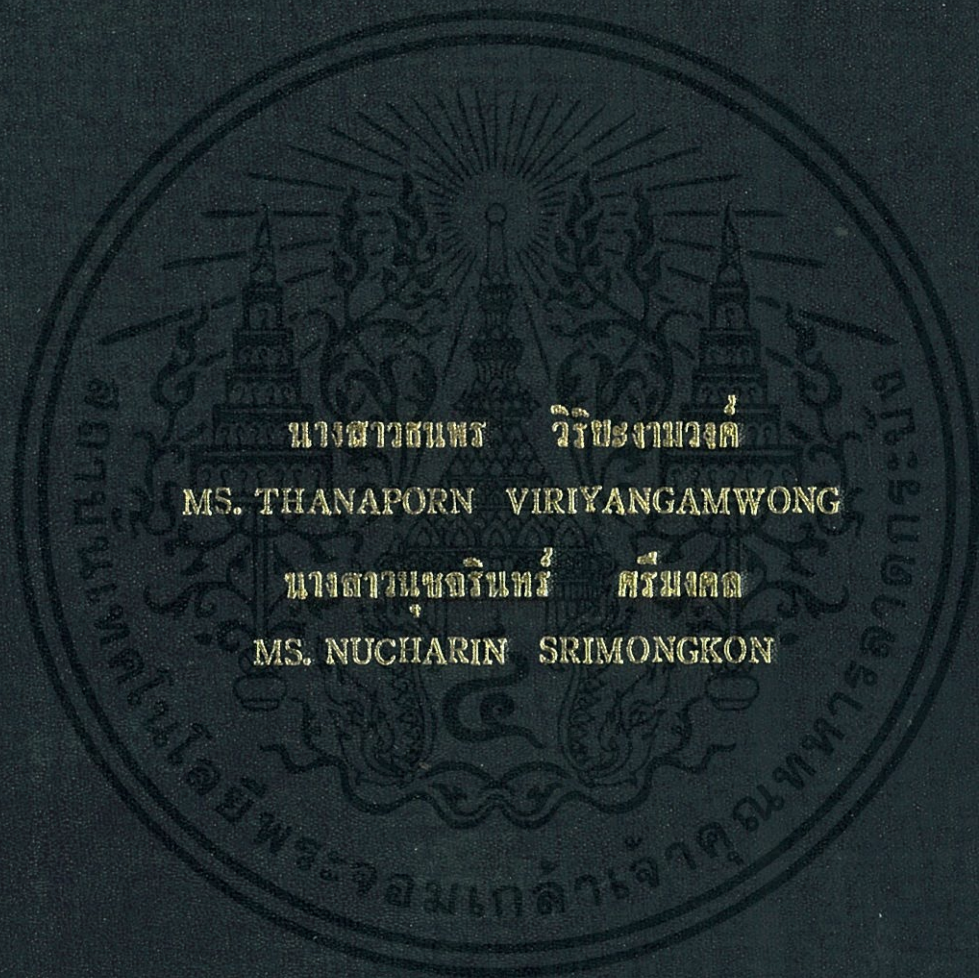


ผลของเวลาการหล่อเย็นเกี่ยวกับความแข็งแรงของชิ้นงาน;

กรณีศึกษาฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก

THE EFFECT OF COOLING TIME ON THE STRENGTH
OF MOLDED PART ; A STUDY OF INJECTION MOLDING
FOR PLASTIC WRENCH



ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

ผลของเวลาการหล่อเย็นกับความแข็งแรงของชิ้นงาน;
กรณีศึกษาฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก
THE EFFECT OF COOLING TIME ON THE STRENGTH
OF MOLDED PART; A STUDY OF INJECTION MOLDING
FOR PLASTIC WRENCH



นางสาวธนพร วิริยะงามวงศ์
MS.THANAPORN VIRIYANGAMWONG
นางสาวนุชจรินทร์ ศรีมงคล
MS.NUCHARIN SRIMONGKON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2555
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE EFFECT OF COOLING TIME ON THE STRENGTH
OF MOLDED PART; A STUDY OF INJECTION MOLDING
FOR PLASTIC WRENCH**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

ผลของเวลาการหล่อเย็นกับความแข็งแรงของชิ้นงาน; กรณีศึกษาฉีด
ขึ้นรูปประแจพลาสติก

THE EFFECT OF COOLING TIME ON THE STRENGTH OF
MOLDED PART: A STUDY OF INJECTION MOLDING FOR
PLASTIC WRENCH

นักศึกษา

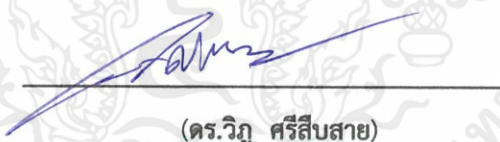
นางสาวธนพร วิริยะงามวงศ์ รหัสประจำตัว 52010447

นางสาวนุชจรินทร์ ศรีมงคล รหัสประจำตัว 52010621

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ดร.วิภู ศรีสืบสาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลของเวลาการหล่อเย็นกับความแข็งแรงของชิ้นงาน; กรณีศึกษาการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก
นักศึกษา	นางสาวธนพร วิริยะงามวงศ์ นางสาวนุชจรินทร์ ศรีมงคล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.วิภู ศรีสืบสาย

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของเวลาการหล่อเย็นกับความแข็งแรงของชิ้นงาน กรณีศึกษาการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก โดยออกแบบชิ้นงานเป็นประแจเบอร์ 10 วัสดุขึ้นรูปด้วยพอลิโพรพิลีน เกรด Exxtral BMT 106 แม่พิมพ์ถูกออกแบบโดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S55C ออกแบบให้เป็นแม่พิมพ์ชนิดทางวิ่งเย็นแบบ 2 แผ่น แกนรูฉีดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 55 มิลลิเมตร ทางวิ่งแบบวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ภายในมี 2 โพรงแบบ แต่ละโพรงแบบมีทางเข้าแบบขอบเหลี่ยม ขนาด 2x1x1 มิลลิเมตร ระบบหล่อเย็นถูกออกแบบให้มีจำนวน 4 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยนำโปรแกรม Moldex3D R10.0 มาช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบและจำลองการฉีดขึ้นรูป เครื่องฉีดพลาสติก TOSHIBA IS 80 EPN ถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยมีปัจจัยการฉีด ได้แก่ อุณหภูมิหลอมเหลว 230 องศาเซลเซียส ความเร็วในการฉีด 112 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ความดันในการฉีดและความดันอัดย้า 59.7 เมกะปาสคาล เวลาในการอัดย้า 3 วินาที เวลาในการฉีด 3 วินาที อุณหภูมิแม่พิมพ์ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่เวลาในการหล่อเย็นคือ 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105 วินาที ชิ้นงานถูกนำมาทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine โดยผลการทดลองจะนำมาทดสอบสมมติฐานระหว่างเวลาการหล่อเย็นกับแรงดึงสูงสุดและทดสอบสมมติฐานระหว่างเวลาการหล่อเย็นกับความเครียดที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha=0.05$) สามารถสรุปได้ว่าเวลาในการหล่อเย็นไม่มีผลกับความแข็งแรงของชิ้นงานทั้งสองการทดลอง จากการวิเคราะห์จำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Moldex3D R10.0 พบว่าเกตเย็นตัว (Gate Freeze time) ที่เวลา 1.38-1.53 วินาที เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของชิ้นงานที่สามารถกระทุ้งออกมา ที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส ดังนั้นเวลาการหล่อเย็นที่ใช้มากเกินไปกว่าเวลาเย็นตัวของทางเข้า ทำให้ไม่มีความแตกต่าง ในด้านของน้ำหนักและความหนาแน่นของชิ้นงาน จึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Effect of Cooling Time On The Strength Of Molded Part : A Study of Injection Molding for Plastic Wrench
Student	Ms. Thanaporn Viriyangamwong Ms. Nucharin Srimongkon
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2012
Thesis Advisor	Dr. Wipoo Srisuebsai

ABSTRACT

This project was studied on the effect of cooling time on the strength of molded part, plastic wrench. The designed model was the wrench no.10 which was molded by polypropylene grade Exxtral BMT 106. The carbon steel grade S55C was used to make the two plate cold runner mold. The sprue had an average diameter of 5 mm with 55 mm in length. The runner was a circular cross section with 4 mm in diameter. The mold had 2 cavities with rectangular edge gate while its dimensions were 2x2x1 mm. The cooling line was designed with 4 channels by 10 mm diameter. The Moldex3D R10 was used to analyze the designing and simulating the injection molding process. The Toshiba IS 80 EPN injection molding machine was used to performed the experiments with the melt temperature of 230°C, the injection speed of 112 cm³/s, injection pressure and packing pressure of 59.7 MPa, filling time of 3 s, packing time of 3 s and mold temperature of 35 °C while the cooling time was varied, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105 s. The strength of molded specimen was tested by the universal testing machine. The data were tested with the hypothesis between cooling time and maximum tensile strength and between cooling time and stain by the significant value of 0.05 ($\alpha = 0.05$). The results showed that the cooling time was not significant to the strength of molded part. The simulation by Moldex3D R10.0 showed the gate freeze time was between 1.38 – 1.53 s with the ejection temperature of 108 °C so the cooling time in this research was too long time. Then, there were no different in weight and density of molded part which was not effect to the strength of molded part.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเรื่อง ผลของเวลาการหล่อเย็นกับความแข็งแรงของชิ้นงานกรณีศึกษาการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีกลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาโทฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทสำหรับกลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับโอกาสในการศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาเพื่อหาทางแก้ไขในการทำปริญญาโทตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำปริญญาโทให้สำเร็จลุล่วง

รศ.ดร.ภรณ์ชัย กัลยาศิริ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ดร.พลชัย โชติปราชญกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำคำติชมและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับสาขาวิชาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ รวมถึงอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อนๆที่คอยให้ความรักและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

นางสาวธนพร วิริยะงามวงศ์
นางสาวนุชจรินทร์ ศรีมงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกพื้นฐาน.....	3
2.1.1 การออกแบบส่วนโค้งและรัศมี.....	3
2.1.2 การออกแบบความหนาของผนัง.....	4
2.1.3 การออกแบบครีป และปุ่ม.....	6
2.1.4 การออกแบบเส้นต่อชิ้นส่วน.....	7
2.1.5 การออกแบบมุมสอบ.....	8
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก.....	8
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	13
2.3.1 ประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	13
2.3.2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์.....	14
2.4 การออกแบบแม่พิมพ์.....	20
2.4.1 การออกแบบเบ้า.....	20
2.4.2 การออกแบบแกนรูฉีด.....	21
2.4.3 การออกแบบรูเข้า.....	22
2.4.4 การออกแบบระบบทางวิ่ง.....	31
2.4.5 การออกแบบระบบหล่อเย็น.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6 การปลดชิ้นงาน.....	34
2.4.7 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	37
2.4.8 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์.....	38
2.5 กระบวนการฉีดพลาสติก.....	39
2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก.....	39
2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก.....	41
2.6 การทดสอบแรงดึง.....	42
2.6.1 รายละเอียดการทดสอบแรงดึง.....	43
2.6.2 มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงของพลาสติก.....	43
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	46
2.7.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือแบบมีปัจจัยเดียว.....	47
2.7.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์.....	48
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง	
3.1 การวางแผนดำเนินงาน.....	53
3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์.....	54
3.3 กระบวนการออกแบบชิ้นงานโดยศึกษาตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	56
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ออกแบบชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 Designer.....	63
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์การจำลองการฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0.....	65
3.6 การตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหมดในระบบควบคุม.....	67
3.6 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก.....	70
3.7 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง (Tensile test).....	71
3.8 การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	78
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 Design.....	79
4.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองการฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0.....	83
4.3 การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA).....	85
4.3.1 การทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับแรงดึงสูงสุด.....	86
4.3.2 การทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับความเครียด.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	95
5.2 ปัญหาแนวทางแก้ไขปัญหา.....	96
5.2.1 ปัญหา.....	96
5.2.2 แนวทางการแก้ปัญหา.....	96
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	96
หนังสืออ้างอิง.....	97
ภาคผนวก ก.....	ผก
ภาคผนวก ข.....	ผข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าพิกัดมาตรฐานทั่วไป สำหรับความหนาของพลาสติกชนิดต่างๆที่นิยมใช้กัน.....	5
ตารางที่ 2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของเกจแบบฉีดยุติ.....	22
ตารางที่ 2.3 ขนาดของเกจแบบเข็มกับความหนาขนาดชิ้นงาน.....	23
ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของชนิดพลาสติกแต่ละกลุ่ม.....	25
ตารางที่ 2.5 การคำนวณหาขนาดของทางวิ่งในหน้าตัดต่างๆ.....	33
ตารางที่ 2.6 การกำหนดขนาดของระบบหล่อเย็น.....	34
ตารางที่ 2.7 การทำรูระบายอากาศของแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก.....	38
ตารางที่ 2.8 ข้อมูลสำหรับการทดลองแบบปัจจัยเดียว.....	49
ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ตัวแบบอิทธิพลกำหนด.....	52
ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดมาตรฐานทั่วไปสำหรับความหนาของพลาสติกชนิดต่างๆที่นิยมใช้กัน.....	56
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Polypropylene เกรด Exxtral BMT 106.....	57
ตารางที่ 3.3 การกำหนดขนาดของระบบหล่อเย็น.....	61
ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทั่วไปของ Carbon Steel เกรด S55C.....	62
ตารางที่ 3.5 สรุปส่วนประกอบของชิ้นงานประแจพลาสติก.....	65
ตารางที่ 3.6 สรุปการกำหนดเงื่อนไขในการฉีด.....	66
ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของพลาสติก.....	69
ตารางที่ 3.8 บันทึกผลการทดลอง.....	74
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของชิ้นงาน.....	83
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับแรงดึงสูงสุด.....	86
ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองระหว่างเวลาการหล่อเย็นกับความเครียด.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 (a) ออกแบบชิ้นงานไม้ตี (b) ออกแบบตี.....	3
รูปที่ 2.2 อิทธิพลของรัศมีความโค้งกับแนวโน้มการเกิดความเค้นภายในชิ้นงาน.....	4
รูปที่ 2.3 ออกแบบโดยใช้ครีบริบช่วย.....	6
รูปที่ 2.4 การออกแบบครีบริบ.....	6
รูปที่ 2.5 ออกแบบโดยใช้ปุ่ม.....	7
รูปที่ 2.6 การออกแบบปุ่ม.....	7
รูปที่ 2.7 ลักษณะเส้นต่อชิ้นส่วน.....	8
รูปที่ 2.8 มุมสอบ.....	8
รูปที่ 2.9 ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก.....	9
รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างพลาสติกอสัณฐาน.....	9
รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของพอลิไสตรีน.....	10
รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างพลาสติกกิ่งผลึก.....	10
รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน.....	11
รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมเซตติงพลาสติก.....	12
รูปที่ 2.15 ลักษณะโครงสร้างของฟินอลฟอร์มาดีไฮด์.....	12
รูปที่ 2.16 ลักษณะของแม่พิมพ์ 2 แผ่น.....	13
รูปที่ 2.17 ลักษณะของแม่พิมพ์ 3 แผ่น.....	14
รูปที่ 2.18 ภาพโดยรวมของแม่พิมพ์.....	14
รูปที่ 2.19 ชิ้นส่วนโดยรวมของแม่พิมพ์.....	15
รูปที่ 2.20 ลักษณะของแหวนบังคับศูนย์บน.....	15
รูปที่ 2.21 ลักษณะของปลอกนำฉีด.....	16
รูปที่ 2.22 ลักษณะของสลักนำและปลอกนำ.....	16
รูปที่ 2.23 ลักษณะของเรียวบังคับตำแหน่ง.....	16
รูปที่ 2.24 ลักษณะของ Angle Pin.....	17
รูปที่ 2.25 ลักษณะของเข็มกระทุ้ง (Ejector pin)	17
รูปที่ 2.26 ลักษณะของแผ่นฐานอยู่กับที่หรือยึดด้านบน.....	18
รูปที่ 2.27 ลักษณะของแผ่นเข้าอยู่กับแผ่นแม่พิมพ์บน.....	18
รูปที่ 2.28 ลักษณะของหมอนรอง.....	18
รูปที่ 2.29 ลักษณะของเสาค้ำ.....	19
รูปที่ 2.30 ลักษณะของแผ่นกระทุ้ง.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.31 ลักษณะของแผ่นยึดล่าง.....	19
รูปที่ 2.32 ลักษณะของแผ่นแม่พิมพ์ล่าง.....	20
รูปที่ 2.33 ลักษณะของแม่พิมพ์แบบหลายเบ้า.....	20
รูปที่ 2.34 ลักษณะของแกนรูฉีด.....	21
รูปที่ 2.35 รูเข้าแบบฉีด.....	22
รูปที่ 2.36 รูเข้าแบบเข็ม.....	23
รูปที่ 2.37 รูเข้าแบบฟิล์ม.....	24
รูปที่ 2.38 รูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม.....	25
รูปที่ 2.39 รูเข้าแบบเหลื่อม.....	26
รูปที่ 2.40 รูเข้าแบบพัด.....	27
รูปที่ 2.41 รูเข้าแบบม่าน.....	28
รูปที่ 2.42 รูเข้าแบบวงแหวน.....	29
รูปที่ 2.43 รูเข้าแบบกลม.....	29
รูปที่ 2.44 รูเข้าใต้แม่พิมพ์.....	30
รูปที่ 2.45 รูเข้าแบบแถบ.....	31
รูปที่ 2.46 ลักษณะทางวิ่ง.....	31
รูปที่ 2.47 หน้าตัดทางวิ่งในรูปแบบต่างๆ.....	32
รูปที่ 2.48 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น.....	34
รูปที่ 2.49 ลักษณะใช้เข็มกระทุ้ง.....	35
รูปที่ 2.50 ลักษณะใช้ปลอกกระทุ้ง.....	36
รูปที่ 2.51 ลักษณะแผ่นปลด.....	36
รูปที่ 2.52 ลักษณะชุดกระทุ้ง.....	37
รูปที่ 2.53 บริเวณที่อากาศจะถูกกักขังได้ง่ายที่ตำแหน่ง X และ Y.....	37
รูปที่ 2.54 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	38
รูปที่ 2.55 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก.....	40
รูปที่ 2.56 ที่ป้อนเม็ดพลาสติก.....	40
รูปที่ 2.57 ส่วนประกอบของกระบอฉีด.....	41
รูปที่ 2.58 สกรูและหัวฉีด.....	41
รูปที่ 2.59 ขั้นตอนการทำงานนของเครื่องฉีดพลาสติก.....	42
รูปที่ 2.60 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine:UTM.....	43

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.61 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve).....	44
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์.....	53
รูปที่ 3.3 แบบชิ้นงานประแจพลาสติกเบอร์ 10.....	53
รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดพลาสติก TOSHIBA IS 80 EPN.....	57
รูปที่ 3.5 การออกแบบแกนรูฉีด.....	58
รูปที่ 3.6 แบบทางวิ่ง.....	59
รูปที่ 3.7 แบบควาวิตี.....	60
รูปที่ 3.8 รูเข้าแบบขอสี่เหลี่ยม.....	60
รูปที่ 3.9 ระบบหล่อเย็น.....	61
รูปที่ 3.10 ระบบปลดชิ้นงาน.....	62
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่แปลงไฟล์จากโปรแกรม Solid Work ให้เป็น STL file.....	63
รูปที่ 3.12 กำหนดตำแหน่งรูเข้าและทางวิ่ง ที่เหมาะสม.....	63
รูปที่ 3.13 กำหนดทางเข้าและทางออกของระบบหล่อเย็น.....	64
รูปที่ 3.14 ทำการสร้าง Mold base ของแม่พิมพ์.....	64
รูปที่ 3.15 การกำหนดเครื่องฉีดพลาสติก เวลา ความดันที่ใช้ในการฉีด.....	65
รูปที่ 3.16 การกำหนดเงื่อนไขในการหล่อเย็น.....	66
รูปที่ 3.17 รายละเอียดในการตั้งค่าเครื่องฉีด.....	67
รูปที่ 3.18 ระยะเวลาในการฉีด.....	67
รูปที่ 3.19 ระยะเวลาในการอัดย้า.....	68
รูปที่ 3.20 ระยะเวลาในการหล่อเย็นของชิ้นงาน.....	68
รูปที่ 3.21 ระยะเวลาในการอัดย้า.....	69
รูปที่ 3.22 การปิดแม่พิมพ์.....	70
รูปที่ 3.23 ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์.....	70
รูปที่ 3.24 แม่พิมพ์เปิดออกแล้วปลดชิ้นงาน.....	71
รูปที่ 3.25 ชิ้นงานที่ตัดทางวิ่งออก.....	72
รูปที่ 3.26 การเตรียมประแจพลาสติกเพื่อทดสอบโดยการดึง.....	72
รูปที่ 3.27 การตั้งค่าโปรแกรมในคอมพิวเตอร์.....	73
รูปที่ 3.28 ทดสอบแรงดึงโดยเครื่อง Universal Testing Machine.....	73
รูปที่ 3.29 ประแจพลาสติกหลังจากใช้แรงดึงในการทดสอบ.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 ทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง.....	79
รูปที่ 4.2 ทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย.....	79
รูปที่ 4.3 รอยเชื่อมทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง.....	80
รูปที่ 4.4 รอยเชื่อมทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย.....	80
รูปที่ 4.5 ความเค้นเฉือนทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง.....	81
รูปที่ 4.6 ความเค้นเฉือนทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย.....	81
รูปที่ 4.7 การโค้งงอทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง.....	82
รูปที่ 4.8 การโค้งงอทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย.....	82
รูปที่ 4.9 ระยะเวลาในการฉีด.....	83
รูปที่ 4.10 การไหลเข้าของเนื้อพลาสติก.....	84
รูปที่ 4.11 กราฟของ Sprue Pressure	84
รูปที่ 4.12 กราฟของ Clamping Force.....	85
รูปที่ 4.13 Gate freeze time.....	92
รูปที่ 4.14 เวลาที่ชิ้นงานเกิดการแข็งตัว.....	92
รูปที่ 4.15 เวลาหล่อเย็นที่สามารถกระทุ้งชิ้นงานได้.....	93
รูปที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญญานิพนธ์

กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกในอุตสาหกรรมการผลิตกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก อาทิ เช่น การฉีดขึ้นรูป การดันขึ้นรูป การเป่าขึ้นรูป ฯลฯ กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมเพราะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและเหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังการผลิตสูง แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดชิ้นงานขึ้นมาได้และถ้าได้แม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับชิ้นงานก็ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพเกิดข้อเสียน้อยเช่นกัน โดยโครงการนี้จะใช้ทฤษฎีเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อช่วยให้เหมาะสมกับชิ้นงานมากที่สุด และใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 Design มาช่วยในวิเคราะห์การออกแบบเพื่อให้ได้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดเกิดปัญหาน้อยที่สุดและเหมาะสมกับชิ้นงาน และยังใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 มาวิเคราะห์การจำลองการฉีดขึ้นรูปเพื่อที่จะได้ระยะเวลาที่เหมาะสม ความดันที่เหมาะสม เวลาหล่อเย็นที่เหมาะสม ฯลฯ วัสดุที่นำมาใช้ในการฉีดขึ้นรูปคือ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) โครงการนี้จะศึกษาผลของเวลาการหล่อเย็นของการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีผลกับความแข็งแรงของชิ้นงานโดยการทดสอบดังนี้

การทดสอบแรงดึง (Tensile test) คือ ผลของการทดสอบของพลาสติกจะนำมาแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - เครียด (Stress-Strain graph) โดยใช้แรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน (Force) และคำนวณหา ค่าความเครียด (Strain) โดยเลือกชิ้นงานที่ได้จากเวลาในการหล่อเย็นที่ต่างกัน โครงการนี้จะใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)

การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) มาช่วยในการทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับแรงดึงสูงสุด กับ การทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับความเครียด

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาใช้ทฤษฎีเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และประยุกต์ใช้โปรแกรม Moldex3DR10.0มาวิเคราะห์ในการออกแบบเพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงานและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ผลการจำลองการฉีดขึ้นรูปจากโปรแกรม Moldex3D R10.0 และนำผลวิเคราะห์ที่ได้ไปฉีดขึ้นรูปจริง ลดข้อบกพร่อง ปัญหาและข้อเสียของการฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็น 1.2.3 เพื่อศึกษาการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ว่า เวลาการหล่อเย็นมีผลกับ การคำนวณความแข็งแรงของชิ้นงาน ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1.3.1 ออกแบบแม่พิมพ์ประแจพลาสติกเบอร์ 10 โดยใช้ทฤษฎีเชิงปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง และใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 ช่วยในการวิเคราะห์ให้มีความเหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบและวิเคราะห์จำลองการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติกเบอร์ 10

1.3.2 การออกแบบแม่พิมพ์โดยออกแบบเป็นแม่พิมพ์ 2 แผ่น ชนิดทางวิ่งเย็น

1.3.3 วัสดุที่ใช้ทดสอบคืออีโพรพิลีน ของบริษัท Exxon Mobil เกรด Exxtral BMT 106

1.3.4 การทดสอบความแข็งแรงของประแจพลาสติกเบอร์ 10 ใช้การทดสอบแบบ Tensile test ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638

1.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

1.3.6 ระยะเวลาในการหล่อเย็นมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของประแจพลาสติกเบอร์ 10

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในสำหรับฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

1.4.2 แนวทางในการนำโปรแกรม Moldex3D R10.0 มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและจำลองการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติกโดยใช้วัสดุคิพให้คุ่มค่าที่สุดมีของเสียน้อยที่สุด และการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันได้

1.4.3 ของที่ระลึกไว้สำหรับแจกจ่ายให้แก่บุคคลที่เข้าเยี่ยมชมงานภายในสาขาวิศวกรรม

1.4.4 นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีรูปแบบอื่นๆต่อไปได้ในอนาคต

1.4.5 สามารถนำความรู้ในวิชาที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในโครงการได้อย่างเหมาะสม

1.4.6 นำความรู้ในการทดสอบแบบ Tensile test และการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประแจพลาสติกเบอร์10 มาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานชนิดอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกพื้นฐาน ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแม่พิมพ์ การออกแบบแม่พิมพ์ กระบวนการฉีดพลาสติก การทดสอบแรงดึงและการวิเคราะห์ความแปรปรวน

2.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกพื้นฐาน

ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางพลาสติกเมื่อได้ผ่านขั้นตอนการออกแบบรูปร่าง ความงามและประโยชน์ใช้สอย การออกแบบจะต้องพิจารณาถึงส่วนสำคัญพื้นฐานทุกส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์นั้น การพิจารณาในรายละเอียดอาจจะทำไปพร้อมกับการออกแบบในขั้นตอนแรกโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นผลิตภัณฑ์นั้นเป็นชิ้นงานพลาสติกที่ต้องใช้กรรมวิธีการผลิตแบบฉีดพลาสติก จะต้องคำนึงถึงรายละเอียดในส่วนสำคัญพื้นฐานมากเป็นพิเศษ มิฉะนั้นจะไม่สามารถผลิตออกมาตรงแบบ

2.1.1 การออกแบบส่วนโค้งและรัศมี (Filletts and Radii)

สาเหตุสำคัญของความล้มเหลวในการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติกคือ การออกแบบชิ้นงานที่มีมุมแหลมคม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (a) จึงควรออกแบบใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (b)



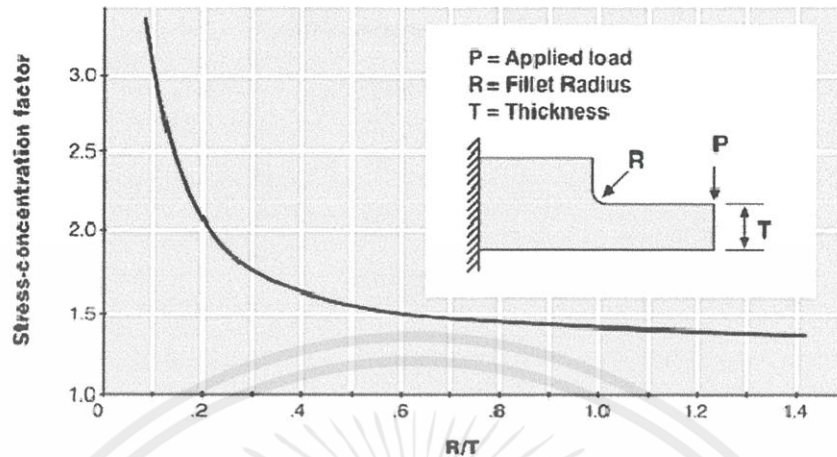
รูปที่ 2.1 (a) ออกแบบไม่ดี [1]



รูปที่ 2.1 (b) ออกแบบดี [1]

ขนาดรัศมีน้อยสุดที่แนะนำให้ใช้คือ 5.08 มิลลิเมตร การออกแบบส่วนโค้งที่เหมาะสมที่สุดจะได้ค่าอัตราส่วนของ R/T เท่ากับ 0.6 ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 อิทธิพลของรัศมีความโค้งกับแนวโน้มการเกิดความเค้นภายในชิ้นงาน [2]

ผลเสียที่เกิดขึ้นจากการออกแบบส่วนโค้งที่ไม่เหมาะสมมีดังนี้

1. การไหลอย่างอิสระของวัสดุจะถูกกีดขวาง
2. ทำให้เกิดความเค้นภายในชิ้นงาน เป็นผลทำให้ชิ้นงานมีการบิดงอมาก
3. ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์น้อย
4. การตันปลดชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ
5. ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ลดลง

2.1.2 การออกแบบความหนาของผนัง (Wall Thickness)

ผนังหรือแผ่นพื้นของชิ้นงานที่ไม่ราบเรียบเสมอกันจะก่อให้เกิดปัญหาการบิดงอของชิ้นงานนั้นเมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์ ปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าชิ้นงานนั้นได้รับการออกแบบที่ถูกต้อง โดยพยายามใช้ความหนาที่สม่ำเสมอและอยู่ในปริมาณความหนาที่จำกัดใกล้เคียงกันโดยตลอด โดยพลาสติกแต่ละชนิดมีค่าพิกัดความหนาของผนังแตกต่างกัน ถ้าความหนาแตกต่างกันไปจากค่าพิกัด พลาสติกจะบิดงอจนเสียรูปทรงได้ง่ายเมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์ โดยความหนาของพลาสติกที่ใช้โดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าพิกัดมาตรฐานทั่วไป สำหรับความหนาของพลาสติกชนิดต่างๆที่นิยมใช้ [3]

พลาสติก (TP)	ความหนา (หน่วย mm)	
	ต่ำสุด	สูงสุด
Acetal	0.4	3
ABS	0.79	3
Acrylic	0.49	6
Cellulosics	0.49	4
FEP Fluoroplastic	0.35	12
Nylon	0.4	3
Polycarbonate	0.85	9
Polyethylenes (L.D)	0.45	6
Polyethylenes (H.D)	0.82	6
Ethylene Vinyl Acetate	0.45	3
Polypropylene	0.49	7
Polysulfone	0.85	9
Noryl (Modif PPO)	0.79	9
Polystyrene	0.79	6
SAN	0.79	6
PVC	0.85	9

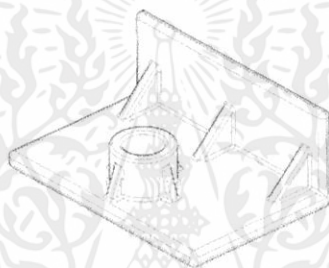
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเสียที่เกิดขึ้นจากการออกแบบใช้ความหนาของผนังชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากันมีดังนี้

1. ชิ้นงานที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากการไหลวน (Turbulent flow) ของวัสดุ
2. ผลิตภัณฑ์ที่มีการบิดงอและผิดรูปทรง
3. ส่วนที่หนาของชิ้นงานจะเกิดรอยตำหนิเนื่องจากการหดตัวของวัสดุมาก
4. เกิดความเครียดภายในผลิตภัณฑ์สูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบิดงอ เปลี่ยนรูปและแตกร้าว
5. เวลาการผลิตจะยาวขึ้น เนื่องจากส่วนที่หนาของชิ้นงานต้องใช้เวลาในการแข็งตัวนาน

2.1.3 การออกแบบครีบริบ (Ribs) และปุ่ม (Bosses)

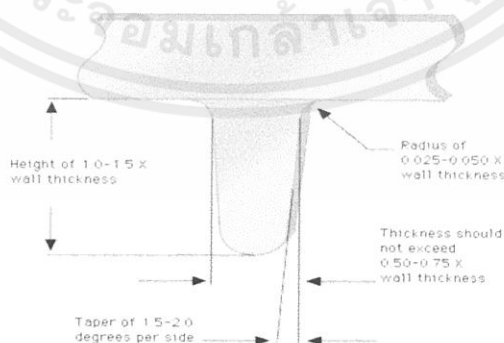
ครีบริบ (Ribs) หมายถึงส่วนที่ยื่นล้าออกมาจากผนังหรือตัวพลาสติกในลักษณะที่เป็นแผ่นยาวและบาง โดยส่วนที่ยื่นล้าออกมาใช้ทำหน้าที่รับแรงหรือตกแต่งเพื่อความงาม ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ออกแบบโดยใช้ครีบริบช่วย [4]

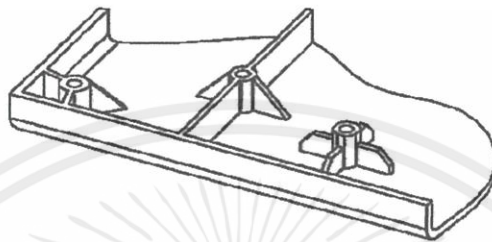
การออกแบบครีบริบควรคำนึงถึงความหนาของชิ้นงานโดยมีหลักการคิดทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.4

1. รัศมีความโค้งของครีบริบเท่ากับ 0.025 ถึง 0.05 เท่าของความหนาผนังชิ้นงาน
2. ความหนาของครีบริบเท่ากับ 0.50 ถึง 0.75 เท่าของความหนาผนังชิ้นงาน ถ้าความหนาของครีบริบมากกว่า 80% ของผนังจะทำให้เกิดการยุบตัว (Sink mark) หรือเกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานนั้น เมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์
3. มุมเอียงของครีบริบเท่ากับ 1.5° ถึง 2°
4. ความสูงของครีบริบเท่ากับ 1 ถึง 1.5 เท่าของความหนาผนังชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 การออกแบบครีบริบ [4]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

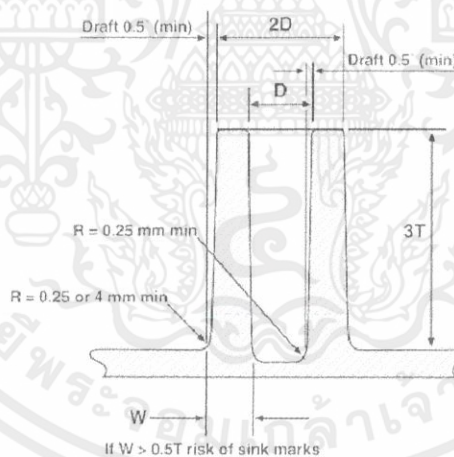
ปุ่ม (Bosses) หมายถึงส่วนที่ยื่นล้าออกมาจากผนังหรือตัวพลาสติกในลักษณะที่ไม่เป็นแผ่น อาจมีลักษณะเป็นแท่ง แท่น (Fillet) หรือรูปร่างอื่นใดก็ได้ ส่วนที่ยื่นล้าออกมานี้มีไว้สำหรับทำหน้าที่รับแรงหรือประกอบเข้ากับส่วนอื่นๆ ควรหลีกเลี่ยงการวางตำแหน่งของปุ่มใกล้กับผนังของชิ้นงานมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานได้ง่าย เมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ออกแบบโดยใช้ปุ่ม [5]

การออกแบบปุ่มมีหลักการคิดทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.6

1. มุมเอียงของปุ่มเท่ากับ 0.5°
2. ความสูงของปุ่มเท่ากับ 3 เท่าของความหนาผนังชิ้นงาน



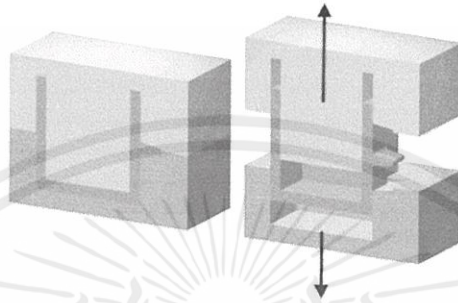
รูปที่ 2.6 การออกแบบปุ่ม [2]

2.1.4 การออกแบบเส้นต่อชิ้นส่วน (Parting Line)

เส้นต่อชิ้นส่วน (Parting Line) หรือ “Cutoff Lines” หมายถึงเส้นรอยต่อที่ปรากฏอยู่บนชิ้นงานตัวพลาสติก เกิดจากรอยต่อประกบของแม่พิมพ์ โดยชิ้นงานชิ้นหนึ่งจำเป็นต้องมีแม่พิมพ์อย่างน้อย 2 แผ่นขึ้นไป การประกบกันของแม่พิมพ์จะทำให้เกิดเส้นรอยต่อขึ้นกับชิ้นงานโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ดังนั้นผลิตภัณฑ์พลาสติกควรคำนึงถึงเรื่องเส้นต่อชิ้นส่วนไว้ด้วยเสมอ การแก้ไขปัญหาก็สามารถกระทำได้โดยอาศัยหลักการต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

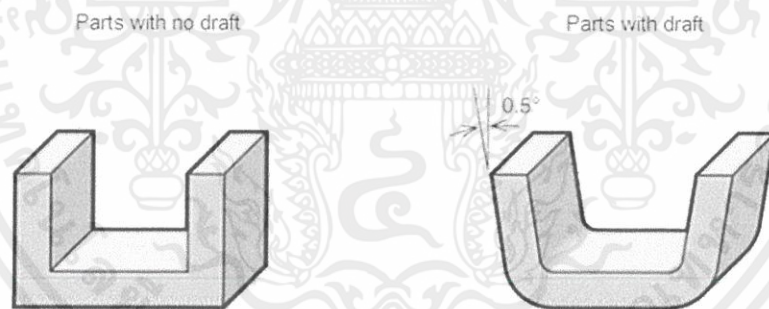
1. ออกแบบชิ้นส่วนให้เรียบง่ายที่สุดเพื่อการใช้แม่พิมพ์ที่น้อยชิ้นที่สุดเพื่อให้เส้นต่อชิ้นส่วนปรากฏน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ออกแบบหลบซ่อนส่วนที่รู้ว่าจะต้องเกิดเส้นต่อชิ้นส่วน
3. ออกแบบโดยใช้ประโยชน์ของเส้นต่อชิ้นส่วนเป็นส่วนตกแต่งลายเส้นทำให้เกิดความงามชิ้นในรูปทรง



รูปที่ 2.7 ลักษณะเส้นต่อชิ้นส่วน [1]

2.1.5 การออกแบบมุมสอป (Draft angle)

เมื่อพลาสติกเย็นตัว ในขั้นตอนการกระทุ้งออกเพื่อให้การกระทุ้งง่ายขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้มุมสอปส่วนมากใช้ที่มุมประมาณ 0.5° ดังแสดงในรูปที่ 2.8

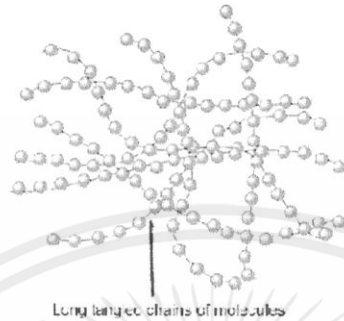


รูปที่ 2.8 มุมสอป [2]

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม มาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อกันเป็นสายยาวจะได้วัสดุที่มีสมบัติเป็นพลาสติก พลาสติกที่เกิดจากสารประกอบที่ต่างกันจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันและพลาสติกบางชนิดอาจเกิดสารประกอบมากกว่า 1 ชนิดก็ได้ โดยชนิดของพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หมายถึงพลาสติกที่สามารถอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนและเปลี่ยนกลับเป็นสภาพเดิมได้เมื่อเย็นตัวลงจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เพราะความร้อนไม่ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก [6]

โดยชนิดของเทอร์โมพลาสติกสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นอีก 2 ประเภทคือ

- พลาสติกอสัณฐาน (amorphous) จะมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบ มีลักษณะทั่วไปคือ แข็ง ใส และเปราะ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิคาร์บอนเนต เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10

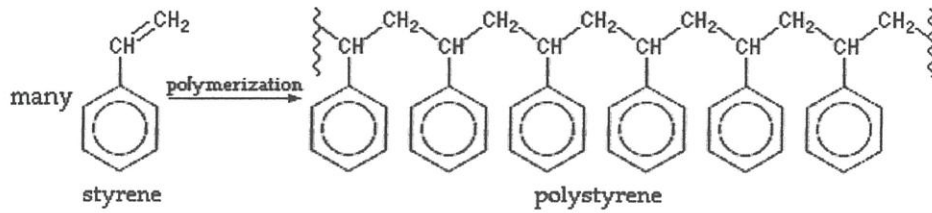


รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างพลาสติกอสัณฐาน [7]

พอลิสไตรีน (Polystyrene)

พลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสไตรีนโมโนเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียม ในการผลิตพอลิสไตรีนยังมีวัตถุดิบอื่นๆที่ใช้ร่วมด้วยได้แก่ เบนซีน เอทิลีน และบิวทาไดอีน พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือหลอมเป็นของเหลวได้ พอลิสไตรีนที่ใช้งานอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า expanded polystyrene (EPS) เป็นชนิดที่ได้จากการผสมพอลิสไตรีนร้อยละ 90-95 กับสารทำให้ขยายตัว (ที่ใช้กันมากคือเพนเทนหรือคาร์บอนไดออกไซด์) เมื่อก่อนใช้ ซีเอฟซี ซึ่งเป็นสารทำลายชั้นโอโซน) ร้อยละ 5-10 พลาสติกที่เป็นของแข็งถูกทำให้เป็นโฟมโดยการใช้ความร้อน(มักเป็นไอน้ำ) พอลิสไตรีนอีกชนิดหนึ่งคือ Extruded polystyrene (XPS) มีชื่อทางการค้าที่แพร่หลายคือ Styrofoam เป็นชนิดที่มีการเติมอากาศไว้ในช่องว่างตามเนื้อโฟมทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้ในงานก่อสร้าง และใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร และยังมีชนิดที่เป็นแผ่นเรียกว่า Polystyrene Paper Foam (PSP) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการฉนวนกันความร้อนในอาคาร และยังมีการนำพอลิสไตรีนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของพอลิสไตรีน [8]

คุณสมบัติของพอลิสไตรีน

- มีความแข็งแรงแต่เปราะแตกรานง่าย น้ำหนักเบา ราคาถูก
- ทนทานต่อสารเคมีทั่วไป แต่ไม่ทนต่อสารไฮโดรคาร์บอนและตัวทำละลายอินทรีย์
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ไม่ดูดความชื้น เกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ทำให้ดูดฝุ่นละอองได้ดี
- มีการหดตัวสูงเมื่อเย็นตัว ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่ายแต่อาจเสียรูปและขนาด
- ไม่ทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อมภายนอกผิวเสื่อมสภาพเร็ว ไม่ทนต่อการถูกขีดข่วน
- ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความใส ผิวเรียบ ผสมสีได้ง่ายในลักษณะโปร่งใส

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพอลิสไตรีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบคือ กล่องบรรจุอาหาร ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ขวดหรือกระปุกใส่ยา เฟอร์นิเจอร์ บางอย่าง ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันแตกสำหรับบรรจุภัณฑ์และฉนวนความร้อน

- พลาสติกกึ่งผลึก (semi-crystalline) จะมีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบ แต่ไม่ทั้งหมดจึงทำให้ภายในโครงสร้างมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน พลาสติกในกลุ่มนี้จะมีสมบัติทั่วไปที่ยืดหยุ่นและเหนียวพอสมควร เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12

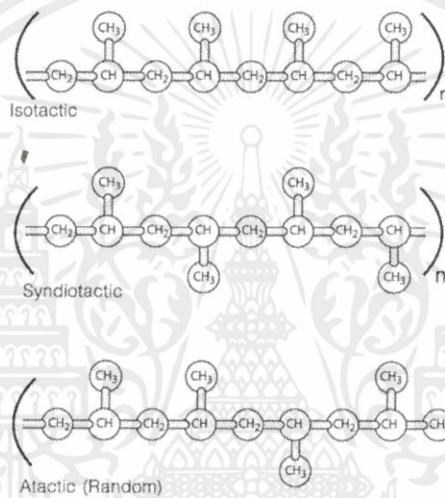


รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างพลาสติกกึ่งผลึก [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโพรพิลีน (Polypropylene :PP)

พอลิโพรพิลีน (PP) เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือพอลิเมอร์พลาสติกที่สามารถขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซ้ำๆได้หลายครั้ง พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงประกอบด้วยโมโนเมอร์ของโพรพิลีน (C_3H_6) หลากหลายตัวเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซโพรพิลีน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบพวกโลหะ เช่น ไทเทเนียมคลอไรด์ การใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิดคือไอโซแทคติก ซินดีโอแทคติกและอะแทคติกขึ้นอยู่กับทิศทางของหมู่เมธิลกับอะตอมคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน [8]

พอลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทคติกนำมาผลิตเป็นพลาสติกใช้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมธิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงข้ามกับชนิดอะแทคติกที่จะมีความเหนียวมากกว่าเนื่องจากหมู่เมธิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนชนิดซินดีโอแทคติกหมู่เมธิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งน้อยกว่าแต่จะทนทานมากกว่าชนิดไอโซแทคติก

คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีน

- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปร่าง
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัว หรืออ่อนนิ่มได้
- มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสถึง -10 องศาเซลเซียส แต่ที่ -18 องศาเซลเซียสจะเปราะ

• มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

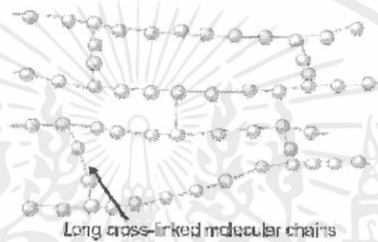
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสงและทึบแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผิดลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบคือ กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน กล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระจองน้ำมันเครื่อง กระจองสบู่ และถุงบรรจุปุ๋ย

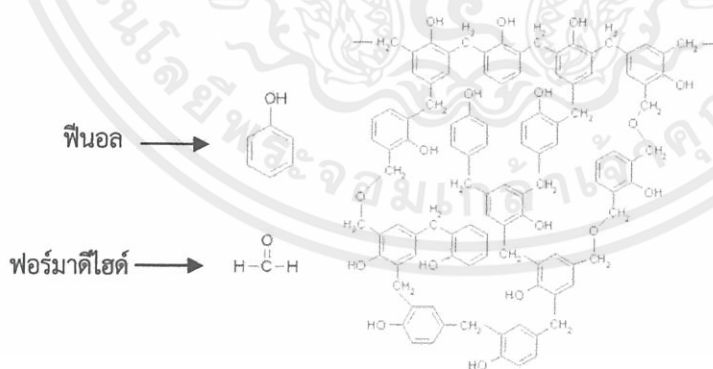
2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) หมายถึงพลาสติกที่เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนและความดันแล้ว จะไม่อ่อนตัวลงอีก เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปจึงไม่สามารถนำมาหลอมใช้ใหม่ได้ เช่น ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ พอลิเอสเทอร์ พอลิยูรีเทน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างของเทอร์โมเซตติงพลาสติก [6]

ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde : Bekalite)

ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์หรือเบกาไลต์ เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยฟีนอลและฟอร์มาดีไฮด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติงพลาสติกชนิดแรกที่ถูกคิดค้นขึ้น มีสีน้ำตาลคล้ายขนมปัง มีความแข็งแรงอยู่ตัว เรซินชนิดนี้มีทั้งที่เป็นของเหลวใส เหมาะสำหรับหล่อในพิมพ์และแบบที่เป็นผงสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งชนิดหลังนี้มีสีน้ำตาลดำเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.15 ลักษณะโครงสร้างของฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์

- เนื้อแข็งคงตัวแต่เปราะ
- ทนต่อการผุกร่อน
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ทนความร้อนได้สูง 260 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์

ใช้ทำด้ามเครื่องมือช่าง หูหม้อ หุกระทะ ด้ามมีด ลูกบิดเลียด แผงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กาวสารเคลือบผิว ตลอดจนใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยาง

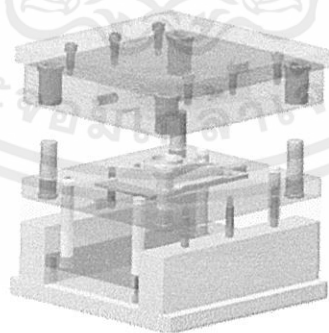
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและมีหลายลักษณะงาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น เครื่องสำอาง เป็นต้น

2.3.1 ประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก มีดังนี้

1. แม่พิมพ์ 2 แผ่น

แม่พิมพ์ลักษณะนี้เป็นแม่พิมพ์ 2 แผ่นดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยในระหว่างรอบการฉีดแม่พิมพ์จะเปิดออกที่ระนาบเดียว ระนาบของการเปิดหรือที่เรียกว่า "เส้นแบ่ง" (Parting Line) ทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นทางเดียวแบบทางวงเวียนหรือแบบหลายทางทางวงเวียน โครงสร้างแม่พิมพ์จะประกอบด้วยด้าน 2 ด้าน คือ เบ้าและคอร์ ซึ่งจะมียระบบปลดชิ้นงานที่แตกต่างกันตามลักษณะรูปร่างและข้อกำหนดของชิ้นงาน

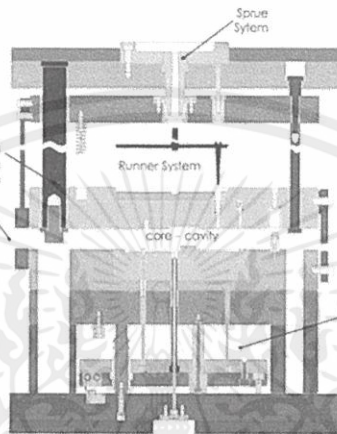


รูปที่ 2.16 ลักษณะของแม่พิมพ์ 2 แผ่น [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

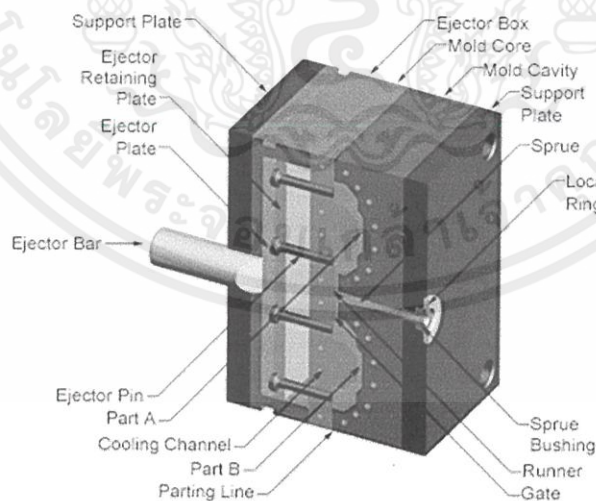
2. แม่พิมพ์ 3 แผ่น

แม่พิมพ์ลักษณะนี้เป็นแม่พิมพ์ 3 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.17 มักจะใช้รูเข้าแบบเข็มแม่พิมพ์ลักษณะนี้จะเป็นแม่พิมพ์ที่ฉีดชิ้นงานที่มีทางเข้าน้ำพลาสติกหลายทางในชิ้นงานเดียวหรือแม่พิมพ์เดียวต้องการหลายชิ้นงาน โดยต้องการให้ทางเข้าน้ำพลาสติกจะเป็นการฉีดแบบทางวิ่งเย็นซึ่งยอมให้เห็นรอยทางเข้าได้เพียงเล็กน้อยบนชิ้นงาน



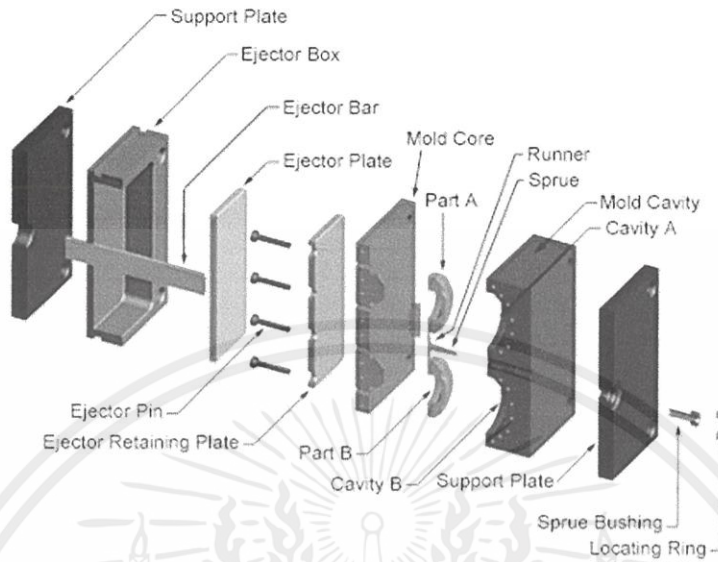
รูปที่ 2.17 ลักษณะของแม่พิมพ์ 3 แผ่น [10]

2.3.2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ (Mold Parts) ลักษณะภาพโดยรวมของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และชิ้นส่วนโดยรวมของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 ภาพโดยรวมของแม่พิมพ์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับดูตัวอย่างเพื่อการศึกษารายงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ชิ้นส่วนโดยรวมของแม่พิมพ์ [1]

ส่วนประกอบของแม่พิมพ์มีชิ้นส่วนต่างๆดังนี้

1. แหวนบังคับศูนย์บน (Locating Ring)

แหวนบังคับศูนย์บนดังแสดงในรูปที่ 2.20 มีหน้าที่บังคับแม่พิมพ์ให้อยู่ในแนวกับเครื่องฉีดได้อย่างถูกต้องและตรงจุด ศูนย์กลาง หัวฉีดจะตรงกับศูนย์กลางแม่พิมพ์พอดีจึงติดตั้งแม่พิมพ์อย่างแม่นยำ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกวงแหวนทั้งวงใหญ่และวงเล็กจะมีพิสัยความเผื่อ โดยรูสวมด้านที่หน้าแปลนด้านอยู่กับที่ (Fixed Plate) หรือแผ่นแม่พิมพ์บน (Front Clamping Plate)



รูปที่ 2.20 ลักษณะของแหวนบังคับศูนย์บน [11]

2. ปลอกนำฉีด (Sprue Bushing)

ปลอกนำฉีดดังแสดงในรูปที่ 2.21 เป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสโดยตรงระหว่างหัวฉีด (Nozzle) ของกระบอฉีด (Injection Cylinder) กับแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีรัศมีโค้งรับสัมพันธ์กับรัศมีหัวฉีด เพื่อให้ให้น้ำพลาสติกไหลเข้าไปอยู่บริเวณผิวสัมผัสของผิวโค้งทั้งสองและแข็งตัวกลายเป็นฉนวนป้องกันความร้อนถ่ายเทจากหัวฉีดสู่แม่พิมพ์ การประกบกันของหัวฉีดกับปลอกนำฉีดนั้น แนบสนิทกันมากขั้นจนไม่มีรอยรั่วของน้ำพลาสติกเมื่อฉีดด้วยแรงดันสูง



รูปที่ 2.21 ลักษณะของปลอกนำฉีต [12]

3. สลักนำและปลอกนำ (Leader pin and Leader pin Bushing)

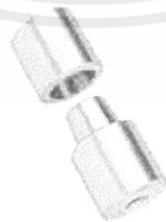
สลักนำและปลอกนำดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะเป็นตัวนำเลื่อนส่วนเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์และบังคับให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสัมพันธ์กับส่วนอยู่กับที่ของแม่พิมพ์ สลักนำมักติดอยู่กับส่วนอยู่กับที่ของแม่พิมพ์ ขณะที่ปลอกนำจะติดอยู่กับส่วนเคลื่อนที่ ทั้งสลักนำและปลอกนำจะมีส่วนต่อสั้นๆ อยู่ถัดจากบ่า ซึ่งมีหน้าที่บังคับให้แผ่นต่างๆ อยู่ในตำแหน่ง



รูปที่ 2.22 ลักษณะของสลักนำและปลอกนำ [13]

4. เรียวบังคับตำแหน่ง (Tapered Interlock)

สลักนำและปลอกนำจะรับแรงด้านข้างที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามเมื่อแรงด้านข้างมาก หรือในกรณีที่แม่พิมพ์หนักมาก จะประกอบเรียวบังคับตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.23 เพิ่มเข้าไปในแม่พิมพ์ ในบางกรณีแม่พิมพ์อาจใช้เรียวบังคับตำแหน่งเพียงอย่างเดียวไม่มีสลักและปลอกนำ โดยเฉพาะในแม่พิมพ์ต้นๆ และไม่มีแรงด้านข้างเกิดขึ้นในระหว่างปิดแม่พิมพ์



รูปที่ 2.23 ลักษณะของเรียวบังคับตำแหน่ง [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Angle Pin

ด้านคอร์ที่อยู่บนแม่พิมพ์จะเลื่อนโดยใช้ Angle Pin ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งประกอบเข้าไปในแม่พิมพ์โดยเอียงเป็นมุม เพื่อเลื่อนด้านคอร์ให้ได้ตามระยะที่ต้องการ และสัมพันธ์กับจังหวะเปิดของแม่พิมพ์ มักใช้มุมเอียงระหว่าง 15 ถึง 20 องศา



รูปที่ 2.24 ลักษณะของ Angle Pin [15]

6. เข็มกระทุ้ง (Ejector Pin)

เข็มกระทุ้งดังแสดงในรูปที่ 2.25 เป็นส่วนที่ต้องทนแรงกดที่จะทำให้เข็มโค้งงอได้ (Buckling) เนื่องจากมีความยาวและค่อนข้างเล็ก ในอีกด้านหนึ่งต้องทนการสึกหรอจากการเสียดสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเลื่อนไปมา



รูปที่ 2.25 ลักษณะของเข็มกระทุ้ง (Ejector Pin) [16]

7. แผ่นฐานอยู่กับที่หรือยึดด้านบน (Fixed Base Plate or Front Clamp Plate)

แผ่นฐานอยู่กับที่หรือแผ่นยึดส่วนหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ทำให้ยึดส่วนที่อยู่กับที่ของแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนด้านที่อยู่กับที่ของเครื่องฉีดได้สะดวกขึ้นและต้องทนแรงดันซึ่งหัวฉีดกดปอลกรูฉีด (Nozzle pressure) และยังใช้เป็นแผ่นรองสำหรับส่วนเบ้า (Cavity Insert) ได้ในแม่พิมพ์บางแบบและยังสามารถทำช่องหล่อเย็นไว้ในแผ่นยึด เพื่อหล่อเย็นส่วนแกนรูฉีด สำหรับการฉีดชิ้นงานที่ต้องการให้รอบเวลาฉีด (Cycle time) สั้นหรือผลผลิตสูง แผ่นยึดส่วนหน้าอาจกว้างกว่าแผ่นเบ้า (Cavity plate) 20 ถึง 25 มิลลิเมตร สำหรับเป็นที่จับของตัวยึด (Machine clamp) หากพื้นที่ในการยึดของเครื่องฉีดมีอยู่จำกัดก็ทำการเจาะร่องสี่เหลี่ยมที่แผ่นยึดหรือแผ่นเบ้าสำหรับที่จับยึดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ลักษณะของแผ่นฐานอยู่กับที่หรือยึดด้านบน

8. แผ่นเข้าอยู่กับแผ่นแม่พิมพ์บน (Fixed Cavity Plate Front Cavity Plate)

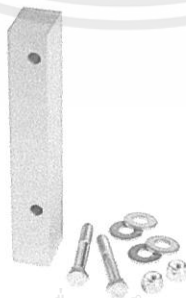
แผ่นที่มีไว้สำหรับประกอบกับเบ้า (Cavity insert) ดังแสดงในรูปที่ 2.27 โดยเจาะช่องน้ำหล่อเย็น และต่อสายยางสำหรับน้ำหล่อเย็นในแม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่ วิธีนี้จะใช้กับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ได้ในบางกรณีแผ่นฐานยึดล่างหรือแผ่นฐานยึดเคลื่อนที่ (Support core plate) เป็นแผ่นรองรับแผ่นคอร์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งในการออกแบบอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้



รูปที่ 2.27 ลักษณะของแผ่นเข้าอยู่กับแผ่นแม่พิมพ์บน

9. หมอนรอง (Spacer Block)

หมอนรองดังแสดงในรูปที่ 2.28 โดยทั่วไปจะมีหมอนรองอยู่สองชั้น ประกอบไว้ที่ส่วนเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อเว้นระยะให้มีที่สำหรับการเคลื่อนที่ของเข็มกระทุ้ง ความสูงของหมอนรองจะขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของการปลดชิ้นงาน (Ejector Stroke) บวกกับความหนาของแผ่นกระทุ้ง (Ejector plate) และแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (Ejector retainer plate)



รูปที่ 2.28 ลักษณะของหมอนรอง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เสาค้ำ (Support Pillar)

เสาค้ำดังแสดงในรูปที่ 2.29 โดยในกรณีที่มีพื้นที่ใหญ่มาก แผ่นด้านคอร์ (Core Plate) ต้องมีการค้ำไว้เพื่อป้องกันการแอ่นของแผ่นรองจึงใส่เสาค้ำ จำนวนเสาค้ำและการเว้นระยะห่างเท่ากันจะขึ้นอยู่กับขนาดของควาตีและแรงที่กด



รูปที่ 2.29 ลักษณะของเสาค้ำ [18]

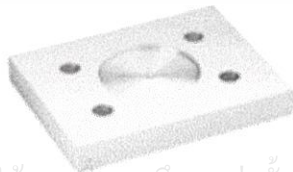
11. แผ่นกระทุ้งและแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (Ejector plate Ejector retainer plate)

แผ่นกระทุ้งดังแสดงในรูปที่ 2.30 จะทำให้เข็มกระทุ้งอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และเคลื่อนที่กลับได้อย่างคล่องตัว โดยทั่วไปการประกอบเข็มกระทุ้งกับแผ่นยึดจะค่อนข้างหลวม เส้นผ่าศูนย์กลางของรูจะมีขนาดใหญ่กว่าเข็มกระทุ้งประมาณ 0.1 - 0.3 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มกระทุ้งในแนวยาวไว้ในขณะที่เครื่องฉีดพลาสติกนั้นติดตั้งชุดกระทุ้งแบบไฮดรอลิกส์

รูปที่ 2.30 ลักษณะของแผ่นกระทุ้ง [19]

12. แผ่นยึดล่าง (Moving clamping plate (bottom))

แผ่นยึดล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.31 เป็นแผ่นสำหรับยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกด้านเคลื่อนที่ จะรองรับหมอนรองและชุดของแผ่นคอร์ โดยใช้สกรูยึดเข้าด้วยกัน ทำให้ชุดนี้เป็นชุดสำหรับการเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่แผ่นยึดจะมีขนาดเดียวกับแผ่นยึดบน สามารถที่จะรองรับแรงที่กระทำจากการฉีดและเปิด-ปิดแม่พิมพ์ได้ ตรงกลางของแผ่นจะเจาะรูสำหรับแกนกระทุ้ง (Ejector rod)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 2.31 ลักษณะของแผ่นยึดล่าง [19]ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. แผ่นแม่พิมพ์ล่าง (Core Plate or Moving Cavity Plate)

แผ่นแม่พิมพ์ล่างดังแสดงในรูปที่ 2.32 ส่วนมากมีช่องน้ำหล่อเย็นอยู่ด้วย สำหรับแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูงและฉีดขึ้นงานได้มากจะซุบแผ่นคอร์ด้วย ไม่ว่าจะส่วนควิตี้หรือส่วนคอร์จะซุบแข็งหรือไม่ก็ตาม



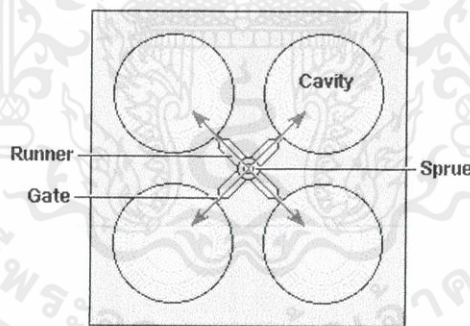
รูปที่ 2.32 ลักษณะของแผ่นแม่พิมพ์ล่าง [19]

2.4 การออกแบบแม่พิมพ์

2.4.1 การออกแบบเบ้า (Cavity Design)

1. เบ้าชนิดต่างๆ

เบ้า (Cavity) คือจำนวนของชิ้นงานที่ต้องการจะฉีดในแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ลักษณะของแม่พิมพ์แบบหลายเบ้า [5]

- แม่พิมพ์แบบเบ้าเดียว แม่พิมพ์แบบนี้โดยปกติจะมีระบบป้อนเนื้อพลาสติกเข้าเบ้าโดยตรงจากรูฉีด ดังนั้นจะไม่มีระบบทางวิ่ง อาจจะใช้รูเข้าแบบขอบ (Edge gate)

- แม่พิมพ์สองเบ้า ซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุดเป็นทางวิ่งสั้นระหว่างเบ้าทั้งสอง ทางวิ่งแบบนี้อาจใช้ไม่ได้เสมอไป เนื่องจากตำแหน่งของรูเข้าอาจจะไม่อยู่ศูนย์กลางของแม่พิมพ์ได้ โดยทั่วไปสำหรับแม่พิมพ์สองเบ้าที่ขนาดและรูปร่างของเบ้าทั้งสองมีขนาดเท่ากันจึงไม่มีปัญหาในการออกแบบเพื่อสมดุลการวิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แม่พิมพ์แบบสามเข้า แสดงให้เห็นการสมดุลระบบทางวิ่ง สำหรับเข้าสามอันที่คล้ายคลึงกัน ในกรณีนี้เข้าจะอยู่ห่างจากศูนย์กลางเป็นรัศมีเท่าๆกัน แต่ละเข้าจะทำมุมกัน 120° จะได้ทางวิ่งที่มีขนาดสั้น

- แม่พิมพ์แบบหลายเข้า สำหรับแม่พิมพ์สี่เข้าหรือมากกว่า จำนวนที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การออกแบบกำหนดตำแหน่งของเข้าในแนวรัศมีของวงกลมจะปฏิบัติได้ยากขึ้นทั้งนี้เพราะขนาดความยาวของทางวิ่งซึ่งสัมพันธ์กับขนาดรัศมีที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสำหรับแม่พิมพ์ที่มีจำนวนเข้ามากหรือรูปทรงของเข้าแตกต่างกันมากนิยมใช้การป้อนแบบระบบทางวิ่งกึ่ง

2. การจัดวางเข้า

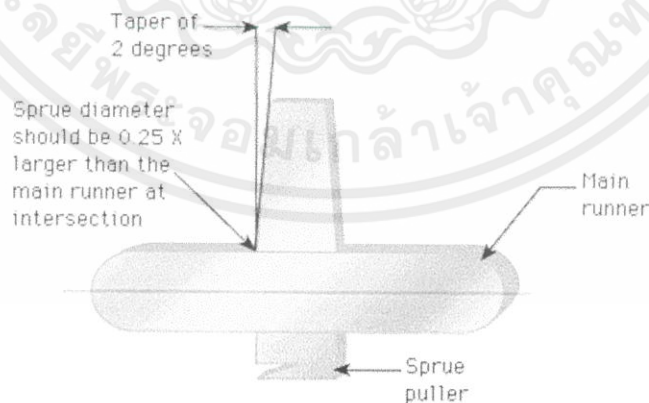
การจัดวางเข้าแบบที่ง่ายที่สุดโดยกระบอก (Barrel) ของเครื่องพลาสติกจะอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นอยู่กับที่ซึ่งเป็นตำแหน่งของรูเข้า เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

- น้ำพลาสติกไหลเข้าเต็มทุกเข้าพร้อมกันด้วยอุณหภูมิเท่ากัน
- ระยะห่างระหว่างเข้าต้องมากพอสำหรับการวางท่อหล่อเย็น และทนแรงดันจากการฉีดพลาสติกได้
- ผลลัพธ์ของแรงกระทำควรอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นแม่พิมพ์

เมื่อออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสิ่งสำคัญคือความสมดุลของแรงในแม่พิมพ์ แม่พิมพ์และชุดประกอบของเครื่องฉีดจะรับแรงที่ไม่สม่ำเสมอถ้าเข้าอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลางรูฉีด แม่พิมพ์จะถูกแรงดันให้อ้ออกได้ ผลที่ตามมาคือ อาจเกิดครีบลบชิ้นงานและการแตกหักของเหล็กยึด แม่พิมพ์ซึ่งฉีดชิ้นงานแล้วเกิดครีบลบจะเกิดความเสียหายที่ผิวแบ่ง (Parting line) จนประกบกันไม่สนิทและเกิดครีบลบอีกหากไม่ปาดผิวใหม่ ดังนั้นกฎข้อที่หนึ่งในการออกแบบคือผลลัพธ์ของแรงดันฉีดพลาสติกกับแรงประกบแม่พิมพ์จะต้องกระทำในแนวกึ่งกลางของรูเข้า

2.4.2 การออกแบบแกนรูฉีด (Sprue pullers)

เมื่อแม่พิมพ์เปิด แกนรูฉีดจะต้องถูกดึงปลดออกจากปลอกรูฉีดเสมอเพื่อเตรียมฉีดชิ้นงานต่อไป แกนรูฉีดควรมีผิวเรียบและมีความเร็วประมาณ 2 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนรูฉีดควรมากกว่า 0.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทางวิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.34



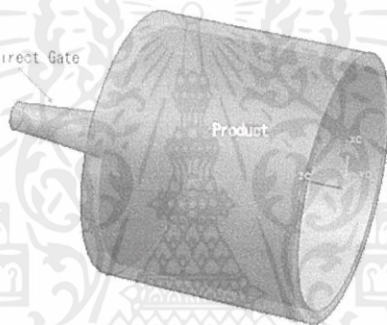
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การออกแบบรูเข้า (Gate)

เป็นการออกแบบร่องหรือรูเล็กๆที่ต่อระหว่างรูวิ่งกึ่งกับเบ้า ขนาดพื้นที่หน้าตัดจะมีขนาดเล็กสามารถพิจารณาในรูปของขนาดและพื้นที่หน้าตัดและความยาวของรูเข้า ชนิดของรูเข้าโดยทั่วไปมีดังนี้

1. รูเข้าแบบฉีด (Sprue Gate)

รูเข้าชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ดังแสดงในรูป 2.35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเข้า จะต่างกันอยู่ระหว่าง 4 ถึง 12 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับน้ำหนักชิ้นงานและความยาวของเส้นทางการไหล มุมเรียวของรูเข้าคือ 2 ถึง 3 องศา ควรหลีกเลี่ยงรูเข้าแบบยาวๆหากเป็นไปได้ เนื่องจากมีการสูญเสียแรงดันเพิ่มขึ้น และน้ำพลาสติกจะเย็นตัวเร็วเกินไป ยิ่งกว่านั้นการถอดชิ้นงานที่ฉีดด้วยแรงดันตามจะทำให้ยากมาก (Follow-up pressure) สูงจะทำให้ยาก



รูปที่ 2.35 รูเข้าแบบฉีด [21]

น้ำหนักของพลาสติกทั่วไปจะแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเข้าแบบฉีด [5]

น้ำหนักชิ้นงาน (กรัม)	เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเข้า (มม.)
ไม่เกิน 200	2 ถึง 4
200 ถึง 400	4 ถึง 6
400 ถึง 1,000	6 ถึง 8
มากกว่า 1,000	8 ถึง 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อดีของรูเข้าแบบฉีดโดยเฉพาะกับชิ้นงานที่มีความสมมาตรคือช่วยให้การผลิตชิ้นงานทำได้ง่ายและได้คุณภาพในการวางตำแหน่งรูเข้าไม่เพียงแต่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานแต่ยังส่งผลไปถึงคุณภาพผิวด้วย รูเข้าแบบฉีดจะให้แรงดันตามได้สูงและมีผลเต็มที่จนกว่าชิ้นงานจะกลายเป็นของแข็ง
- ข้อเสียของรูเข้าแบบฉีดคือต้องทำงานเพิ่มในการตัดทางเข้า

2. รูเข้าแบบเข็ม (Pin Gate)

รูเข้าแบบนี้เป็นแบบกลมที่ใช้ป้อนเข้าทางด้านใต้ของชิ้นงานดังแสดงในรูป 2.36 และเพราะรูเข้าแบบนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างเล็กดังนั้นจึงมักนิยมใช้มากกว่ารูเข้าแบบรูฉีดซึ่งต้องปรับแต่งผิวในภายหลังอย่างไรก็ตามรูเข้าแบบนี้จะใช้ได้กับแม่พิมพ์แบบบางเท่านั้นและโดยทั่วๆไปการออกแบบแม่พิมพ์จะซับซ้อนกว่ารูเข้าแบบรูฉีดหรือใช้เทคนิคด้านข้าง รูเข้าชนิดนี้จะใช้ได้เฉพาะกับชิ้นงานขนาดเล็ก และการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยขนาดของรูเข้าแบบเข็มของพลาสติกที่ใช้กันโดยทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.3 ขนาดของรูเข้าที่ต้องพิจารณาได้แก่ ความยาวของรูเข้า (L) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้า (d) เพื่อลดการสูญเสียแรงดัน ความยาวของรูเข้าควรออกแบบให้สั้นที่สุด ควรมีความเรียว (Taper) 30-60 องศา การทำเช่นนี้รูเข้าจะคงอยู่กับชิ้นงานเป็นส่วนใหญ่ และป้องกันรูเข้าจากแข็งตัว การทำส่วนที่คล้ายเลนส์เล็กตรงกันข้ามกับรูเข้าจะป้องกันชิ้นงานไม่ให้ขาด เมื่อปลดออกจากแม่พิมพ์



รูปที่ 2.36 รูเข้าแบบเข็ม [5]

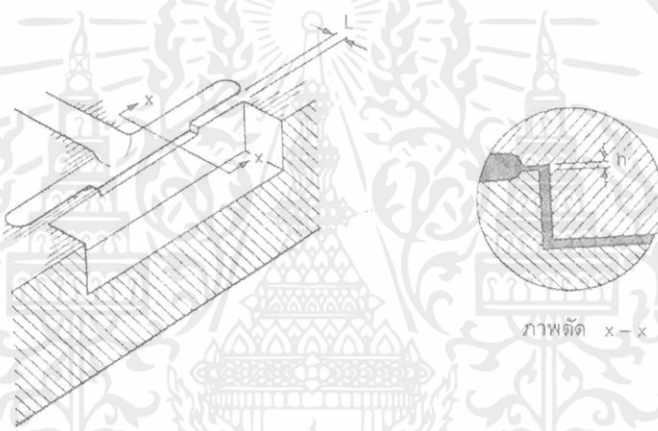
ตารางที่ 2.3 ตารางเทียบขนาดของรูเข้าแบบเข็มกับความหนาขนาดชิ้นงาน [5]

Wall Thickness mm (in)	Gate Diameter/Length mm (in)
0.7 - 0.2 mm (0.02-0.05)	0.7 - 1.0/0.8 - 1(0.02 - 0.04/0.03 - 0.04)
1.2 - 3.0 mm (0.05-0.12)	0.8 - 2.0/0.8 - 1(0.03 - 0.08/0.03 - 0.04)
3.0 - 5.0mm (0.12-0.20)	1.5 - 3.5/0.9 - 1(0.06 - 0.14/0.04 - 0.04)
≥ 5.0" (2.0)	3.5 - 5.0/0.9 - 1(0.14 - 0.24/0.03 - 0.04)

- ข้อดีของรูเข้าแบบเข็ม สามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มค่าใช้จ่ายเนื่องจากการตัดรูเข้าทิ้ง จากการใช้รูเข้าแบบฉีดและตกแต่งรอยที่เกิดจากการตัด
- ข้อเสียของรูเข้าแบบเข็ม สำหรับชิ้นงานรูปร่างง่ายเท่านั้น เพราะมีการสูญเสียแรงดันสูงมาก

3. รูเข้าแบบฟิล์ม (Film Gate)

รูเข้าแบบฟิล์มใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ที่มีผนังบางซึ่งสามารถยืดหยุ่นตัวได้ ชิ้นงานขนาดใหญ่แบบโดยเฉพาะที่ทำจากเทอร์โมพลาสติกโครงสร้างเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.37 การหดตัวในแต่ละทิศทางมีค่าต่างกัน การใช้รูเข้าแบบฉีดหรือรูเข็มเข้าแบบเดียวจะทำให้สภาพการไหลของพลาสติกไม่ดี และหากใช้รูเข้าแบบเข็มเข้าหลายจุดก็เป็นผลให้เกิดรอยเชื่อมซึ่งก็เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้มีในชิ้นงาน จึงควรใช้การฉีดด้วยรูเข้าแบบฟิล์มเข้าด้านข้างหรือตรงกลาง โดยปกติจะวางตำแหน่งรูเข้าขนานไปตลอดความกว้าง (ด้านแคบ) ของชิ้นงาน



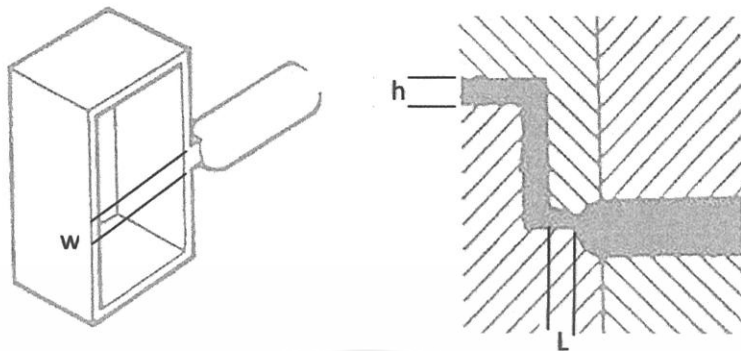
รูปที่ 2.37 รูเข้าแบบฟิล์ม [5]

- ข้อดีของรูเข้าแบบฟิล์ม ชิ้นงานไม่มีรอยต่อและชิ้นงานมีคุณภาพสูง มีขนาดชิ้นงานที่แน่นอน
- ข้อดีของรูเข้าแบบฟิล์ม โดยต้องทำงานเพิ่มในการตัดรูเข้า

4. รูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular Edge Gate)

รูเข้าแบบนี้เป็นแบบที่ใช้ในวัตถุประสงค์ทั่วไปแบบง่ายจะทำเพียงตัดเฉือนเป็นร่องสี่เหลี่ยมบนแผ่นแม่พิมพ์ด้านหนึ่งเพื่อต่อระหว่างทางวิ่ง เนื่องจากเป็นรูปทรงทางสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 รูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม [5]

ดังนั้นขนาดของรูเข้าจึงกำหนดเป็นความกว้าง (w) ความลึก (h) และความยาวของรูเข้า (L) แรงดันที่ลดลงตรงส่วนของรูเข้าจะเป็นสัดส่วนกับขนาดความยาวของรูเข้า ดังนั้นส่วนนี้จึงควรทำให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้และต้องพอดีกับขนาดความแข็งแรงของส่วนที่เหลืออยู่ระหว่างทางวิ่ง โดยความลึกของรูเข้าจะควบคุมเวลาในการเปิดของรูเข้า เวลาเปิดของรูเข้าจะต้องนานเพียงพอที่จะให้เนื้อพลาสติกหลอมไหลเข้าเต็มเต็มทุกสัดส่วน ดังนั้นการเลือกใช้ความลึกของรูเข้าต้องสัมพันธ์กับขนาดความหนาของผนังชิ้นงาน โดยใช้สูตรความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 [5]

$$h = n.t \quad (2.1)$$

ซึ่ง h = ความลึกของรูเข้า หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 t = ความหนาของผนังชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 n = ค่าคงที่ของวัสดุพลาสติก

ในทางทฤษฎีค่าคงที่ของพลาสติกแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากันแต่เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติจึงได้จัดแบ่งออกเป็นกลุ่มเฉพาะและใช้ค่าคงที่ของแต่ละกลุ่มโดยค่าคงที่ของชนิดพลาสติกแต่ละกลุ่มที่ใช้กันโดยทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของชนิดพลาสติกแต่ละกลุ่ม [5]

กลุ่ม	ชนิดของพลาสติก	n
1	Polypropylene (PE), Polystyrene (PS)	0.6
2	Polyamide (PA), Polycarbonate (PC), Polypropylene (PP)	0.7
3	Cellulose Acetate (CA), Nylon, Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.8
4	PVC	0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์เป็นของเจ้าของเอกสาร และสงวนลิขสิทธิ์ไว้แก่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติการเลือกใช้ขนาดความกว้างของรูเข้าสำหรับแม่พิมพ์ของชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างที่คล้ายคลึงกับแบบที่เคยทำมาแล้วจะเลือกใช้โดยอาศัยประสบการณ์ที่เคยทำมาเป็นหลักแต่สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ โดยใช้สูตรความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 2.2 [5]

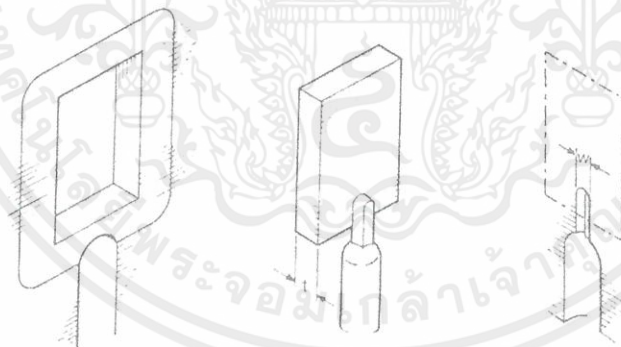
$$w = \frac{n\sqrt{a}}{30} \tag{2.2}$$

- ซึ่ง
- W = ความกว้างของรูเข้า หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 - a = พื้นที่ผิวของเบ้า หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm²)
 - n = ค่าคงที่ของพลาสติก

- ข้อดีของรูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม รูเข้าแบบนี้มีรูปร่างหน้าตัดแบบง่าย ดังนั้นราคาในการตัดเดือนถูก, ขนาดของรูเข้าสามารถทำให้ได้ขนาดถูกต้องได้ง่าย, ขนาดของรูเข้าสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายและรวดเร็ว, อัตราความเร็วในการเติมเนื้อพลาสติกสามารถควบคุมได้อย่างอิสระ, วัสดุพลาสติกแบบธรรมดาทั่วไปสามารถใช้ฉีดด้วยรูเข้าแบบนี้ได้
- ข้อเสียของรูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม หลังจากการปลดแกนรูเข้าออกจะเหลือเป็นรอยดำหนิบนผิวชิ้นงาน

5. รูเข้าแบบเหลื่อม (Overlap Gate)

รูเข้าแบบนี้เป็นแบบที่พัฒนามาจากรูเข้าแบบสี่เหลี่ยม รูเข้าแบบเหลื่อมซึ่งมีรูปร่างทั่วไปเป็นแบบสี่เหลี่ยมที่ตัดเดือนบนผิวราบของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 รูเข้าแบบเหลื่อม [5]

รูเข้าแบบนี้สามารถใช้ได้กับพลาสติกแบบธรรมดาทั่วไปนอกจากพลาสติก PVC ชนิดแข็ง ขนาดของรูเข้าสามารถคำนวณหาในลักษณะเดียวกันกับรูเข้าแบบสี่เหลี่ยมและมีข้อจำกัดที่เหมือนกันความยาวของรูเข้าแบบขอบ (ระยะห่างระหว่างปลายของรูวิ่งกับผนัง) $L_1 = 0.5-0.75$ มิลลิเมตรโดยใช้สูตรความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

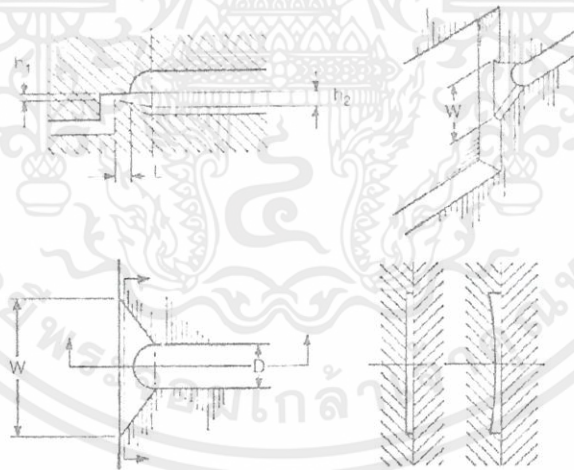
$$L = h + \frac{w}{2} \quad (2.3)$$

ซึ่ง L_2 = ความยาวของรูเข้า หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 h = ความลึกของรูเข้า หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 w = ความกว้างของรูเข้า หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

- ข้อดีของรูเข้าแบบเหลี่ยม รูเข้าแบบนี้มีรูปหน้าตัดแบบง่าย ดังนั้นราคาในการตัดเฉือนถูก
- ข้อเสียของรูเข้าแบบเหลี่ยมใช้ในระบบป้อนของชิ้นงานบางแบบเท่านั้น, แกนรูจะติดอยู่กับผิวของชิ้นงานซึ่งต้องเอาออก และแต่งผิวอย่างระมัดระวังมากกว่ารูเข้าแบบขอบ (Rectangular edge Gate)

6. รูเข้าแบบพัด (Fan Gate)

เป็นรูเข้าขอบอีกแบบหนึ่งแต่ไม่เหมือนกับรูเข้าแบบสี่เหลี่ยมที่มีขนาดความกว้างและความลึกคงที่ ขนาดความกว้างและความลึกของรูเข้าแบบพัดจะมีขนาดไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.40 ขนาดความกว้างจะโตขึ้นเรื่อยๆ (โดยปกติจะเริ่มขยายจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้) ในขณะที่ขนาดความลึกจะค่อยๆลดลง ทั้งนี้ก็เพื่อรักษาให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูมีขนาดคงที่ตลอดความยาวของรูเข้า



รูปที่ 2.40 รูเข้าแบบพัด [5]

ความสัมพันธ์ของขนาดรูเข้าที่จะต้องกำหนด ได้แก่ ความยาวรูเข้า (L), ความกว้างของรูเข้า (W) และความลึกของรูเข้า (h) ความยาวของรูเข้าแบบพัดจะต้องใช้ให้มีขนาดยาวกว่ารูเข้าแบบสี่เหลี่ยมเล็กน้อยและความยาวของรูเข้าแบบพัดที่แนะนำให้ใช้คือ 1.3 มิลลิเมตร (0.050") โดยใช้สูตรความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 เพื่อรักษาให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูเข้ามีขนาดคงที่เนื่องจากรูปร่างของรูเข้าจะต้องทำให้มีขนาดความลึกของรูเข้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากปากทางเข้าถึงปลายรูจึงโดย

การคำนวณที่ผิดพลาดทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สูตรความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.4 [5]

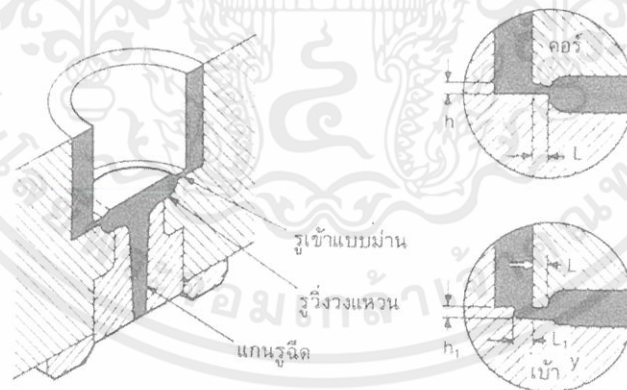
$$h_1 = \frac{wh_2}{D} \quad (2.4)$$

- ซึ่ง
- h_1 = ความลึกของรูเข้าน้ำด้านติด หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 - h_2 = ความลึกของรูเข้าน้ำด้านปลาย หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 - W = ความกว้างของรูเข้าน้ำด้านติด หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 - D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทางวิ่ง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

- ข้อดีของรูเข้าน้ำแบบพัด รูเข้าน้ำแบบนี้มีรูปหน้าตัดแบบง่าย ดังนั้นราคาในการตัดเฉือนถูก
- ข้อเสียของรูเข้าน้ำแบบพัด สามารถใช้ได้กับพลาสติกธรรมดาทั่วไปยกเว้นพลาสติก PVC ชนิดแข็งบางเกรดเท่านั้นและจะเกิดรอยตำหนิขนาดใหญ่บนชิ้นงาน

7. รูเข้าน้ำแบบม่าน (Diaphragm Gate)

รูเข้าน้ำแบบนี้ใช้สำหรับชิ้นงานที่เป็นลักษณะท่อชิ้นงานรูปปลอก วงแหวน ชิ้นงานรูปร่างกลมที่มีคุณภาพสูงในแม่พิมพ์แบบสองแผ่นดังแสดงในรูปที่ 2.41 และอาจใช้ได้กับแม่พิมพ์แบบป้อนด้านได้

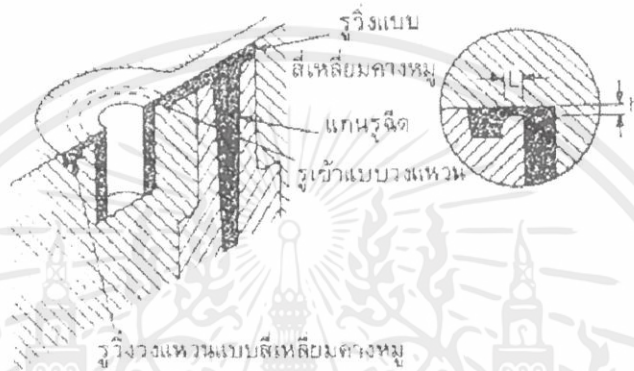


รูปที่ 2.41 รูเข้าน้ำแบบม่าน [5]

- ข้อดีของรูเข้าน้ำแบบม่าน รูเข้าน้ำแบบนี้มีการไหลของพลาสติกหลอมคงที่เกิดการเติมเนื้อพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ
 - ข้อเสียของรูเข้าน้ำแบบม่าน สามารถใช้ได้กับบางแบบเท่านั้น
- เอกสารเรียนการสอนวิชาเทคโนโลยีการผลิตพลาสติก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. รูเข้าแบบวงแหวน (Ring Gate)

หน้าที่และวิธีการใช้งานของรูเข้าแบบนี้จะเหมือนกับรูเข้าแบบม่านที่กล่าวไว้ข้างต้น รูเข้าแบบนี้จะใช้ชั้นงานที่เป็นท่อเมื่อต้องการจำนวนเข้ามากกว่าหนึ่งเข้าในแม่พิมพ์แบบสองแผ่น รูเข้าแบบนี้จะจัดเตรียมทางเข้าของพลาสติกแบบรอบๆผิวเส้นรอบวงด้านนอกของชิ้นงาน (ซึ่งตรงข้ามกับผิวด้านในที่รูเข้าแบบม่าน) และสามารถใช่วางแบบที่ใช้กันทั่วไปได้ รูเข้าชนิดนี้เหมาะสำหรับการฉีดพลาสติกที่ไหลได้ยากและชิ้นงานมีรูปร่างกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.42

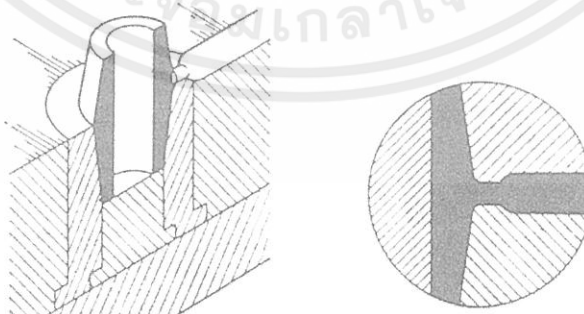


รูปที่ 2.42 รูเข้าแบบวงแหวน [5]

- ข้อดีของรูเข้าแบบม่าน รูเข้าแบบนี้มีการไหลของพลาสติกหลอมคงที่ที่เกิดการเติมเนื้อพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ
- ข้อเสียของรูเข้าแบบม่าน สามารถใช้ได้กับบางแบบเท่านั้น

9. รูเข้าแบบกลม (Round Edge Gate)

รูเข้าแบบนี้จะทำขึ้นโดยตัดเดือนเป็นร่องครึ่งวงกลมบนแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองในตำแหน่งระหว่างปลายทางวิ่งกับเข้าและนำมาประกบเข้าด้วยกันปลายรูเข้า ส่วนที่ติดกับเข้าจะทำเป็นโค้งรัศมีเล็กๆเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเสียหายเมื่อปลดแกนรูเข้าออก ดังแสดงในรูปที่ 2.43 รูเข้าแบบนี้ไม่นิยมใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดความหนาของผนังต่ำกว่า 4 มิลลิเมตร (0.150")

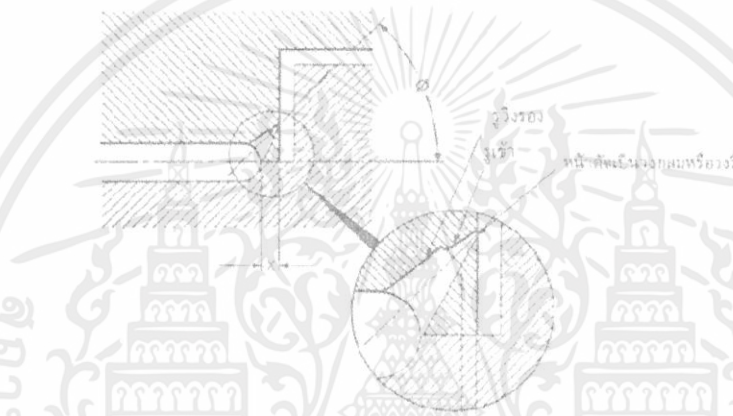


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.43 รูเข้าแบบกลม [5] ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อดีของรูเข้าแบบกลม รูเข้าแบบนี้เหมาะกับผนังชั้นงานหนา สามารถป้องกันรอยตำหนิที่เกิดจากการหดตัวของพลาสติก
- ข้อเสียของรูเข้าแบบกลม ขนาดของรูเข้าที่ถูกต้องทำได้ยาก การไหลเนื้อพลาสติกไม่สามารถควบคุมได้อย่างอิสระ

10. รูเข้าใต้แม่พิมพ์ (Subsurface Gate)

รูเข้าใต้แม่พิมพ์เป็นรูเข้าแบบกลมหรือวงรีที่ฝังอยู่ผิวส่วนแบ่งแม่พิมพ์เพื่อป้องกันพลาสติกหลอมเข้าบ่า รูเข้าแบบนี้จะคล้ายคลึงกับรูเข้าแบบกลมตรงที่มีรูปร่างเหมือนกันหรือเกือบจะเหมือนกันและป้อนเข้าทางด้านข้างของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.44



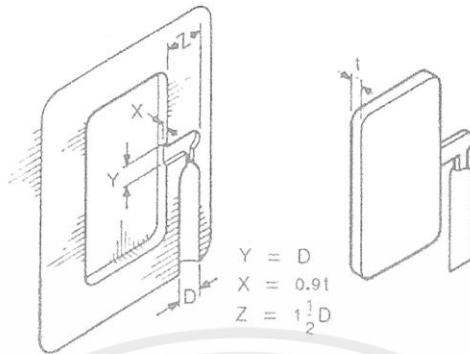
รูปที่ 2.44 รูเข้าใต้แม่พิมพ์ [5]

- ข้อดีของรูเข้าใต้แม่พิมพ์ รูเข้าแบบนี้ไม่มีปัญหาเรื่องรอยต่อของรูเข้าและสามารถทำให้ได้ขนาดที่ถูกต้อง, ถ้าเป็นรูเข้าใต้แม่พิมพ์แบบวงรีจะทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลเติมพลาสติกด้วยเวลาในการแข็งตัวของแกนรูเข้าได้อย่างอิสระ, แกนรูเข้าจะขาดออกจากชิ้นงานในระหว่างขั้นตอนการดันปลด
- ข้อเสียของรูเข้าใต้แม่พิมพ์ แกนรูวิ่งจะต้องบิดงอเล็กน้อยเพื่อปลดรูวิ่งออกจากแม่พิมพ์

11. รูเข้าแบบแถบ (Tab Gate)

แบบนี้เป็นเทคนิคการออกแบบรูเข้าที่ใช้เฉพาะกับระบบป้อนชิ้นงานที่เป็นแท่งตัน แผ่นยื่นหรือแถบจะฉีดเข้าทางด้านข้างของชิ้นงานและรูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยมจะใช้ต่อระหว่างแถบกับทางวิ่ง รอยต่อระหว่างรูเข้าแบบสี่เหลี่ยมกับจะทำเป็นมุมฉากเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกพุ่งเข้าและแข็งตัวเร็ว ทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าสม่ำเสมอ ดังนั้นรูเข้าแบบแถบจึงเป็นการออกแบบใช้งานในลักษณะเดียวกันกับรูเข้าแบบเหลี่ยมรูเข้าแบบนี้สามารถใช้ได้กับพลาสติกธรรมดาทั่วไปแทบทุกชนิดแต่ถ้าจะใช้กับพลาสติกชนิดอะคริลิกจะต้องปรับปรุงเป็นพิเศษดังแสดงในรูปที่ 2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

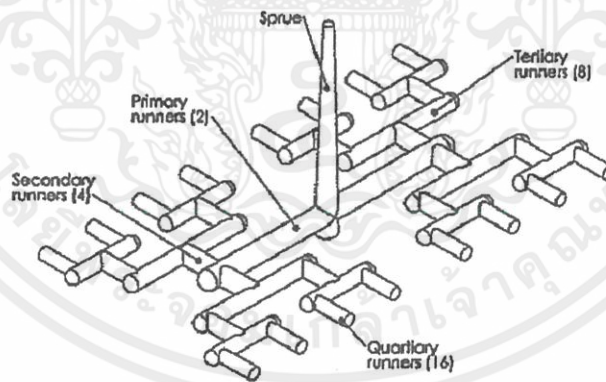


รูปที่ 2.45 รูเข้าแบบแถบ [5]

- ข้อดีของรูเข้าแบบแถบ รูเข้าแบบนี้มีการไหลของพลาสติกหลอมคงที่เกิดการเติมเนื้อพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ
- ข้อเสียของรูเข้าแบบแถบ จะเกิดรอยตำหนิขนาดใหญ่บนชิ้นงาน

2.4.4 การออกแบบระบบทางวิ่ง (Runner)

ระบบทางวิ่ง (Runner) ดังแสดงในรูปที่ 2.46 เป็นส่วนที่เชื่อมโยงทางเข้า (Sprue) เข้ากับชิ้นงาน โดยผ่านรูเข้า (Gate) เพื่อให้จ่ายพลาสติกเข้าสู่ทุกชิ้นงานในเวลาเดียวกัน ภายใต้แรงดันเท่ากัน



รูปที่ 2.46 ลักษณะทางวิ่ง [2]

1. ระบบทางวิ่งมาตรฐาน (Standard Runner System)

ช่องทางวิ่งมาตรฐาน ทำได้โดยการกัดเซาะแผ่นแม่พิมพ์โดยตรง และไม่มีการติดต่อให้ความร้อน (Heat Manifold) ดังนั้นอุณหภูมิของระบบทางวิ่งจึงเป็นเช่นเดียวกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ทั้งหมด พลาสติกเหลวจะแข็งตัวในทางวิ่งหลังจากการฉีด ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละครั้งและต้องปลดออกพร้อมกับชิ้นงานหลังจากการเปิดแม่พิมพ์ ระบบนี้ใช้กับการฉีดเทอร์โมพลาสติกและวัสดุที่ต้องทำปฏิกิริยา เช่น เทอร์โมเซ็ท หรือยาง (Elastomer)

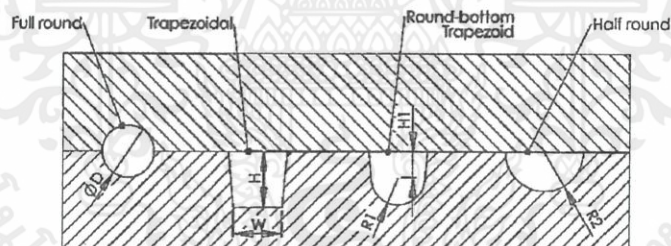
ระบบทางวิ่งร้อน (Hot Runner) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในแม่พิมพ์พลาสติก เพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบที่ใช้ในการฉีด ชิ้นงานพลาสติกมีหลักการง่าย ๆ คือทำให้ทางวิ่งของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงตลอดทางวิ่ง

ระบบทางวิ่งเย็น (Cold Runner) เป็นระบบทางวิ่งอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เหมาะสำหรับฉีดเทอร์โมพลาสติก เป็นการเจาะช่องในแม่พิมพ์หรือบนแผ่นทางวิ่งต่างหาก โดยอุณหภูมิของทางวิ่งจะเท่ากับแม่พิมพ์ เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลง พลาสติกในช่องทางวิ่งจะแข็งตัวด้วย และนำออกจากแม่พิมพ์เช่นกัน

2. การออกแบบทางวิ่ง

หลักการออกแบบระบบทางวิ่ง

1. ลำเลียงน้ำพลาสติกอย่างรวดเร็วและไม่ติดขัดในเส้นทางที่สั้นที่สุด มีการสูญเสียความร้อนและแรงดันน้อยที่สุด
2. พลาสติกต้องเข้าสู่ชิ้นงานทุกๆรูปร่างในเวลาเดียวกันภายใต้แรงดันและอุณหภูมิที่เท่ากัน
3. หน้าตัดควรมีขนาดเล็กเพื่อประหยัดพลาสติก ถึงแม้หน้าตัดใหญ่กว่าอาจให้ผลดีในการไหลเข้าควาวิตีและคงแรงดันตาม (Holding Pressure) ไปได้พอเพียง แต่ก็ใช้เวลาในการหล่อเย็นนานกว่า
4. อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยหน้าตัดของทางวิ่งแสดงในรูปแบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 หน้าตัดทางวิ่งในรูปแบบต่างๆ [2]

หาขนาดของทางวิ่ง โดยใช้สูตรความสัมพันธ์ที่ใช้ในการกำหนดขนาดของทางวิ่ง ดังสมการที่ 2.5 [22]

$$D = S_{\max} + 1.5 \quad (2.5)$$

ซึ่ง D = เส้นผ่านศูนย์กลางของทางวิ่ง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

S_{\max} = ความหนาสูงสุดของชิ้นงาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสูตรนี้ไม่ได้คำนึงถึงรูปร่างของชิ้นงานและคุณสมบัติการไหลของพลาสติก โดยคิดจากความหนาของผนังอย่างเดียว สามารถนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดต่างๆได้ดังตารางที่ 2.5 [2]

ตารางที่ 2.5 การคำนวณหาขนาดของทางวิ่งในหน้าตัดต่างๆ

หน้าตัดของทางวิ่ง	สมการ
หน้าตัดวงกลม	$D_h = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} = D$
หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	$D_h = \frac{4WH + 0.09H^2}{2W + 2.01H}$ ถ้า $W = H$ จะได้ D_h
หน้าตัดรูปพาราโบลา	$D_h = \frac{4 \times (1.57(R1)^2 + 2(R1)(H1) + 0.09(H1)^2)}{5.14(R1) + 2.087(H1)}$ ถ้า $R1 = H1$ จะได้ $D_h \approx 2(R1)$
Half-Round Runner	$D_h = \frac{0.5\pi(R2)^2}{(2 + \pi)(R2)} = 0.306(R2)$

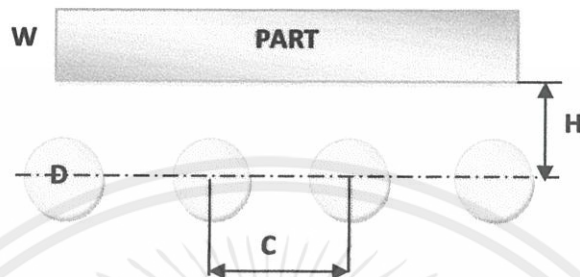
- หน้าตัดวงกลม (Full-Round Runner) มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัด อัตราเย็นตัวช้าที่สุด การสูญเสียความร้อนและแรงเสียดทานน้อย แกนกลางของช่องจะแข็งตัวช้ากว่าส่วนอื่น จึงให้แรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การกัดเซาะร่องที่แม่พิมพ์สองด้านทำได้ยากและมีราคาแพง
- หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Runner) คล้ายกับหน้าตัดวงกลม การกัดเซาะร่องที่แผ่นแม่พิมพ์เพียงด้านเดียวจะทำให้ได้ง่ายกว่า (มักจะอยู่บนแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่เพราะปลดง่ายกว่า) แต่จะมีการสูญเสียความร้อนของพลาสติกมากกว่าเมื่อเทียบกับหน้าตัดรูปวงกลม
- หน้าตัดรูปพาราโบลา (Round-bottom Trapezoidal Runner) คล้ายกับหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่การกัดเซาะร่องทำได้ยากกว่า
- หน้าตัดครึ่งวงกลม (Half-Round Runner) ไม่เหมาะสำหรับทางวิ่ง

2.4.5 การออกแบบระบบหล่อเย็น (Design Cooling System)

อุณหภูมิใช้งานของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละอย่างจะขึ้นอยู่กับชนิดและเกรดของพลาสติกที่ใช้ฉีด ระยะทางที่พลาสติกไหล ความหนาของผนังชิ้นงาน ความยาวของระบบป้อน เป็นต้น หลักการหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

- อัตราแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างพลาสติกที่ฉีดกับแม่พิมพ์ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความประหยัดของแม่พิมพ์ ความร้อนที่น้ำพลาสติกนำเข้ามาในแม่พิมพ์นั้น ต้องระบายออกจากเนื้อพลาสติก จนกระทั่งชิ้นงานมีสถานะอยู่ตัวพอที่จะปลดออกได้ เวลาที่ต้องใช้เพื่อให้บรรลุถึงสถานะเช่นนี้ คือเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) ปริมาณความร้อนที่จะนำออกจากแม่พิมพ์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำพลาสติก อุณหภูมิปลดชิ้นงาน และความร้อนจำเพาะของพลาสติกแต่ละชนิด โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องหล่อเย็นดังแสดงในรูปที่ 2.48 และตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.48 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น [3]

- ซึ่ง
- D = ขนาดรูเจาะของการหล่อเย็น
 - N = จำนวนของรูเจาะ
 - C = ระยะห่างของรูเจาะแต่ละรู
 - H = ความสูงของระยะห่างของรูเจาะแต่ละรู

ตารางที่ 2.6 การกำหนดขนาดของระบบหล่อเย็น [3]

ความหนาของชิ้นงาน; W (mm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำหล่อเย็น; dT (mm)
< 2	8 - 10
< 4	10 - 12
< 6	12 - 15
ระยะห่าง h = 2 - 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหล dT	
ระยะห่าง c = 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหล dT	
ในกรณีที่ไม่ว่าจำกัดในเรื่องของการออกแบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทางไหลควรจะมีมากกว่า 1/3 ของระยะห่างระหว่างทางไหลแต่ละช่อง	

2.4.6 การปลดชิ้นงาน (Ejections of Molding)

หลังจากชิ้นงานได้กลายเป็นของแข็งและเย็นตัวลงแล้ว อย่างไรก็ตามชิ้นงานจะค้างอยู่ด้วยรอยเซาะ การเกาะติด และความเค้นภายใน จำเป็นต้องแยกชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ด้วยระบบปลดชิ้นงาน ซึ่งกลไกการปลดจะทำงานโดยจังหวะเปิดแม่พิมพ์ของเครื่องฉีด

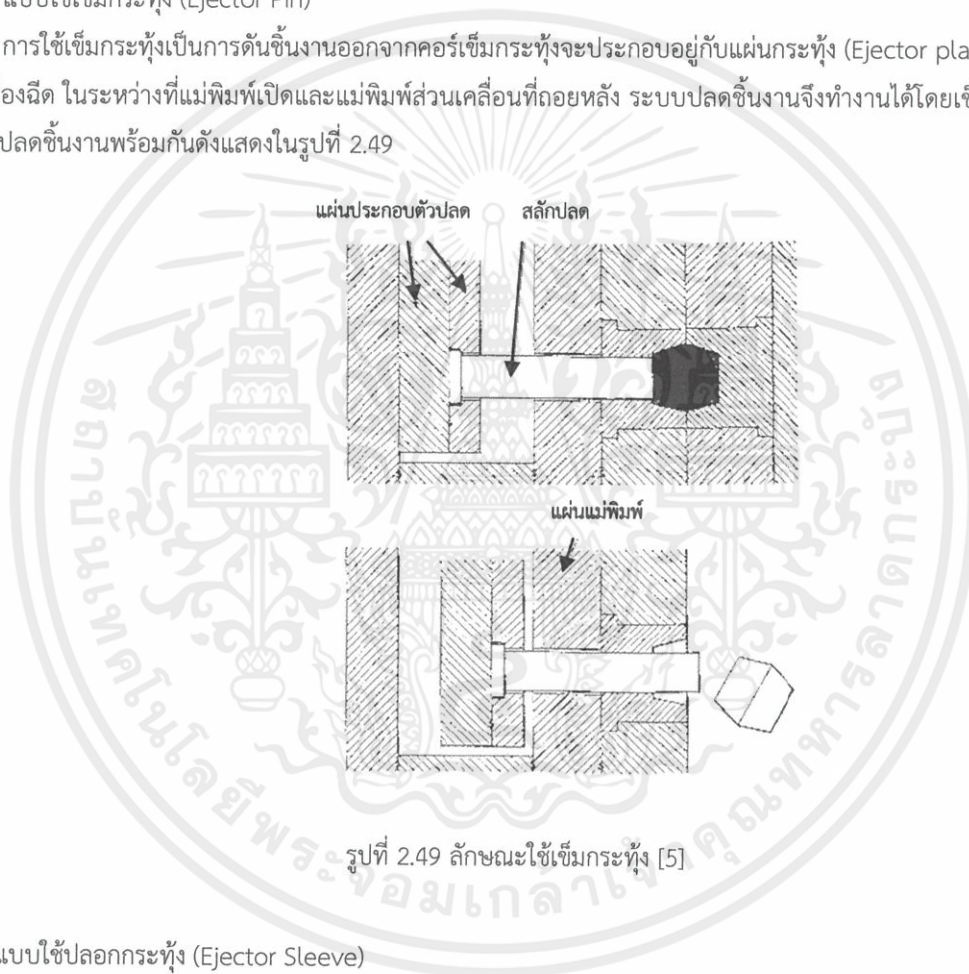
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่สามารถวางตำแหน่งตัวกระทุ้งได้ก็คือที่มุมผนังข้างหรือคريب (Rib) ซึ่งทำให้ปลดชิ้นงานยากขึ้น แต่ก็ เป็นจุดที่ทนแรงกระแทกได้ดีที่สุด ถ้าชิ้นงานไม่มีส่วนที่สามารถวางตำแหน่งตัวกระทุ้ง ควรเลือกแบบและจำนวนเข็มกระทุ้งให้เหมาะสมและวางตำแหน่งให้ปลดชิ้นงานได้โดยไม่ทำให้ชิ้นงานผิดรูป พื้นที่รับแรงของเข็มกระทุ้งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานและชนิดพลาสติกที่ใช้ด้วย

1. ระบบปลดชิ้นงาน

- แบบใช้เข็มกระทุ้ง (Ejector Pin)

การใช้เข็มกระทุ้งเป็นการดันชิ้นงานออกจากคอร์เข็มกระทุ้งจะประกอบอยู่กับแผ่นกระทุ้ง (Ejector plate) ซึ่งจะยึดติดกับเครื่องฉีด ในระหว่างที่แม่พิมพ์เปิดและแม่พิมพ์ส่วนเคลื่อนที่ถอยหลัง ระบบปลดชิ้นงานจึงทำงานได้โดยเข็มกระทุ้งทุกอันจะเริ่มปลดชิ้นงานพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 2.49

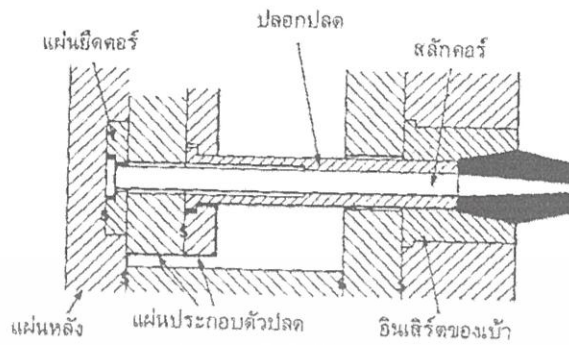


รูปที่ 2.49 ลักษณะใช้เข็มกระทุ้ง [5]

- แบบใช้ปลอกกระทุ้ง (Ejector Sleeve)

แบบใช้ปลอกกระทุ้งใช้กับชิ้นงานขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่มีคอร์กระบอกอยู่ตรงกลาง ไม่มีพื้นผิวใช้เข็มดัน โดยปลอกนี้จะออกแรงดันตลอดเส้นรอบวงของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.50 ลักษณะใช้ปลอกกระทุ้ง [5]

- แบบใช้แผ่นปลด (Stripper Plate)

แบบใช้แผ่นปลดต้นชิ้นงานตลอดเส้นรอบวงใช้เฉพาะชิ้นงานรูวงกลมและรูปร่างอื่นๆ จะมีค่าใช้จ่ายสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.51



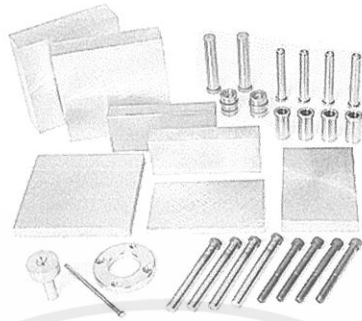
รูปที่ 2.51 ลักษณะใช้แผ่นปลด [5]

2. ชุดกระทุ้ง (Ejector Assembly)

ชุดกระทุ้งจะประกอบไปด้วย แผ่นกระทุ้ง (Ejector plate) แผ่นยึด (Retainer plate) ตัวหยุด (Stopper) และกลไกการดันกลับทั้งหมดเป็นชุดกระทุ้งดังแสดงในรูปที่ 2.52 ถ้าเข็มกระทุ้งที่ดันออกไปก่อนจะทำให้ชิ้นงานงอและขัดอยู่ในแม่พิมพ์ เข็มกระทุ้งจะใส่อยู่กับแผ่นยึดซึ่งติดกับแผ่นกระทุ้งด้วยสกรู แผ่นนี้จะทำงานโดยสลักที่ต่อกับระบบกระทุ้งของเครื่องฉีด ตัวหยุดจะจำกัดระยะเลื่อนของชุดกระทุ้งระหว่างการปลดชิ้นงาน

โดยปกติชุดกระทุ้งจะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์กลางของแม่พิมพ์และเลื่อนอยู่ในที่ว่างแคบๆ ภายในแม่พิมพ์ จึงอาจทำให้คอร์แอ่นได้ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยใช้เสาค้ำ

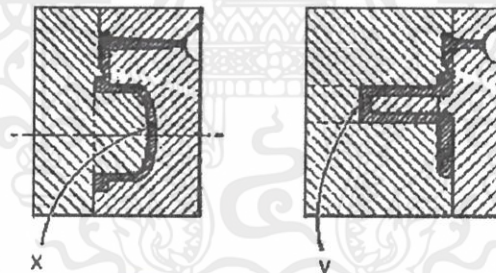
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 ลักษณะชุดกระทุ้ง [23]

2.4.7 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Venting)

เมื่อฉีดพลาสติกเหลวจะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในแม่พิมพ์ อากาศที่อยู่ภายในแม่พิมพ์จะถูกไล่ไปรวมกันที่ใดที่หนึ่งเมื่ออากาศรวมตัวกันและแรงดันจากการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไป อากาศจะมีแรงต้านเกิดขึ้น ทำให้พลาสติกเหลวไม่สามารถเข้าไปแทนที่ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียแก่ชิ้นงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.53 เพราะฉะนั้นจึงจะต้องทำรูไว้เพื่อให้อากาศออกไปได้สะดวก รูที่ทำไว้เพื่อให้อากาศออกนี้เรียกว่า “รูระบายอากาศ” หรือ Air Vent ซึ่งรูระบายอากาศนี้มีความจำเป็นมากในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ 2.53 บริเวณที่อากาศจะถูกกักขังได้ง่ายที่ตำแหน่ง x และ y [24]

ตำแหน่งของรูระบายอากาศในแม่พิมพ์พลาสติก

- การกำหนดตำแหน่งรูระบายอากาศที่ตำแหน่งแม่พิมพ์ปิด-เปิด
- การทำรูระบายอากาศที่แผ่นคอร์
- การทำรูระบายที่แผ่นควาตี
- รูระบายอากาศชนิดใช้โลหะซินเตอร์ผสม
- การระบายอากาศโดยทำเป็นสลุณาากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

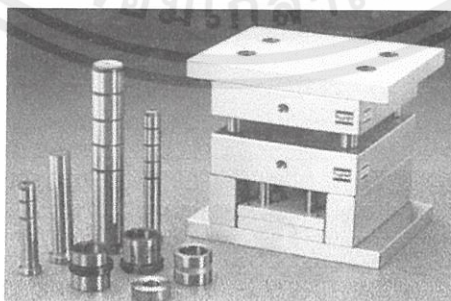
โดยการทำรูระบายอากาศของแม่พิมพ์จะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ใช้กันโดยทั่วไป ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การทำรูระบายอากาศของแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก [5]

การทำรูระบายของแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก			
ชนิดของพลาสติก	ความลึก(mm)	ชนิดของพลาสติก	ความลึก(mm)
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	SAN	0.03
PC	0.02-0.03	ASA	0.03
PVC	0.03-0.05	PA	0.01-0.03
PE	0.01-0.025	PBTP	0.01-0.03
Nylon	0.005-0.015	PA (GLASSFIBER FILLED)	0.01-0.03

2.4.8 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด ทั้งที่เป็นเหล็ก และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก อาทิเช่น เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสม เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ และอะลูมิเนียม เป็นต้น การเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้องกับการสร้างแม่พิมพ์แต่ละประเภทถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ทำให้สามารถสร้างแม่พิมพ์ได้อย่างเหมาะสมตามคุณสมบัติของการใช้งาน สามารถสร้างแม่พิมพ์ได้ง่าย แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ มากมาย ทั้งที่เป็นตัวแม่พิมพ์ในส่วนที่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน และส่วนประกอบต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.54 ซึ่งชิ้นส่วนแต่ละตัวอาจมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน หรือ แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนนั้นๆ จะต้องถูกใช้งานในลักษณะใด เช่น ต้องทนการเสียดสีสูง ต้องทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ต้องสัมผัสกับความร้อน หรือต้องรับแรงกระแทก เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้ารูปที่ 2.54 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [25] ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic mold steels) เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานในช่วงอุณหภูมิ 175-200°C ภายใต้ความดันสูง มีการกัดกร่อนจากสารเคมี และต้องรับแรงเสียดสีกับผงพลาสติกด้วย ดังนั้นคุณสมบัติสำคัญจะต่างไปจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มอื่น โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาลึกลงได้แก่ ความสามารถในการกลึงไส ความต้านทานแรงอัด ความแข็งที่ผิวสูง ความแข็งแรงที่แกนสูง ความแน่นอนของขนาดภายหลังการชุบแข็ง ความสามารถในการขัดผิวให้เรียบ ความต้านทานการกัดกร่อนที่ผิว เหล็กกล้าแม่พิมพ์ที่มีการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Pre-hardened steels เป็นกลุ่มที่มีคาร์บอนระดับ 0.20-0.30% มีโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัมผสมในระดับปานกลาง เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติการกลึงไสดีมาก แต่ไม่สามารถทำการผลิตด้วยวิธีกัดได้ โดยในการผลิตแม่พิมพ์จะนำเหล็กมาชุบแข็งก่อนการเจาะหรือตัดให้เป็นช่องว่าง และภายหลังทำเป็นแม่พิมพ์แล้วก็ไม่จำเป็นต้องชุบแข็งอีกสามารถใช้งานได้เลย หรืออาจทำการชุบแข็งผิวด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและการต้านทานต่อการสึกหรอ

2. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่ม Case hardening steels เป็นกลุ่มที่มีคาร์บอนต่ำระดับ 0.07-0.10% ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิตแม่พิมพ์ด้วยการกัดโดยการผลิตจะนำเหล็กกล้ามาทำการอบอ่อนก่อนการกัด แล้วจึงนำไปชุบผิวแข็ง ซึ่งอาจทำได้ด้วยกระบวนการคาร์บูไรซิ่ง หรือไนไตรดิง (เนื่องจากเหล็กกลุ่มนี้ไม่สามารถทำการชุบแข็งได้) สุดท้ายจึงนำไปขัดผิวให้เรียบหรืออาจนำไปเคลือบผิวด้วยโครเมียมแข็งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน

3. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ทนการกัดกร่อนสูง ในการใช้งานแม่พิมพ์ที่ต้องการคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนสูงสามารถทำได้โดยการชุบผิวด้วยโครเมียม แต่ก็จะมีปัญหาที่เกิดจากการแตกร่อนของชั้นเคลือบเมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงมีการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมาร์เทนซิติก เช่น เกรด 420 440C เป็นต้น โดยจะใช้ในสภาวะที่ต้องการคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนสูง เช่น การฉีดพลาสติกในกลุ่มพีวีซี อะซิเตท (ซึ่งอาจทำให้เกิด HCl ในระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติก) หรือการทำงานที่มีความชื้นสูง หรือต้องการผิวงานที่สวยงาม โดยเหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีความสามารถในการชุบแข็งสูง ต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเยี่ยม ต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง และมีคุณสมบัติคงรูปจากการอบชุบความร้อนได้ดี

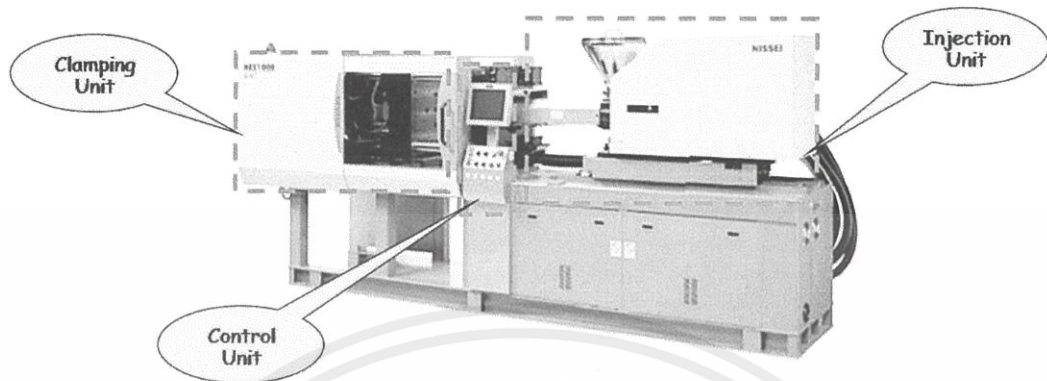
2.5 กระบวนการฉีดพลาสติก

ก่อนที่จะเริ่มทำการฉีดพลาสติกนั้นต้องทราบถึงหลักการในการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกก่อน เพื่อความรวดเร็วและถูกต้องในการฉีดพลาสติก ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

ส่วนประกอบภายในเครื่องฉีดพลาสติกมีความสำคัญต่อกระบวนการฉีดเป็นอย่างมาก เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไปสามารถแบ่งหน่วยงานหลักของเครื่องฉีดพลาสติกได้ดังแสดงในรูปที่ 2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.55 หน่วยการทำงานหลักของเครื่องฉีดพลาสติก [26]

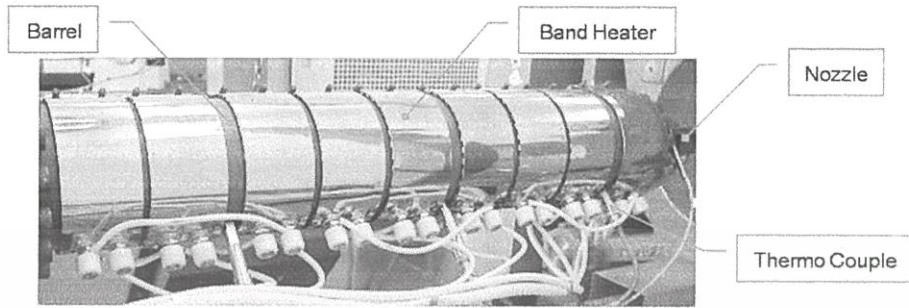
1. หน่วยการฉีด (Injection unit) ทำหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการฉีดทั้งหมด มีหน้าที่ตั้งแต่การรับเม็ดพลาสติกแล้วทำการหลอมเหลว ก่อนที่จะทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในเบ้าของแม่พิมพ์ซึ่งมีชิ้นส่วนหลักๆ ดังนี้
 - ที่ป้อนเม็ดพลาสติก (Feed Hopper) เป็นส่วนที่ป้อนเม็ดพลาสติกเข้าสู่กระบวนการ การป้อนเม็ดพลาสติกนั้นจะสามารถตั้งระยะเวลาป้อนตามปริมาตรหรือขนาดของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.56



รูปที่ 2.56 ที่ป้อนเม็ดพลาสติก [26]

กระบอกฉีด (Barrel) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญมากอีกชิ้นหนึ่งของเครื่องฉีดพลาสติก กระบอกฉีดจะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ที่ติดตั้งอยู่กับ คอป้อนเม็ดพลาสติก ผิวด้านนอกของกระบอกฉีดจะติดตั้งแถบทำความร้อน เพื่อใช้ในการให้ความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก ส่วนปลายของกระบอกจะต่อเข้ากับหัวฉีดและภายในของกระบอกฉีดก็จะมีชุดสกรูสวมอยู่ เพื่อช่วยในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกและฉีดอัดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

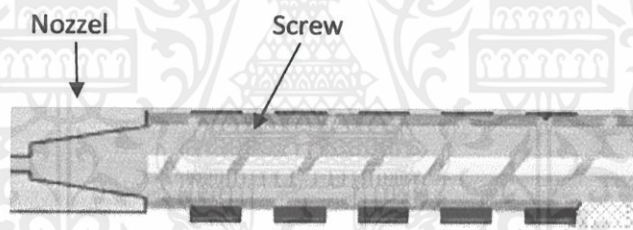


รูปที่ 2.57 ส่วนประกอบของกระบอกฉีด [26]

ปลอกหรือแถบทำความร้อน (Band Heater) เป็นส่วนที่มีหน้าที่ทำความร้อนและส่งถ่ายไปยังกระบอกฉีด เพื่อใช้ในการหลอมละลายเม็ดพลาสติก โดยทั่วไปแถบทำความร้อนจะติดตั้งไว้โดยการห่อหุ้มอยู่ภายนอกของกระบอกฉีด

ตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เป็นตัววัดอุณหภูมิของกระบอกสูบเครื่องฉีดพลาสติก

สกรู (Screw) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หมุนพาเม็ดพลาสติกจากที่ป้อนเม็ดพลาสติกวิ่งไปตามกระบอกฉีดจนถึงหัวฉีด ในขณะที่หมุนพลาสติกจะได้รับความร้อนจากแถบทำความร้อนและขณะเดียวกันก็จะได้รับความร้อนจากการเสียดสีเนื่องจากแรงบิดของสกรูด้วย ที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติกนั้น มีการออกแบบที่แตกต่างกันไปเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.58



รูปที่ 2.58 สกรูและหัวฉีด [26]

หัวฉีด (Nozzle) คือหัวฉีดซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ที่ปลายของกระบอกฉีดมีหน้าที่ในการเชื่อมต่อชุดแม่แบบในการส่งพลาสติกจากส่วนหัวกระบอกสูบหลอมพลาสติกผ่านหัวนำฉีดเข้าไปยังแม่แบบ

2. หน่วยปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ทำหน้าที่ในการติดตั้งและการทำงานเกี่ยวกับการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ และกระทุ้งชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วออกจากแม่พิมพ์

3. หน่วยควบคุม (Control unit) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องฉีด เช่น การควบคุมอุณหภูมิของกระบอกฉีด, การควบคุมแรงดันและความเร็วในการฉีด, การควบคุมความเร็วในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์, การควบคุมเวลาการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ของเครื่องฉีด เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

กระบวนการที่ 1 ดังแสดงในรูป 2.59 (1)

จังหวะปิดแม่พิมพ์ เป็นจังหวะที่แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิดด้วยระบบไฮดรอลิกส์พร้อมล็อกไม่ให้แม่พิมพ์เผลอขณะฉีด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่ 2 มีการทำงานหลายขั้นตอนดังแสดงในรูป 2.59 (2) ดังนี้

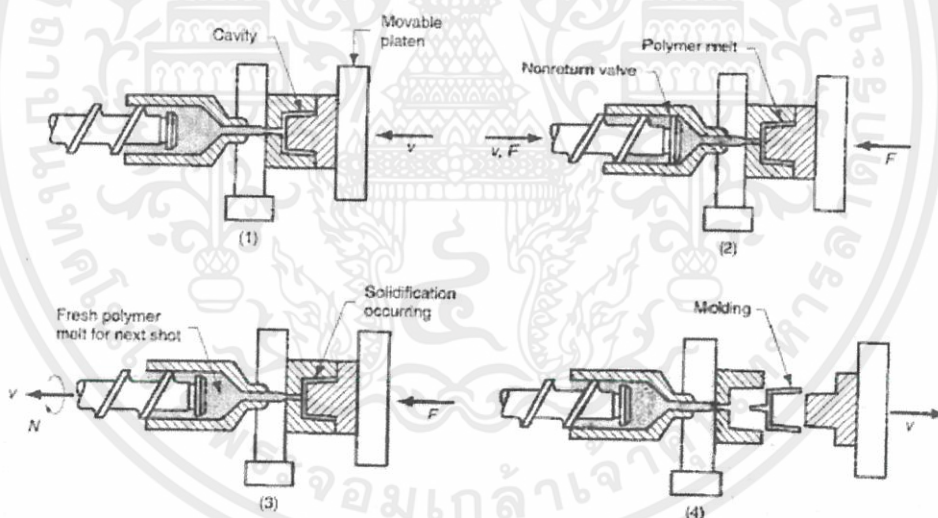
1. จังหวะชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์ เป็นจังหวะเดียวกับแม่พิมพ์ปิด ชุดฉีดจะเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนชนกับทางเข้าแล้วค้างไว้ด้วยแรงค้ำหนึ่ง
2. จังหวะฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์หรือจังหวะเดิมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์เกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพื่อดันน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์
3. จังหวะฉีดรักษาความดัน (Holding) และหดเซกการหดตัว
4. ช่วงการหล่อเย็นชิ้นงาน เป็นการทำงานเพื่อรอให้พลาสติกเหลวแข็งตัว

กระบวนการที่ 3 ดังแสดงในรูป 2.59 (3)

ป้อนพลาสติกเข้าเกลียวหนอนก่อนทำการหลอมใหม่เป็นจังหวะที่เกลียวหนอนหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกจากกรวยเดิมเข้ากระบอกฉีดเพื่อหลอมเหลวและเกลียวหนอนจะถอยกลับ พร้อมทั้งจะทำการฉีดในจังหวะต่อไปโดยที่หัวฉีดยังคงติดอยู่กับแม่พิมพ์โดยไม่ถอยกลับโดยชุดฉีดถอยกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิหัวฉีดต่ำเกินไปและไม่ให้พลาสติกที่แข็งตัวติดที่หัวฉีดทำให้การฉีดครั้งต่อไปง่ายขึ้น

กระบวนการที่ 4 ดังแสดงในรูป 2.59 (4)

แม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดออกถึงระยะสุดท้ายและทำการปลดชิ้นงาน ตัวอีเจ็กเตอร์จะกระทุ้งให้ชิ้นงานหลุดจากแม่พิมพ์



รูปที่ 2.59 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก [27]

2.6 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึงถือได้ว่าเป็นการทดสอบที่สมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ โดยในการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานในทิศทางตรงข้ามเพื่อให้ชิ้นงาน การทดสอบแรงดึงมักจะใช้ในการทดสอบวัสดุประเภทโลหะและพอลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ ชิ้นงานทดสอบแรงดึงนั้นจึงถูกกำหนดให้มีลักษณะรูปร่างที่มีพื้นที่หน้าตัดในบริเวณที่ต้องการวัดความเคียวอยู่ในบริเวณตรงกลางชิ้นงานและมีขนาดที่เล็กกว่าพื้นที่สำหรับการจับยึดในบริเวณปลายรั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 รายละเอียดการทดสอบแรงดึง

1. เครื่องมือทดสอบ

การทดสอบสมบัติความเค้นของชิ้นงาน และความเครียดของวัสดุนั้นสามารถที่จะทำได้ด้วยการทดสอบแรงดึงโดยการให้ภาระแก่ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามมาตรฐาน ปัจจุบันเครื่องทดสอบอัตโนมัติประเภทนี้รู้จักกันในชื่อของเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine :UTM) ดังแสดงในรูป 2.60 เนื่องจากเครื่องทดสอบมีรูปแบบการให้แรงกระทำที่หลากหลายแบบแก่ชิ้นทดสอบ เครื่องทดสอบเอนกประสงค์จึงถือได้ว่าเป็นเครื่องทดสอบพื้นฐานสำหรับงานทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเครื่องมือนี้จะทำหน้าที่ในการให้แรงตามที่กำหนดไว้แก่ชิ้นงานทดสอบได้อย่างถูกต้องและสามารถที่จะตรวจวัดแรงที่ให้แก่วัสดุได้อีกด้วย โดยในการให้แรงแก่ชิ้นงานนั้นสามารถที่จะทำได้หลายประเภทและหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการใช้อุปกรณ์ประกอบต่างๆไม่ว่าจะเป็นแรงดึง (Tension) แรงอัด (Compression) แรงดัด (Bending) แรงบิด (Shear) เป็นต้น



รูปที่ 2.60 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine :UTM) [28]

ข้อกำหนดพื้นฐานของเครื่องทดสอบเอนกประสงค์

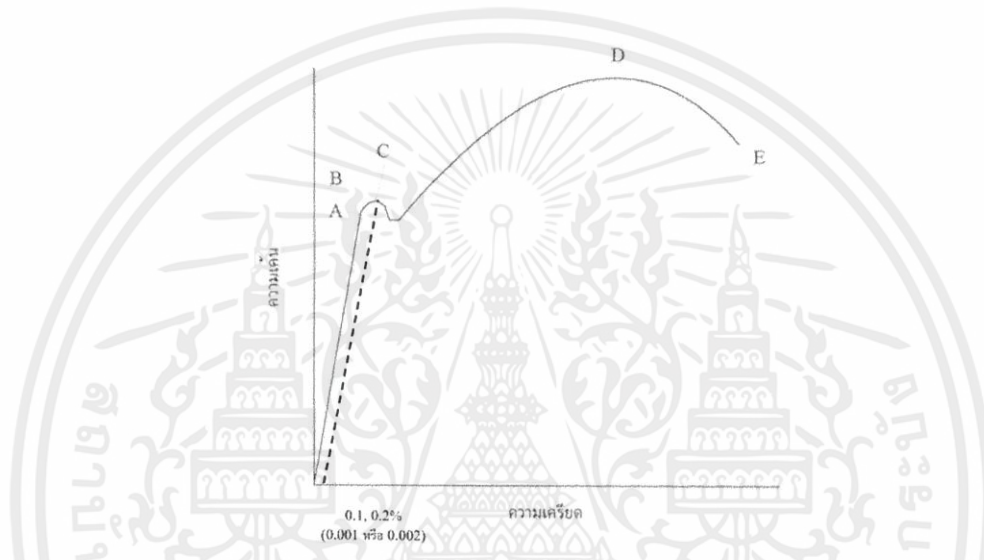
- เครื่องทดสอบจะต้องสามารถให้แรงแก่ชิ้นงานทดสอบได้อย่างถูกต้องตามที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปแล้วควรที่จะสามารถอยู่ในระดับของความผิดพลาดที่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้แต่ค่าความผิดพลาด 0.5 เปอร์เซ็นต์หรือน้อยกว่าเป็นสิ่งที่ต้องการและโดยทั่วไปนั้นสามารถที่จะทำได้สำหรับเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ในปัจจุบัน
- เครื่องทดสอบจะต้องมีความไวต่อการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ให้แก่ในระดับต่ำ
- อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานหรือแนวของการให้แรงแก่ชิ้นงานจะต้องได้ศูนย์ (Alignment) ไม่มีการเอียงศูนย์ซึ่งจะมีผลต่อการกระจายของแรงและสมบัติทางกลของวัสดุที่ทำการวัดอยู่ได้

● ในการทดสอบนั้น การเคลื่อนที่ของครอสเฮด (Crosshead) จะต้องไม่เกิดการสั่นสะเทือน (Rocking) การบิด (Twisting) หรือการเลื่อนตำแหน่งในแนวนอน (Shifting) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การให้แรงแก่ชิ้นงานทดสอบจะต้องมีความสม่ำเสมอและสามารถที่จะควบคุมได้
- การติดตั้งชิ้นงานทดสอบหรืออุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่างๆเข้าสู่เครื่องทดสอบจะต้องสามารถทำได้สะดวก

2. การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบ

โดยพื้นฐานแล้วสิ่งที่วัดได้จากการทดสอบแรงดึง เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานทดสอบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูป 2.61



รูปที่ 2.61 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) [29]

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด พบว่าเมื่อเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆยืดออกจนถึงจุดๆหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้ได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด

- จุด A เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) คือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม
- จุด B เรียกว่าพิกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะพิกัดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการคืนรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้นเมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ว วัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลงก็มี)
- จุด C เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งร้าวไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และใช้ในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

- จุด D ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate Strength หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปร่างอย่างพลาสติกได้มาก ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ ค่านี้ยังสามารถใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วย คำว่า ความแข็งแรงของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไปหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้

- จุด E เรียกว่าจุดแตกหัก (Fracture Point) เป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้จะต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นฐานที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบลดลงทำให้พื้นที่ด้านทานแรงดึงลดลงด้วยในขณะที่ยังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าของความเค้นจึงลดลง ส่วนโลหะอื่นๆ เช่น โลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) มาแล้ว จะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุดโดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง เช่นเดียวกับ วัสดุเปราะ (Brittle Materials) เช่น เซรามิก ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างพลาสติกน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนกรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะเกิดการแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูง

ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังใช้บอกค่าต่างๆได้อีก คือ ความเหนียว (Ductility) ค่าที่ได้บอกเป็นเปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่ Modulus of Elastic or Stiffness ภายใต้ที่กีดสัดส่วนซึ่งวัสดุมีพฤติกรรมเป็นอีลาสติก อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดจะเท่ากับค่าคงที่ ค่าคงที่นี้เรียกว่า Modulus of elastic (E) หรือ Young's Modulus หรือ Stiffness

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ

- ขนาดของเครื่องทดสอบ เครื่องทดสอบต้องมีกำลังเพียงพอในการทดสอบ ในการทดสอบควรเลือกใช้ขนาดของเครื่องทดสอบให้เหมาะสมกับวัสดุประเภทต่างๆซึ่งมีความแข็งแรงหรือมีคามอดูลัสที่สูงหรือต่ำไม่เท่ากัน

- เทคนิคในการทดสอบ การตั้งศูนย์ของชิ้นงานทดสอบในเครื่องทดสอบเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องของผลการทดสอบเป็นสิ่งที่จำเป็นแต่ไม่่ง่ายในทางปฏิบัติ ชิ้นงานทดสอบจะต้องปราศจากจุดบกพร่อง การติดตั้งหรือการจัดวางชิ้นงานทดสอบเข้าสู่ปากจับนั้นจะต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อให้ชิ้นงานถูกจับอย่างได้ศูนย์และไม่เอียงเพื่อที่แรงจะสามารถถ่ายเทผ่านตลอดพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานอย่างเท่าเทียมกันไม่ก่อให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในชิ้นงานทดสอบ โดยส่วนใหญ่แล้วการเอียงศูนย์มักเกิดจากผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการฝึกฝนการจัดวางชิ้นงานเข้าสู่ปากจับให้อยู่ในแนวเส้นตรงและได้ศูนย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ

- การเลือกใช้อุปกรณ์จับยึด ไม่ทำให้เกิดความเสียหายในบริเวณที่ถูกจับยึดนั้นๆซึ่งเราสามารถควบคุมได้จากแรงดันของปากจับที่จับชิ้นงานและลักษณะพื้นผิวของปากจับ และทำให้เกิดการตั้งศูนย์ของชิ้นงานเพื่อให้ได้รับแรงถึงอย่างสม่ำเสมอปราศจากแรงบิดหรือแรงเฉือนซึ่งเกิดจากการเอียงศูนย์ของชิ้นงานทดสอบในหัวจับยึด

- จุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์การทดลอง ลักษณะของจุดเชื่อมต่อที่หลวมจะสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานเมื่อเริ่มทดสอบ จะพบว่าลักษณะกราฟส่วนหนึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวอนัน แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงของแรง ซึ่งระยะความยาวของเส้นในแนวอนันจะมีค่าเท่ากับระยะหรือขนาดของการ

หลวมของจุดต่อในอุปกรณ์ทดสอบ ในการแก้ไขการหลวมของจุดต่อนี้สามารถทำได้โดยการใส่สปริงไว้ด้านล่างของชุดต่อ บริเวณฐาน เพื่อที่จะดันให้สลักชิดแน่นกับรูสวมของชุดปากจับ และมีการใช้แหวนล็อกสำหรับการหมุนเพื่อทำการ ล็อกจุดต่างๆให้แน่นทั้งด้านล่างและด้านบน

- การเก็บข้อมูล ความสมบูรณ์ในการเก็บข้อมูลการทดสอบถือว่าเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นจากสามเหตุไม่ว่าจะเป็นความผิดพลาดของผู้ทดสอบหรือจากเครื่องมือทดสอบ อิทธิพลที่มีผลต่อระบบ ได้แก่ การตั้งค่าอัตราเร็วในการเก็บข้อมูล การตั้งอัตราเร็วในการทดสอบ และความสามารถของเครื่องมือในการเก็บข้อมูล การทดสอบจะต้องเลือกอัตราเร็วในการเก็บข้อมูลให้สัมพันธ์กับอัตราเร็วในการทดสอบไม่มากหรือน้อยจนเกินไป และจะต้องตรวจสอบด้วยว่าไม่เกินความสามารถของเครื่องเก็บข้อมูลด้วยอัตราเร็วดังกล่าว

- อัตราเร็วในการทดสอบ ในการทดสอบแรงดึงจะต้องควบคุมอัตราเร็วในการทดสอบ ซึ่งคืออัตราความเร็วของครอส เฮดนั้นเองวัสดุแต่ละประเภทจะมีอัตราความเร็วที่เหมาะสม สามารถดูได้จากมาตรฐานที่นำมาอ้างอิงในการทดสอบ ทุกครั้งที่ รายงานผลการทดสอบควรจะต้องมีการระบุถึงอัตราเร็วที่ใช้ในการทดสอบด้วย

- อุณหภูมิในการทดสอบ อุณหภูมิในการทดสอบสามารถส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุที่นำมาทดสอบ ดังนั้นจะต้อง ควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบให้คงที่ ทุกครั้งที่รายงานผลการทดสอบควรจะต้องมีการระบุถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบด้วย และผลการทดสอบที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ต้องทดสอบที่อุณหภูมิเดียวกัน

2.6.2 ASTM D638 เป็นมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงของพลาสติก

ใช้ทดสอบร่วมกับเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) โดยมีการเลือกประเภทและขนาดของชิ้น ทดสอบดังนี้

1. พลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่น จาน และแม่พิมพ์พลาสติก
2. พลาสติกแข็ง (Rigid) และกึ่งแข็ง (Semi rigid)
 - Type I เมื่อวัสดุมีความหนาแน่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 มิลลิเมตร
 - Type II เมื่อไม่สามารถดึงส่วนที่แคบที่สุด(Narrow Section)ขนาดได้ตาม Type I
 - Type III เมื่อวัสดุมีความหนาแน่นมากกว่า 7 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 14 มิลลิเมตร
 - Type IV เมื่อต้องการเปรียบเทียบการทดสอบกับพลาสติกจำพวก กึ่งแข็ง (Semi rigid) และอ่อนตัว (Non rigid)
 - Type V ใช้กับวัสดุที่มีข้อจำกัด และมีความหนา 4 มิลลิเมตร

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ประชากร เช่น การเปรียบเทียบผลผลิตเฉลี่ยของเครื่องจักร 2 เครื่อง โดยใช้ตัวอย่างสุ่ม 2 กลุ่ม ที่สุ่มมาจากแต่ละประชากรอย่างเป็นอิสระกัน จะใช้ตัวสถิติทดสอบ Z หรือ t แต่ถ้าต้องการเปรียบเทียบผลผลิตเฉลี่ยของเครื่องจักร 3 เครื่อง ถ้าใช้ตัวสถิติทดสอบ Z หรือ t จะต้องทำการทดสอบ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยครั้งละคู่ เป็นจำนวน 3 ครั้ง หรือ 3 คู่ ดังสมการที่ 2.6(a) ,(b) ,(c) [30] ซึ่งทำให้เสียเวลาในการ ทดสอบค่อนข้างมาก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \quad (2.6 \text{ (a)})$$

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_2 &= \mu_3 \\ H_1 : \mu_2 &\neq \mu_3 \end{aligned} \quad (2.6 \text{ (b)})$$

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_3 \\ H_1 : \mu_1 &\neq \mu_3 \end{aligned} \quad (2.6 \text{ (c)})$$

จึงมีการนำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป โดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว สมมติฐานในการทดสอบ ดังสมการที่ 2.7 [30]

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 = \mu_3 \\ H_1 : \mu_i &\neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่ ; } i \neq j \end{aligned} \quad (2.7)$$

ถ้าผลการทดสอบสมมติฐานคือ ปฏิเสธ $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ หรือยอมรับ $H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$ แสดงว่ามี $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ แต่จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพียงเท่านี้ ยังไม่ทราบค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ไหนบ้างที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็น $\mu_1 \neq \mu_2$ หรือ $\mu_2 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_1 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมต่อไปว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ไหนบ้างที่มีความแตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison) แต่ถ้าผลการทดสอบสมมติฐานคือ ยอมรับ $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ แสดงว่า $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

2.7.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือแบบมีปัจจัยเดียว (One-Way Analysis of Variance or Single Factor Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือแบบมีปัจจัยเดียวเป็นการจำแนกข้อมูลด้วยตัวแปรเดียวหรือปัจจัยเดียว ดังนั้นการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลจะพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลเพียงปัจจัยเดียวหรือเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างกันของระดับต่างๆของปัจจัย วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือปัจจัยเดียวคือการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรที่ได้รับปัจจัยระดับต่างๆ ตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป หรือทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป โดยถือว่าหน่วยทดลองที่ได้จากปัจจัยระดับหน่วยเป็นประชากรหนึ่ง และหน่วยทดลองที่ได้รับปัจจัยอีกระดับหนึ่งเป็นอีกประชากรหนึ่ง

ข้อกำหนดเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป จะต้องมียุทธศาสตร์เบื้องต้นดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
2. ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจะต้องเท่ากัน
3. ความคลาดเคลื่อนจะต้องเป็นอิสระกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design Analysis of Variance: CRD ANOVA)

สมมติว่ามีระดับที่แตกต่างกัน a ระดับ ของปัจจัยเดียวที่ต้องการเปรียบเทียบในบางครั้งแต่ละระดับปัจจัยหรือเรียกว่า ทรีทเมนต์(Treatment) แต่ละทรีทเมนต์มีจำนวนค่าสังเกต (n) เท่ากัน

ตัวแบบ (Model) ดังสมการที่ 2.8 [30]

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (2.8)$$

ซึ่ง Y_{ij} = ค่าสังเกตที่ j ได้รับทรีทเมนต์ที่ i
 μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (overall mean) หรือ ค่าเฉลี่ยรวม (grand mean)
 τ_i = อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i (the i^{th} treatment effect)
 ϵ_{ij} = ส่วนประกอบของความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม(random error component)

จะสังเกตเห็นได้ว่าอาจเขียนตัวแบบใหม่ได้ดังสมการที่ 2.9 [30] ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (2.9)$$

โดยที่ $\mu_i = \mu + \tau_i$ เป็นค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ที่ i ตัวแบบในรูปแบบนี้ แต่ละทรีทเมนต์อธิบายประชากรหนึ่งที่มีค่าเฉลี่ย μ_i ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยทั้งหมด μ บวกกับอิทธิพลทรีทเมนต์ τ_i สมมติว่าความคลาดเคลื่อน ϵ_{ij} มีการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวน σ^2 ดังนั้นแต่ละทรีทเมนต์มาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย μ_i และความแปรปรวน σ^2

สมการที่ 2.9 เป็นตัวแบบของการทดลองแบบมีปัจจัยเดียว (Single-factor experiment) นอกจากนี้ ค่าสังเกตถูกเลือกมาอย่างสุ่มและการให้ทรีทเมนต์แก่หน่วยทดลอง (Experimental unit) เป็นแบบสุ่มเสมอเท่าที่จะเป็นไปได้ การวางแผนแบบนี้ เรียกว่า การวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design)

การเลือกระดับต่างๆของปัจจัย a ระดับ ในการทดลอง สามารถเลือกได้ 2 วิธีที่แตกต่างกัน

1. ทรีทเมนต์ a ทรีทเมนต์ เลือกมาอย่างเจาะจงจากประชากร ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ การสรุปผลไม่สามารถขยายขอบเขตไปยังทรีทเมนต์ที่เหมือนกันที่ไม่ได้พิจารณา ตัวแบบนี้เรียกว่า ตัวแบบอิทธิพลกำหนด
2. ทรีทเมนต์ a ทรีทเมนต์ เลือกมาอย่างสุ่มจากประชากรของทรีทเมนต์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก การสรุปผลสามารถขยายขอบเขตไปยังทรีทเมนต์อื่นๆในประชากรได้ไม่ว่าทรีทเมนต์นั้นจะถูกใช้ในการทดลองหรือไม่ก็ตาม อิทธิพลทรีทเมนต์ τ_i เป็นตัวแปรสุ่มจะทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแปรผันของ τ_i และประมาณค่าแปรผันนี้ ตัวแบบนี้เรียกว่า ตัวแบบอิทธิพลสุ่ม (Random-effects model) หรือส่วนประกอบของความแปรปรวนโดยได้ข้อมูลดังตารางที่ 2.8 [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้นิติศาสตร์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลสำหรับการทดลองแบบปัจจัยเดียว [30]

ทรีทเมนต์	ค่าสังเกต						รวม	เฉลี่ย
	1	2	...	j	...	n		
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1j}	...	y_{1n}	y_1	\bar{y}_1
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2j}	...	y_{2n}	y_2	\bar{y}_2
.
.
.
i	y_{i1}	y_{i2}	...	y_{ij}	...	y_{in}	y_i	\bar{y}_i
.
.
.
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{aj}	...	y_{an}	y_a	\bar{y}_a
							$y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

ซึ่ง y_{ij} = ค่าสังเกตที่ j ของทรีทเมนต์ i
 $y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}$ = ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมดของทรีทเมนต์ที่ i
 $\bar{y}_i = \frac{y_i}{n}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมดของทรีทเมนต์ที่ i
 $y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}$ = ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด
 $\bar{y}_{..} = \frac{y_{..}}{an}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

2.7.3 การวิเคราะห์ทางสถิติของตัวแบบอิทธิพลกำหนด (Statistical Analysis of the Fixed-Effects Model)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับตัวแบบอิทธิพลกำหนด อิทธิพลของทรีทเมนต์ τ_i เป็นการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด (μ) ดังสมการที่ 2.10 [30]

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \tag{2.10}$$

ในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์ a คือจาก $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$ สมการที่ 2.10 จะพบว่าสมการนี้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน ดังสมการที่ 2.11 [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \quad (2.11)$$

ถ้าสมมติฐานหลักเป็นจริง ค่าสังเกตแต่ละค่าประกอบด้วยค่าเฉลี่ยทั้งหมด μ บวกกับส่วนประกอบความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม ϵ_{ij} ซึ่งสอดคล้องกับค่าสังเกตทั้งหมด an ค่าถูกสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 ดังนั้นถ้าสมมติฐานหลักเป็นจริง การเปลี่ยนระดับต่างๆของปัจจัยจะไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แยกความแปรผันทั้งหมดในข้อมูลตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ดังนั้นการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ มีรากฐานอยู่บนการเปรียบเทียบค่าประมาณที่เป็นอิสระกัน 2 ค่า ของความแปรปรวนของประชากรความแปรผันทั้งหมดในข้อมูลคือผลบวกกำลังสองของยอดรวม ดังสมการที่ 2.12 [30] ดังนี้

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \quad (2.12)$$

การแยกผลบวกกำลังสองของยอดรวมทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n [(\bar{y}_1 - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_1)]^2 \\ &= n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_1 - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_1)^2 + 2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_1 - \bar{y}_{..})(y_{ij} - \bar{y}_1) \end{aligned}$$

เทอมผลคูณ $2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_1 - \bar{y}_{..})(y_{ij} - \bar{y}_1) = 0$

เนื่องจาก $\sum_{j=1}^n (\bar{y}_1 - \bar{y}_1) = \sum_{j=1}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n \bar{y}_1 = y_i - n\bar{y}_1$
 $= y_i - n(\frac{y_i}{n}) = 0$

ดังนั้น $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_1 - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_1)^2 \quad (2.13)$

จากสมการที่ 2.13 [30] พบว่า ผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด จะเท่ากับผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์กับค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด บวกกับผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตแต่ละค่าภายในทรีทเมนต์หนึ่งๆกับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์กับค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมดใช้วัดความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ ในขณะที่ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตแต่ละค่าภายในทรีทเมนต์หนึ่งๆกับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เนื่องมาจากค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม สามารถเขียนในรูปสัญลักษณ์ดังสมการที่ 2.14 [30]

$$SST = SSTr + SSE \quad (2.14)$$

- ซึ่ง SST = ผลบวกกำลังสองของยอดรวม (Total sum of squares)
- SSTr = ผลบวกกำลังสองของทรีทเมนต์ (Treatment sum of squares)
- SSE = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error sum of squares)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในคำนวณสำหรับผลบวกกำลังสองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีทเมนต์เท่ากัน ดังสมการที่ 2.15 ,2.16 ,2.17 [30]

$$1. SST = \sum_{n=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{an} \quad (2.15)$$

$$2. SSTR = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{an} \quad (2.16)$$

$$3. SSE = SST - SSTR \quad (2.17)$$

การหาค่าคาดหวังของ SSTR และ SSE จะนำไปสู่ตัวสถิติที่เหมาะสมสำหรับทดสอบสมมติฐานของการไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ หรือ $T_i = 0$

ค่าคาดหวังของผลบวกกำลังสองของทรีทเมนต์ดังสมการที่ 2.18 [30]

$$E(SSTR) = (a-1)\sigma^2 + n\sum_{i=1}^a T_i^2 \quad (2.18)$$

ถ้าสมมติฐานหลัก $H_0 : T_1 = T_2 = \dots = T_a = 0$ เป็นจริงจะได้ ดังสมการที่ 2.19

$$E\left(\frac{SSTR}{a-1}\right) = \sigma^2 \quad (2.19)$$

ถ้าสมมติฐานรอง $H_1 : T_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เป็นจริงจะได้ ดังสมการที่ 2.20

$$E\left(\frac{SSTR}{a-1}\right) = \sigma^2 + \frac{n\sum_{i=1}^a T_i^2}{a-1} \quad (2.20)$$

อัตราส่วน $MSTR = \frac{SSTR}{a-1}$ เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสองของทรีทเมนต์ (Treatment mean square)

ดังนั้น ถ้า H_0 เป็นจริง แล้ว MSTR จะเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ σ^2 ในขณะที่ถ้า H_1 เป็นจริง แล้ว MSTR จะเป็นค่าประมาณของ σ^2 บวกกับเทอมที่เป็นบวกซึ่งรวมความแปรผันอันเนื่องมาจากความแตกต่างที่เป็นระบบในค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ โดยใช้วิธีการคล้ายคลึงกัน สามารถแสดงได้ว่าค่าคาดหวังของผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน จะได้ ดังสมการที่ 2.21

$$E(SSE) = a(n-1) \quad (2.21)$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error mean square) $MSE = \frac{SSE}{a(n-1)}$ จะเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ σ^2 เสมอ โดยไม่คำนึงถึงว่า H_0 จะเป็นจริงหรือไม่ก็ตาม

มีการแยกส่วนของจำนวนองศาความเป็นอิสระที่สอดคล้องกับผลบวกกำลังสองนั้นคือ ค่าสังเกตทั้งหมดของ an ค่า ดังนั้น SST มีองศาความเป็นอิสระ $an-1$ มีระดับต่างๆของปัจจัย a ระดับ ดังนั้น SSTR มีองศาความเป็นอิสระ $a-1$ และ $(n-1)$ ด้านการคำนวณค่า F นี้เป็นการคำนวณค่า F ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าง H_0 ว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เท่ากันหรือไม่ การคำนวณค่า F นี้เป็นการคำนวณค่า F ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าง H_0 ว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เท่ากันหรือไม่ การคำนวณค่า F นี้เป็นการคำนวณค่า F ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าง H_0 ว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เท่ากันหรือไม่

ภายในทรีทเมนต์หนึ่งๆมี n ซ้ำ ซึ่งจะมียุทธศาสตร์ความเป็นอิสระ $n-1$ เพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง เนื่องจากมี a ทรีทเมนต์ ดังนั้น SSE มียุทธศาสตร์ความเป็นอิสระ $a(n-1)$ นั่นคือ การแยกองศาความเป็นอิสระออกได้ จะได้ ดังสมการที่ 2.22

$$an-1 = a-1 + a(n-1) \quad (2.22)$$

สมมติว่าแต่ละประชากร a ประชากร มีการแจกแจงแบบปกติ การใช้ข้อสมมตินี้สามารถแสดงได้ว่าถ้าสมมติฐานหลัก H_0 เป็นจริงจะได้ ดังสมการที่ 2.23

$$F = \frac{SSTr / a - 1}{SSE / a(n - 1)} = \frac{MSTr}{MSE} \quad (2.23)$$

โดยจะมีการแจกแจงแบบ F ด้วยองศาความเป็นอิสระ $a-1$ และ $a(n-1)$ นอกจากนี้จากค่าคาดหวังกำลังสองเฉลี่ย ทำให้ทราบว่า MSE เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ σ^2 และภายใต้สมมติฐานหลัก $MSTr$ จะเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ σ^2 ด้วย โดยจะได้ดังตารางที่ 2.9 [30]

ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ตัวแบบอิทธิพลกำหนด [30]

แหล่งความแปรปรวน	Df	SS	MS	F
ทรีทเมนต์	$a-1$	SSTr	MSTr	$\frac{MSTr}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$a(n-1)$	SSE	MSE	
รวม	$an-1$	SST		

อย่างไรก็ตาม ถ้าสมมติฐานหลักเป็นเท็จ แล้วค่าคาดหวังของ $MSTr$ จะมีค่ามากกว่า σ^2 ดังนั้น ภายใต้สมมติฐานรอง ค่าคาดหวังของตัวตั้งของตัวสถิติทดสอบจะมีค่ามากกว่าค่าคาดหวังของตัวหาร นั่นคือ จะปฏิเสธ H_0 ถ้าตัวสถิติทดสอบมีค่ามาก หรือจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{\alpha, a-1, a(n-1)}$

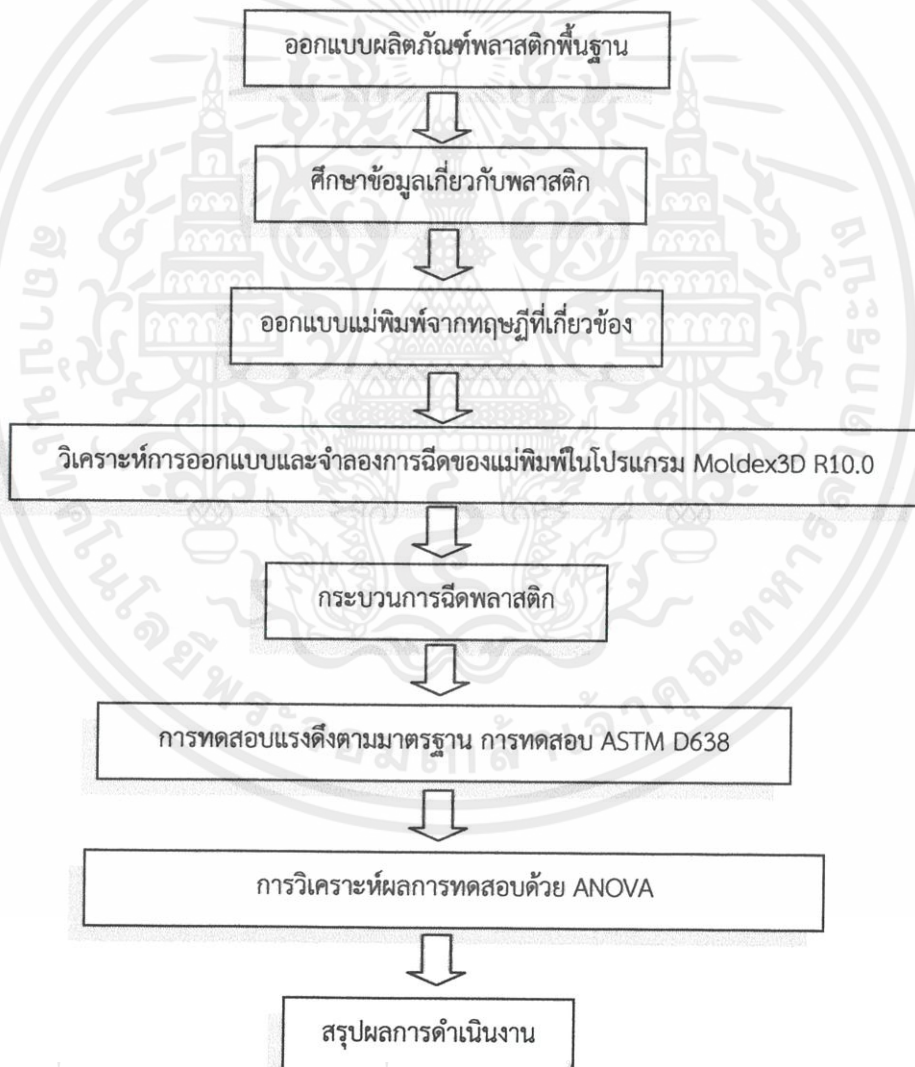
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง

3.1 การวางแผนดำเนินงาน

ขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงานสามารถสรุปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวางแผนและดำเนินงาน

ระยะที่ 1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกพื้นฐาน เช่น ส่วนโค้ง, รัศมี, ความหนาของผนัง ค่าพิกัดมาตรฐานทั่วไป สำหรับความหนาของพลาสติก, ครีบ (Ribs), ปุ่ม (Bosses), เส้นต่อชิ้นส่วน (Parting Line) และ มุมสอบ (Draft angle) เป็นต้น

ระยะที่ 2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับพลาสติก เช่น ประเภทของพลาสติก, คุณสมบัติพื้นฐาน เป็นต้น

ระยะที่ 3 ศึกษาทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ เช่น แบบควาวิต, แบบรูว้าง, แบบรูเข้า, ระบบทางวิ่ง, ระบบหล่อเย็น, ระบบปลดชิ้นงาน, ระบบระบายอากาศในแม่พิมพ์ และวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

ระยะที่ 4 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 จากคู่มือการใช้ ทดสอบผลวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์และวิเคราะห์ผลการจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม

ระยะที่ 5 ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องฉีด, วิธีการใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกจากคู่มือการใช้ตั้ง ค่าเครื่องฉีดพลาสติกที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมดในระบบควบคุม และทำการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้เครื่องฉีดรุ่น TOSHIBA IS 80 EPN ที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ระยะที่ 6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine), การทดสอบแรงดึง, มาตรฐานการทดสอบแรงดึง, คุณสมบัติของพลาสติก และทำการทดสอบแรงดึง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Shimadzu ขึ้นทดสอบพลาสติกตามมาตรฐาน ASTM D638 หาแรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน

ระยะที่ 7 ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และนำมาวิเคราะห์ทดสอบสมมติฐานว่าเวลาหล่อเย็นมีผลต่อความแข็งแรงประจําพลาสติกหรือไม่ โดยใช้ F-test ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ระยะที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

ระยะที่ 1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบ Cavity ที่เหมาะสมกับชิ้นงานพลาสติก

ระยะที่ 2 ศึกษาทฤษฎีแม่พิมพ์ 2 แผ่น

ระยะที่ 3 ศึกษาทฤษฎีตำแหน่งของควาวิตแบบสมดุล

ระยะที่ 4 ศึกษาทฤษฎีระบบรูเข้า

ระยะที่ 5 ศึกษาทฤษฎีระบบหล่อเย็นแบบน้ำ

ระยะที่ 6 ศึกษาทฤษฎีระบบปลดชิ้นงานแบบเข็มกระทุ้ง

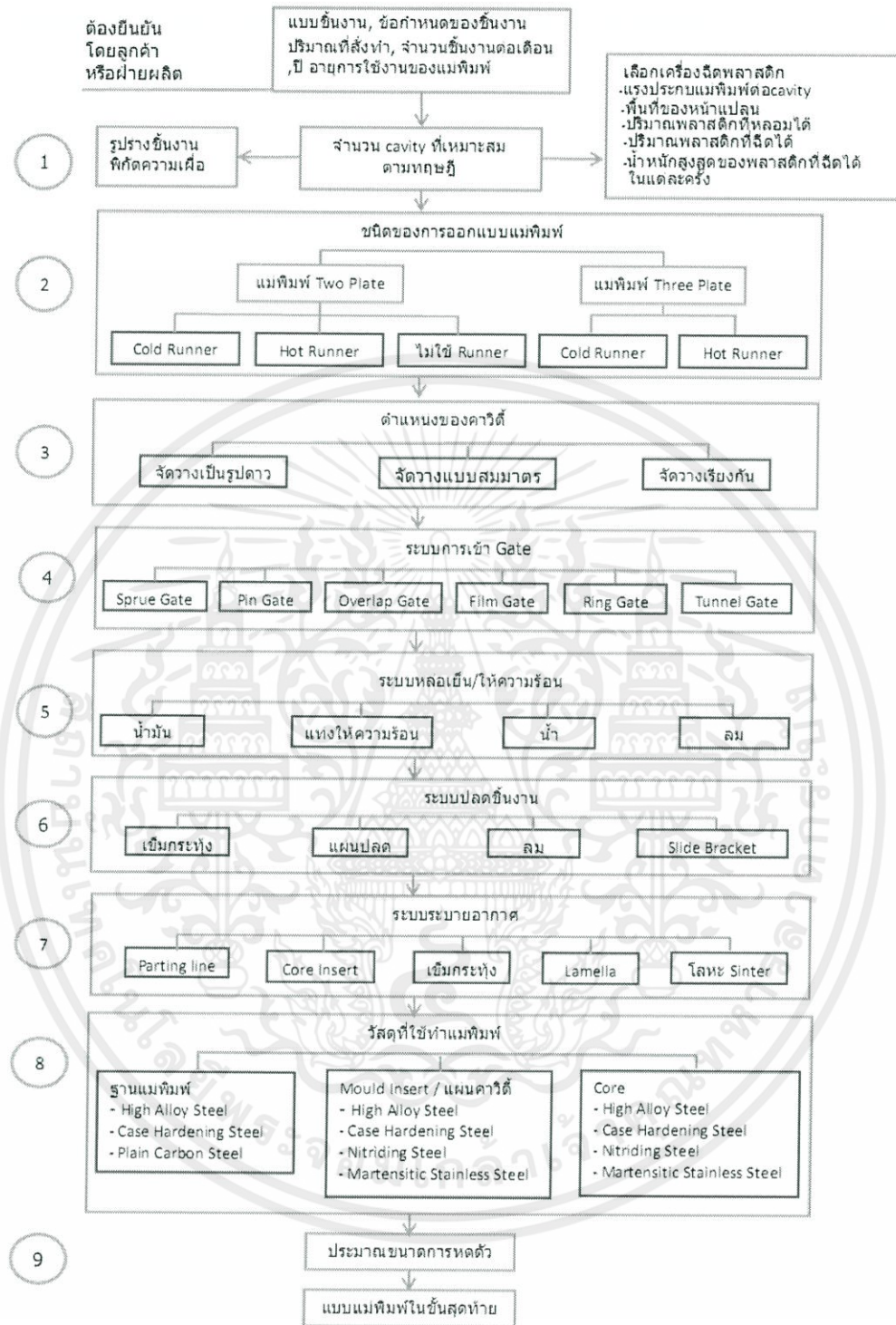
ระยะที่ 7 ศึกษาทฤษฎีระบบระบายอากาศ

ระยะที่ 8 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

ระยะที่ 9 วิเคราะห์ผลการออกแบบในโปรแกรม Moldex3DR10.0 Design

โดยมีขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการออกแบบชิ้นงานโดยศึกษาตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทำการออกแบบชิ้นงานประเภทพลาสติกเบอร์ 10 โดยต้องทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆในการออกแบบชิ้นงาน ดังนี้

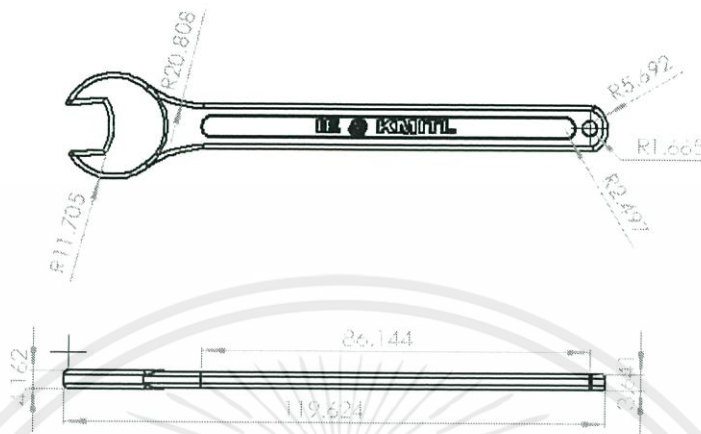
- การออกแบบรูปร่างชิ้นงานประเภทให้เหมาะสมสำหรับการไหลของพอลิเมอร์เหลว โดยประเภทพลาสติกเป็นพอลิโพรพิลีนซึ่งจะมีความหนาได้สูงสุดไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดความหนามาตรฐานทั่วไปสำหรับพลาสติกชนิดต่างๆที่นิยมใช้

พลาสติก (TP)	ความหนา(หน่วย m.m.)	
	ต่ำสุด	สูงสุด
Acetal	0.4	3
ABS	0.79	3
Acrylic	0.49	6
Cellulosics	0.49	4
FEP Fluoroplastic	0.35	12
Nylon	0.4	3
Polycarbonate	0.85	9
Polyethylen(L.D.)	0.45	6
Polyethylen(H.D.)	0.82	6
Ethylene Vinyl Acetate	0.45	3
Polypropylene	0.49	7
Polysulfone	0.85	9
Noryl(Modif PPO)	0.79	9
Polystyrene	0.79	6
SAN	0.79	6
PVC-	0.85	9
Polyurethane	0.49	35
Surlyn(Tonomer)	0.49	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออกแบบชิ้นงานประแจพลาสติกเบอร์ 10 ที่ได้จากการศึกษารายละเอียดต่างๆในการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบชิ้นงานประแจพลาสติกเบอร์ 10

- ใช้เทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีด Polypropylene (PP) ของบริษัท ExxonMobil เกรด Exxtral BMT 106 ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Polypropylene เกรด Exxtral BMT 106

Material type	Thermoplastic
Generic name	PP
Supplier	ExxonMobil
Trade name	Exxtral BMT 106
MFI	MFI(230,2.16) = 9 g/10min
Fiber percent	10.00 (%)
Melt temperature range	190 - 270 (°C)
Mold temperature range	20 - 50 (°C)
Ejection temperature	108 (°C)
Freeze temperature	128 (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

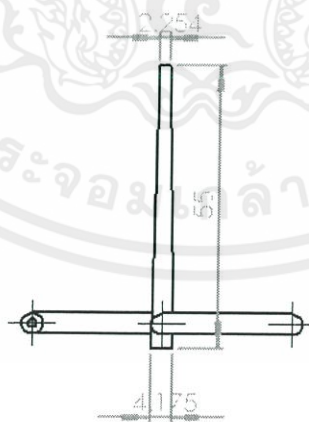
- ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องฉีดและวิธีการใช้ โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม รุ่น TOSHIBA IS 80 EPN ดังแสดงในรูปที่ 3.4 มีรายละเอียดดังนี้

แรงปิดล็อกของแม่พิมพ์	80 Ton.
เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู	32 mm.
ปริมาตรการฉีดสูงสุด	142 g.
ความดันสูงสุดในการฉีด	199 MPa.
อัตราฉีด	112 cm ² /sec.



รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดพลาสติก TOSHIBA IS 80 EPN

2. ออกแบบแกนรูฉีดให้มีหน้าตัดเป็นรูวงกลมแกนรูฉีดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ดริ์ฟพุ่มให้มีความเร็ว 5 องศา มีความยาว 55 มิลลิเมตรและมีบ็อกกัเก็บพลาสติกอยู่ด้านท้ายมีความยาวเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การออกแบบรูฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออกแบบชนิดแม่พิมพ์และทางวิ่งให้เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยการทดลองนี้จะกำหนดให้ แม่พิมพ์ประเภท 2 แผ่น แบบทางวิ่งเย็น ฉีดพอลิเมอร์เหลวเข้าทางเดียว โครงสร้างแม่พิมพ์จะประกอบด้วย 2 ด้านคือ ด้านเข้า และด้านคอร์ ออกแบบรูปหน้าตัดของทางวิ่ง เป็นรูปหน้าตัดวงกลม เพราะว่ามีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัด อัตราเย็นตัวช้าที่สุด การสูญเสียความร้อนและแรงเสียดทานน้อย แกนกลางของช่องจะแข็งตัวช้ากว่าส่วนอื่น จึงให้แรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้สูตรจากทฤษฎีในคำนวณหาขนาดของหน้าตัดทางวิ่ง เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม โดยสูตรความสัมพันธ์ที่ใช้ในการกำหนดขนาดของ ทางวิ่ง ดังสมการที่ (2.6) [21]

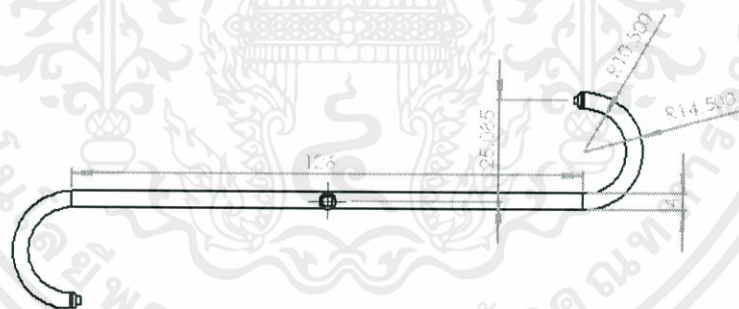
$$D = S_{\max} + 1.5 \quad (2.6)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของทางวิ่ง (มิลลิเมตร)

S_{\max} = ความหนาสูงสุดของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

เนื่องจากสูตรนี้ไม่ได้คำนึงถึงรูปร่างของชิ้นงาน และคุณสมบัติการไหลของพลาสติก โดยคิดจากความหนาของผนังอย่างเดียว การใช้งานจึงถูกจำกัดในชิ้นงานขนาดเล็กเท่านั้น

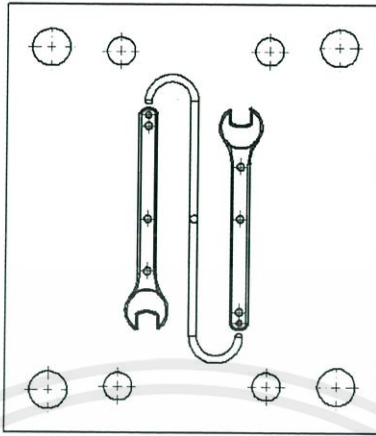
จากผลคำนวณจะได้ $D = 4 + 1.5 = 5.5$ มิลลิเมตร แต่การทดลองในครั้งนี้จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เพราะเมื่อนำมาจำลองการฉีดในโปรแกรม Moldex3DR10.0 ซึ่งจะจำลองการฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบเทียบเวลาในการหล่อเย็น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทางวิ่งที่ 4 มิลลิเมตรจะมีค่าน้อยที่สุด จึงออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ยาว 126 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบทางวิ่ง

4. ออกแบบควาวิตี้ โดยการกำหนดตำแหน่งของควาวิตี้ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยการทดลองนี้จะกำหนดให้มีการจัดวางแบบสมมาตร 2 ควาวิตี้ เพื่อสมดุลในการวิ่งของพอลิเมอร์เหลว ดังแสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



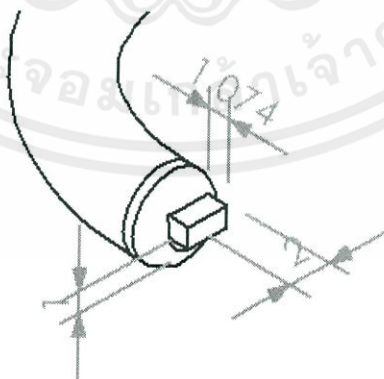
รูปที่ 3.7 แบบควาวิดี

5. ออกแบบรูเข้า โดยการทดลองนี้ออกแบบให้เป็นรูเข้าแบบขอบสี่เหลี่ยม โดยสูตรความสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาขนาดของรูเข้า ดังสมการที่ (2.2) [24]

$$h = n \cdot t \quad (2.2)$$

เมื่อ h = ความลึกของรูเข้า (มิลลิเมตร)
 t = ความหนาของผนัง (มิลลิเมตร)
 n = ค่าคงที่ของวัสดุ (มิลลิเมตร)

จากผลการคำนวณ $h = 0.7 \times 3.5 = 2.45$ มิลลิเมตร ค่าประมาณ 2 มิลลิเมตร ความยาวของรูเข้าจะใช้อยู่ระหว่าง 0.75 มิลลิเมตร – 1.5 มิลลิเมตร เลือกใช้ความยาวที่ 1 มิลลิเมตรเพื่อความเหมาะสม ได้รูเข้าขนาด 2x1x1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8



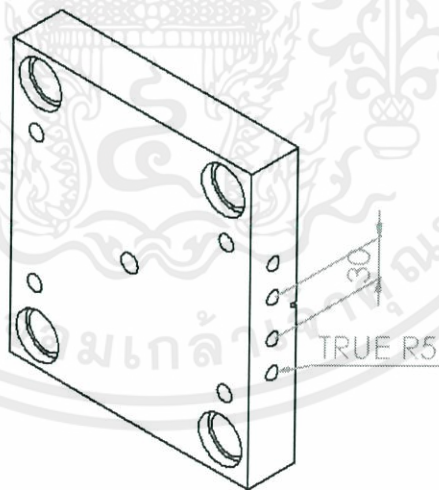
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ที่โรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.8 รูเข้าแบบขอบสี่เหลี่ยม
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ออกแบบระบบหล่อเย็น โดยการทดลองนี้จะกำหนดให้มีการใช้น้ำในการหล่อเย็น และชิ้นงานประแจพลาสติกมีการจะกำหนดขนาดของช่องหล่อเย็น ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การกำหนดขนาดของระบบหล่อเย็น

ความหนาของชิ้นงาน; W (mm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำหล่อเย็น; dT(mm)
< 2	8 - 10
< 4	10 - 12
< 6	12 - 15
ระยะห่าง $h = 2-3$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหล dT	
ระยะห่าง $c = 3$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหล dT	
ในกรณีที่ไม่ว่าจำกัดในเรื่องของการออกแบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทางไหลควร จะมากกว่าระยะห่างระหว่างทางการไหลแต่ละช่อง	

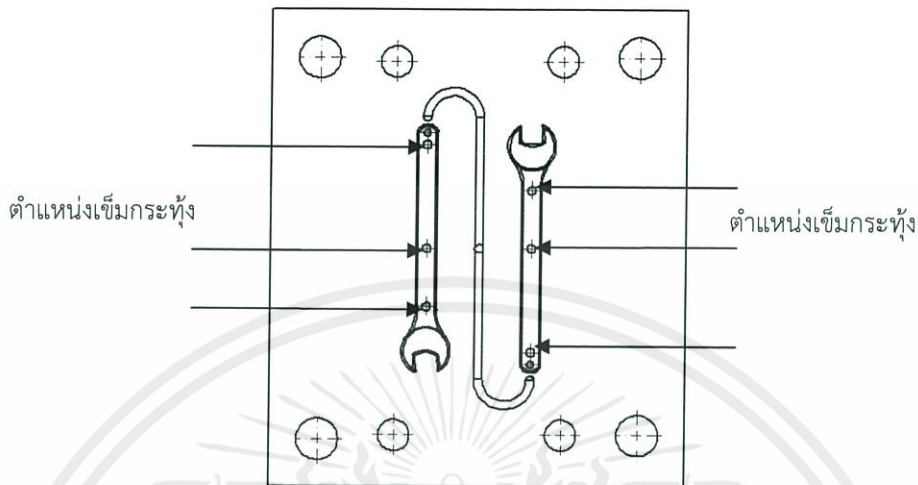
ชิ้นงานประแจพลาสติกมีความหนาของชิ้นงาน 3.5 – 4 มิลลิเมตร เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำหล่อเย็น 10 มิลลิเมตร ระยะห่าง $h = 3 \times 10 = 30$ มิลลิเมตร ระยะห่าง $c = 3 \times 10 = 30$ มิลลิเมตร จำนวนช่องหล่อเย็น 4 ช่อง มีระยะห่างช่องละ 30 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ระบบหล่อเย็น

7. ออกแบบระบบปลดชิ้นงานเพื่อนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เลือกใช้แบบเข็มกระทุ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของงานวิจัยการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาของศูนย์วิจัยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ระบบปลดชิ้นงาน

8. เลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์และกำหนดขนาดแม่พิมพ์ตามมาตรฐาน โดยวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ของการทดลองคือ Carbon Steel S55C ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทั่วไปของ Carbon Steel เกรด S55C

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Mn	Si	P	S
	0.52 - 0.58	0.60 - 0.90	≤ 0.40	≤ 0.030	≤ 0.035
AISI	1055				
JIS	S55C				
DIN	1.1203 (Ck 55/C 50 E)				
สภาพจำหน่าย	ทุบและอบปกติ ความแข็งไม่เกิน 255 HB				
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งด้วยน้ำ ความแข็ง 58 - 64 HRC				

S55C จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยอาจจัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนสูงได้ในกรณีที่มีปริมาณคาร์บอนเข้าใกล้ขีดจำกัดบนในส่วนผสมทางเคมี มีคุณสมบัติเด่นในด้าน มีความแข็งแรงสูง ความเหนียวแกร่งดี สามารถชุบแข็งให้ ความแข็งได้สูงถึง 58-64 HRC (as-quench hardness) เป็นเหล็กที่มีราคาถูกสามารถชุบขึ้นรูปได้ดี จึงนิยมใช้ในงาน

โครงสร้างพื้นฐานหลายอย่าง ทั้งทางด้านงานเครื่องจักรกล งานยานพาหนะตลอดจนงานแม่พิมพ์ ส่วนประกอบแม่พิมพ์ และยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับจำนวนการผลิตที่ไม่สูงมากนัก หรือทำส่วนประกอบในแม่พิมพ์พลาสติก

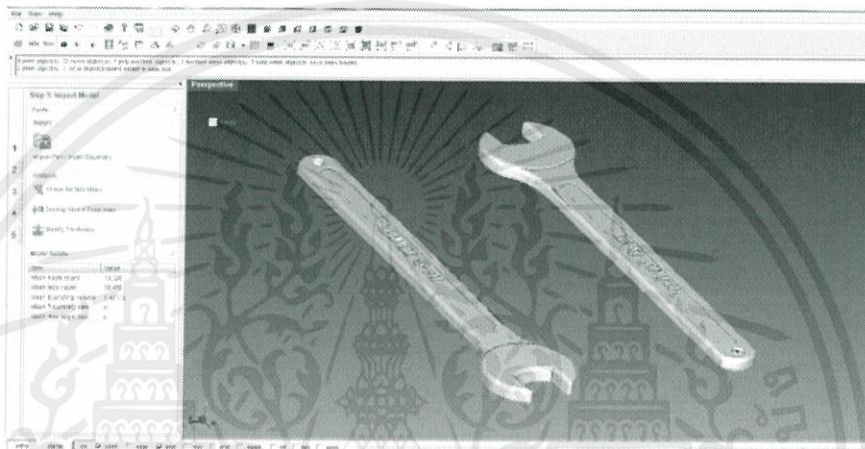
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ออกแบบชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 Designer

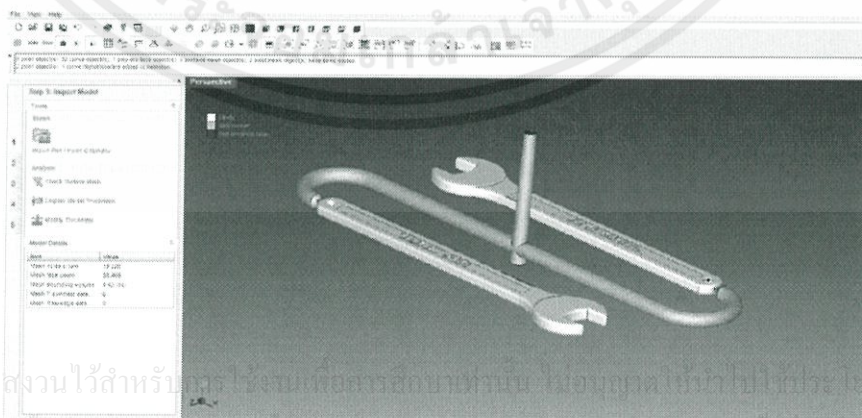
จากการศึกษาและทดลองออกแบบแม่พิมพ์จากทฤษฎีต่างๆทำให้ได้แม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงานแต่ก็ยังไม่มั่นใจว่าแม่พิมพ์ที่ออกแบบมานั้นใช้ได้จริงและเหมาะสมกับชิ้นงาน จึงต้องทำการวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 Designer เพื่อที่จะช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ วิเคราะห์ผลให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

1. เริ่มจากเปิดโปรแกรม click Moldex3D R10.0 Designer ทำการนำเข้า (Import) ชิ้นงานจากโปรแกรม Solid Work โดยจะต้องแปลงไฟล์จาก Solid Work (.SLDPRT) ให้เป็น .STL file เพื่อที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์การออกแบบในโปรแกรมได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



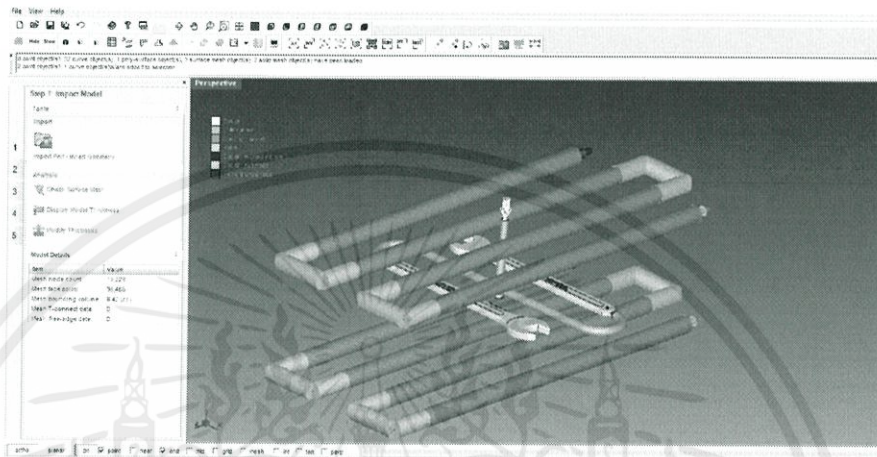
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่แปลงไฟล์จากโปรแกรม Solid Work ให้เป็น STL file

2. เลือก Set melt entrance / Build runner / เพื่อสร้างตำแหน่งรูเข้า (Gate) ที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ และตำแหน่งทางวิ่งของเพื่อวิเคราะห์ความดันที่ส่งผลกระทบต่อทางวิ่งของพอลิเมอร์ เลือกการกำหนดแบบ Wizard command เพื่อกำหนดลักษณะรูเข้า และกำหนดขนาดของ Sprue ให้ได้ตามมาตรฐาน เลือก Attribute : Cold Gate, เลือกชนิด Gate: Rectangular edge Gate กำหนดขนาด Gate Diameter = 2 mm. Gate Length = 1 mm. กำหนดขนาดของ Runner = 4 mm. ดังแสดงในรูปที่ 3.12

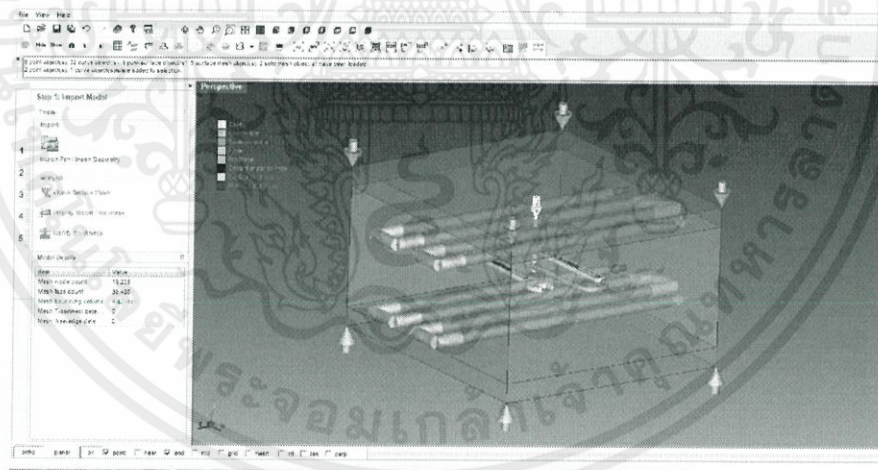


รูปที่ 3.12 กำหนดตำแหน่งรูเข้าและทางวิ่ง ที่เหมาะสม

3. ทำการสร้าง Mold base ของแม่พิมพ์โดยกำหนดขนาดความกว้างและความยาวตามขนาดมาตรฐานของ Mold base และกำหนดการวางตำแหน่งของระบบหล่อเย็น จากนั้นกำหนดทางเข้าและทางออกของระบบหล่อเย็น (Melt Entrance) กำหนดขนาดความกว้างและความยาวของ Mold base ดังนี้ $L = 200$ $W = 230$ Overall = 100 Cavity = 50 Core = 50 จากนั้นกำหนดทางเข้าและทางออกของระบบหล่อเย็น $D = 10$ $c = 30$ $n = 4$ $h = 30$ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 กำหนดทางเข้าและทางออกของระบบหล่อเย็น



รูปที่ 3.14 ทำการสร้าง Mold base ของแม่พิมพ์

4. ทำการแบ่งเอลิเมนต์เพื่อการวิเคราะห์หรือที่เรียกว่า (Mesh) คือการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยการแบ่งเป็นรูปทรงเรขาคณิตเล็กๆทั่วทั้งชิ้นงานงานถือว่าเป็นการสิ้นสุดการวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์จากโปรแกรม Moldex3D R10.0 Designer จากนั้นทำการหลังจากที่ทำการ Save ไฟล์ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดเงื่อนไขต่างๆและวิเคราะห์การจำลองในการฉีด (Process condition) และชนิดของวัสดุ และระบบสมการต่างๆในการจำลองการฉีด โดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 ในขั้นตอนต่อไป

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์การจำลองการฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0

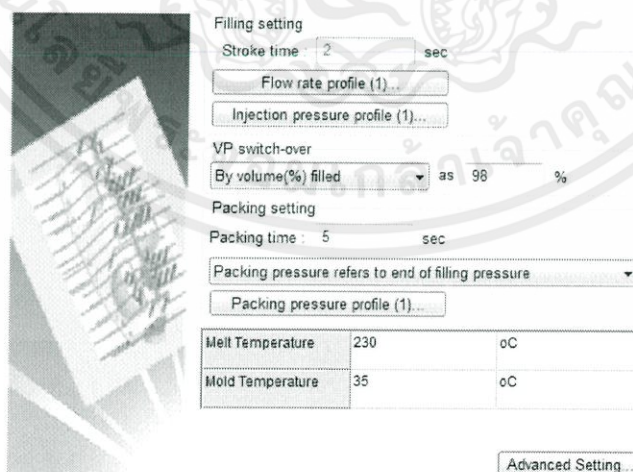
ใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 ช่วยในการวิเคราะห์จำลองการฉีดขึ้นรูป โดยในโปรแกรม สามารถจำลองการฉีดขึ้นรูป หาตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสม วิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงาน วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสมได้มี ขั้นตอนการวิเคราะห์การจำลองการฉีดดังนี้

1. ทำการสร้างกรวิจัยทำการเลือกชนิดรูปแบบในการฉีด Import ชิ้นงานที่ฉีดและทำการกำหนดเงื่อนไขจาก Moldex3D designer โดยจะสรุปชิ้นงาน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปส่วนประกอบของชิ้นงานประแจพลาสติก

No. cooling channel	2
Part dimension	121.33 x 4.01 x 72.85 (mm)
Mold dimension	230.00 x 90.63 x 200.00 (mm)
Cavity(Part) volume	8.3761 (cc)
Cold runner volume	2.92945 (cc)
Element number	191786
Part elements	191786
Node number	174764

2. การกำหนดเงื่อนไขในการฉีดต่างๆ เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการฉีด กำหนดเวลาในการฉีดกำหนดความดันที่ใช้ในการฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3.15 กำหนดความดันที่ใช้ในการฉีดย้ำ และการกำหนดเวลาในการฉีดย้ำจะสรุปการเลือกกำหนดเงื่อนไขในการฉีดไว้ ดังตารางที่ 3.6

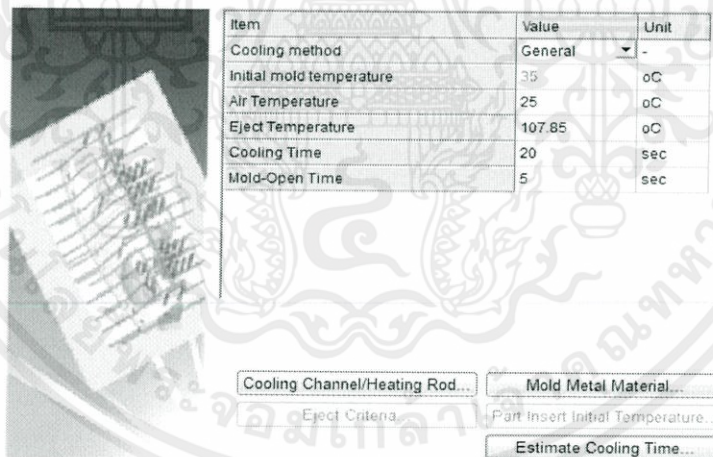


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 การกำหนดเครื่องฉีดพลาสติก เวลา ความดันที่ใช้ในการฉีด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 สรุปการกำหนดเงื่อนไขในการฉีด

Stroke Time	2.0 (sec)
Melt Temperature	230.0 (°C)
Mold Temperature	35.0 (°C)
Injection Pressure	199.0 (MPa)
Injection Volume	11.3055 (cc)
Packing Time	5.0 (sec)
Packing Pressure	199.0 (MPa)
VP Switch by volume(%) filled	98.0 (%)
Mold Opening Time	5.0 (sec)
Ejection temperature	107.8 (°C)
Air Temperature	25.0 (°C)

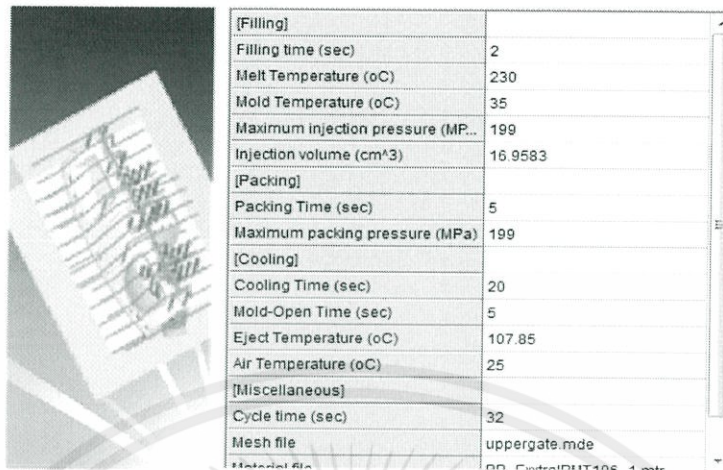
3. การกำหนดเงื่อนไขในการหล่อเย็น ชนิดการหล่อเย็น วิเคราะห์ประมาณเวลาในการหล่อเย็นและทำนายเวลาทางเข้าปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และชนิดเหล็กของแม่พิมพ์เลือกเป็นเหล็กชนิด S55C



รูปที่ 3.16 การกำหนดเงื่อนไขในการหล่อเย็น

4. จากการวิเคราะห์จำลองการฉีดจากการกำหนดเงื่อนไขทั้งหมดสามารถสรุป ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และการจำลองการฉีดขึ้นรูปใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



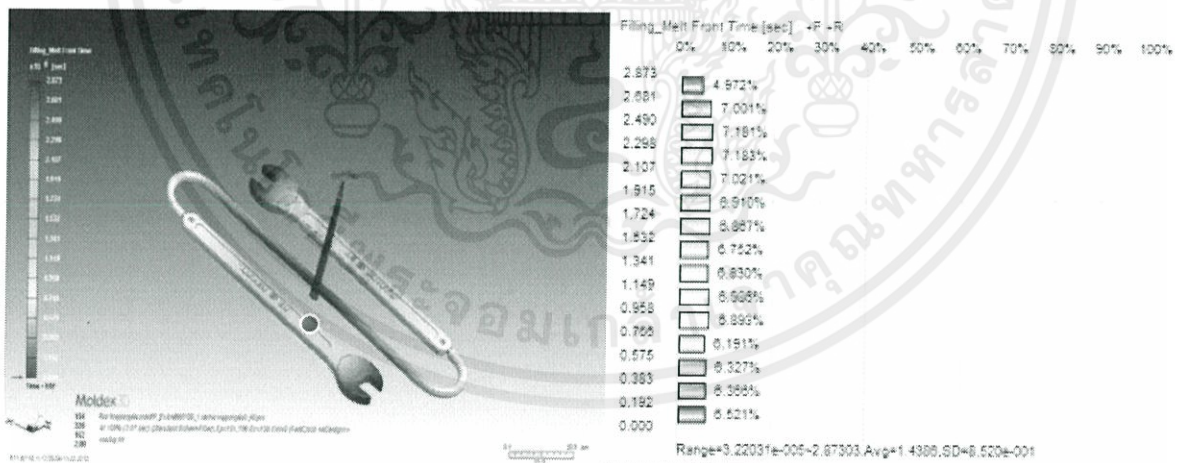
[Filling]	
Filling time (sec)	2
Melt Temperature (oC)	230
Mold Temperature (oC)	35
Maximum injection pressure (MPa)	199
Injection volume (cm ³)	16.9583
[Packing]	
Packing Time (sec)	5
Maximum packing pressure (MPa)	199
[Cooling]	
Cooling Time (sec)	20
Mold-Open Time (sec)	5
Eject Temperature (oC)	107.85
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	32
Mesh file	uppergate.mde
Material file	PP_Copolym1165_1.mtl

รูปที่ 3.17 การกำหนดเงื่อนไขทั้งหมดในการจำลองการฉีด

3.6 การตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหมดในระบบควบคุม

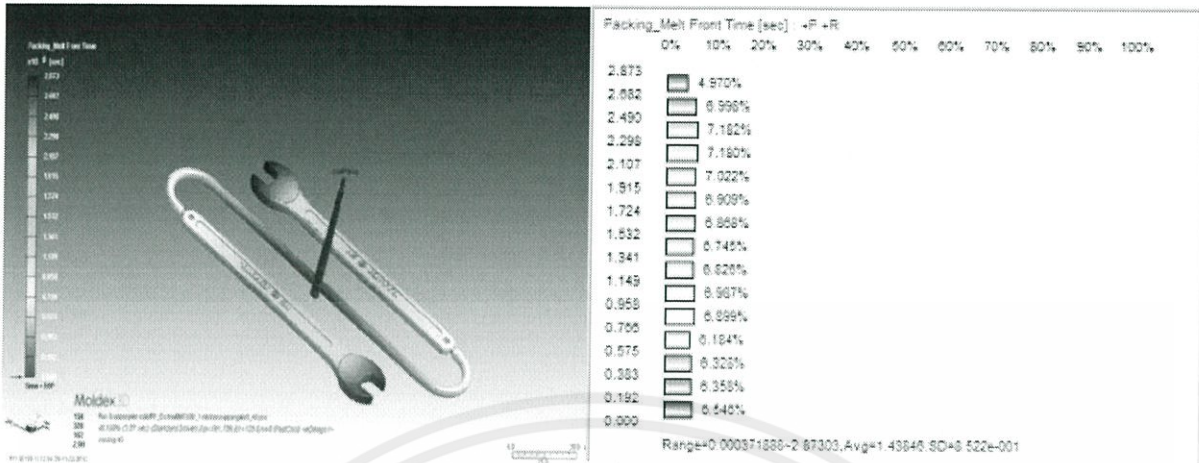
1. Timer function and Setting ตั้งค่าต่างๆได้ดังนี้

- Injection Time (TR1) การหาเวลาของ Injection Time เครื่องฉีดจะได้จากการนำผลวิเคราะห์การจำลองการฉีดจากโปรแกรม Moldex3d R10.0 ของ Filling time ดังแสดงในรูปที่ 3.18 บวกกับผลวิเคราะห์การจำลองการฉีดจากโปรแกรม Moldex3d R10.0 ของ Packing time ดังแสดงในรูปที่ 3.19 จะได้เวลาในการฉีดจริง ผลคำนวณที่ได้ $2.873 + 2.873 = 5.7456$ วินาที ใช้ค่าประมาณ 6 วินาที



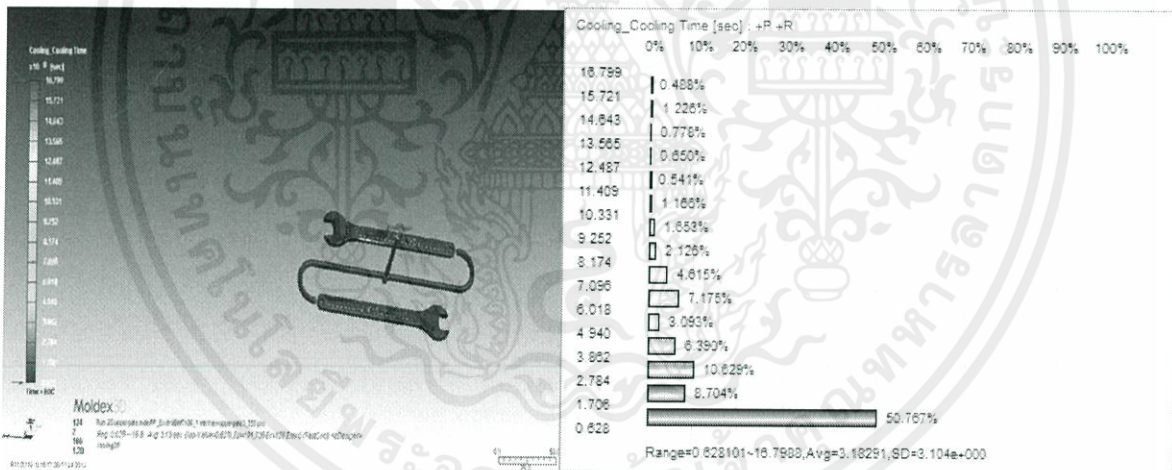
รูปที่ 3.18 ระยะเวลาในการฉีด (Filling time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ระยะเวลาในการอัดย้า (Packing time)

- Cooling Time (TR3) คือเวลาในการหล่อเย็นของชิ้นงาน การตั้งค่าของ Cooling Time ได้จากผลวิเคราะห์การจำลองการฉีดจากโปรแกรม Moldex3d R10.0 ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ในการทดลองฉีดพลาสติกจะตั้งค่า Cooling Time ทั้งหมด 10 ค่า เริ่มต้นที่ 15 วินาที , 25 วินาที , 35 วินาที , 45 วินาที , 55 วินาที , 65 วินาที , 75 วินาที , 8 วินาที, 95 วินาที และ 105 วินาที



รูปที่ 3.20 ระยะเวลาในการหล่อเย็นของชิ้นงาน (Cooling time)

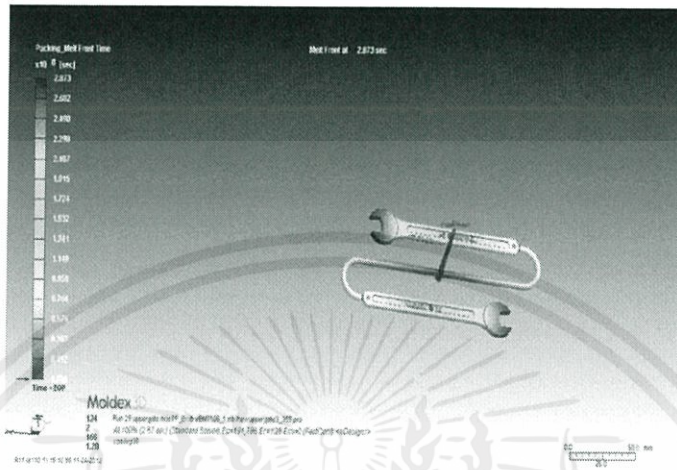
- Interval (TR4) คือเวลาที่เปิดฝาแม่พิมพ์ จะตั้งค่าไว้ที่ 15 วินาที เพื่อเวลาในการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
2. Timer Pressure at Holding ตั้งค่าต่างๆได้ดังนี้

- Pressure at Holding (PH2 , PH1) คือการตั้งค่าการฉีดย้ำโดยจะกำหนดไว้ที่ 30% ทั้งสองค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

• Injection Pressure (P1) คือการตั้งค่าความดันในการฉีด โดยจะกำหนดความดันที่ 60% เพื่อให้พอลิเมอร์ รั่วไหลเข้าที่แม่พิมพ์ได้อย่างเต็มที่

- Packing Time (TRH) คือการตั้งค่าเวลาในการอัดย้ำการฉีดของแม่พิมพ์ การตั้งค่าของ Packing Time ได้จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดจากโปรแกรม Moldex3d R10.0 ผลที่ได้คือ 2.783 วินาที ประมาณค่าที่เวลา 3 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ระยะเวลาในการอัดย้ำ (Packing time)

3. The Barrel Temperature ตั้งค่าต่างๆได้ดังนี้

- HEATER คืออุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติก ซึ่งดูได้ตารางคุณสมบัติของเม็ดพลาสติก ดังตารางที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าค่า Melt temperature มีค่าเท่ากับ 230 C⁰ ซึ่งตั้งค่าที่เครื่องฉีด

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของพลาสติก

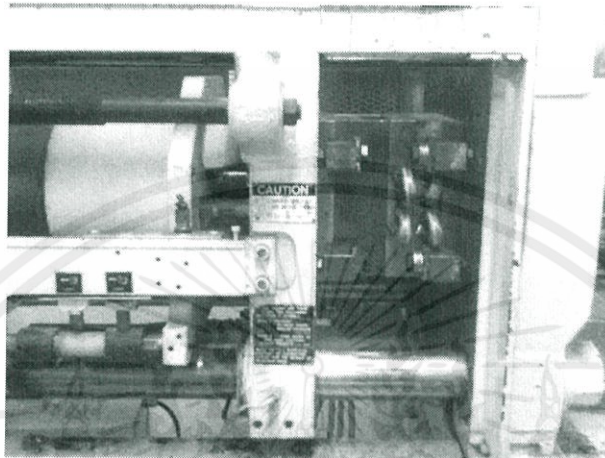
Stroke Time	2.0 (sec)
Melt Temperature	230.0 (°C)
Mold Temperature	35.0 (°C)
Injection Pressure	199.0 (MPa)
Injection Volume	11.3055 (cc)
Packing Time	5.0 (sec)
Packing Pressure	199.0 (MPa)
VP Switch by volume(%) filled	98.0 (%)
Mold Opening Time	5.0 (sec)
Ejection temperature	107.8 (°C)
Air Temperature	25.0 (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

ในขั้นตอนการฉีดพลาสติกจะนำแม่พิมพ์มาทำการทดลองฉีดพลาสติกที่เครื่องฉีด TOSHIBA IS 80 EPN ดังนี้
ขั้นตอนที่ 1

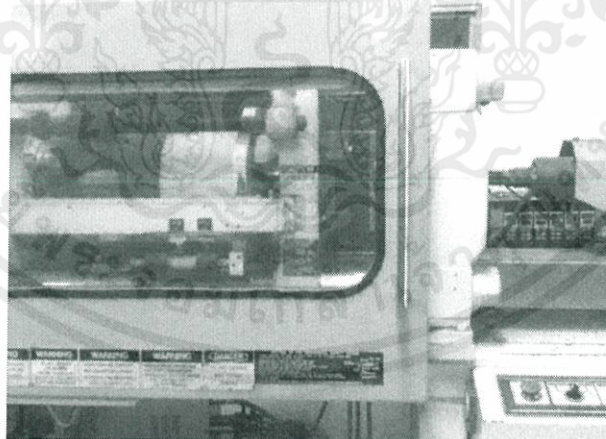
เริ่มตั้งแต่จังหวะปิดแม่พิมพ์ เป็นจังหวะที่แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิดด้วยระบบไฮดรอลิกส์พร้อมกับล็อกไม่ให้แม่พิมพ์เปิดขณะฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงการปิดแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 2

จังหวะชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.23 ซึ่งเป็นจังหวะเดียวกับแม่พิมพ์ปิด ชุดฉีดจะเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนชนกับทางเข้า (Sprue) แล้วค้างไว้ด้วยแรงค้ำหนึ่ง



รูปที่ 3.23 ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 3

จังหวะฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์หรือจังหวะเติมพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์เกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพื่อดันน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 4

จังหวะฉีดรักษาความดัน (Holding) และชดเชยการหดตัว

ขั้นตอนที่ 5

ช่วงการหล่อเย็นชิ้นงาน เป็นการทำงานเพื่อรอให้พลาสติกเหลวแข็งตัว

ขั้นตอนที่ 6

ป้อนพลาสติกเข้าเกลียวหนอนก่อนทำการหลอมใหม่ เป็นจังหวะที่เกลียวหนอนหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกจากกรวยเติมเข้ากระบอกลดฉีดเพื่อหลอมเหลว เกลียวหนอนจะถอยกลับ และพร้อมที่จะทำการฉีดในจังหวะต่อไป โดยที่หัวฉีดยังคงติดอยู่กับแม่พิมพ์โดยไม่ถอยกลับ

ขั้นตอนที่ 7

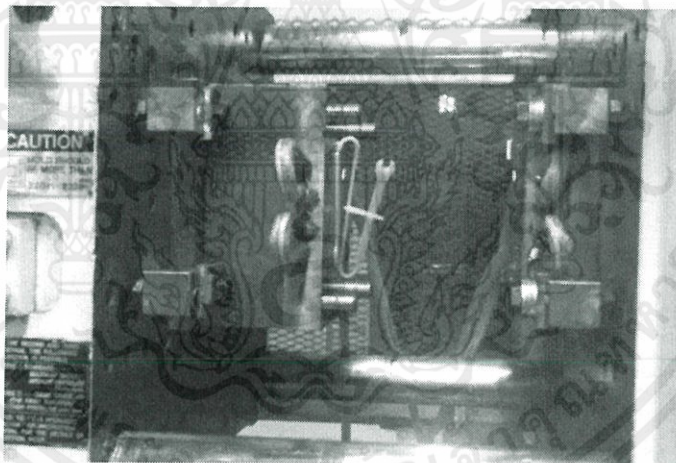
ชุดฉีดถอยกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิหัวฉีดต่ำเกินไป และไม่ให้พลาสติกที่แข็งตัวติดที่หัวฉีด ทำให้การฉีดครั้งต่อไปง่ายขึ้น

ขั้นตอนที่ 8

แม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดออกถึงระยะสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 9

จากรูปที่ 3.24 เป็นการดำเนินงานขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการฉีดพลาสติกคือทำการปลดชิ้นงาน โดยการกระทุ้งให้ชิ้นงานหลุดจากแม่พิมพ์



รูปที่ 3.24 แม่พิมพ์เปิดออกแล้วปลดชิ้นงาน

3.7 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ทำการทดสอบชิ้นตามมาตรฐาน ASTM D638 วัสดุที่เลือกใช้คือ ประแจพลาสติกเบอร์ 10 มีความหนา 3.5 มิลลิเมตร มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. การเลือก Type ของชิ้นทดสอบ

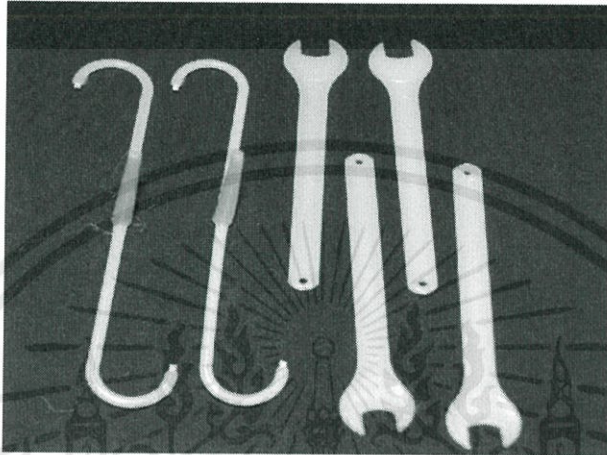
วัสดุที่ใช้คือ โพลีโพรพิลีน หนา 3.5 มิลลิเมตร จึงเลือกใช้ขนาดของชิ้นทดสอบ Type I ตามมาตรฐาน ASTM D638

จำนวน 40 ชิ้น

2. วิธีการดำเนินการทดสอบแรงดึง

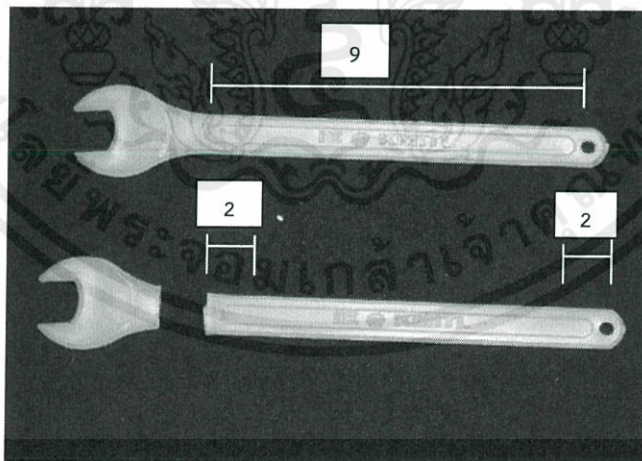
ทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและมีทดสอบชิ้นงานดังนี้ ดำเนินการทดสอบแรงดึงประแจพลาสติกโดยเครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Shimadzu ,100 กิโลนิวตัน น้ำหนัก 800 กิโลกรัม ทดสอบชิ้นงานดังนี้

- ทำการตัดทางวิ่งของประแจพลาสติกทั้งสองข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ชิ้นงานที่ตัดทางวิ่งออก

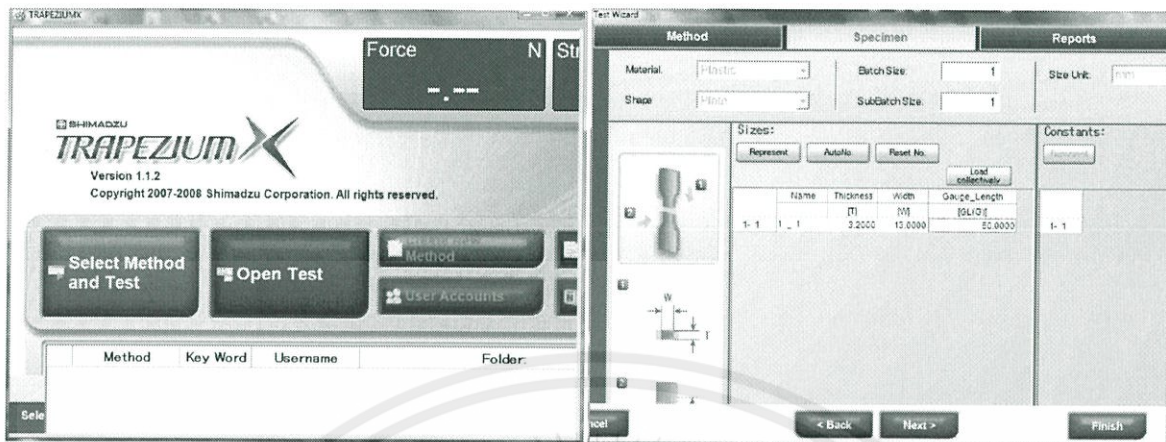
- ทำการตัดหัวประแจพลาสติกออก วัดความยาวด้ามประแจพลาสติกให้ได้ 9 เซนติเมตร โดยตัดชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็น (Cooling Time) ละ 4 ชั้น รวมเป็นทั้งหมด 40 ชั้น วัดปลายด้ามประแจหัวและท้าย 2 เซนติเมตร แล้วขีดเส้นขีดแบ่งจุดตรงกึ่งกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การเตรียมประแจพลาสติกเพื่อทดสอบโดยการดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- เลือกโปรแกรม TRAPEZIUM โดยกำหนดค่า ความหนา 3.3 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร Gauge length 50 มิลลิเมตร speed 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การตั้งค่าโปรแกรมในคอมพิวเตอร์

- จัดวางประแจพลาสติกที่เครื่อง Universal Testing Machine แสดงดังในรูป 3.28 ปรับตั้งค่าระยะทางและแรงให้เป็น 0



รูปที่ 3.28 ทดสอบแรงดึงโดยเครื่อง Universal Testing Machine

- ทดสอบประแจพลาสติกให้ทั้งหมด 40 ชิ้นแล้วบันทึก ค่า Force สูงสุดของแต่ละครั้งในการทดสอบใส่ในตารางบันทึกผลการทดลอง ดังตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

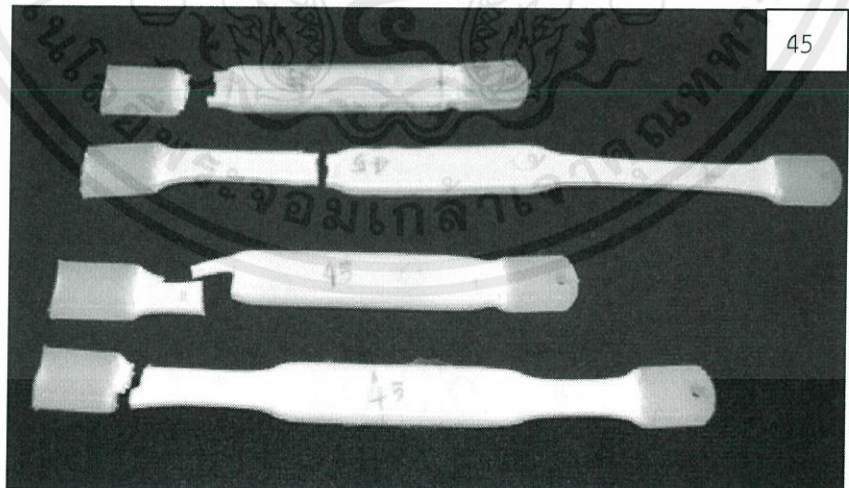
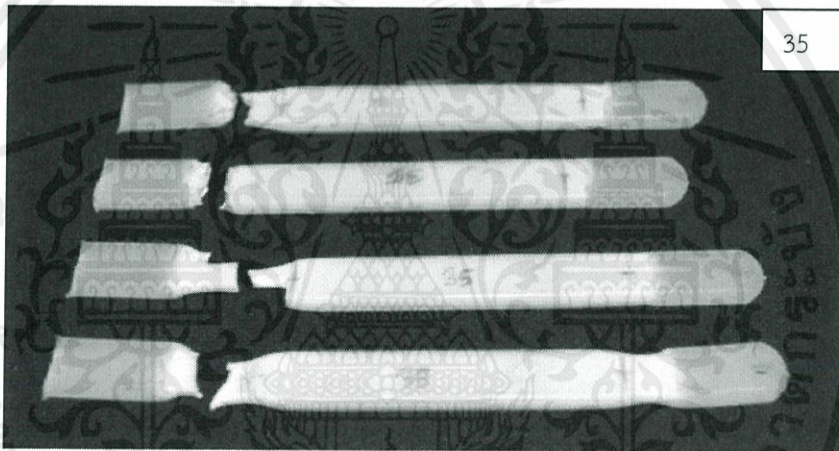
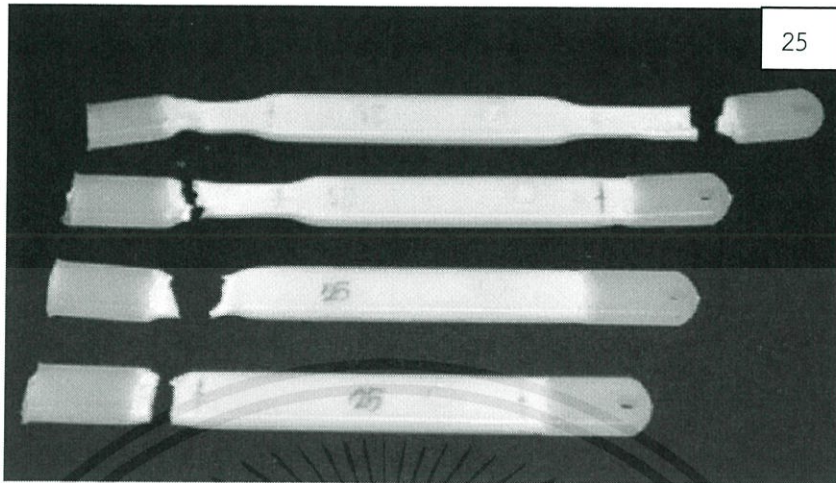
ตารางที่ 3.8 บันทึกผลการทดลอง

cooling time (sec)	Force (N)				รวม	เฉลี่ย
	1	2	3	4		
15						
25						
35						
45						
55						
65						
75						
85						
95						
105						
	รวม					

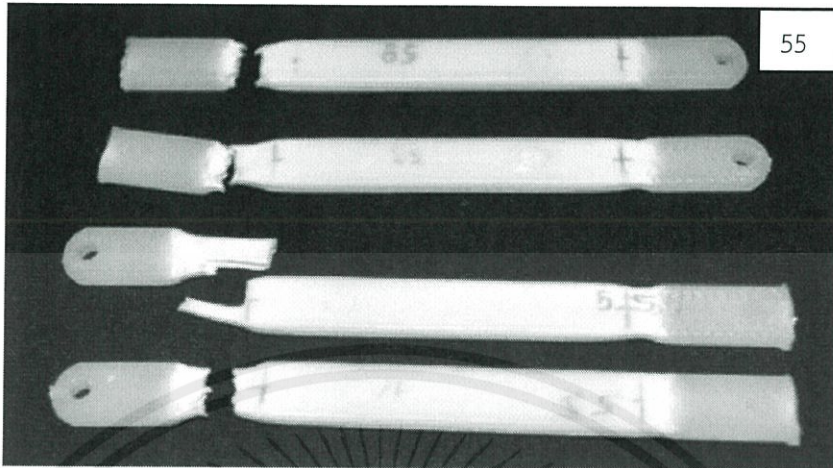
จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็น 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 และ 105 วินาที เมื่อออกแรงดึงสูงสุด ชิ้นงานจะเกิดการยืดขาด การยืดขาด ของชิ้นงานจะมีขนาดไม่เท่ากัน จากที่ชิ้นงานมีสีขาวขุ่นก็จะเปลี่ยนเป็นสีขาวเข้มบริเวณที่เกิดการยืดขาด ซึ่งเกิดจากการโครงสร้างของโมเลกุลพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้วงบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.29 ชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็นต่างๆหลังจากออกแรงดึงในการทดสอบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



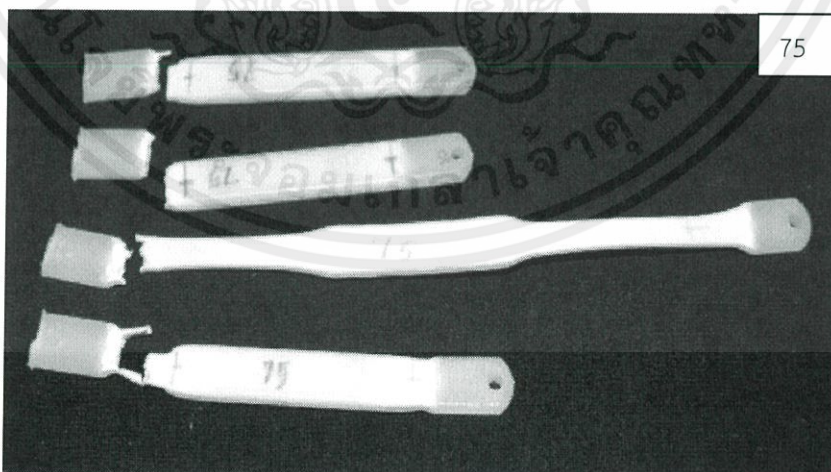
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.29 ชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็นต่างๆหลังจากออกแรงดึงในการทดสอบ (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



55

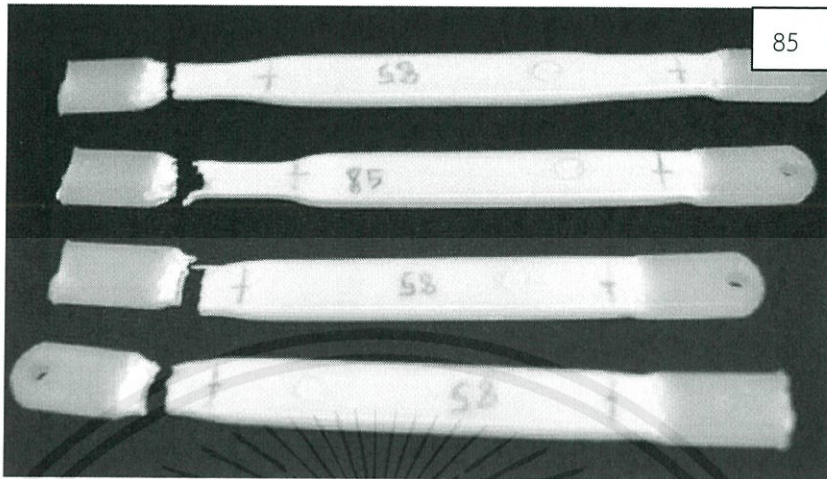


65



75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.29 ชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็นต่างๆหลังจากออกแรงดึงในการทดสอบ (ต่อ)
 ไม่ว่าจะฉีมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบหรือเจ้าหน้าที่โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.29 ชิ้นงานที่เวลาหล่อเย็นต่างๆหลังจากออกแรงดึงในการทดสอบ (ต่อ) มีการนำไปใช้

3.8 การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติของตัวแบบอิทธิพลกำหนด

- ทดสอบสมมติฐานว่าเวลาหล่อเย็นมีผลต่อความแข็งแรงประแจพลาสติกหรือไม่
คำนวณค่าผลบวกกำลังสอง

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{an}$$

$$SSTr = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2}{an}$$

$$SSE = SST - SSTr$$

คำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง

$$MSTr = \frac{SSTr}{a-1}$$

$$MSE = \frac{E(SSE)}{a(n-1)}$$

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$$H_0 : \mu_{15} = \mu_{25} = \mu_{35} = \mu_{45} = \mu_{55} = \mu_{65} = \mu_{75} = \mu_{85} = \mu_{95} = \mu_{105}$$

$$H_1 : \mu \neq \text{อย่างน้อย 1 ค่า}$$

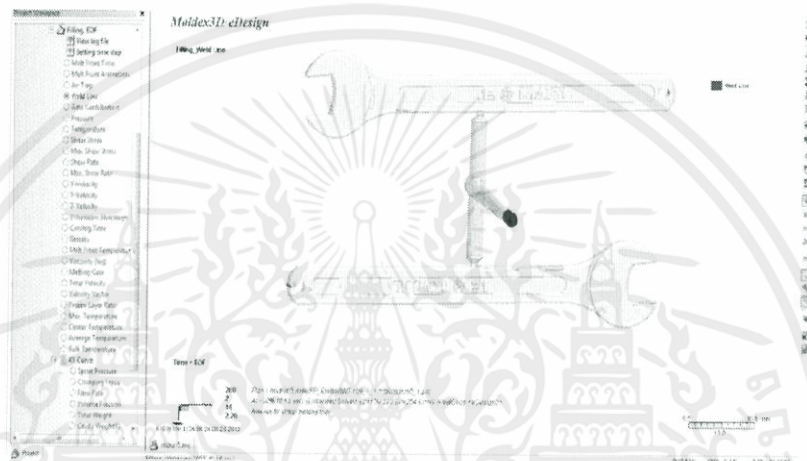
ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$F = \frac{SSTr / a - 1}{SSE / a(n-1)} = \frac{MSTr}{MSE}$$

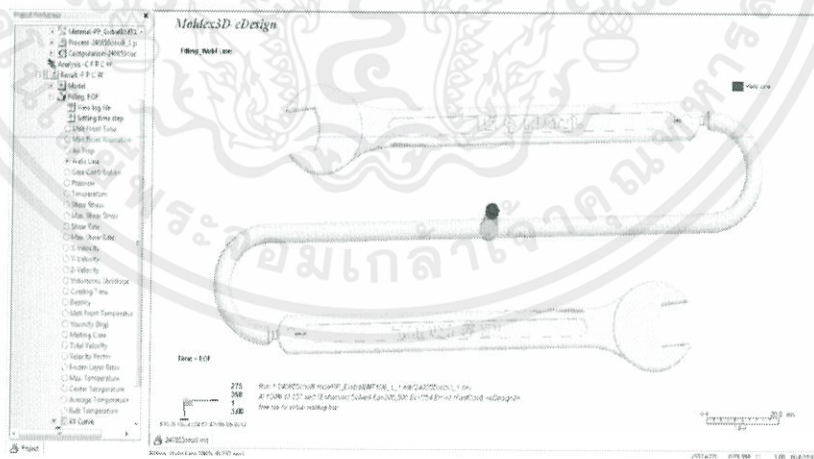
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบด้วย Moldex3D R10.0 Design ทางวิ่งทั้งสองแบบ จะได้ผลการวิเคราะห์ออกมาหลายค่า ส่วนผลการวิเคราะห์ที่มีค่าแตกต่างกันและมีผลต่อชิ้นงาน จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะเกิดรอยเชื่อมที่เห็นได้ชัดมากกว่าแบบทางเข้าของทางวิ่งด้านท้ายของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เพราะทางเข้าของทางวิ่งด้านข้างเกิดรอยเชื่อมสังเกตเห็นได้ชัดกว่าทางเข้าของทางเข้าด้านท้ายของชิ้นงาน

- รอยเชื่อม (Weld line)



รูปที่ 4.3 รอยเชื่อมทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง

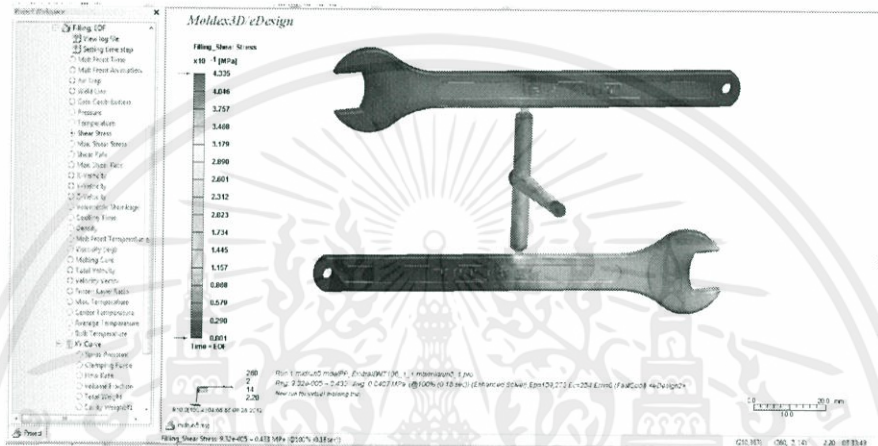


รูปที่ 4.4 รอยเชื่อมทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย

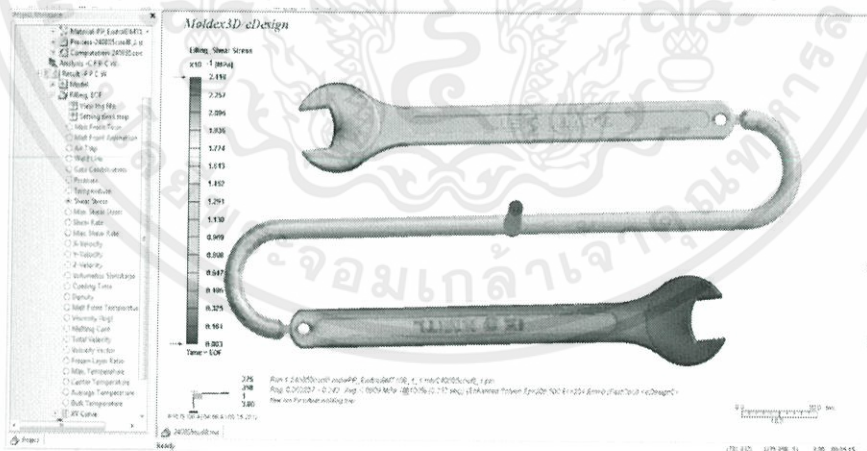
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลการวิเคราะห์การออกแบบจากโปรแกรม Moldex3D R10.0 Design จะเห็นได้ว่าทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 4.355×10^{-1} เมกะปาสคาล ส่วนทางเข้าของทางวิ่งด้านท้ายของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 2.418×10^{-1} เมกะปาสคาล พบว่าความเค้นเฉือนของทางเข้าของทางวิ่งด้านท้ายมีค่าไม่เกินค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่สามารถยอมรับได้คือ 2.5×10^{-1} เมกะปาสคาล

- ความเค้นเฉือน (Shear Stress)



รูปที่ 4.5 ความเค้นเฉือนทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง

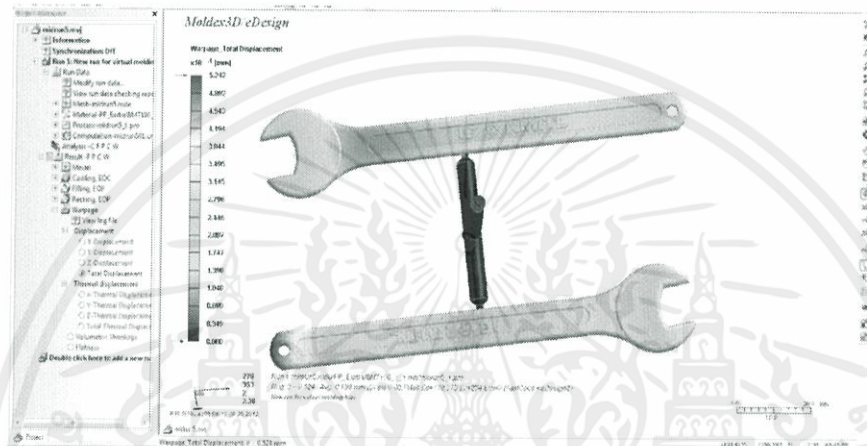


รูปที่ 4.6 ความเค้นเฉือนทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลการวิเคราะห์การออกแบบจากโปรแกรม Moldex3D R10.0 Design จะเห็นได้ว่าทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 มีระยะการโค้งงอสูงสุดเท่ากับ 5.242×10^{-1} มิลลิเมตร ส่วนทางเข้าของทางวิ่งด้านท้ายของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.8 มีระยะการโค้งงอสูงสุดเท่ากับ 3.769×10^{-1} มิลลิเมตร พบว่าระยะการโค้งงอของทางวิ่งด้านท้ายมีค่าน้อยกว่าระยะการโค้งงอของทางวิ่งด้านข้าง

- การโค้งงอ (Warpage)



รูปที่ 4.7 การโค้งงอทางเข้าของทางวิ่งด้านข้าง



รูปที่ 4.8 การโค้งงอทางเข้าของทางวิ่งด้านท้าย

จากการผลการวิเคราะห์การออกแบบจากโปรแกรม Moldex3D R10.0 Design วิเคราะห์ เรื่องรอยเชื่อม ความเค้นเฉือน และ เอกสระยะโค้งงอ จึงทำให้สรุปได้ว่าจึงเลือกใช้ทางวิ่งช่องทางเข้าด้านท้ายชิ้นงานนั้น ไม่นอญาคติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองการฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0

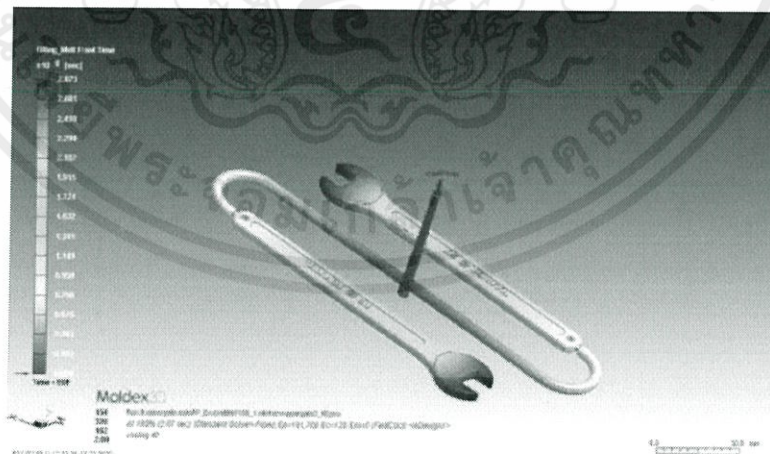
รายละเอียดของชิ้นงานต่างๆ เช่น ขนาดชิ้นงาน น้ำหนักชิ้นงาน น้ำหนักเกจ เป็นต้น ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของชิ้นงาน

Mesh Type	eDesign1
No. cooling channel	2
Part dimension	121.33 x 4.01 x 72.85 (mm)
Mold dimension	230.00 x 90.63 x 200.00 (mm)
Cavity(Part) volume	8.3761 (cc)
Cold runner volume	2.92945 (cc)
Element number	191786
Part elements	191786
Node number	174764

- ระยะเวลาในการฉีด

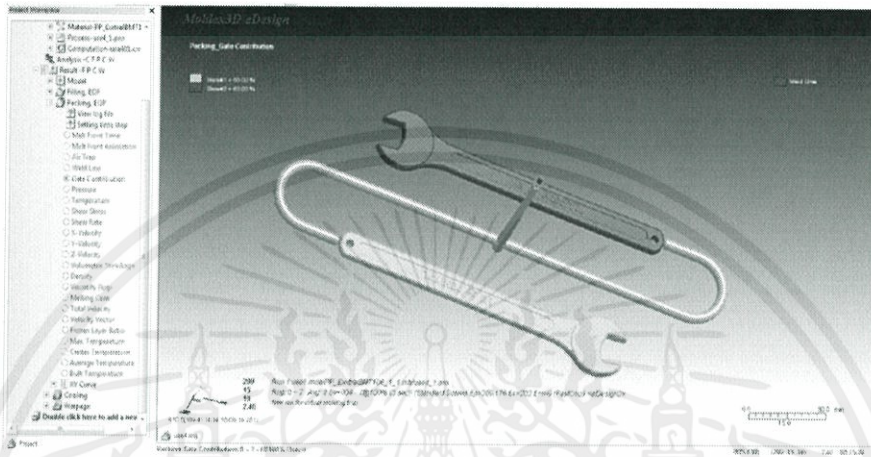
ระยะเวลาในการฉีด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดในงานโปรแกรม Moldex3D R10.0 ได้ผลระยะเวลาการฉีดมีค่าเท่ากับ 2.873 วินาที เพื่อนำไปตั้งค่าเครื่องฉีด เพราะถ้าไม่ดูผลจากโปรแกรม อาจจะต้องใช้วิธีการเพิ่มเวลาขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งฉีดเต็มทำให้เสียเวลา และชิ้นงานเสียอาจเสียหายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Packing ที่ Gate Contribute

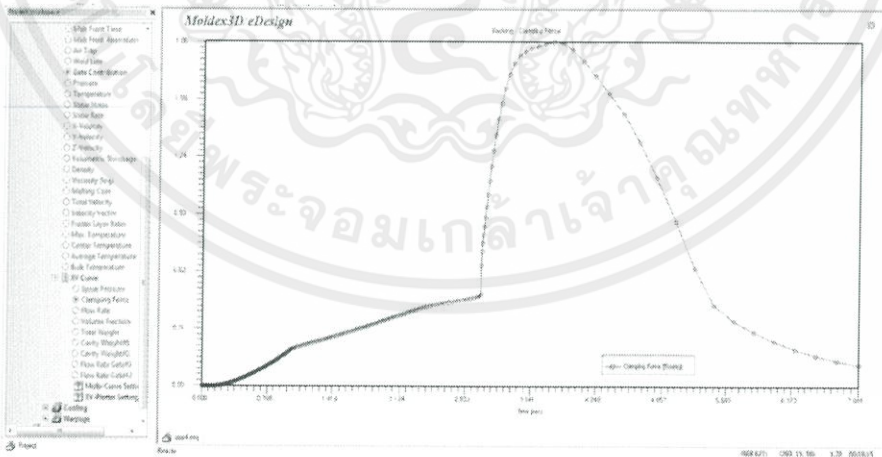
ขั้นตอนการ Packing ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดในงานโปรแกรม Moldex3D R10.0 พบว่าเนื้อพลาสติกไหลเข้าชิ้นงานสองฝั่งเท่ากัน 50%



รูปที่ 4.10 การไหลเข้าของเนื้อพลาสติก

- Sprue Pressure

ดูที่ Sprue Pressure ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดในงานโปรแกรม Moldex3D R10.0 พบว่าแรงดัน Sprue สูงสุดมีค่าเท่ากับ 14.18 เมกะปาสคาล แล้วนำมาเทียบกับเครื่องฉีด สามารถใช้เครื่องฉีดนี้ได้

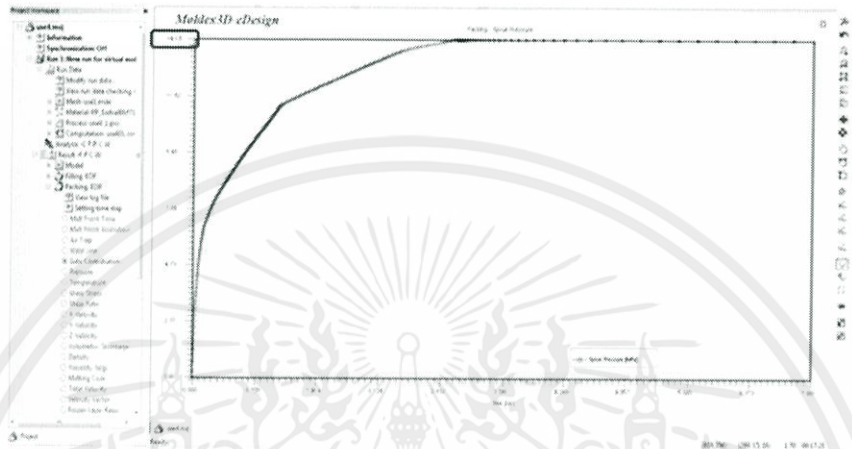


รูปที่ 4.11 กราฟของ Sprue Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Clamping Force

ดูที่ Clamping Force ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดในงานโปรแกรม Moldex3D R10.0 พบว่า Clamping Force สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.86 ตัน แล้วนำมาเทียบกับเครื่องฉีดพลาสติกสามารถใช้น้ำนี้ได้



รูปที่ 4.12 กราฟของ Clamping Force

4.3 การทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ประชากร คือการเปรียบเทียบอัตราหล่อเย็นของการฉีดพลาสติกว่ามีผลต่อความแข็งแรงของพลาสติกซึ่งทดสอบโดย Tensile test โดยใช้ตัวอย่างสุ่ม 10 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ตัวอย่าง ที่สุ่มมาจากประชากรอย่างเป็นอิสระกัน จะใช้ตัวสถิติทดสอบ Z หรือ t ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวางแผนแบบสมบูรณ์ในการวิเคราะห์อัตราหล่อเย็นที่มีผลต่อความแข็งแรงของประแจพลาสติก มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์ทางสถิติของตัวแบบอิทธิพลกำหนด (Statical Analysis of the Fixed-Effects Model) นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอัตราหล่อเย็นที่กำหนด ในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์ a ในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์ a ทรีทเมนต์ คือ $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$ จาก $\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$ จะพบว่าสมการนี้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน

ดังนั้น $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_1 \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

สูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับผลบวกกำลังสองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีทเมนต์เท่ากัน คือ อัตราหล่อเย็นมีผลต่อความแข็งแรงของประแจพลาสติก ซึ่งมีความสนใจศึกษาเวลาในการหล่อเย็น 10 ระดับ คือ 15 วินาที , 25 วินาที , 35 วินาที , 45 วินาที , 55 วินาที , 65 วินาที , 75 วินาที , 85 วินาที , 95 วินาที และ 105 วินาที

โดยทำการทดสอบที่ครั้งละ 4 ตัวอย่าง ข้อมูลจากการทดลอง ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็น (Cooling Time) กับ แรงดึงสูงสุด (Force) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองระหว่าง เวลาการหล่อเย็นกับแรงดึงสูงสุด

cooling time(sec)	Force(N)				รวม	เฉลี่ย
	1	2	3	4		
15	815.8084	834.5604	827.7893	870.4662	3348.6243	837.156075
25	799.5605	834.4491	867.033	858.434	3359.4766	839.86915
35	804.5197	831.6993	819.7784	898.2817	3354.2791	838.569775
45	803.9156	815.2485	827.7575	882.7686	3329.6902	832.42255
55	863.2819	845.8297	849.0245	868.2037	3426.3398	856.58495
65	849.0245	787.0833	848.643	839.6308	3324.3816	831.0954
75	875.028	848.0072	829.5536	862.7892	3415.378	853.8445
85	850.1212	832.9551	841.3951	872.9617	3397.4331	849.358275
95	838.3115	863.4408	876.9036	845.1462	3423.8021	855.950525
105	842.5077	856.6062	867.494	876.9671	3443.575	860.89375
			รวม		33822.9798	845.574495

ทดสอบสมมติฐานว่าเวลาการหล่อเย็นมีผลต่อความแข็งแรงประแจพลาสติกหรือไม่

- คำนวณค่าผลบวกกำลังสอง

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{an}$$

$$SST = (815.8084)^2 + (834.5604)^2 + (827.7893)^2 + (870.4662)^2 + (799.5605)^2 + (834.4491)^2 + (867.033)^2 + (858.434)^2 + (804.5197)^2 + (831.6993)^2 + (819.7784)^2 + (898.2817)^2 + (803.9156)^2 + (815.2485)^2 + (827.7575)^2 + (882.7686)^2 + (863.2819)^2 + (845.8297)^2 + (849.0245)^2 + (868.2037)^2 + (849.0245)^2 + (787.0833)^2 + (848.643)^2 + (839.6308)^2 + (875.028)^2 + (848.0072)^2 + (829.5536)^2 + (862.7892)^2 + (850.1212)^2 + (832.9551)^2 + (841.3951)^2 + (872.9617)^2 + (838.3115)^2 + (863.4408)^2 + (876.9036)^2 + (845.1462)^2 + (842.5077)^2 + (856.6062)^2 + (867.494)^2 + (867.494)^2 - \frac{845.5745^2}{10(4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SST = 24127.69165$$

$$SSTr = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2}{an}$$

$$SSTr = 28604174.61 - \frac{845.5745^2}{10(4)}$$

$$SSTr = 4325.545495$$

$$SSE = SST - SSTr$$

$$SSE = 24127.69165 - 4325.545495$$

$$SSE = 19802.14616$$

- คำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง

$$MSTr = \frac{SSTr}{a-1}$$

$$MSTr = \frac{4325.54595}{9}$$

$$MSTr = 480.6161662$$

$$MSE = \frac{E(SSE)}{a(n-1)}$$

$$MSE = \frac{19502.146}{10(3)}$$

$$MSE = 660.0715386$$

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$$H_0 : \mu_{15} = \mu_{25} = \mu_{35} = \mu_{45} = \mu_{55} = \mu_{65} = \mu_{75} = \mu_{85} = \mu_{95} = \mu_{105}$$

$$H_1 : \mu \neq \text{อย่างน้อย 1 ค่า}$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$F = \frac{SSTr / a - 1}{SSE / a(n - 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{480.6161620}{660.0715386}$$

$$F = 0.728127389$$

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
แรงดึงของชิ้นงาน	9	4325.545495	480.6161662	0.728127389**	0.75
ความคลาดเคลื่อน	30	19802.14616	660.0715386		
รวม	39	24127.69165			

** หมายถึงมีความสำคัญทางสถิติ

เปิดตารางที่ 6 การแจกแจงแบบเอฟที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$F_{0.05,9,30} = 2.21$$

เนื่องจาก $F = 0.728127389 < 2.21$ ไม่ตกอยู่ในอาณาเขตวิกฤต จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเวลาในการหล่อเย็นไม่มีผลต่อแรงดึงของชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

p - value ที่คำนวณได้มีค่าเป็น 0.750 จึงสรุปว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 ที่ p - value > 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบสมมติฐาน ระหว่าง เวลาการหล่อเย็น (Cooling Time) กับความเครียด (Strain) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองระหว่างเวลาการหล่อเย็นกับความเครียด

cooling time(sec)	Strain				รวม	เฉลี่ย
	1	2	3	4		
15	0.35228	0.433624	0.232479	0.379523	1.3979064	0.3494766
25	0.687387	1.095378	0.383139	0.270205	2.436109	0.6090273
35	0.565588	0.464454	0.430575	0.245258	1.7058752	0.4264688
45	0.683575	0.346689	2.424356	1.387671	4.8422906	1.2105727
55	0.403692	0.304941	0.621941	0.309087	1.639661	0.4099153
65	0.607025	0.546271	0.422242	2.474576	4.0501138	1.0125285
75	0.503671	0.37949	0.229276	2.495676	3.608113	0.9020283
85	0.471925	1.208188	0.791376	0.840325	3.3118136	0.8279534
95	0.318505	1.441405	0.614288	2.333008	4.7072056	1.1768014
105	0.508588	0.222223	0.500328	0.354836	1.585976	0.396494
	รวม				29.285064	0.7321266

ทดสอบสมมติฐานว่าอัตราการหล่อเย็นมีผลต่อความเครียดประเภทพลาสติกหรือไม่

- คำนวณค่าผลบวกกำลังสอง

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n 2 \frac{y_{ij}^2}{an}$$

$$SST = (0.35228)^2 + (0.433624)^2 + (0.232479)^2 + (0.379523)^2 + (0.687387)^2 + (1.095378)^2 + (0.383139)^2 + (0.270205)^2 + (0.565588)^2 + (0.464454)^2 + (0.430575)^2 + (0.245258)^2 + (0.683575)^2 + (0.346689)^2 + (2.424356)^2 + (1.387671)^2 + (0.403692)^2 + (0.304941)^2 + (0.621941)^2 + (0.309087)^2 + (0.607025)^2 + (0.546271)^2 + (0.422242)^2 + (2.474576)^2 + (0.503671)^2 + (0.379490)^2 + (0.229276)^2 + (2.495676)^2 + (0.471925)^2 + (1.208188)^2 + (0.791376)^2 + (0.840325)^2 + (0.318505)^2 + (1.441405)^2 + (0.614288)^2 + (2.333008)^2 + (0.508588)^2 + (0.222223)^2 + (0.500328)^2 + (0.354836)^2 - \frac{37.65831^2}{10(4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SST = 16.21793$$

$$SSTr = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2}{an}$$

$$SSTr = 25.49954024 - \frac{37.65831^2}{10(4)}$$

$$SSTr = 4.059166$$

$$SSE = SST - SSTr$$

$$SSE = 16.21793 - 4.059166$$

$$SSE = 12.15877$$

- คำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง

$$MSTr = \frac{SSTr}{a-1}$$

$$MSTr = \frac{4.059166}{9}$$

$$MSTr = 0.451018$$

$$MSE = \frac{E(SSE)}{a(n-1)}$$

$$MSE = \frac{12.15877}{10(3)}$$

$$MSE = 0.405292$$

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$$H_0 : \mu_{15} = \mu_{25} = \mu_{35} = \mu_{45} = \mu_{55} = \mu_{65} = \mu_{75} = \mu_{85} = \mu_{95} = \mu_{105}$$

$$H_1 : \mu \neq \text{อย่างน้อย 1 ค่า}$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$F = \frac{SSTr / a - 1}{SSE / a(n-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{0.451018}{0.405292}$$

$$F = 1.112823$$

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
แรงดึงของชิ้นงาน	9	4.059166	0.451018	1.112823**	0.384
ความคลาดเคลื่อน	30	0.451018	0.405292		
รวม	39	20.2771			

** หมายถึงมีความสำคัญยิ่งทางสถิติ

เปิดตารางที่ 6 การแจกแจงแบบเอฟที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$F_{0.05,9,30} = 2.21$$

เนื่องจาก $F = 1.112823 < 2.21$ ไม่ตกอยู่ในอาณาเขตวิกฤต จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเวลาในการหล่อเย็นไม่มีผลต่อความเครียดของชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

p - value ที่คำนวณได้มีค่าเป็น 0.384 จึงสรุปว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 ที่ p - value > 0.05

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเวลาในการหล่อเย็นไม่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน เนื่องจากการวิเคราะห์จำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Moldex3d R10.0 พบว่าค่าเกตซีล (Gate freeze time) คือเวลาที่รูเข้าเกิดการแข็งตัว รูเข้าเป็นส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน จึงเป็นส่วนที่แข็งตัวเร็วที่สุด ที่เวลา 1.38 - 1.53 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 โดยเทียบกับอุณหภูมิของชิ้นงานที่สามารถระเหิดออกมาที่อุณหภูมิ 108 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จากคุณสมบัติของวัสดุพอลิโพรลีนเกรด Exxtral BMT 106 โดยถ้าใช้เวลาในการหล่อเย็นมากเกินไปเกินกว่าเวลาของเกตซีล จะไม่มีผลต่อน้ำหนักของชิ้นงานทำให้ค่าของความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเท่ากันทั้งหมด เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, และ 105 วินาที จึงไม่มีผลกับความแข็งแรงของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

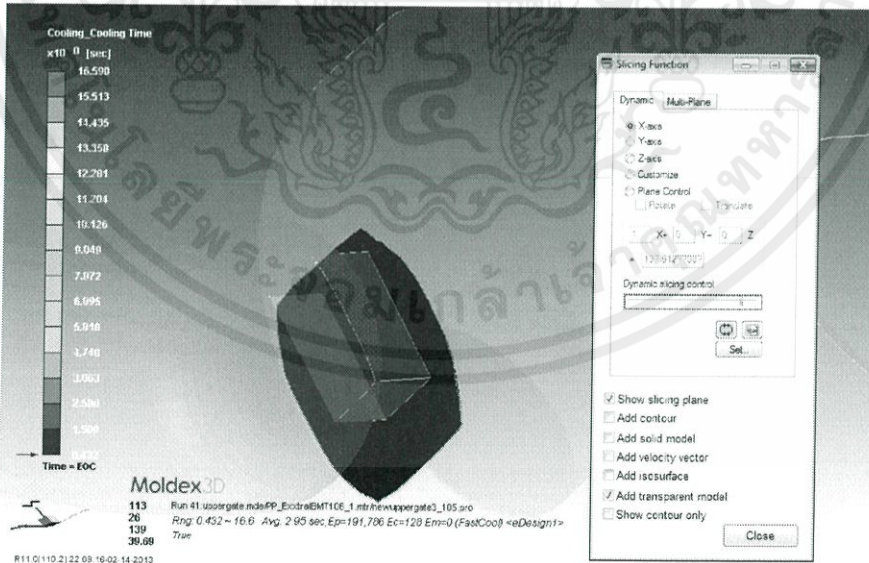
File Edit Format View Help						
Cycle 1						
No	Time(sec)	Part Ave	Temperature Max/Min(oc)	Moldbase Ave	Moldbase Temperature Max/Min(oc)	CPU(sec)
41	0.39	135.0	230.0/37.2	38.9	50.9/34.9	87.0
42	0.44	132.9	230.0/37.2	38.9	50.7/34.9	88.0
43	0.48	130.8	230.0/37.2	38.9	50.5/34.9	89.0
44	0.54	128.7	230.0/37.1	38.8	50.2/34.9	90.0
45	0.60	126.6	230.0/37.1	38.8	49.8/34.9	91.0
46	0.67	124.5	230.0/37.0	38.8	49.5/34.9	92.0
47	0.74	122.4	230.0/37.0	38.7	49.1/34.9	93.0
48	0.82	120.2	230.0/37.0	38.7	48.7/34.9	97.0
49	0.91	118.1	229.9/36.9	38.7	48.3/34.9	98.0
50	1.01	115.9	229.9/36.9	38.6	47.8/34.9	100.0

Cycle 1						
No	Time(sec)	Part Ave	Temperature Max/Min(oc)	Moldbase Ave	Moldbase Temperature Max/Min(oc)	CPU(sec)
51	1.12	113.8	229.8/36.8	38.6	47.4/34.9	101.0
52	1.24	111.6	229.8/36.8	38.5	47.0/34.9	102.0
53	1.38	109.4	229.6/36.7	38.4	46.5/34.9	104.0
54	1.53	107.2	229.5/36.7	38.4	46.1/34.9	106.0
55	1.69	105.0	229.2/36.7	38.3	45.7/34.9	108.0
56	1.87	102.8	228.8/36.6	38.3	45.3/34.9	109.0
57	2.07	100.6	228.3/36.6	38.2	44.9/34.9	111.0
58	2.28	98.3	227.6/36.5	38.2	44.5/34.9	114.0
59	2.52	96.1	226.7/36.5	38.1	44.1/34.9	115.0
60	2.79	93.8	225.5/36.4	38.0	43.7/34.9	118.0

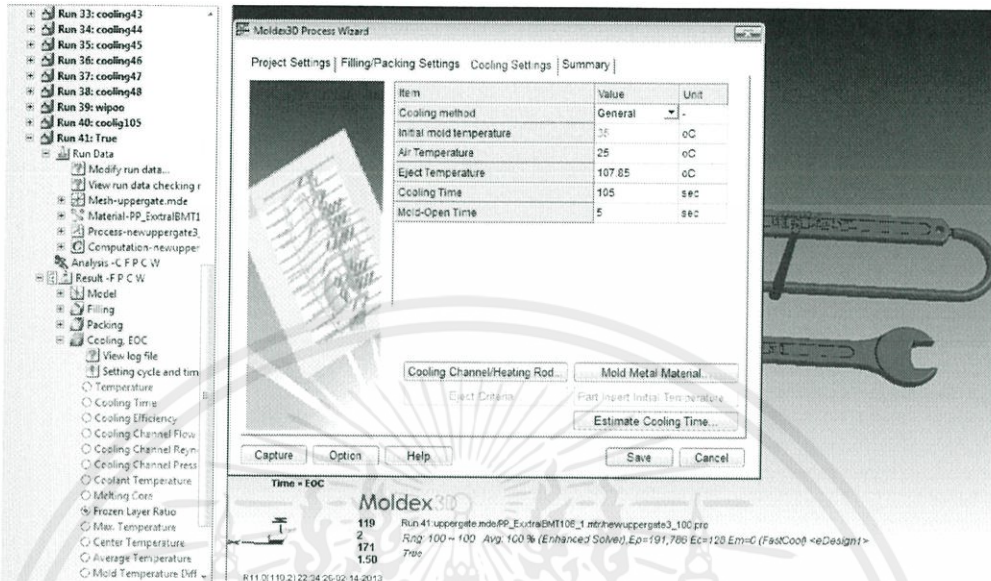
Cycle 1						
No	Time(sec)	Part Ave	Temperature Max/Min(oc)	Moldbase Ave	Moldbase Temperature Max/Min(oc)	CPU(sec)
61	3.08	91.5	223.9/36.4	38.0	43.3/34.9	120.0
62	3.39	89.2	222.2/36.4	37.9	43.0/34.9	121.0
63	3.74	86.9	220.2/36.3	37.9	42.6/34.9	123.0
64	4.11	84.7	218.4/36.3	37.8	42.3/34.9	125.0
65	4.52	82.4	217.5/36.3	37.8	41.9/34.9	128.0
66	4.97	80.1	216.7/36.2	37.7	41.6/34.9	129.0
67	5.44	77.9	215.9/36.2	37.6	41.3/34.9	131.0
68	5.96	75.6	215.2/36.2	37.6	40.9/34.9	134.0
69	6.52	73.4	214.5/36.1	37.5	40.6/34.9	136.0
70	7.12	71.3	213.9/36.1	37.5	40.5/34.9	138.0

Cycle 1						
No	Time(sec)	Part Ave	Temperature Max/Min(oc)	Moldbase Ave	Moldbase Temperature Max/Min(oc)	CPU(sec)

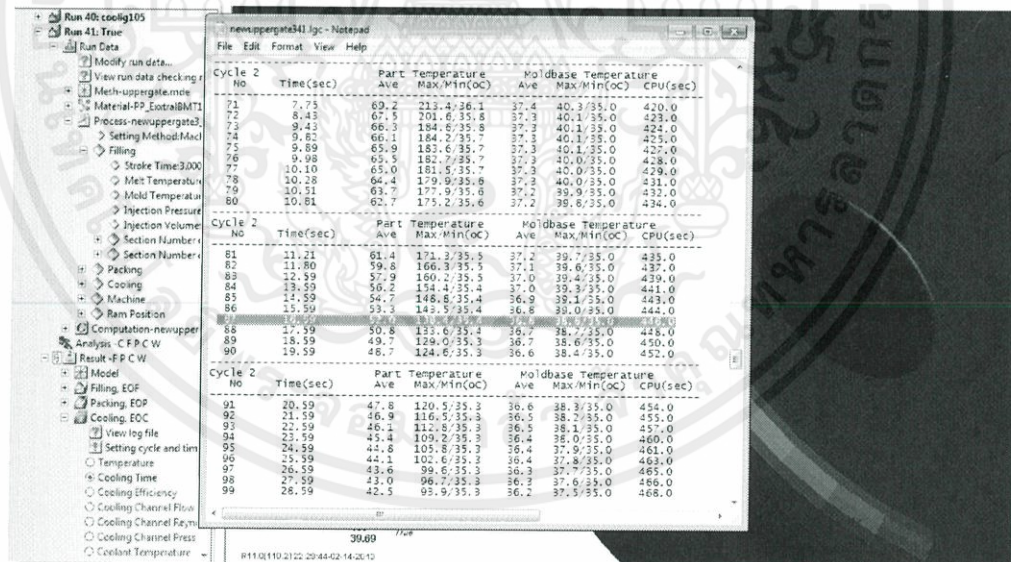
รูปที่ 4.13 Gate freeze time



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.14 เวลาที่ขึ้นงานเกิดการแข็งตัว อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 เวลาหล่อเย็นที่สามารถกระทุ้งชิ้นงานได้



รูปที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์และการวิเคราะห์จำลองการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติกโดยใช้โปรแกรม Moldex3D R10.0 ช่วยในการวิเคราะห์ที่ได้ผลดังนี้

1. ชิ้นงานประแจเบอร์ 10 ขนาด 121.33 x 4.01 x 72.85 มิลลิเมตร ปริมาตร 11.30555 กรัม ออกแบบแม่พิมพ์ประแจพลาสติก ขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 230 มิลลิเมตร สูง 90.63 มิลลิเมตร ประเภท 2 แผ่น แบบทางวิ่งเย็น วัสดุที่เลือกใช้คือเหล็กกล้า เกรด S55C แกนรูฉีดมีหน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 55 มิลลิเมตร มีบ่อักพลาสติกอยู่ด้านท้ายยาว 5 มิลลิเมตร มีทางวิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4 มิลลิเมตร จัดวางแบบสมมาตร 2 คาวิตี ทางเข้าแบบขอบสี่เหลี่ยม 2x1x1 มิลลิเมตร ระบบหล่อเย็นจำนวน 4 ช่องมีระยะห่างช่องละ 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ชุดกระทุ้งชิ้นงานเป็นแบบเข็มกระทุ้ง
2. จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบจากโปรแกรม ค่าความเค้นเฉือนเท่ากับ 2.418×10^{-1} เมกะปาสคาล ค่าการโก่งงอ 3.769×10^{-1} มิลลิเมตร ได้ทางวิ่งเข้าด้านท้ายชิ้นงาน
3. จากการวิเคราะห์ผลจำลองการฉีดจากโปรแกรม ระยะเวลาในการฉีด 2.873 วินาที Gate contribution ทั้งสองฝั่งเท่ากันที่ 50 % แรงดันสปรู 14.18 เมกะปาสคาล Clamping force 1.86 ตัน ใช้เครื่องฉีดพลาสติก TOSHIBA IS 80 EPN ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน แรงปิดล็อกของแม่พิมพ์ 80 ตัน เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 32 มิลลิเมตร ปริมาตรการฉีดสูงสุด 142 กรัม ความดันสูงสุดในการฉีด 199 เมกะปาสคาล อัตราฉีด 112 มิลลิเมตรต่อวินาที เวลาในการฉีดจริง 6 วินาที เวลาในการหล่อเย็น 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 และ 105 นาที เวลาในการเปิดฝาแม่พิมพ์ 15 วินาที ความดันในการฉีดจริง 60 % อุณหภูมิไหลอมเหลวเม็ดของเม็ดพลาสติก 230 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น 45 องศา

การทดสอบแรงดึง (Tensiletest) และการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) ได้ผลดังนี้

1. ในการทดสอบแรงดึง (Tensiletest) ใช้ชิ้นงานทั้งหมด 40 ชิ้น โดยแบ่งชิ้นงานจาก เวลาการหล่อเย็น ละ 4 ชิ้น ใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine หาแรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน (Force)แต่ละชิ้น
2. วิเคราะห์ผลทดสอบสมมติฐานด้วย Analysis of Variance : ANOVA ระหว่าง เวลาการหล่อเย็น (Cooling Time) กับ แรงดึงสูงสุด (Force) และ วิเคราะห์ผลทดสอบด้วย Analysis of Variance : ANOVA ระหว่าง เวลาการหล่อเย็น (Cooling Time) กับ ความเครียด (Strain) โดยใช้ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าเวลาการหล่อเย็นไม่ผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานกรณีศึกษาการฉีดขึ้นรูปประแจพลาสติก จึงทำการวิเคราะห์การจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Moldex3D R10.0 พบว่าค่าเกทฟรีย (Gate freeze time) คือเวลาที่รูเข้าเกิดการแข็งตัว รูเข้าเป็นส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน จึงเป็นส่วนที่แข็งตัวเร็วที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับเรียนรู้แบบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 1.38 - 1.53 วินาที โดยเทียบกับอุณหภูมิของชิ้นงานที่สามารถกระทุ้งออกมาที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส จากคุณสมบัติของวัสดุพอลิโพรลีน เกรด Exxtral BMT 106 โดยถ้าใช้เวลาในการหล่อเย็นมากเกินไปกว่าเวลาของเกทซีล จะไม่มีผลต่อน้ำหนักของชิ้นงานทำให้ค่าของความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเท่ากันทั้งหมด เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85,95, และ 105 วินาที จึงไม่มีผลกับความแข็งแรงของชิ้นงาน

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากกระบวนการศึกษาการออกแบบชิ้นงาน วิเคราะห์ผลการออกแบบแม่พิมพ์ วิเคราะห์ผลการจำลองการฉีดขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Moldex3D R10.0 ทดสอบแรงดึง (Tensile Test) และทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ทำให้พบปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา ดังนี้

5.2.1 ปัญหา

1. ปัญหาในการออกแบบชิ้นงานเพราะว่าบางที่อาจจะลึบมุมครีฟของชิ้นงาน และค่าพิคัดความหนามาตรฐานทั่วไปสำหรับพลาสติกชนิดต่างๆ
2. ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์
3. ปัจจัยในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นงานอย่างละเอียดก่อนที่จะออกแบบชิ้นงาน
2. การออกแบบแม่พิมพ์ควรที่จะออกแบบไว้หลายแบบ เพื่อที่นำมาลองวิเคราะห์การออกแบบและจำลองการฉีดขึ้นรูป ทำให้ได้ค่าเปรียบเทียบกัน เพื่อที่จะเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด
3. ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกค่าปัจจัยในการตั้งค่าในเครื่องฉีดสามารถปรับเปลี่ยนได้ ศึกษารายละเอียดต่างๆอย่างถี่ถ้วนก่อนที่จะปรับเปลี่ยนค่าต่างๆในเครื่องฉีด เพื่อความเหมาะสมและจะทำให้ไม่เสียเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความไวต่อการเกิดสนิมมาก ควรที่จะเก็บให้พื้นที่อับชื้น พื้นน้ำยากันสนิมบ่อยๆ
2. เมื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตจริง สามารถออกแบบให้มีหลายควาตี เพื่อประหยัดเวลาในการฉีด ลดต้นทุนการผลิต และได้ชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น
3. ชิ้นงานประแจพลาสติกเพิ่มความสวยงามได้ด้วยการเติมเม็ดสีในการฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] <http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [2] Kazmer, David O., 2007. Injection Mold Design Engineering. Ohio : Hanser Gardner.
- [3] Cadsoft Technology Co., Ltd., 2010. คู่มือ Moldex3D R10.0.
- [4] <http://www.plastics.com/design/product-HTI-Plastics.html>
- [5] ซาลี ตระการกุล, 2542. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1. ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [6] <http://www.way2science.com/index.php/thermoplastics-and-thermosetting-plastics/>
- [7] <http://dc255.4shared.com/doc/yM76U6EA/preview.html>
- [8] <http://th.wikipedia.org/wiki>
- [9] <http://autodesk.cadgeekspeak.com/category/autodesk-inventor-tooling/>
- [10] <http://www.themouldinfo.com/2009/03/what-is-injection-mold.html>
- [11] http://www.sunrisegr.com/srt_d.php?id=000156
- [12] http://www.tootoo.com/buy-sprue_bush_mould/
- [13] http://trade.e-to-china.com/product-PBEF63/leader_pin.html
- [14] <http://www.ec21.com/product-details/Tapered-Interlock-DME-Standard-6372594.html>
- [15] <http://www.upsmould.com/slide-action-components/273-angle-pinsguide-pins-metricinch.html>
- [16] <http://cnyukaiym.en.busytrade.com/products/info/1035978/Precision-Core-Pin.html>
- [17] <http://www.trollingmotors.net/talon-spacer-block-kit.html>
- [18] <http://www.hawkmold.com/store/c/70-MOLD-COMPONENTS.aspx>
- [19] <http://www.usinenouvelle.com/industry/accessories-for-molds-manufacturers-o1917.html>
- [20] <http://www.rtpcompany.com/info/molding/design/spruepuller.htm>
- [21] <http://www.usinenouvelle.com/industry/fastening-fixation-o1213.html>
- [22] ชัยรัตน์ แก้วดั่งและวิวัฒน์ ตันตขจรโกศล, 2549. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก. กรุงเทพฯ : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [23] http://www.supdie.com/products/be_fast.html
- [24] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605007429>
- [25] <http://www.thyssenkruppmaterials.co.th/dmdocuments/s55c.pdf>
- [26] <http://www.jensen-consulting.co.uk/blog/manufacturing-a-plastic-product-injection-moulding/>

เอกสาร [26] <http://www.jensen-consulting.co.uk/blog/manufacturing-a-plastic-product-injection-moulding/> ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง (ต่อ)

- [27] <http://mechanicalinfo.wordpress.com/tag/injection-moulding/>
- [28] <http://www.made-in-china.com/showroom/sunstest/product-detailUMOQBipLqhd/China-UTM-6000-Series-Table-Standing-Electromechanical-Universal-Testing-Machine.html>
- [29] <http://sst-web.tees.ac.uk/external/U0000504/Notes/Sensory/Texture.html>
- [30] สายชล ลินสมบูรณ์ทอง, 2553. สถิติวิศวกรรม. ครั้งที่4. กรุงเทพฯ : จามจุรีโปรดักท์.

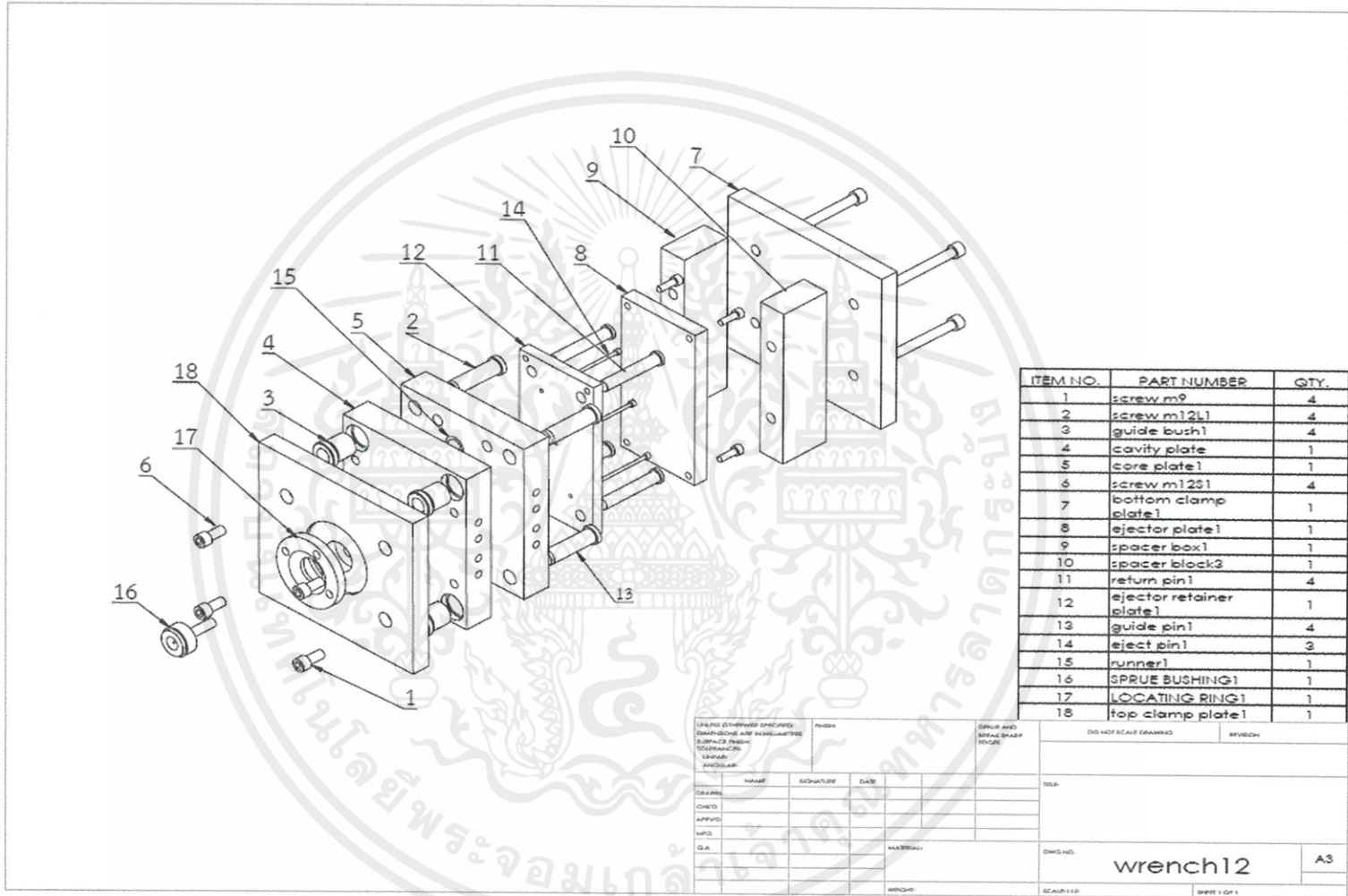


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

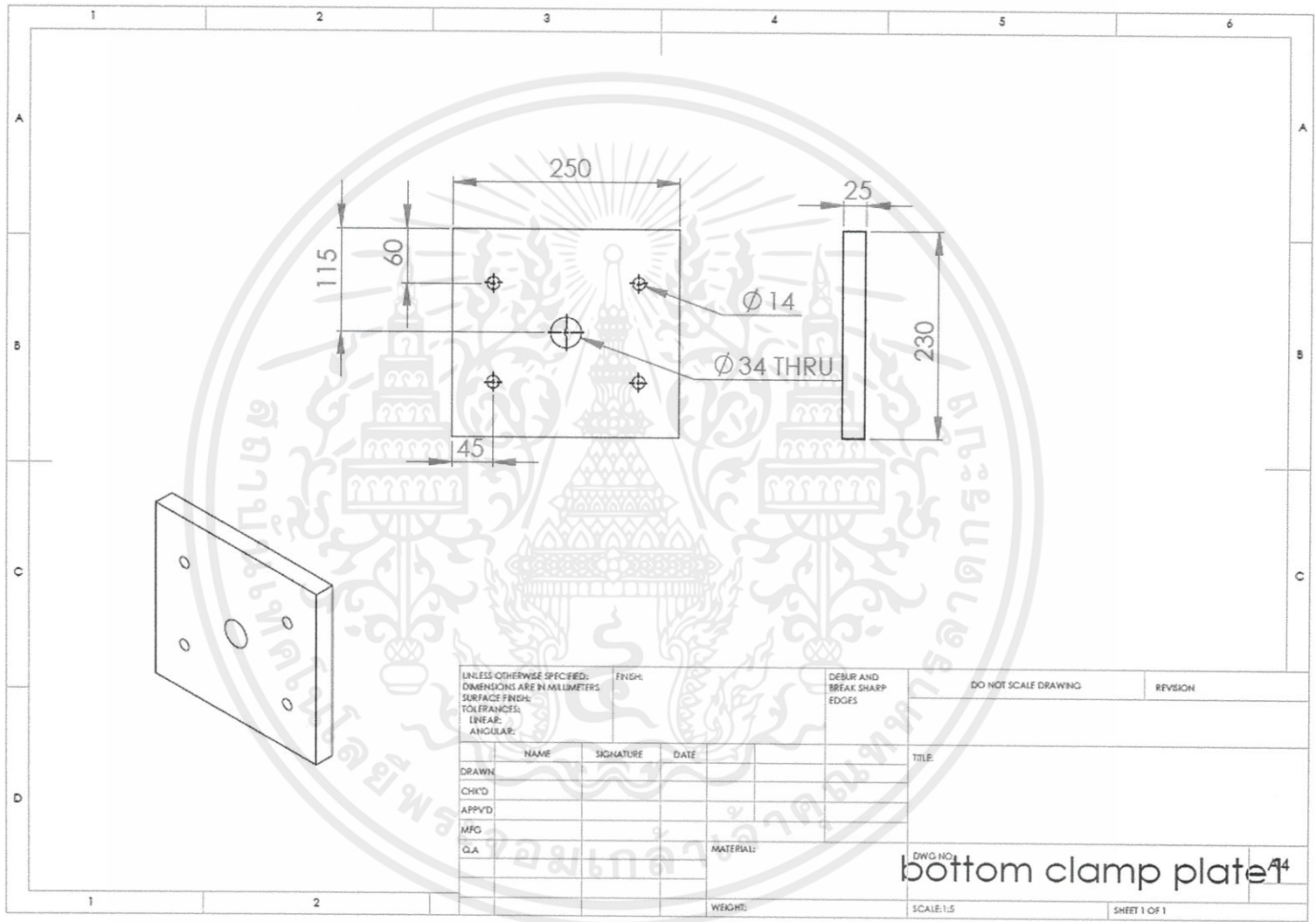


ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

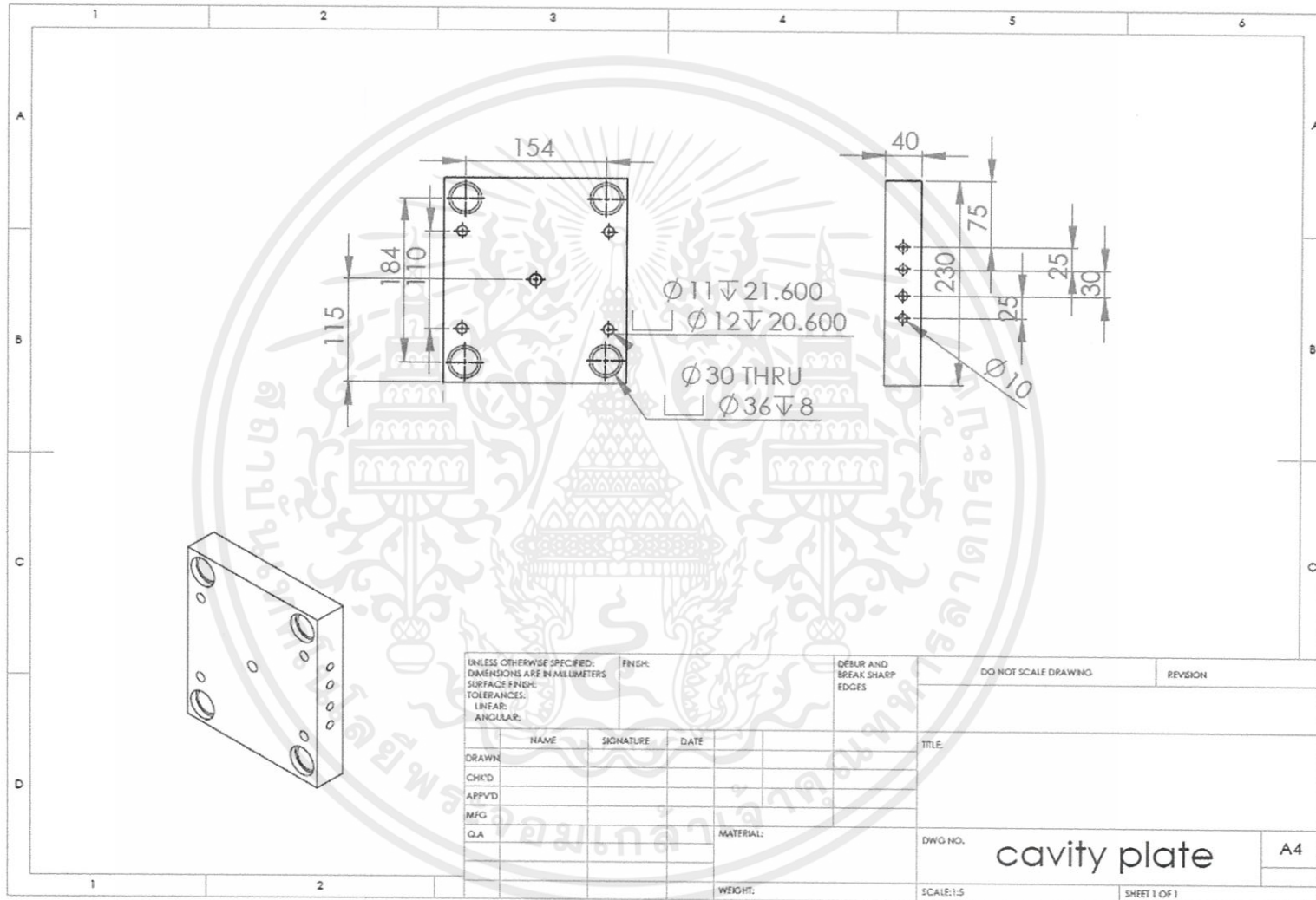


รูปที่ ผก 1 Wrench



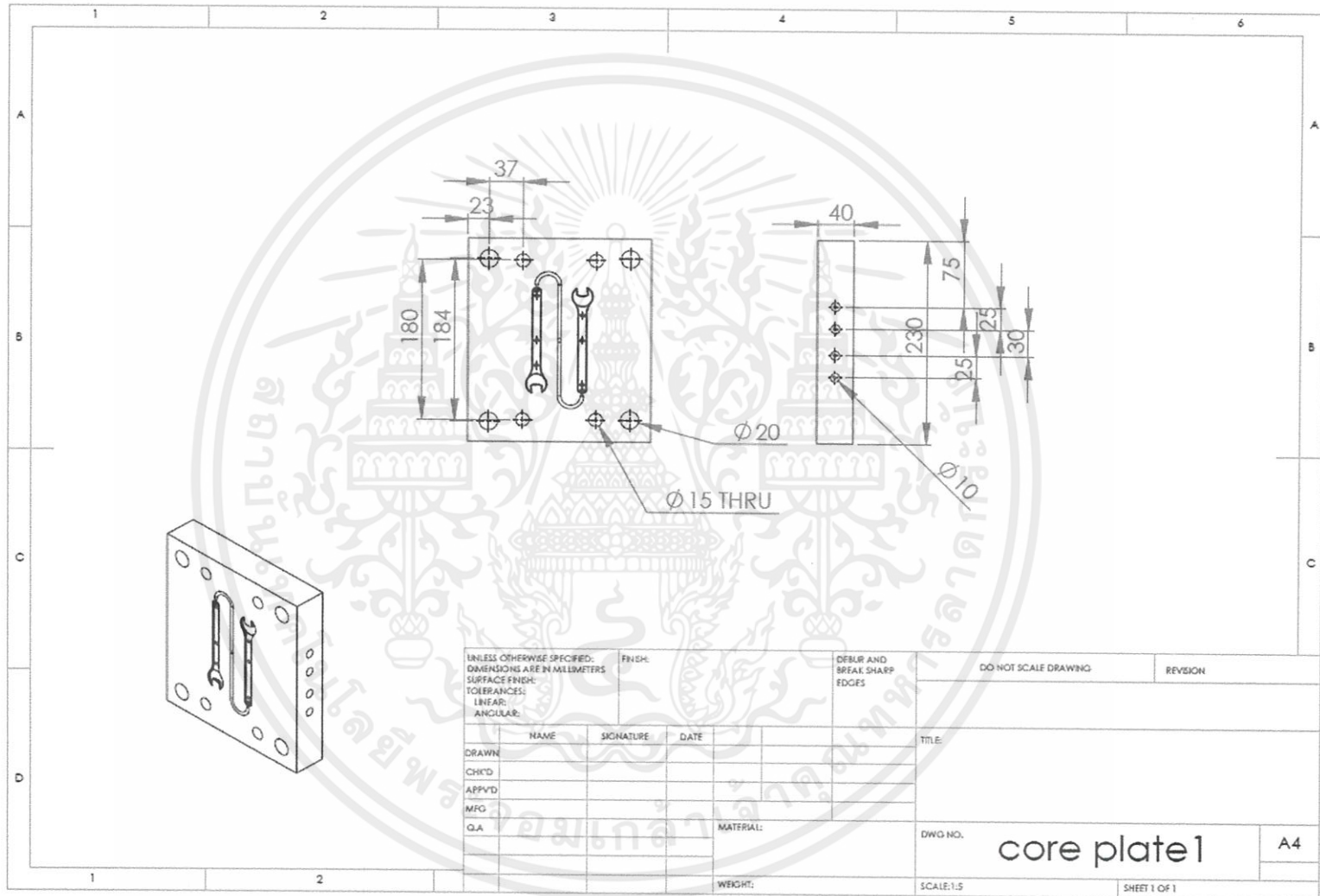
รูปที่ ผก 2 bottom clamp plate

ผก2



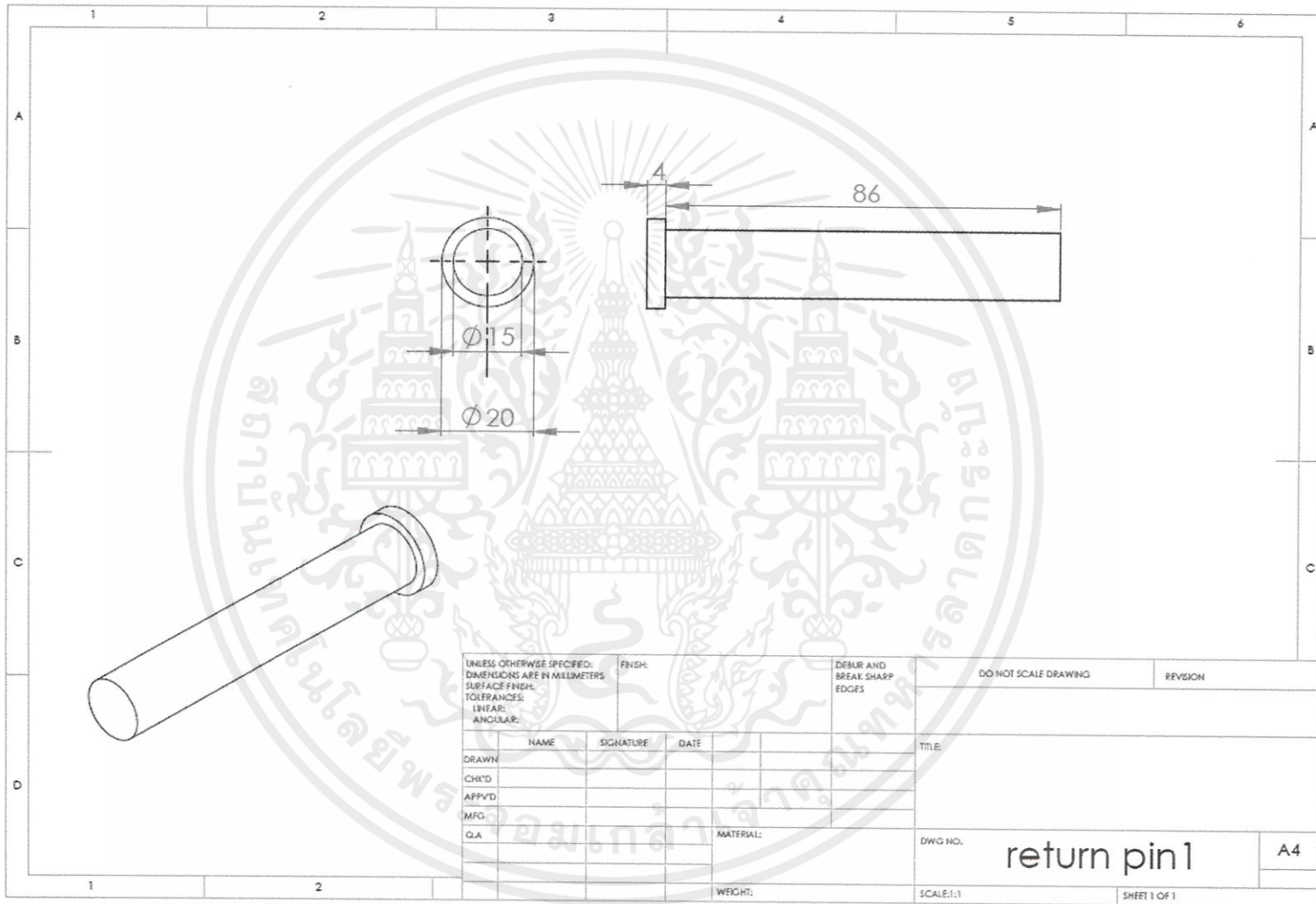
รูปที่ ผก 3 cavity plate

ผก3



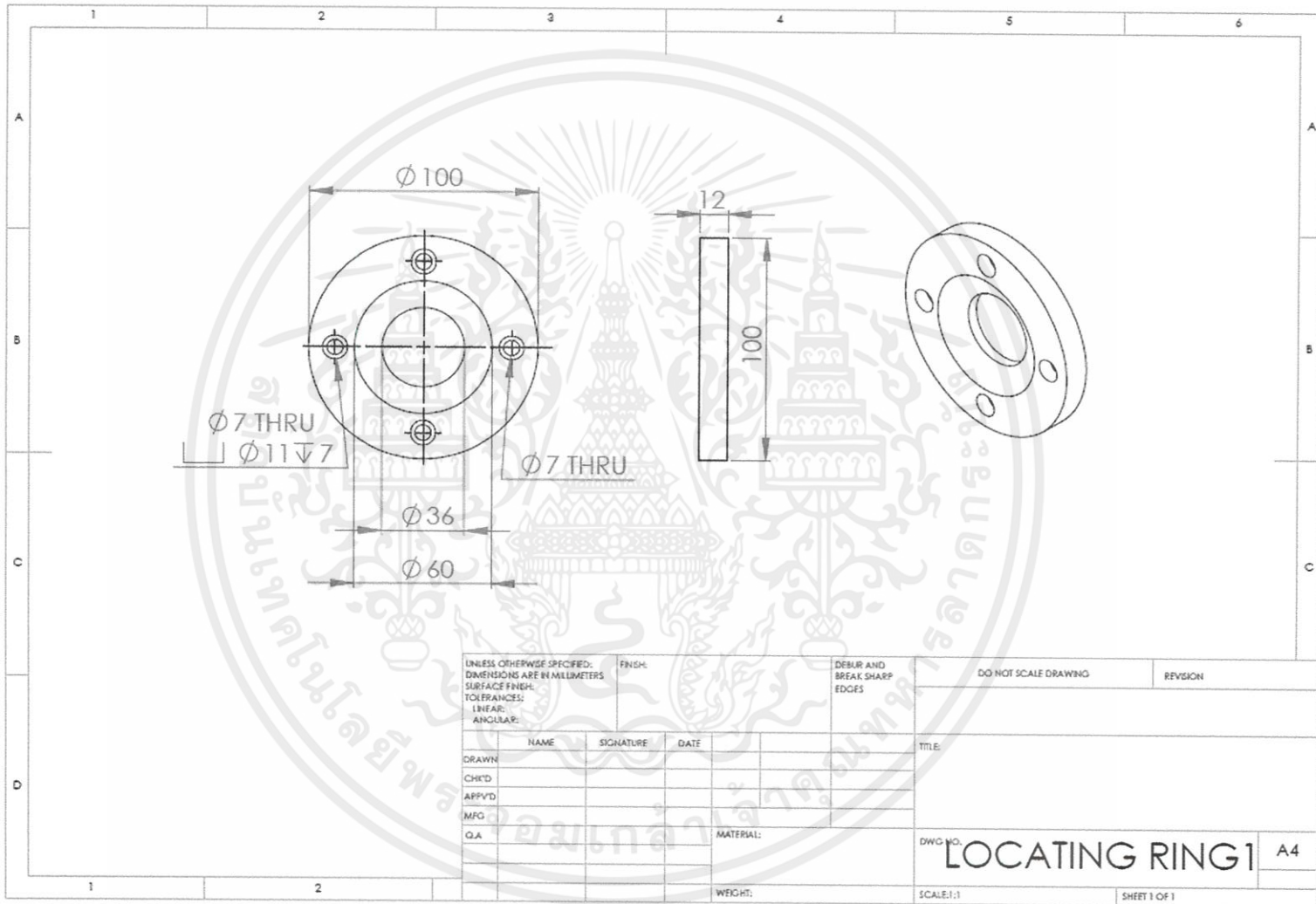
รูปที่ ผก 4 core plate1

ผก4



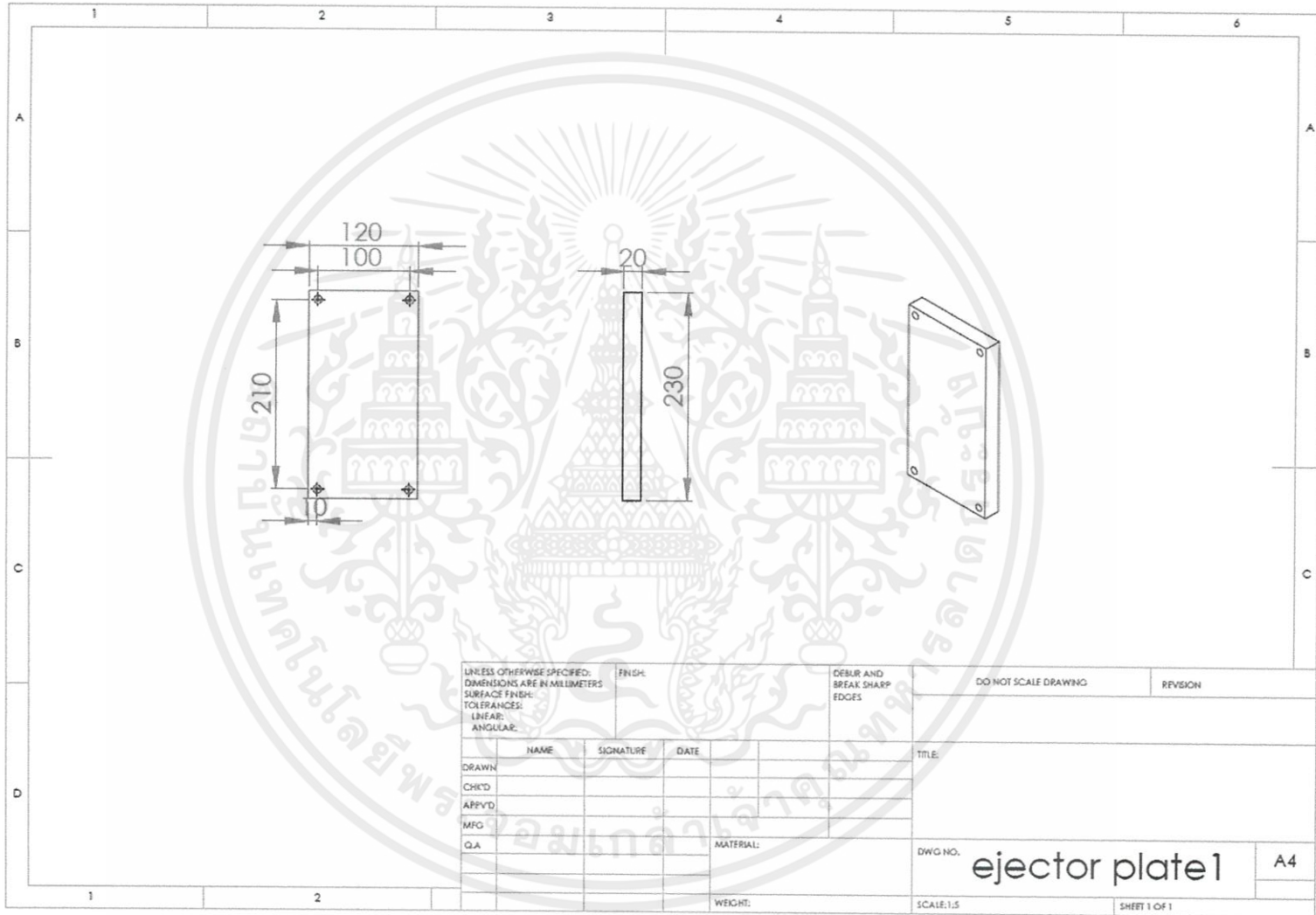
รูปที่ ผก 5 return pin 1

ผก5



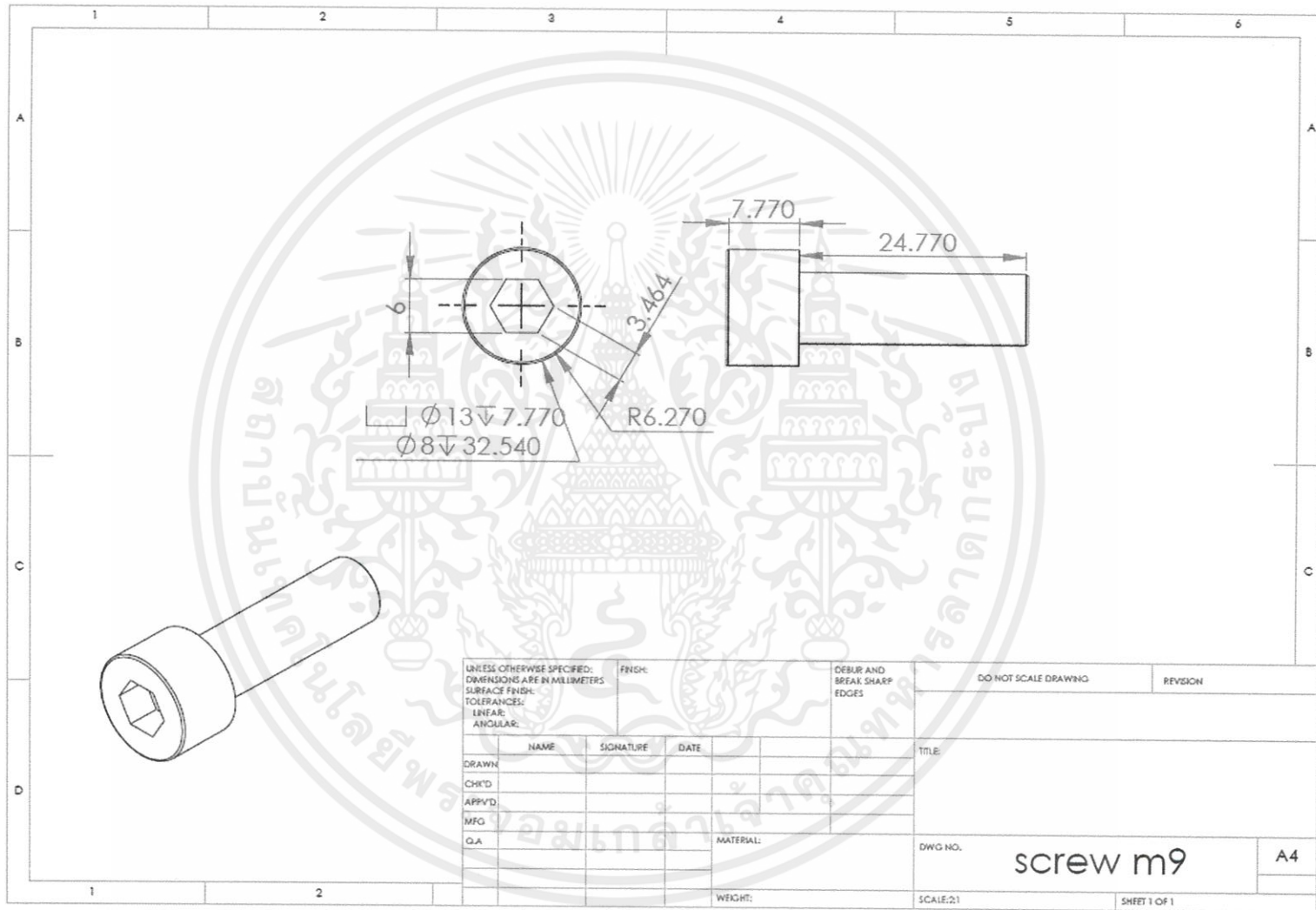
รูปที่ ผก 6 LOCATING RING 1

ผก6



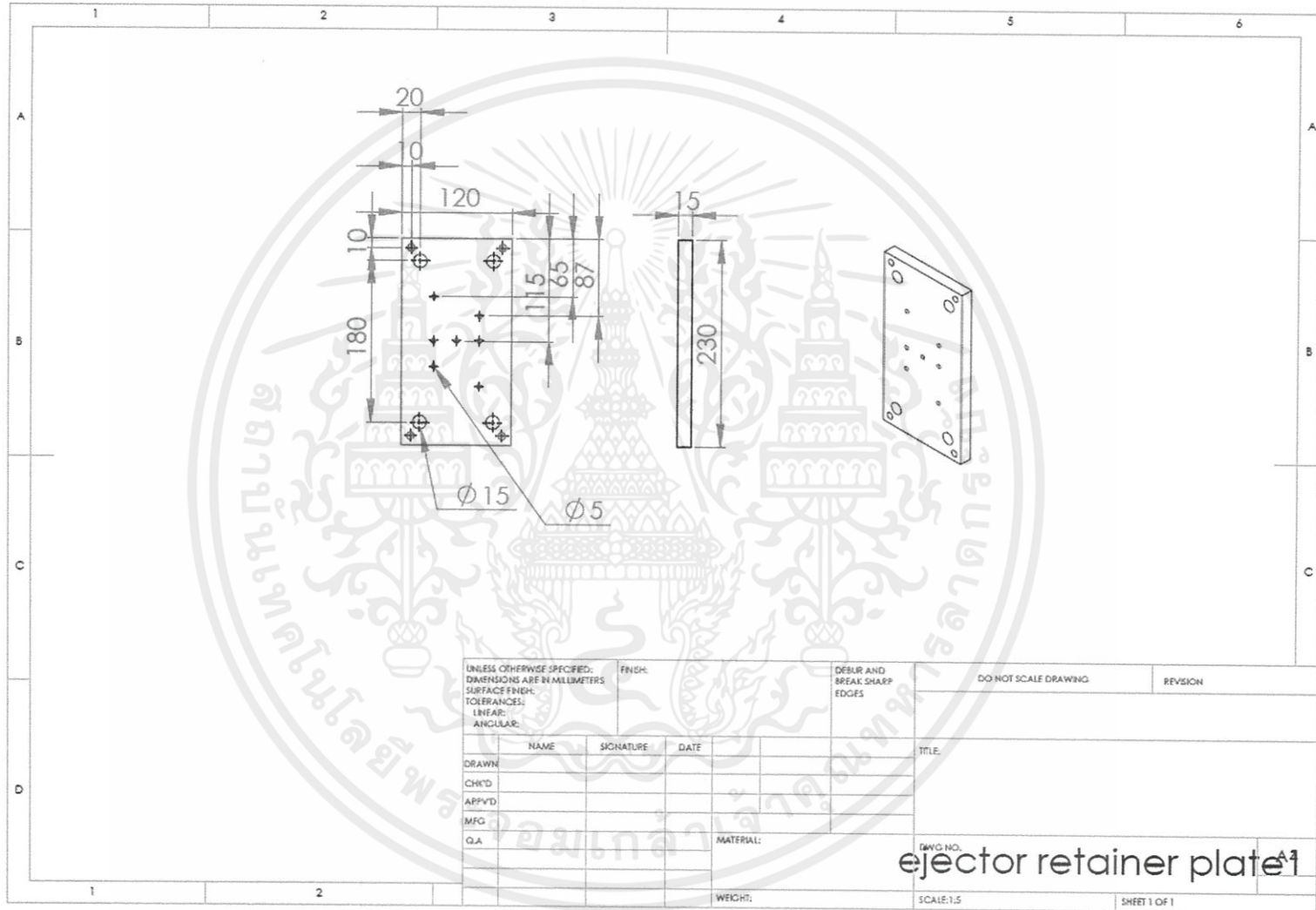
รูปที่ ผก 7 ejector plate 1

ผก7



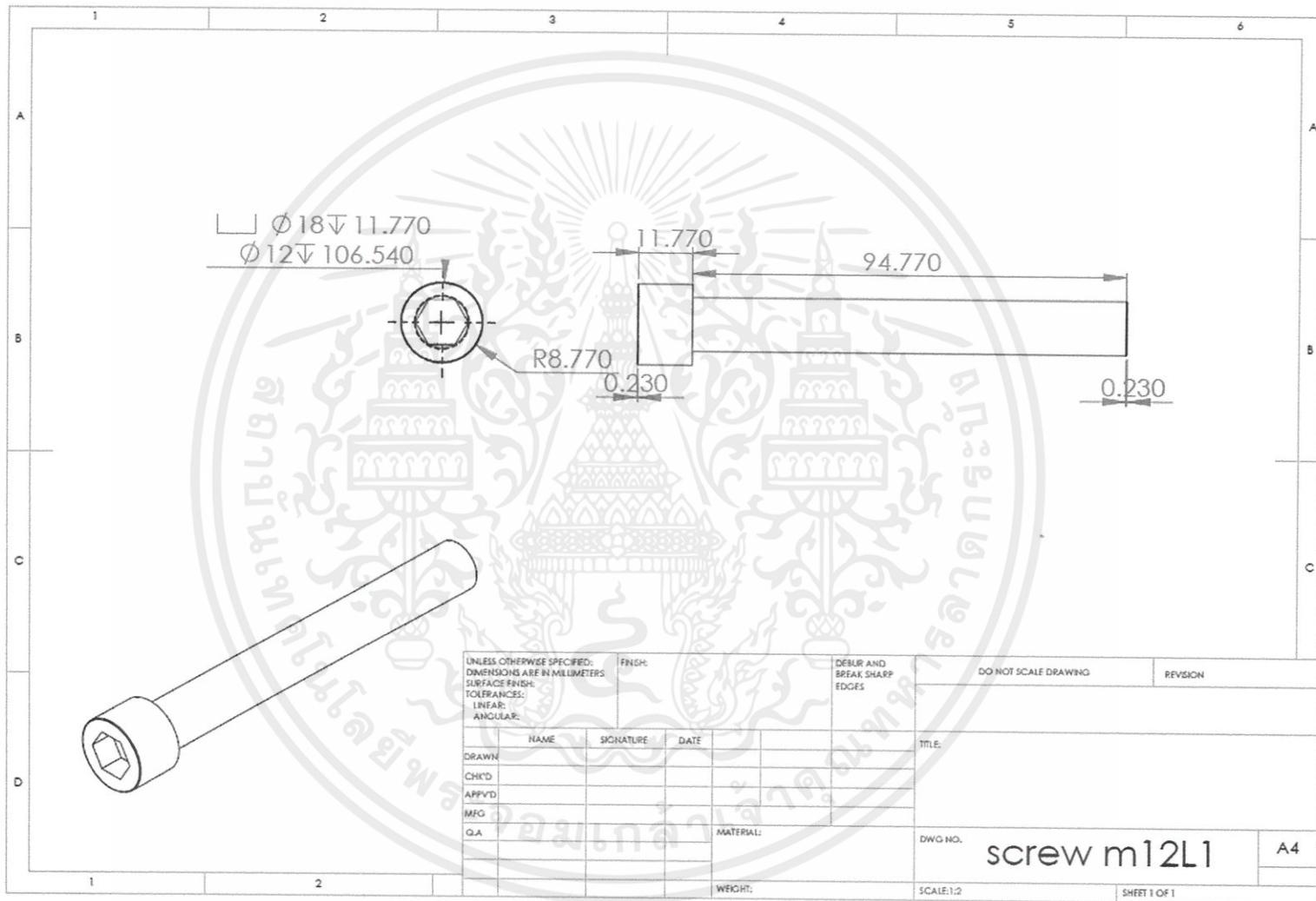
รูปที่ ผก 8 screw m9

ผก8



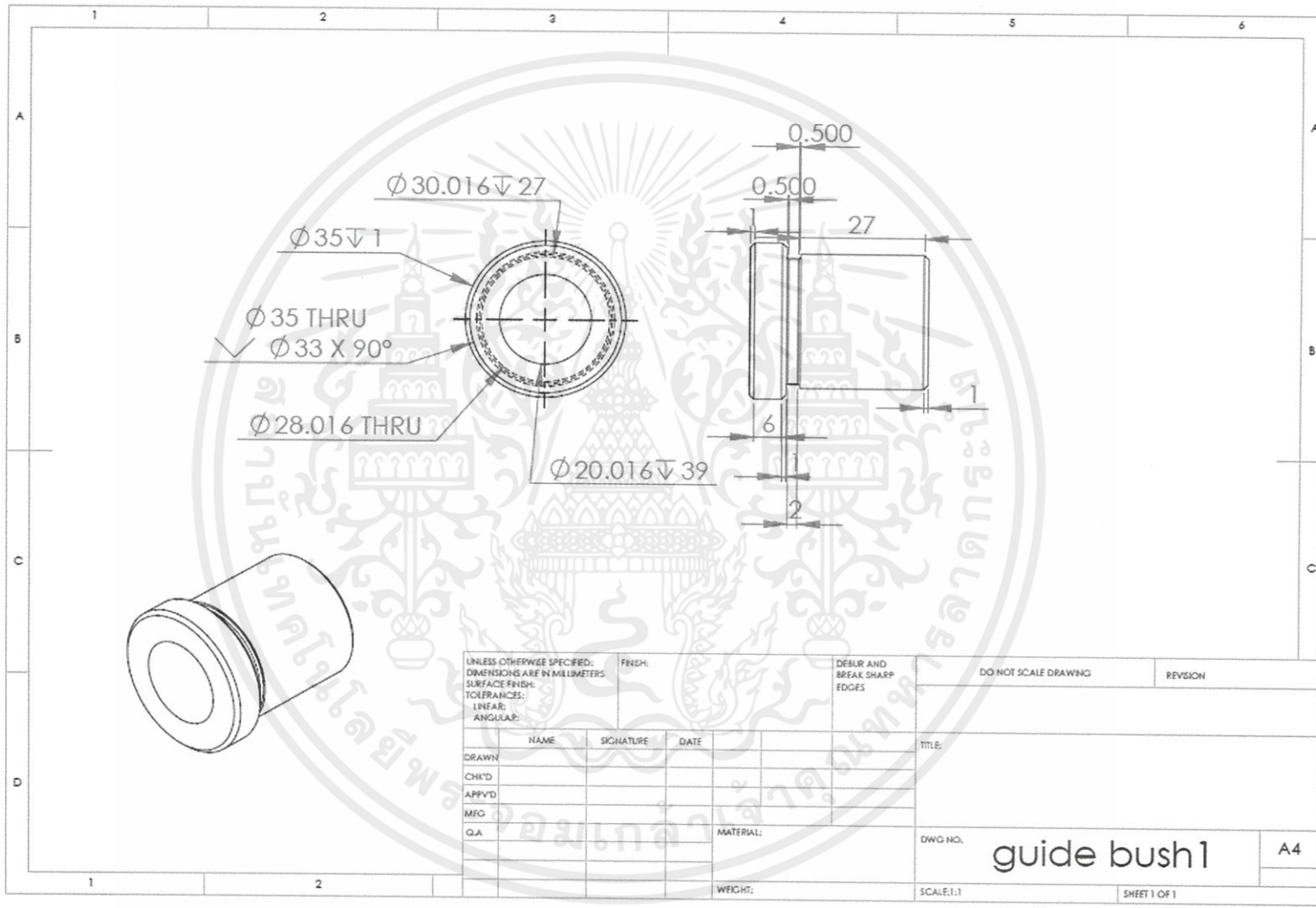
รูปที่ ผก 9 ejector retainer plate 1

ผก9



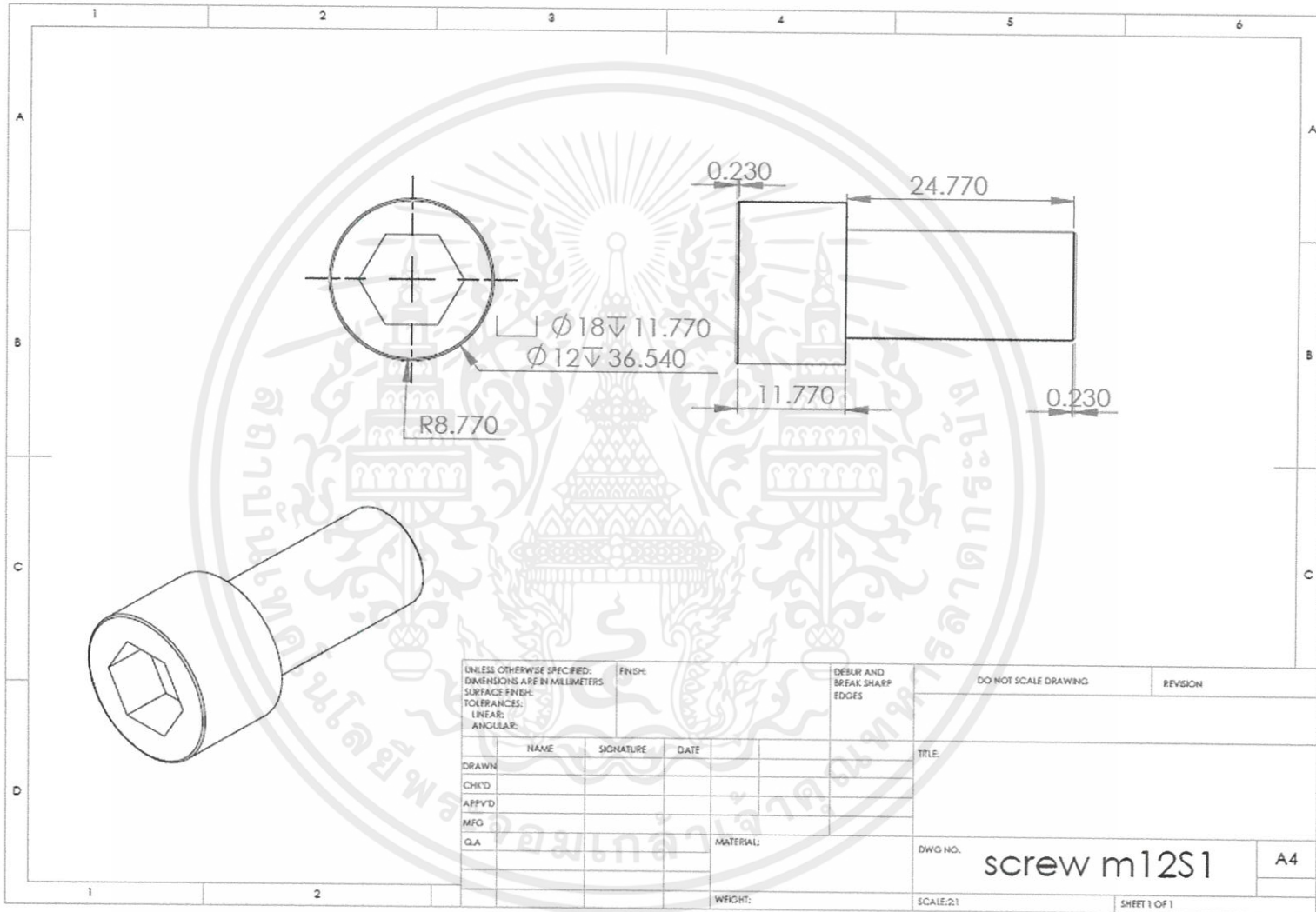
รูปที่ ผก 10 screw m12L1

ผก10



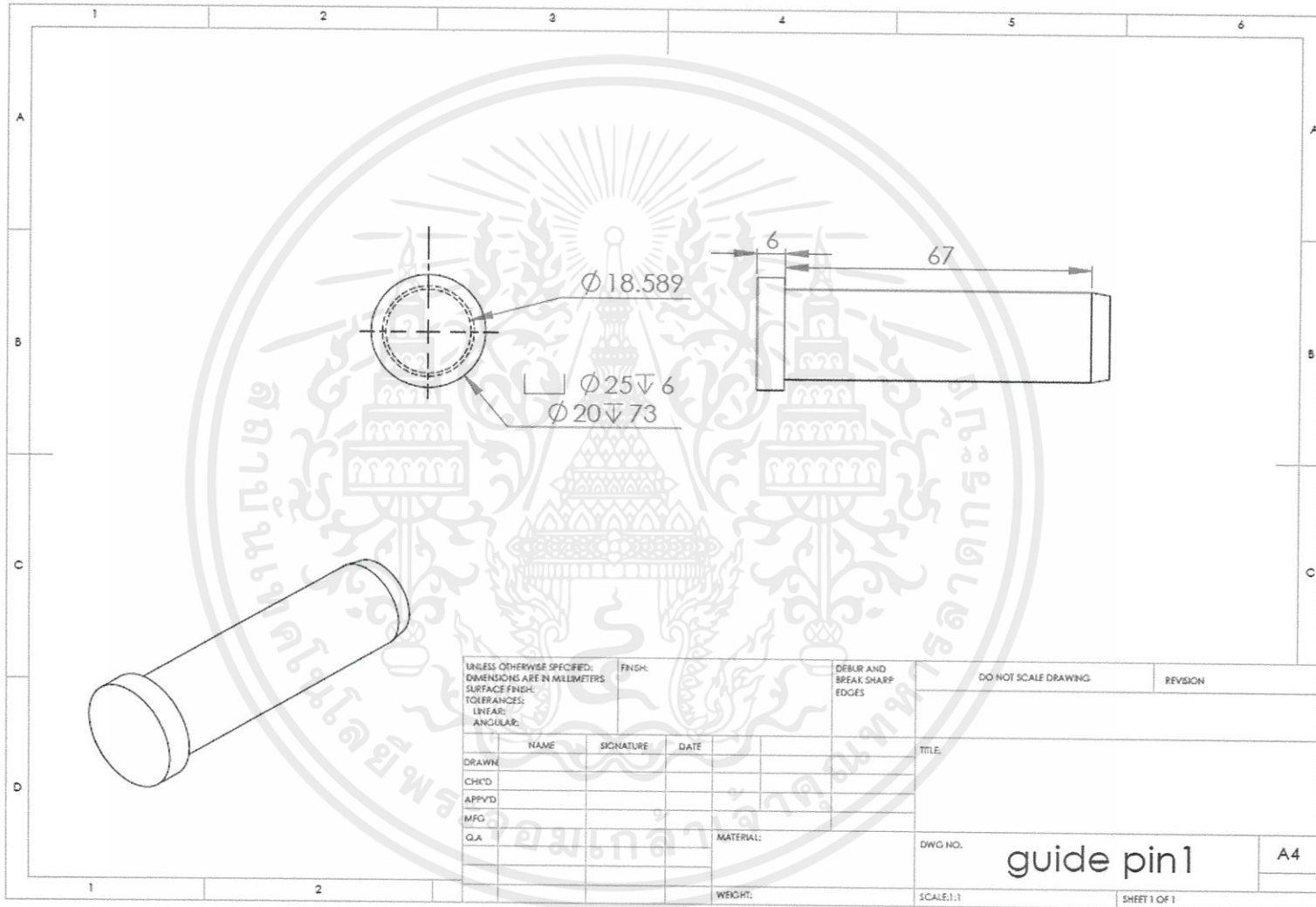
รูปที่ ผก 11 guide bush 1

ผก11



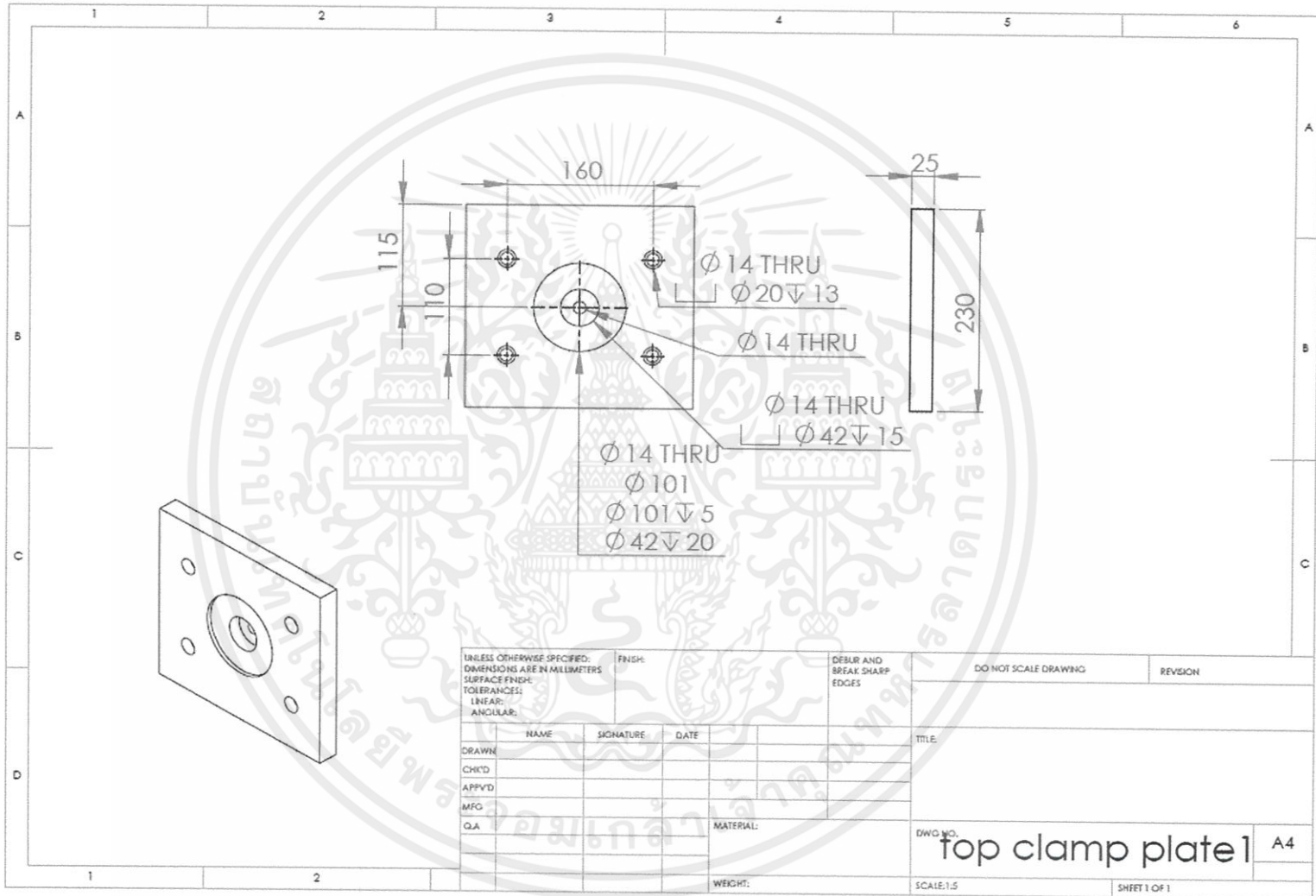
รูปที่ ผก 12 screw m12S1

ผก12



รูปที่ ผก 13 guide pin 1

ผก13



รูปที่ ผก 14 top clamp plate 1

ผก14



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 1 การแจกแจงแบบเอฟ

$F_{0.05}(v_1, v_2)$																			
v_1																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.9	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248	249.1	250.1	252.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	19.37	19.38	19.4	19.41	19.43	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.49	19.5
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.75	8.7	8.66	8.64	8.62	8.59	8.55	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.91	5.86	5.8	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.9	2.86	2.83	2.97	2.75	2.71
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	4.67	3.41	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.6	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21
14	4.6	3.34	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.29	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.4	2.33	2.29	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.24	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96

ตารางที่ ผข 1 การแจกแจงแบบเอฟ (ต่อ)

$F_{0.05}(v_1, v_2)$																			
v_1																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.32	2.28	2.2	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.9	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.35	2.25	2.18	2.1	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34	2.3	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.2	2.13	2.05	2.1	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.9	1.85	1.8	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.2	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.7	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.1	2.03	1.94	1.9	1.85	1.81	1.75	1.7	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.7	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1