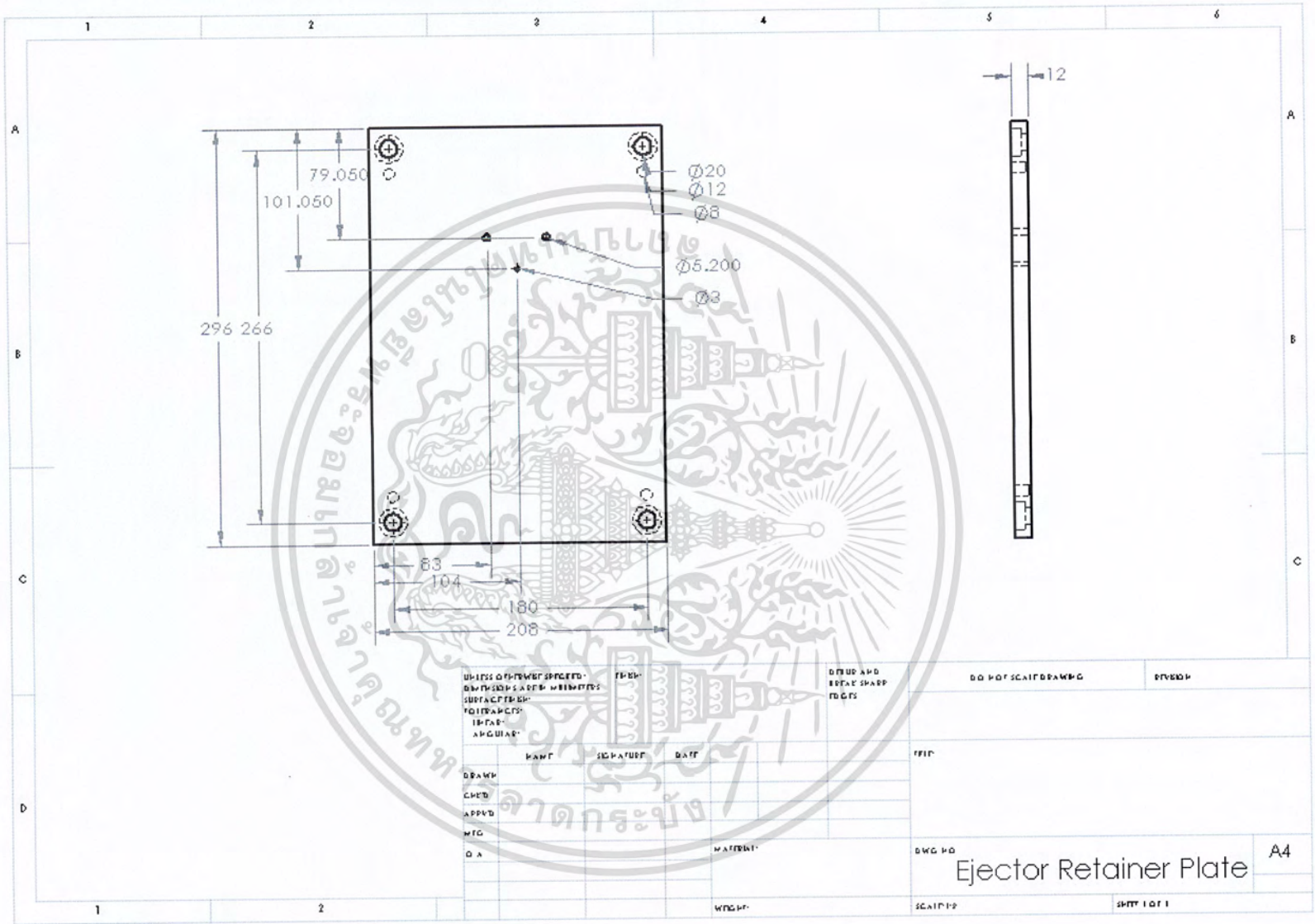

รูปที่ ผก3 Plate A



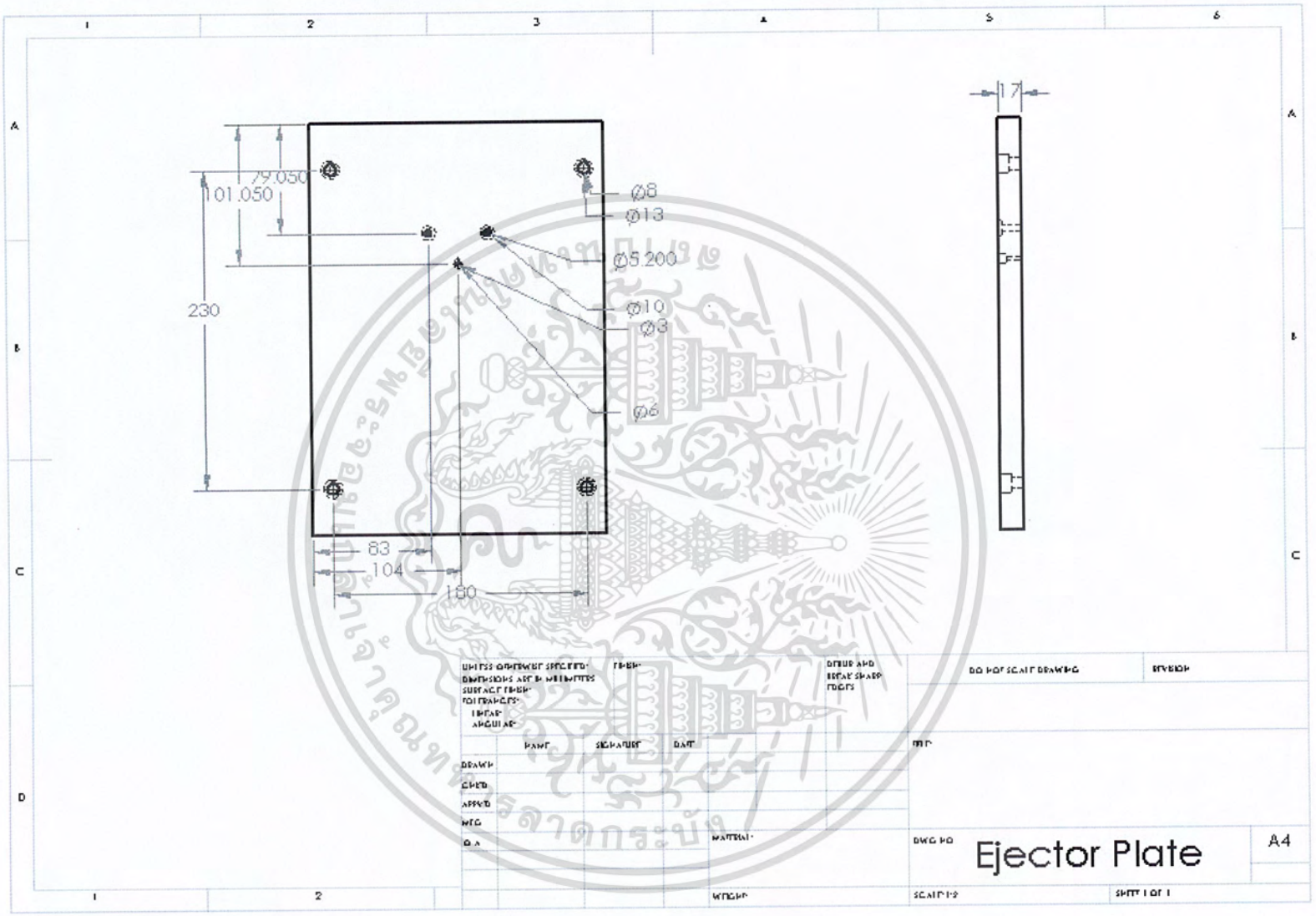

รูปที่ ผก4 Plate B



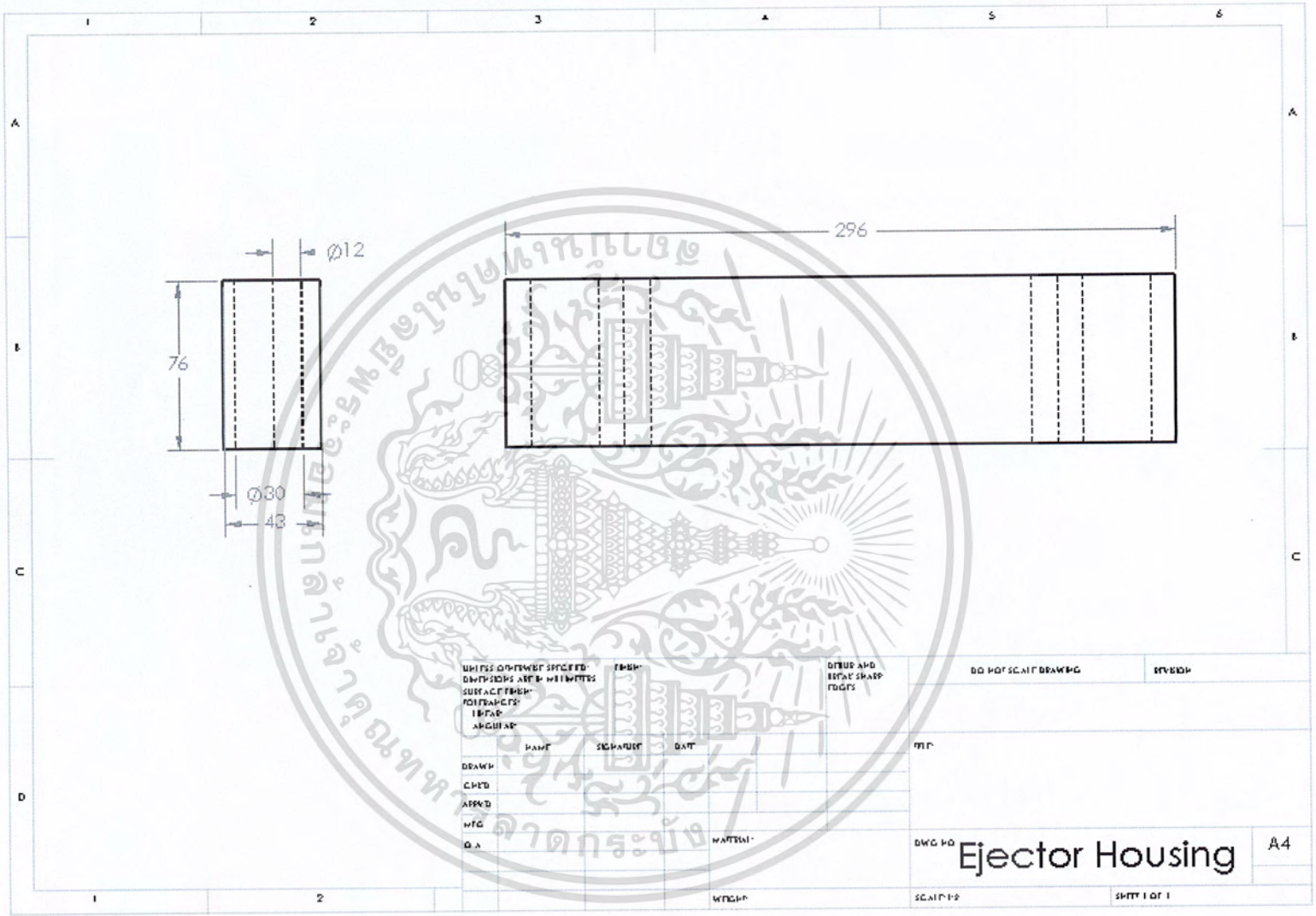

รูปที่ ผก5 Support Plate



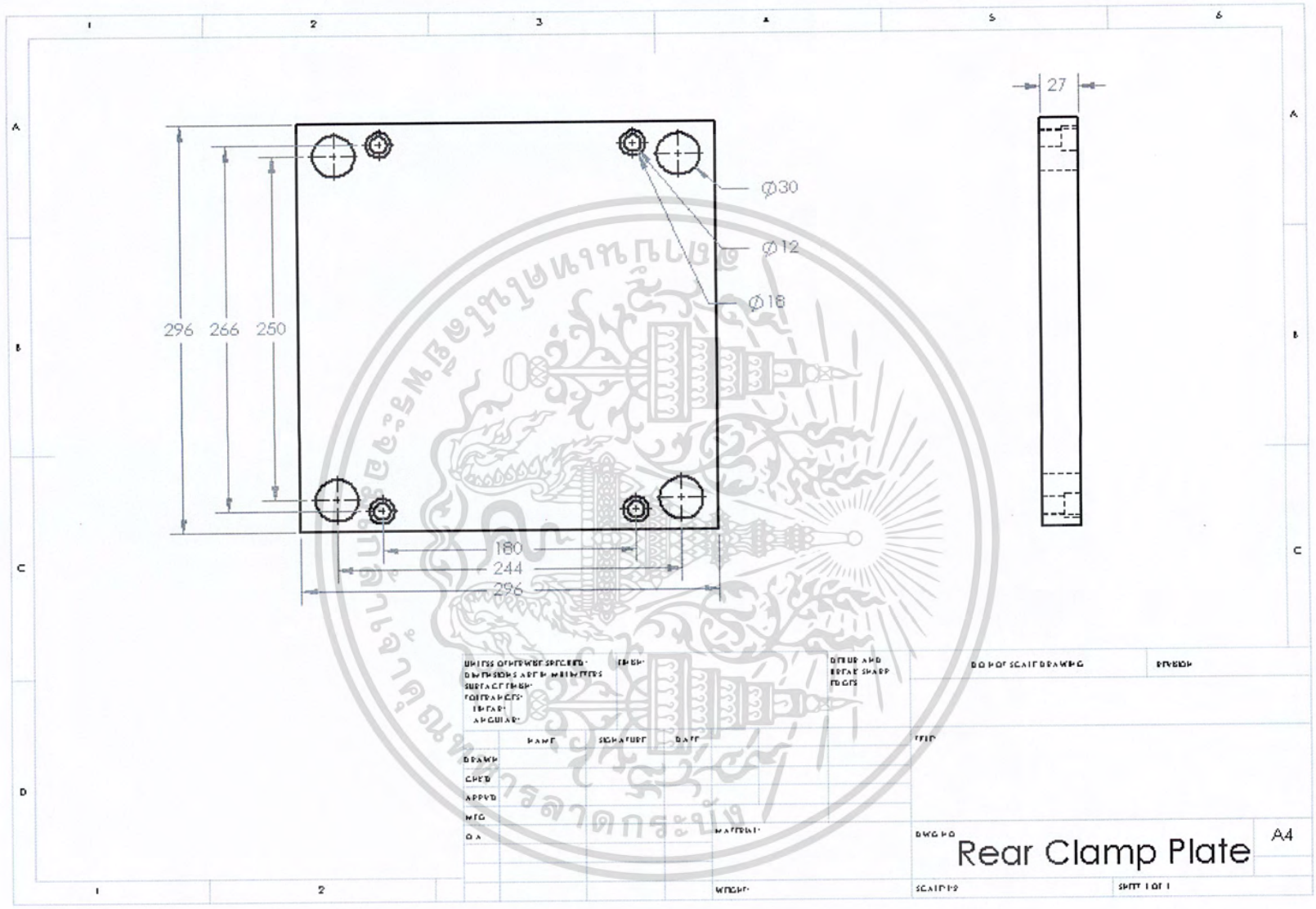

รูปที่ ผก6 Ejector Retainer Plate




รูปที่ ผก7 Ejector Plate




รูปที่ ผก8 Ejector Housing




รูปที่ ผก9 Rear Clamp Plate

# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 1 ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคนอกเฉลี่ย ความเบี้ยวของท่อ ความหนาของผนังท่อ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

| | | | อนุกรมท่อ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SDR 6 | SDR 7.4 | SDR 9 | SDR 11 | SDR 13.6 | SDR 17 | SDR 17.6 | SDR 21 | SDR 26 | SDR 33 | SDR 41 |
| | | | S 2.5 | S 3.2 | S 4 | S 5 | S 6.3 | S 8 | S 8.3 | S 10 | S 12.5 | S 16 | S 20 |
| | ชั้นคุณภาพ PE | | ชั้นคุณภาพท่อ | | | | | | | | | | |
| | PE 63 | | - | - | - | PN 10 | PN 8 | - | PN 6 | - | PN 4 | PN 3.2 | - |
| | PE 80 | | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | PN 8 | - | PN 6.3 | - | PN 4 | PN 3.2 |
| | PE 100 | | - | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | - | PN 8 | PN 6.3 | - | PN 4 |
| ขนาดระบุ | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย | ความเบี้ยวของท่อสูงสุด | ความหนาของผนังท่อ | | | | | | | | | | |
| 16 | 16.0 + 0.3 0 | 1.2 | 3.0 + 0.4 0 | 2.3 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 20.0 + 0.3 0 | 1.2 | 3.4 + 0.5 0 | 3.0 + 0.4 0 | 2.3 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 25 | 25.0 + 0.3 0 | 1.2 | 4.2 + 0.6 0 | 3.5 + 0.5 0 | 3.0 + 0.4 0 | 2.3 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - | - | - | - | - |
| 32 | 32.0 + 0.3 0 | 1.3 | 5.4 + 0.7 0 | 4.4 + 0.6 0 | 3.6 + 0.5 0 | 3.0 + 0.4 0 | 2.4 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - | - | - |
| 40 | 40.0 + 0.3 0 | 1.4 | 6.7 + 0.8 0 | 5.5 + 0.7 0 | 4.5 + 0.6 0 | 3.7 + 0.5 0 | 3.0 + 0.5 0 | 2.4 + 0.4 0 | 2.3 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - | - |
| 50 | 50.0 + 0.3 0 | 1.4 | 8.3 + 1.0 0 | 6.9 + 0.8 0 | 5.6 + 0.7 0 | 4.6 + 0.6 0 | 3.7 + 0.6 0 | 3.0 + 0.4 0 | 2.9 + 0.4 0 | 2.4 + 0.4 0 | 2.0 + 0.3 0 | - | - |
| 63 | 63.0 + 0.4 0 | 1.5 | 10.5 + 1.2 0 | 8.6 + 1.0 0 | 7.1 + 0.9 0 | 5.8 + 0.7 0 | 4.7 + 0.6 0 | 3.8 + 0.5 0 | 3.6 + 0.5 0 | 3.0 + 0.4 0 | 2.5 + 0.4 0 | - | - |
| 75 | 75.0 + 0.5 0 | 1.6 | 12.5 + 1.4 0 | 10.3 + 1.2 0 | 8.4 + 1.0 0 | 6.8 + 0.8 0 | 5.6 + 0.7 0 | 4.5 + 0.6 0 | 4.3 + 0.6 0 | 3.6 + 0.5 0 | 2.9 + 0.4 0 | - | - |

ตารางที่ ผข 2 ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคนอกเฉลี่ย ความเบี้ยวของท่อ ความหนาของผนังท่อ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

| | | | อนุกรมท่อ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SDR 6 | SDR 7.4 | SDR 9 | SDR 11 | SDR 13.6 | SDR 17 | SDR 17.6 | SDR 21 | SDR 26 | SDR 33 | SDR 41 |
| | | | S 2.5 | S 3.2 | S 4 | S 5 | S 6.3 | S 8 | S 8.3 | S 10 | S 12.5 | S 16 | S 20 |
| | ชั้นคุณภาพ PE | | ชั้นคุณภาพท่อ | | | | | | | | | | |
| | PE 63 | | - | - | - | PN 10 | PN 8 | - | PN 6 | - | PN 4 | PN 3.2 | - |
| | PE 80 | | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | PN 8 | - | PN 6.3 | - | PN 4 | PN 3.2 |
| | PE 100 | | - | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | - | PN 8 | PN 6.3 | - | PN 4 |
| ขนาดระบุ | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย | ความเบี้ยวของท่อสูงสุด | ความหนาของผนังท่อ | | | | | | | | | | |
| 90 | 90.0 + 0.6 0 | 1.8 | 15.0 + 1.7 0 | 12.3 + 1.4 0 | 10.1 + 1.2 0 | 8.2 + 1.0 0 | 6.7 + 0.8 0 | 5.4 + 0.7 0 | 5.1 + 0.7 0 | 4.3 + 0.6 0 | 3.5 + 0.5 0 | - | - |
| 110 | 110.0 + 0.7 0 | 2.2 | 18.3 + 2.0 0 | 15.1 + 1.7 0 | 12.3 + 1.4 0 | 10.0 + 1.1 0 | 8.1 + 1.0 0 | 6.6 + 0.8 0 | 6.3 + 0.8 0 | 5.3 + 0.7 0 | 4.2 + 0.6 0 | - | - |
| 125 | 125.0 + 0.8 0 | 2.5 | 20.8 + 2.2 0 | 17.1 + 1.9 0 | 14.0 + 1.6 0 | 11.4 + 1.3 0 | 9.2 + 1.1 0 | 7.4 + 0.9 0 | 7.1 + 0.9 0 | 6.0 + 0.7 0 | 4.8 + 0.6 0 | - | - |
| 140 | 140.0 + 0.9 0 | 2.8 | 23.3 + 2.5 0 | 19.2 + 2.1 0 | 15.7 + 1.7 0 | 12.7 + 1.4 0 | 10.3 + 1.2 0 | 8.3 + 1.0 0 | 8.0 + 1.0 0 | 6.7 + 0.8 0 | 5.4 + 0.7 0 | - | - |
| 160 | 160.0 + 1.0 0 | 3.2 | 26.6 + 2.8 0 | 21.9 + 2.3 0 | 17.9 + 1.9 0 | 14.6 + 1.6 0 | 11.8 + 1.3 0 | 9.5 + 1.1 0 | 9.1 + 1.1 0 | 7.7 + 0.9 0 | 6.2 + 0.8 0 | - | - |
| 180 | 180.0 + 1.1 0 | 3.6 | 29.9 + 3.1 0 | 24.6 + 2.6 0 | 20.1 + 2.2 0 | 16.4 + 1.8 0 | 13.3 + 1.5 0 | 10.7 + 1.2 0 | 10.2 + 1.2 0 | 8.6 + 1.0 0 | 6.9 + 0.8 0 | - | - |
| 200 | 200.0 + 1.2 0 | 4.0 | 33.2 + 3.5 0 | 27.4 + 2.9 0 | 22.4 + 2.4 0 | 18.2 + 2.0 0 | 14.7 + 1.6 0 | 11.9 + 1.3 0 | 11.4 + 1.3 0 | 9.6 + 1.1 0 | 7.7 + 0.9 0 | - | - |
| 225 | 225.0 + 1.4 0 | 4.5 | 37.4 + 3.9 0 | 30.8 + 3.2 0 | 25.2 + 2.7 0 | 20.5 + 2.2 0 | 16.6 + 1.8 0 | 13.4 + 1.5 0 | 12.8 + 1.4 0 | 10.8 + 1.2 0 | 8.6 + 1.0 0 | - | - |

ตารางที่ ผข 3 ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคนอกเฉลี่ย ความเบี้ยวของท่อ ความหนาของผนังท่อ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

| | | | อนุกรมท่อ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SDR 6 | SDR 7.4 | SDR 9 | SDR 11 | SDR 13.6 | SDR 17 | SDR 17.6 | SDR 21 | SDR 26 | SDR 33 | SDR 41 |
| | | | S 2.5 | S 3.2 | S 4 | S 5 | S 6.3 | S 8 | S 8.3 | S 10 | S 12.5 | S 16 | S 20 |
| | ชั้นคุณภาพ PE | | ชั้นคุณภาพท่อ | | | | | | | | | | |
| | PE 63 | | - | - | - | PN 10 | PN 8 | - | PN 6 | - | PN 4 | PN 3.2 | - |
| | PE 80 | | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | PN 8 | - | PN 6.3 | - | PN 4 | PN 3.2 |
| | PE 100 | | - | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | - | PN 8 | PN 6.3 | - | PN 4 |
| ขนาดระบุ | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย | ความเบี้ยวของท่อสูงสุด | ความหนาของผนังท่อ | | | | | | | | | | |
| 250 | 250.0 + 1.50 | 5.0 | 41.5 + 4.30 | 34.2 + 3.60 | 27.9 + 2.90 | 22.7 + 2.40 | 18.4 + 2.00 | 14.8 + 1.60 | 14.2 + 1.60 | 11.9 + 1.30 | 9.6 + 1.10 | - | - |
| 280 | 280.0 + 1.70 | 9.8 | 46.5 + 4.80 | 38.3 + 4.00 | 31.3 + 3.30 | 25.4 + 2.70 | 20.6 + 2.20 | 16.6 + 1.80 | 15.9 + 1.70 | 13.4 + 1.50 | 10.7 + 1.20 | - | - |
| 315 | 315.0 + 1.90 | 11.1 | 52.3 + 5.40 | 43.1 + 4.50 | 35.2 + 3.70 | 28.6 + 3.00 | 23.2 + 2.50 | 18.7 + 2.00 | 17.9 + 1.90 | 15.0 + 1.60 | 12.1 + 1.40 | 9.7 + 1.10 | 7.7 + 0.90 |
| 355 | 355.0 + 2.20 | 12.5 | 59.0 + 6.00 | 48.5 + 5.00 | 39.7 + 4.10 | 32.2 + 3.40 | 26.1 + 2.80 | 21.1 + 2.30 | 20.1 + 2.20 | 16.9 + 1.80 | 13.6 + 1.50 | 10.9 + 1.20 | 8.7 + 1.00 |
| 400 | 400.0 + 2.40 | 14.0 | - | 54.7 + 5.60 | 44.7 + 4.60 | 36.3 + 3.80 | 29.4 + 3.10 | 23.7 + 2.50 | 22.7 + 2.40 | 19.1 + 2.10 | 15.3 + 1.70 | 12.3 + 1.40 | 9.8 + 1.10 |
| 450 | 450.0 + 2.70 | 15.8 | - | 61.5 + 6.30 | 50.3 + 5.20 | 40.9 + 4.20 | 33.1 + 3.50 | 26.7 + 2.80 | 25.5 + 2.70 | 21.5 + 2.30 | 17.2 + 1.90 | 13.8 + 1.50 | 11.0 + 1.20 |
| 500 | 500.0 + 3.00 | 17.5 | - | - | 55.8 + 5.70 | 45.4 + 4.70 | 36.8 + 3.80 | 29.7 + 3.10 | 28.3 + 3.00 | 23.9 + 2.50 | 19.1 + 2.10 | 15.3 + 1.70 | 12.3 + 1.40 |
| 560 | 560.0 + 3.40 | 19.6 | - | - | - | 50.8 + 5.20 | 41.2 + 4.30 | 33.2 + 3.50 | 31.7 + 3.30 | 26.7 + 2.80 | 21.4 + 2.30 | 17.2 + 1.90 | 13.7 + 1.50 |

ตารางที่ ผข 4 ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคนอกเฉลี่ย ความเบี้ยวของท่อ ความหนาของผนังท่อ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

| | | | อนุกรมท่อ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SDR 6 | SDR 7.4 | SDR 9 | SDR 11 | SDR 13.6 | SDR 17 | SDR 17.6 | SDR 21 | SDR 26 | SDR 33 | SDR 41 |
| | | | S 2.5 | S 3.2 | S 4 | S 5 | S 6.3 | S 8 | S 8.3 | S 10 | S 12.5 | S 16 | S 20 |
| | ชั้นคุณภาพ PE | | ชั้นคุณภาพท่อ | | | | | | | | | | |
| | PE 63 | | - | - | - | PN 10 | PN 8 | - | PN 6 | - | PN 4 | PN 3.2 | - |
| | PE 80 | | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | PN 8 | - | PN 6.3 | - | PN 4 | PN 3.2 |
| | PE 100 | | - | PN 25 | PN 20 | PN 16 | PN 12.5 | PN 10 | - | PN 8 | PN 6.3 | - | PN 4 |
| ขนาดระบุ | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย | ความเบี้ยวของท่อสูงสุด | ความหนาของผนังท่อ | | | | | | | | | | |
| 630 | 630.0 + 3.80 | 22.1 | - | - | - | 57.2 + 5.90 | 46.3 + 4.80 | 37.4 + 3.90 | 35.7 + 3.70 | 30.0 + 3.10 | 24.1 + 2.60 | 19.3 + 2.10 | 15.4 + 1.70 |
| 710 | 710.0 + 6.40 | - | - | - | - | - | 52.2 + 5.40 | 42.1 + 4.40 | 40.2 + 4.20 | 33.9 + 3.50 | 27.2 + 2.90 | 21.8 + 2.30 | 17.4 + 1.90 |
| 800 | 800.0 + 7.20 | - | - | - | - | - | 58.8 + 6.00 | 47.4 + 4.90 | 45.3 + 4.70 | 38.1 + 4.00 | 30.6 + 3.20 | 24.5 + 2.60 | 19.6 + 2.10 |
| 900 | 900.0 + 8.10 | - | - | - | - | - | - | 53.3 + 5.50 | 51.0 + 5.20 | 42.9 + 4.40 | 34.4 + 3.90 | 27.6 + 2.90 | 22.0 + 2.30 |
| 1000 | 1000.0 + 9.00 | - | - | - | - | - | - | 59.3 + 6.10 | 56.6 + 5.80 | 47.7 + 4.90 | 38.2 + 4.00 | 30.6 + 3.20 | 24.5 + 2.60 |
| 1200 | 1200.0 + 10.80 | - | - | - | - | - | - | - | - | 57.2 + 5.90 | 45.9 + 4.70 | 36.7 + 3.80 | 29.4 + 3.10 |
| 1400 | 1400.0 + 12.60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 53.5 + 5.50 | 42.9 + 4.40 | 34.3 + 3.60 |
| 1600 | 1600.0 + 14.40 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 61.2 + 6.30 | 49.0 + 5.00 | 39.2 + 4.10 |