

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ เปรียบเทียบค่าการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) ที่กำหนดจากผู้ผลิต กับการนิตขึ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM D955 Standard Test Method

เปรียบเทียบค่าการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) HDPE ที่กำหนดจากผู้ผลิต 2-4% มีดังนี้

1. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.

ผลการทดลอง ตามทิศทางการนิตมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการนิตและไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

1.1. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 2 มม.

ผลการทดลอง มีการหดตัวแตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและแตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 12.7x127 มม.

ผลการทดลอง การนิตตามทิศทางการนิตมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการนิตและไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 3.2 มม.

ผลการทดลอง มีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและไม่แตกต่างกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด 100 มม.

ผลการทดลอง การนิตตามทิศทางการนิตมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการนิตและไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 3.2 มม.

ผลการทดลอง มีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

เปรียบเทียบค่าการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) PET ที่กำหนดจากผู้ผลิต 0.2 - 0.4% มีดังนี้

1. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.

ผลการทดสอบ ตามทิศทางการนิตมีการหดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการนิต ไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

1.2 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 2 มม.

ผลการทดลอง มีการหดตัวแตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้า กับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 12.7x127 มม.

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการฉีด ไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 3.2 มม.

ผลการทดลอง มีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้า กับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด 100 มม.

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบกับความหนา 3.2 มม.

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

การเปรียบเทียบ HDPE และ PET มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

(ผศ. ประสงค์ ก้านแก้ว)

ผู้วิจัย



Abstract

This research aims to compare the shrinkage value that limited from manufacturer with the ASTM D955 Standard Test Method

Comparing the shrinkage values of HDPE 2 – 4 % that limited from manufacturer are as the following:

1. Comparing the shrinkage of 60 X 60 mm. specimen

The result showed that there aren't any shrinkage differences among follow the injection, across the injection and the limited value from the manufacturer.

1.1 Comparing the shrinkage of the specimen with 2 mm. thick

The result showed that the shrinkage between at the point nearby the entrance is different from at the point further from the entrance and it is also different from the limited value from the manufacturer.

2. Comparing the shrinkage of 12.7 X 27 mm. specimen

The result showed that there aren't any shrinkage differences among follow the injection, across the injection and the limited value from the manufacturer.

2.1 Comparing the shrinkage of the specimen with 3.2 mm. thick

The result showed that there aren't any shrinkage differences among the point nearby the entrance, the point further from the entrance and the limited value from the manufacturer.

3. Comparing the shrinkage of 100 mm. round specimen

The result showed that there aren't any shrinkage differences among follow the injection, across the injection and the limited value from the manufacturer.

3.1 Comparing the shrinkage of the specimen with 3.2 mm. thick

The result showed that there aren't any shrinkage differences among the point nearby the entrance, the point further from the entrance and the limited value from the manufacturer.

Comparing the shrinkage values of PET 0.2 - 0.4% that limited from manufacturer are as the following:

1. Comparing the shrinkage of 60 X 60 mm. specimen

The finding revealed that the shrinkage value of the follow injection is different from the across injection but it is not different from the limited value from the manufacturer.

1.2 Comparing the shrinkage of the specimen with 2 mm. thick

The finding revealed that the shrinkage value between the point nearby the entrance and the point further from the entrance are different but the same as the limitation from the manufacturer.

2. Comparing the shrinkage of 12.7 X 27 mm. specimen

The finding revealed that the shrinkage value of the follow injection is different from the across injection but the same as the limited value from the manufacturer.

2.1 Comparing the shrinkage of the specimen with 3.2 mm. thick

The result showed that there aren't any shrinkage differences among follow the injection, across the injection and the limited value from the manufacturer.

3. Comparing the shrinkage of 100 mm. round specimen

The finding revealed that the shrinkage value of the follow injection is different from the across injection but it is not different from the limited value from the manufacturer.

3.1 Comparing the shrinkage of the specimen with 3.2 mm. thick

The finding revealed that the shrinkage value of the follow injection, the across injection and the limited value from the manufacturer are the same.

Both comparing HDPE and PET have statistical significance at 0.05

Asst. Prof. Prasong Kankaew

Researcher

สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทนำ	1
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
- วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	8
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	8
- คำจำกัดความ (KEY WORD)	8
- ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	8
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตรฯลฯ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	9
- วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	10
- ระยะเวลาการทำการวิจัย	11
- ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย	12
- อุปกรณ์การวิจัย อุปกรณ์การวิจัยที่จำเป็นต้องใช้และมีพร้อม	12
- ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	12
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
- ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)	13
- การออกแบบผลิตภัณฑ์	20
- หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก	22
- คุณสมบัติของพลาสติก	22
- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก	25
- เครื่องฉีดพลาสติก	26
- หลักเกณฑ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	27

- การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม	34
สารบัญ(ต่อ)	หน้า
วิธีการวิจัย	36
- ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	36
- การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ	38
- การวิเคราะห์การฉีดโดยใช้โปรแกรมCAD Mould	41
- ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ	42
- การจำลองการฉีดด้วยโปรแกรมCAD Mould	46
- ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ	53
ผลการทดลอง	62
- ผลการทดลอง	62
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	72
- สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	72
- ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	78
- ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องฉีด	79
- การเตรียมการทดลองฉีด	80
- ขั้นตอนการฉีด	82
- ผลการทดลองฉีด	88
- ขนาดของชิ้นงานที่วัดได้	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ	7
2. ค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ	15
3. แสดงปริมาณความร้อนของพลาสติกบางชนิด	23
4. แสดงความดันปีดของพลาสติกชนิดต่างๆ	24
5. แสดงการกำหนดขนาดของรูน้ำหล่อเย็น	31
6. แสดงค่าความลึกของช่องอากาศของพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ให้ใช้ได้ (ค่าโดยประมาณ)	34
7. ตารางชั้นทดสอบ ISO 294-4	37
8. ตารางแสดงการเทียบน้ำหนักของชิ้นงานกับรูเข้าแบบต่างๆ	43
9. ตารางแสดงค่าความดันใน Cavity	44
10. แสดงผลการฉีด HDPE เงื่อนไขที่ 1	84
11. แสดงผลการฉีด HDPE เงื่อนไขที่ 2	85
12. แสดงผลการฉีด PET เงื่อนไขที่ 1	88
13. แสดงผลการฉีด PET เงื่อนไขที่ 2	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. การเชื่อมโยงในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์	2
2. กลุ่มเครือข่ายของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster)	3
3. การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม	6
4. การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม	14
5. กำหนดหาขนาด h ก่อน	16
6. เพิ่มค่าอัตราการหดตัวก่อนกำหนดหาขนาด h	16
7. ส่วนเบ้าและส่วนคอร์	20
8. แสดงการไหลของพลาสติกเหลว	21
9. แสดงการหลีกเลี่ยงการออกแบบชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน	21
10. แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องฉีด	26
11. แสดงภาพของแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น	27
12. แสดงภาพของแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่ และแม่พิมพ์ส่วนเคลื่อนที่	28
13. แสดงภาพแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นเบ้าและคอร์	29
14. แสดงภาพรูว้าง และรูแคบ	29
15. แสดงภาพระบบปลด	30
16. แสดงภาพทรงหน้าต่างของรูว้าง	32
17. แสดงประสิทธิภาพของรูว้างที่มีรูปทรงหน้าต่างต่างๆ กัน	32
18. แสดงการทำช่องระบายอากาศ	33
19. พลาสติก Inno Plus HD1600J	38
20. พลาสติก PET Resin Grade :N1	39
21. ขั้นตอนทดสอบที่ 1	40
22. ขั้นตอนทดสอบที่ 2	41
23. ขั้นตอนทดสอบที่ 3	41
24. ปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE	41
25. ปริมาณการฉีด (Shot Weight) PET	42
26. แสดงภาพการหาขนาดของRunner	42

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27. แสดงขนาดรูน้ำหล่อเย็น	46
28. แสดงเลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีดในการฉีดHDPE	46
29. แสดงเลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีดในการฉีด PET	47
30. แสดงความดัน (Pressure)ที่ใช้ฉีดHDPE	47
31. แสดง ความดัน (Pressure)ที่ใช้ฉีด PET	47
32. แสดง ความเร็วในการฉีดHDPE	47
33. แสดง ความเร็วในการฉีดPET	48
34. แสดง อุณหภูมิ (Temperature)ผนังของชิ้นงานHDPE	48
35. แสดงความดันทั้งหมดหลังการฉีดจนพลาสติกเซตตัว	48
36. แสดงความเร็วHDPE	49
37. แสดงความเร็วPET	49
38. แสดงปริมาตรการหดตัว (Volume Shrinkage)HDPE	49
39. แสดงปริมาตรการหดตัว (Volume Shrinkage)PET	50
40. แสดงถึงอุณหภูมิของชิ้นงานหลังจากหล่อเย็น(Cooling)แล้วHDPE	50
41. แสดงถึงอุณหภูมิของชิ้นงานหลังจากหล่อเย็นแล้วPET	50
42. แสดงการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน(Sink Mark) HDPE	51
43. แสดงการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน(Sink Mark) PET	51
44. แสดงการเกิดฟองอากาศ(Air Trap)ที่ชิ้นงานHDPE	51
45. แสดงให้เห็นว่าเกิด Air Trap PET	51
46. แสดงให้เห็นถึงเวลานิดพลาสติกเข้าชิ้นงานจนสามารถปลดชิ้นงานได้ ใช้เวลาอยู่ระหว่าง1.024-47.26วินาที(HDPE)	52
47. แสดงให้เห็นถึงเวลานิดพลาสติกเข้าชิ้นงานจนสามารถปลดชิ้นงานได้ ใช้เวลาอยู่ระหว่าง1.126-50.274วินาที(PET)	52
48. แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์หลังจากปรับค่าในการฉีด HDPE	52
49. แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์หลังจากปรับค่าในการฉีด PET	52

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
50. ภาพประกอบ Mould	53
51. แสดงแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่	53
52. แสดงแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่	53
53. แสดงตำแหน่งระบบ Core HDPE	54
54. แสดงชิ้นทดสอบHDPE	54
55. แสดงตำแหน่งระบบ Core PET	54
56. แสดงชิ้นทดสอบPET	54
57. แสดงภาพแหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)	56
58. แสดงภาพปลอกกรู๊ด (Spure Bush)	56
59. แสดงภาพ Front Plate	56
60. แสดงภาพ Cavity Plate	57
61. แสดงภาพInsert Cavity HDPE	57
62. แสดงภาพการขึ้นรูป Cavity Plate HDPE	57
63. แสดงภาพInsert Cavity PET	58
64. แสดงภาพการขึ้นรูปInsert Cavity PET	58
65. แสดงภาพแผ่นรองคาวีตี้ (Cacity Plate) จากแบบ	58
66. แสดงภาพแผ่นรองคาวีตี้ (Cacity Plate)ทำแล้ว	58
67. แสดงภาพประกอบแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)จากแบบ	59
68. แสดงภาพ แผ่นคาวีตี้(Insert Cavity)	59
69. แสดงภาพ Spacer Block	59
70. แสดงภาพ Ejector Plate	59
71. แสดงภาพ Ejector Retainer Plate	60
72. แสดงภาพ Back Plate	60
73. แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์	61
74. แสดงภาพแบบประกอบแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์	61

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
75. แสดงเครื่องฉีดพลาสติก Jetmaster C Serise JM168-C/ES	79
76. แสดงการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก	82
77. แสดงหน้าจอการปรับฉีด	83
78. แสดงการปรับตั้งClamping	83
79. แสดงการปรับอุณหภูมิฉีด	83
80. แสดงการปรับเวลานัด6sหล่อเย็น8sฉีดซ้ำ0.5s	84
81. แสดงการปรับระยะการปลดชิ้นงานโดยปลดสองระยะ	84
82. แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกHDPE	84
83. แสดงชิ้นงานที่ได้จากการฉีดHDPEครั้งแรก	85
84. แสดงชิ้นงานที่ได้จากการฉีดHDPE	86
85. แสดงการปรับตั้งClamping	86
86. แสดงการปรับอุณหภูมิฉีดPET	86
87. แสดงการปรับเวลานัด6sหล่อเย็น23sฉีดซ้ำ0.5s	87
88. แสดงการปรับระยะการปลดชิ้นงานโดยปลดสองระยะ	87
89. แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกPET	87
90. ภาพอุปกรณ์อบเม็ดPET	87
91. แสดงเกจวัดแรงปิดแบบ	88
92. แสดงเกจวัดแรงดันฉีด	88
93. แสดงผลการฉีดPETเงื่อนไขที่ 1	89
94. แสดงผลการฉีดเงื่อนไขที่ 2	90
95. แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Fix plate บนเครื่องฉีดพลาสติกHDPEและPET	90
96. แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Moving plate บนเครื่องฉีดพลาสติกHDPE	90
97. แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Moving plate บนเครื่องฉีดพลาสติกPET	91
98. แสดงภาพแม่พิมพ์ขณะเปิดและปลดHDPE	91
99. แสดงภาพแม่พิมพ์ขณะเปิดและปลดPET	91
100. แสดงภาพการวัดขนาดความโตของชิ้นงาน	91

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
101. แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างของชิ้นงาน	92
102. แสดงภาพการวัดขนาดความหนาของชิ้นงาน	92
103. แสดงภาพการวัดขนาดความลึกของชิ้นทดสอบ	92
104. แสดงภาพการวัดขนาดความลึก2.0ม.ม.วัดได้2.05ม.ม.	92
105. แสดงภาพการวัดขนาดความลึก3.2ม.ม.วัดได้3.256ม.ม.	93
106. แสดงภาพการวัดขนาดความลึก3.2ม.ม.วัดได้ 3.257ม.ม.	93
107. แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างขนาด12.7x127ม.ม.	93
108. แสดงภาพการวัดขนาดความโต100x100ม.ม.	93
109. แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างขนาด 60x60ม.ม.	93



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหาของโครงการ

นาโนเทคโนโลยีพลาสติกที่มีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการใช้งานอย่างคุ้มค่า รวมถึงการฉีดขึ้นงานขนาดเล็กแต่มีคุณภาพการใช้งานสูง(Micro Injection Technology)อีกทั้งในการออกแบบชิ้นงาน(Parts Design)และออกแบบแม่พิมพ์เพื่อฉีดขึ้นงานให้ได้ขนาดตรง ตามแบบที่กำหนดการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) โดยใช้เทคโนโลยี CAD/CAM/CAEสำหรับผู้สร้างแม่พิมพ์อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อสร้างภูมิคุ้มกันจากการผลิตด้วยตนเองภายในประเทศ ทดแทนการนำเข้าและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับประเทศไทยในอนาคต

อุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์พลาสติก อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

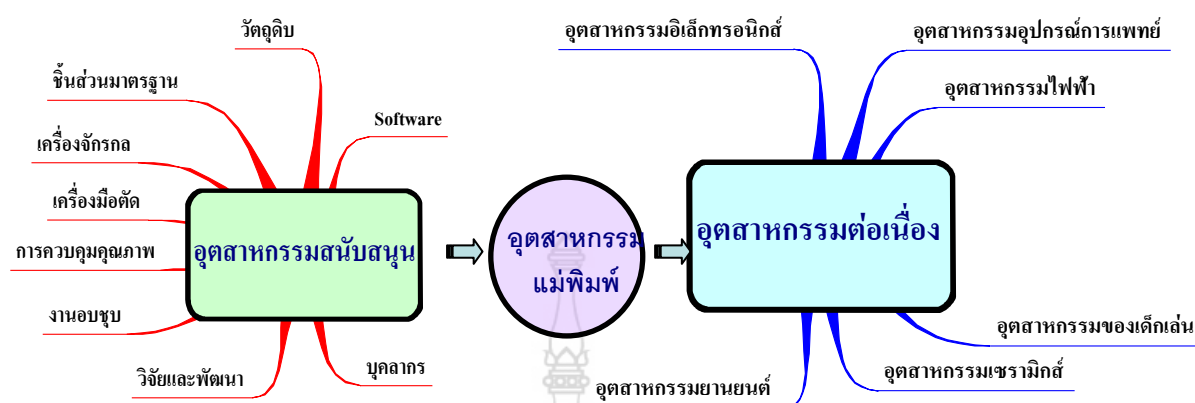
ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (นาโนเทค) กล่าวว่า อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาทิ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างต้องการวัสดุชนิดใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าและขีดความสามารถในการแข่งขันและนาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยี คลื่นลูกใหม่ที่จะช่วยภาคอุตสาหกรรมพัฒนาวัสดุที่มีคุณสมบัติตามที่ตลาดต้องการได้

ผลสำรวจตลาดทั่วโลกพบแนวโน้มการเติบโตของผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าตัว คิดเป็นมูลค่า 75 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2551 หรือราว 250 ล้านบาท โดยเฉพาะพลาสติกที่ใช้กับ อุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ จากยอดการลงทุนวิจัยนาโนเทคโนโลยีทั่วโลกอยู่ที่ 4.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศในปัจจุบัน ได้ให้ความสำคัญกับการกำหนด ยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมอย่างเป็นขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงกติกาค่าใหม่ของโลก ดังนั้นอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ต้องแข่งขันในตลาดโลก เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้เกิดความเข้มแข็งเพื่อรองรับตลาดที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว

ในการผลิตสินค้าที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น รถยนต์ อุปกรณ์สื่อสาร เครื่องอุปโภค บริโภค และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น ต้องได้รับการยอมรับด้านคุณภาพและมาตรฐานของสินค้านั้น ซึ่ง จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆในการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต ทั้งนี้กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไปจะ

ประกอบด้วย ผู้ป้อนวัตถุดิบ ผู้ดำเนินการผลิต ผู้นำสินค้าไปใช้ เมื่อนำรูปแบบการผลิตมาใช้ในการดำเนินงานในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์แล้วจะได้กระบวนการดังในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การเชื่อมโยงในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

จากภาพที่ 1.1 เห็นว่าอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสร้างผลผลิตออกสู่ตลาดต่อไป

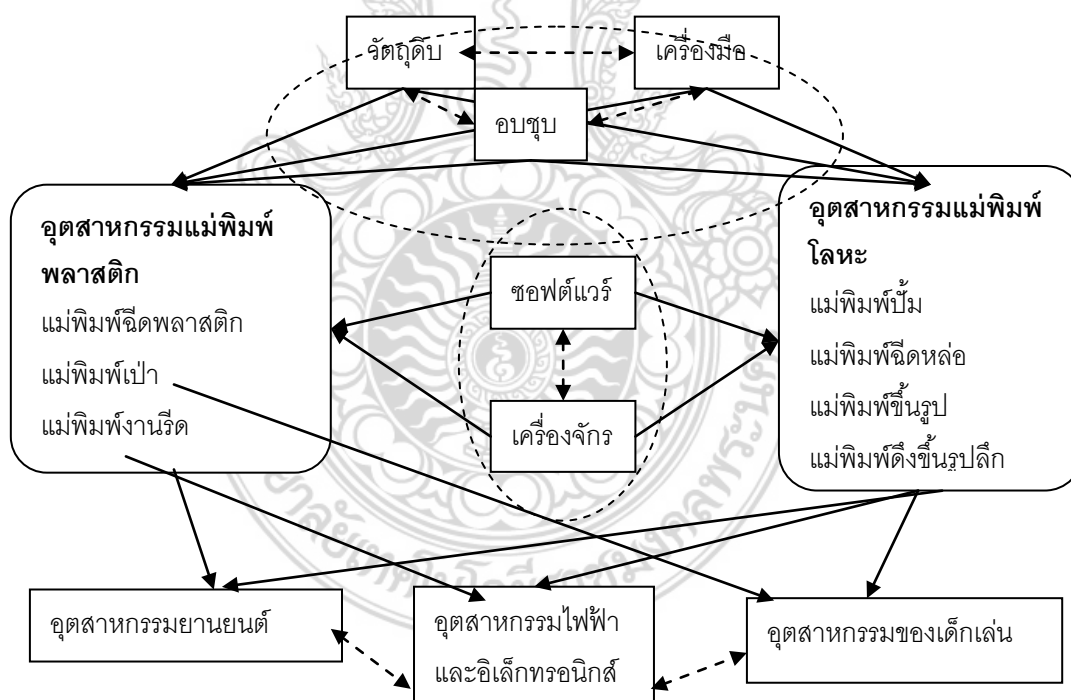
กลุ่มเครือข่ายของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster)

ในยุคโลกาภิวัตน์และโลกการค้าเสรีนี้ มีการแข่งขันในตลาดที่สูงขึ้นมาก ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงกัน อย่างกว้างขวางในการจัดการทั้งอุปสงค์และอุปทาน ธุรกิจไม่สามารถดำเนินอยู่ได้เพียงลำพัง การดำเนินธุรกิจและอุตสาหกรรมในยุคนี้จำเป็นต้องหันมาจับมือกับธุรกิจรอบตัว ธุรกิจรอบตัวที่กล่าวถึงนี้จะรวมทั้งรอบตัวในแนวดิ่งและแนวราบ ความร่วมมือระหว่างธุรกิจแนวดิ่งจะรวมถึงธุรกิจที่ก่อให้เกิด ผลผลิตจริงในสายการผลิตของตน ตั้งแต่ผู้จัดหาวัตถุดิบ ผู้จัดตั้ง ผู้ผลิต และลูกค้า ส่วน ความร่วมมือในแนวราบนั้น จะรวมถึงธุรกิจที่มีลักษณะส่งเสริมสนับสนุนหรือเป็นคู่ค้าที่มีประโยชน์ก่อให้เกิด การเพิ่มผลผลิต หรือยกระดับความสามารถของตนได้ ซึ่งอาจจะเป็นธุรกิจที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แนวคิด การหันมาจับมือกับธุรกิจรอบตัวนี้เป็นแนวคิดที่เรียกว่า โซ่อุปทาน (Supply chain) ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่ ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้เริ่มยอมรับแนวความคิดของโซ่อุปทาน และ ก่อให้เกิดการปรับปรุงแนวปฏิบัติให้ดีขึ้นในบางอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามการนำแนวคิดนี้ไปปฏิบัติยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร โดยเฉพาะในหมู่อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

ในช่วงระยะเวลา 10-15 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีการดำเนินธุรกิจตามลำพัง ขึ้นอยู่กับการทำธุรกิจกับกลุ่มลูกค้าเดิมๆ ยังขาดการเชื่อมโยงที่เข้มแข็งทั้งด้านการผลิต การส่งมอบ การให้บริการ หลังการขายและการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดการดำเนินธุรกิจรูปแบบใหม่อย่างเช่น การจัดการโซ่อุปทาน ที่สามารถทำให้การกระจายตัวและการเป็นเอกเทศของสถานประกอบการแม่พิมพ์ได้เกิดการรวมตัวอย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ซึ่งการรวมกลุ่มเพื่อให้เกิดเอกภาพของโซ่อุปทานได้นั้น สถานประกอบการที่เข้าร่วมต้องมีแนวคิดในการบริหารจัดการองค์การที่พร้อมจะให้เกิดการ

แลกเปลี่ยนทรัพยากรที่มีอยู่ ทั้งนี้การจัดการโซ่อุปทานมีเป้าหมายในการให้เกิดความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสมาชิกที่เข้าร่วมโครงข่าย มีการแลกเปลี่ยนข่าวสาร ข้อมูลระหว่างกัน เพื่อให้การตอบสนองของผู้นำแม่พิมพ์ไปใช้ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้น

จากภาพที่ 1.2 เป็นการดำเนินธุรกิจของกลุ่มอุตสาหกรรมสนับสนุนที่มีต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับการประสานเครือข่ายให้เกิดความเข้มแข็งในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์นี้จะอยู่ที่การรวมกลุ่มของอุตสาหกรรมสนับสนุนที่ต้องสร้างเครือข่ายภายในของตนเองให้มีเสถียรภาพเป็นอันดับแรก จะเห็นว่าการรวมกลุ่มเครือข่ายของ วัตถุดิบ การอบชุบและเครื่องมือตัดสามารถรวมตัวกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ตนเองมีอยู่ในกับสมาชิกในกลุ่ม ข้อมูลดังกล่าวนี้อาจเป็นข้อมูลทางด้านเทคโนโลยีหรือสิ่งที่ลูกค้าต้องการให้ทำการศึกษา เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกันทางด้านการค้นคว้า ศึกษาหรือวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดการสร้างสิ่งใหม่หรือเหมาะสมกับงานที่ลูกค้าต้องการทางด้านเครื่องจักรและซอฟต์แวร์เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่สามารถรวมเป็นเครือข่ายได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากในปัจจุบันการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญเฉพาะด้านมาใช้ในการปฏิบัติงาน ดังนั้นเมื่อนำทั้งสองกลุ่มมารวมกันจะทำให้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ได้รับประโยชน์สูงสุด



ภาพที่ 1.2 กลุ่มเครือข่ายของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster)

กล่าวโดยสรุป การรวมกลุ่มเครือข่ายอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster) คือแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถและเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย มีความรู้ความเข้าใจกติกาสากลทางการค้าโลกยุคใหม่ และสามารถพัฒนาเครือข่ายธุรกิจและ

อุตสาหกรรมด้วยการรวมตัวกันอย่างเหนียวแน่น เชื่อมโยง เครือข่ายซึ่งกันและกันทั้งภายในกลุ่มผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสถาบันวิจัยและพัฒนา องค์การภาครัฐแล้ว ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทยก็จะเติบโตได้อย่างยั่งยืนและสามารถแข่งขันทางการค้าในตลาดเสรีได้อย่างสง่างาม

ในงานฉีดพลาสติก (Injection Moulding) กระบวนการเริ่ม จากการที่เม็ดพลาสติก หรือผงพลาสติกถูกให้ความร้อน หลอมเหลว แล้วถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จนเต็ม จากนั้นจึงปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดี หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ การออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม และการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิปลดชิ้นงาน อุณหภูมิกระบอกฉีด ระยะชักสกรู ความเร็วรอบสกรู ความดันฉีด ความดันฉีดย้ำ เวลาฉีดย้ำ ระยะสำรอง เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด ความเร็วฉีด ความดันดัน การถอยกลับของสกรู ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้ำ แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เมื่อมีการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีแล้ว ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ต้องปรับตั้งให้ถูกต้องด้วย เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ โดยผู้ที่ทำหน้าที่ปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก จะต้องมีความเชี่ยวชาญในงานด้านนี้เป็นอย่างดี แต่ถ้าหากผู้ปรับตั้งมีประสบการณ์ไม่มากนัก ผู้ปรับตั้งจะทราบได้อย่างไรว่า ควรปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ด้วยค่าพารามิเตอร์เท่าใด นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงงานทั่วไป คือ เมื่อลูกค้าต้องการให้ผลิตชิ้นงาน ที่มีรูปร่างแตกต่างจากที่เคยผลิต ผู้ปรับตั้งเครื่อง จะต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดพลาสติก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่คุณภาพ หรือถ้าหากว่าผู้ผลิตจะนำโปรแกรม CAE มาช่วยในการวิเคราะห์งานฉีดพลาสติก ก็จะพบว่าโปรแกรมเหล่านั้นมีราคาสูง ประกอบกับผู้ใช้โปรแกรม จะต้องมีความรู้ด้านการใช้คอมพิวเตอร์และประสบการณ์ด้านการฉีดพลาสติก และการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งจำเป็นจะต้องทราบขั้นตอน ในการใช้โปรแกรมอย่างละเอียด ดังนั้นหากผู้ปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก มีความรู้เกี่ยวกับการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องฉีด ก็จะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองฉีดพลาสติก และลดต้นทุนในการฉีดพลาสติกได้ การเลือกใช้ค่าอัตราการหดตัวที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ใช่แค่เพียงให้ได้สัดส่วนของชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการสวมประกอบชิ้นงานนั้นกับชิ้นส่วนอื่น ๆ และการนำไปใช้งานของชิ้นงานนั้นด้วย ชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) ก่อนการฉีดและหลังจากการฉีดเป็นอย่างดี มิฉะนั้นต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) และเกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์ส่งงานไม่ตรงตามกำหนดขาดความเชื่อถือจากลูกค้าเสียค่าแรงเสียโอกาสทางการค้า

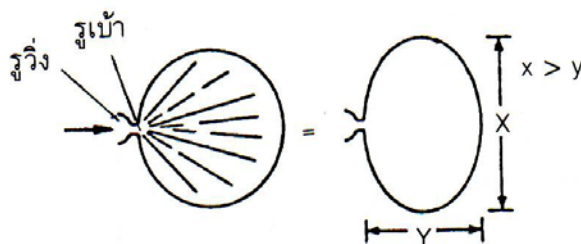
อัตราการหดตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้นได้จากผลของชิ้นงานทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิตอัตราการหดตัวที่เกิดขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางการหดตัวกับค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน

การหดตัวของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 3 ข้อได้แก่

1. ความดันการฉีดเข้า ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดเข้าให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง
2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัดคือ เมื่อเนื้อพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด (Post Shrinkage) ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนาดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้

การคำนวณเกี่ยวกับการหดตัว (Shrinkage Calculations) พลาสติกหลอมที่ถูกฉีดเข้าไปในอิมเพรสชั่นเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและหดตัว ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ทำไว้ ดังนั้นเมื่อออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้ จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวของวัสดุชิ้นงานไว้ด้วยเพื่อแก้ไขให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ต้องการ พลาสติกชนิดต่าง ๆ กันจะมีอัตราการหดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสอบถามหรือหารายละเอียดได้จากบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 ค่าอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางนี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองของบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่กำหนดแต่อัตราการหดตัวของพลาสติกเมื่อนำไปใช้ในโรงงานที่มีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างออกไปค่าอัตราการหดตัวก็จะแตกต่างไปด้วย เงื่อนไขเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์จึงควรที่จะบันทึกค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกหลอมที่ได้จากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดในโรงงานทุกครั้งที่มีโอกาส และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตารางที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตพลาสติก ค่าอัตราการหดตัวที่บันทึกในโรงงานจะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าและสามารถนำไปใช้ออกแบบในครั้งต่อไปได้

ภายในชิ้นงานเดียวกันที่ทำจากพลาสติกชนิดเดียวกันอาจจะเกิดการหดตัวในแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวในแนวนานกับทิศทางการไหลของพลาสติกจะแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก กล่าวคือการหดตัวในทิศทางการไหลจะมีการหดตัวมากกว่าในทิศทางที่ตั้งฉากกับการไหลของพลาสติก (ดังภาพที่ 1.3) และการหดตัวของชิ้นงานส่วนที่หนาจะมากกว่าส่วนที่บาง ทั้งนี้เพราะอัตราการหดตัวของพลาสติกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความหนาของชิ้นงาน



X = การหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับการไหล

Y = การหดตัวในทิศทางการไหล

ภาพที่ 1.3 การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม

การหดตัวของชิ้นงานเป็นการหดตัวตามปริมาตรคือ เกิดการหดตัวทั้งขนาดด้านกว้าง ด้านยาว และด้านความหนาหรือความสูง ดังนั้นขนาดต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวไว้ทุกด้าน อัตราการหดตัวของพลาสติกจะกำหนดเป็น “มิลลิเมตร / มิลลิเมตร” (นิ้ว / นิ้ว) หรือกำหนดเป็น เปอร์เซ็นต์ วิธีการคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์ที่เพิ่มค่าอัตราการหดตัวที่นิยมใช้กันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. คำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้เสียก่อนในขั้นแรก แล้วคำนวณหาอัตราการหดตัว จากนั้นจึงนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์
2. ในขั้นแรกจะคำนวณหาขนาดหดตัวจากขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงาน และเพิ่มขนาดหดตัวไว้ในแบบชิ้นงาน จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในภายหลัง

การคำนวณทั้งสองวิธีดังกล่าว ให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตัวอย่างต่อไปนี้
 ตารางที่ 1.1 ค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	อัตราการหดตัว มม./mm(นิ้ว/นิ้ว)	อัตราการหดตัว (%)
ABS		
Hight impact	0.005-0.007	0.5-0.7
Heat resistant	0.004-0.005	0.4-0.5
Acetal	0.020-0.035	2.0-3.5
Acrylic		
Easy flow	0.002-0.007	0.2-0.7
General purpose	0.002-0.009	0.2-0.9
Heat resistant	0.003-0.010	0.3-1.0
High impact	0.004-0.008	0.4-0.8
Cellulos acetate		
Hard	0.002-0.005	0.2-0.5
Soft	0.002-0.005	0.2-0.5
Nylon		
Type 6-6	0.010-0.025	1.0-2.5
Type 6	0.007-0.015	0.7-1.5
Type 6-10	0.010-0.025	1.0-2.5
Polyethylene		
Low density	0.015-0.035	1.5-3.5
High density	0.02-0.040	2.0-4.0
Polypropylene	0.010-0.030	1.0-3.0
Polystyrene		
general purpose	0.002-0.008	0.2-0.8
heat resistant	0.002-0.008	0.2-0.8
pet	0.02-0.04	0.2-0.4

หมายเหตุ : อัตราการหดตัวค่าน้อยใช้สำหรับชิ้นงานที่มีความหนา= 17.78 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างการหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) ที่กำหนดจากผู้ผลิตกับการฉีดขึ้นททดสอบมาตรฐาน ASTM D955 Standard Test Method
- 1.2.2 เพื่อหาค่าการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)ในงานที่แตกต่างกัน
- 1.2.3 เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ขึ้นทดสอบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 60X60X2 มม.สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 12.7X127X3.2 มม. และวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง100 มม.หนา3.2 มม.
- 1.3.2 ขึ้นทดสอบทั้งสามชิ้นอยู่ในแม่พิมพ์ชุดเดียวกัน
- 1.3.3 เครื่องมือวัดขนาดของเบ้าแม่พิมพ์และชิ้นงานมีความละเอียด1/1,000 มม.
- 1.3.4 ใช้ทดสอบกับพลาสติกอะมอร์ฟัส และพาร์เซียมคริสตัลไลน์
- 1.3.5 ทดสอบโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์

1.4 คำจำกัดความ (KEY WORD)

- 1.4.1 CAD ย่อมาจาก COMPUTER AIDED DESIGN หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบในงานด้านวิศวกรรม
- 1.4.2 CAM ย่อมาจาก COMPUTER AIDED MANUFACTURING หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์แปลงข้อมูลจาก CAD เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อทำการผลิตเป็นชิ้นงานจริงที่ออกแบบไว้
- 1.4.3 CAE ย่อมาจาก COMPUTER AIDED ENGINEERING หมายถึง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามวัสดุวิศวกรรม เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 1.4.4 CAD MOLD หมายถึง โปรแกรมวิเคราะห์การจำลองการไหลของพลาสติก อัตราการเย็นตัวและอุณหภูมิในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 1.4.5 PET ย่อมาจาก Polyethylene Terephthalate หมายถึง พลาสติกกลุ่มAmorphous โมเลกุลแบบเส้นด้ายขัดกันไปมาแต่ไม่มีปมขัดกันแน่น
- 1.4.6 HDPE ย่อมาจากHigh density Polyethylene หมายถึง พลาสติกกลุ่มPartial Crystalline โมเลกุลแบบเส้นด้ายขัดกันและบางส่วนเป็นปมผูกติด

1.5.ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

สมมติฐาน

1. ค่าการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage) ที่ได้จากการทดลองไม่แตกต่างจากค่าที่ผู้ผลิตกำหนด
2. ได้ค่าการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage) ที่มีค่าน้อยกว่าที่ผู้ผลิตกำหนด

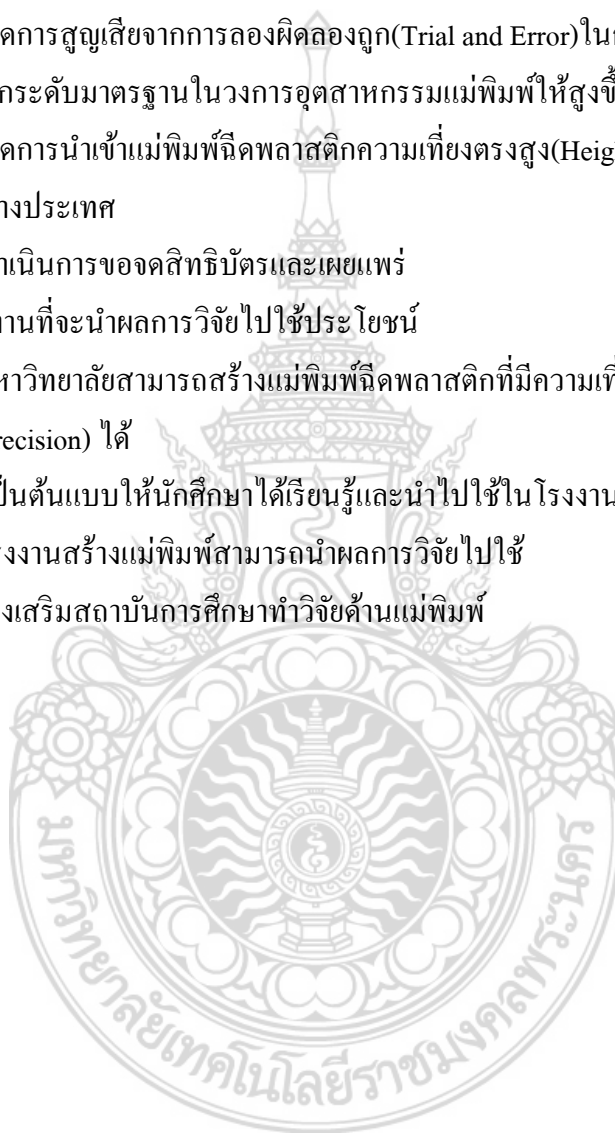
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตรฯ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.6.1 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ ประกอบด้วย

- 1) มีบริษัทที่สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) เพิ่มขึ้น
- 2) สามารถผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ความเที่ยงตรงสูงได้ (Height Precision)
- 3) มหาวิทยาลัยได้บุคลากร ที่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง งานวิจัย
- 4) ลดการสูญเสียจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในการทำแม่พิมพ์
- 5) ยกระดับมาตรฐานในวงการอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น
- 6) ลดการนำเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) จากต่างประเทศ
- 7) ดำเนินการขอจดสิทธิบัตรและเผยแพร่

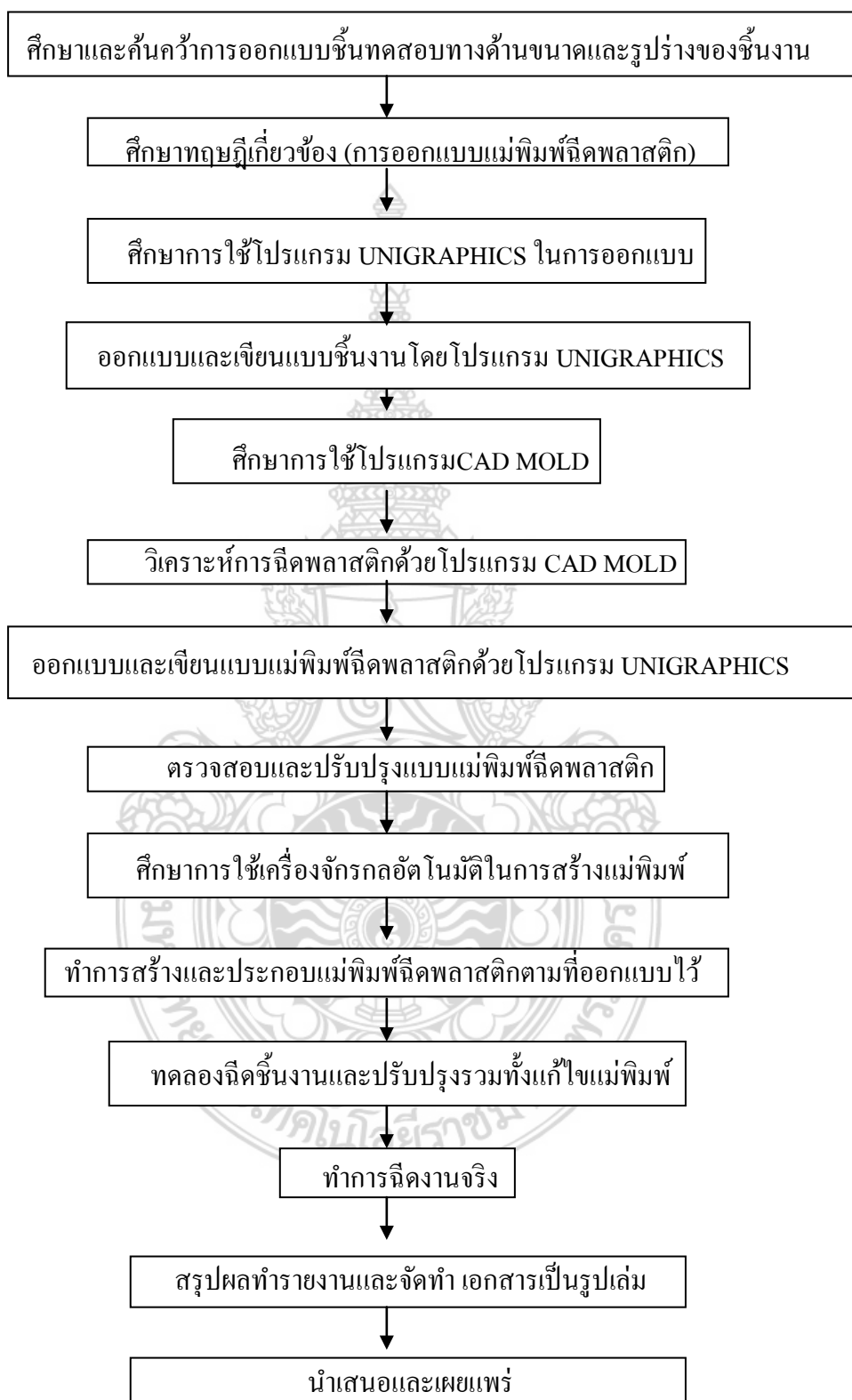
1.6.2 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) มหาวิทยาลัยสามารถสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) ได้
- 2) เป็นต้นแบบให้นักศึกษาได้เรียนรู้และนำไปใช้ในโรงงานสร้างแม่พิมพ์
- 3) โรงงานสร้างแม่พิมพ์สามารถนำผลการวิจัยไปใช้
- 4) ส่งเสริมสถาบันการศึกษาทำวิจัยด้านแม่พิมพ์



1.7 วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.7.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอน วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล



แผนภูมิที่ 1-1 แสดงขั้นตอนการทำวิจัย

1.9 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

1.9.1 สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์และสำนักบริการวิชาการ-วิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้ความร่วมมือด้านเครื่องจักร เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe) เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียรไนผิวเรียบ เครื่องมือวัดละเอียด ได้แก่ CMM ,Measuring Microscope , Surface Roughness , Microscope และอื่น ๆ

1.9.2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมพลาสติก สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง

1.10 อุปกรณ์การวิจัย อุปกรณ์การวิจัยที่จำเป็นต้องใช้และมีพร้อมได้แก่

1.10.1 เครื่องกลึง (Lathe Machine) เครื่องกัด (Milling Machine) เครื่องเจาะ (Drilling) เครื่องเจียรไนกลมและเจียรไนราบ (Grinding Machine)

1.10.2 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling Machine) เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe)

1.10.3 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM)

1.10.4 เตาชุบแข็งสุญญากาศควบคุมการชุบแข็งและการอบคืนตัวแบบอัตโนมัติ

1.10.5 เครื่องมือวัด, CMM , Measuring Microscope, Surface Roughness, Microscope และเครื่องมือ อื่น ๆ

1.10.6 โปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก Unigraphics

1.11 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1.11.1 รู้วิธีการหาค่าการหดตัวของพลาสติกที่เป็นจริง (Shrinkage)

1.11.2 กลุ่มเป้าหมาย เป็นผู้ผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผู้ออกแบบ เป็นการพัฒนาศักยภาพการผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.11.3 ลดข้อผิดพลาดในการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกและการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

1.11.4 ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจในอุตสาหกรรมเป้าหมาย แข่งขันกับต่างประเทศได้

1.11.5 สามารถผลิตชิ้นงานที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันอย่างมีคุณภาพ

1.11.6 ได้แม่พิมพ์ที่ใช้ในการหาค่าการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)

บทที่ 2

เนื้อหาเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญของโครงการวิจัย

- 2.1 ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)
- 2.2 การออกแบบผลิตภัณฑ์
- 2.3 หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก
- 2.4 คุณสมบัติของพลาสติก
- 2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก
- 2.6 เครื่องฉีดพลาสติก
- 2.7 หลักในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 2.8 การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม

2.1 ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)

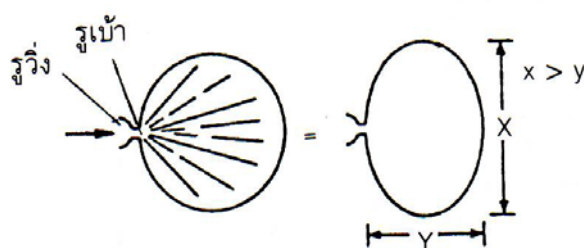
การหดตัวของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 3 ข้อได้แก่

1. ความดันการฉีด ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง
2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัดคือ เมื่อเนื้อพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด Post Shrinkage ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนา ดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้

2.1.1 การคำนวณเกี่ยวกับการหดตัว (Shrinkage Calculations) พลาสติกหลอมที่ถูกฉีดเข้าไปในอิมเพรสชั่นเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและหดตัว ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ทำไว้ ดังนั้นเมื่อออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้ จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวของวัสดุชิ้นงานไว้ด้วยเพื่อแก้ไขให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ต้องการ พลาสติกชนิดต่างๆ กันจะมีอัตราการหดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสอบถามหรือหารายละเอียดได้จากบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ค่าอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางนี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองของบริษัทผู้ผลิตพลาสติกภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่กำหนดแต่อัตราการหดตัวของ

พลาสติกเมื่อนำไปใช้ในโรงงานที่มีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างกันออกไปค่าอัตราการหดตัวก็จะแตกต่างกันด้วย เงื่อนไขเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์จึงควรจะต้องบันทึกค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกหลอมที่ได้จากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดในโรงงานทุกครั้งที่มีโอกาส และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตารางที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตพลาสติก ค่าอัตราการหดตัวที่บันทึกในโรงงานจะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าและสามารถนำไปใช้ออกแบบในครั้งต่อไปได้

ภายในชิ้นงานเดียวกันที่ทำจากพลาสติกชนิดเดียวกันอาจจะเกิดการหดตัวในแต่ละจุดไม่เท่ากันทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวในแนวนอนกับทิศทางการไหลของพลาสติกจะแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก กล่าวคือการหดตัวในทิศทางการไหลจะมีการหดตัวมากกว่าในทิศทางที่ตั้งฉากกับการไหลของพลาสติก (ดังภาพที่ 2.1) และการหดตัวของชิ้นงานส่วนที่หนาจะมากกว่าส่วนที่บาง ทั้งนี้เพราะอัตราการหดตัวของพลาสติกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความหนาของชิ้นงาน



X = การหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับการไหล

Y = การหดตัวในทิศทางการไหล

ภาพที่ 2.1 การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม

การหดตัวของชิ้นงานเป็นการหดตัวตามปริมาตรคือ เกิดการหดตัวทั้งขนาดด้านกว้าง ด้านยาวและด้านความหนาหรือความสูง ดังนั้นขนาดต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวไว้ทุกด้าน อัตราการหดตัวของพลาสติกจะกำหนดเป็น “มิลลิเมตร / มิลลิเมตร” (นิ้ว / นิ้ว) หรือกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ วิธีการคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์ที่เพิ่มค่าอัตราการหดตัวที่นิยมใช้กันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

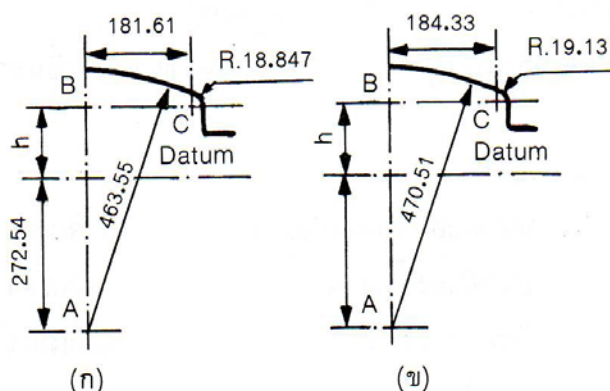
1. คำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้เสียก่อนในขั้นแรก แล้วคำนวณหาอัตราการหดตัว จากนั้นจึงนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์
2. ในขั้นแรกจะคำนวณหาขนาดหดตัวจากขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงาน และเพิ่มขนาดหดตัวไว้ในแบบชิ้นงาน จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในภายหลัง

การคำนวณทั้งสองวิธีดังกล่าว ให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	อัตราการหดตัว ม.ม/ม.ม(นิ้ว/นิ้ว)	อัตราการหดตัว (%)
ABS		
Hight impact	0.005-0.007	0.5-0.7
Heat resistant	0.004-0.005	0.4-0.5
Acetal	0.020-0.035	2.0-3.5
Acrylic		
Easy flow	0.002-0.007	0.2-0.7
General purpose	0.002-0.009	0.2-0.9
Heat resistant	0.003-0.010	0.3-1.0
High impact	0.004-0.008	0.4-.08
Cellulos acetate		
Hard	0.002-0.005	0.2-0.5
Soft	0.002-0.005	0.2-0.5
Nylon		
Type 6-6	0.010-0.025	1.0-2.5
Type 6	0.007-0.015	0.7-1.5
Polyethylene		
Low density	0.015-0.035	1.5-3.5
High density	0.015-0.030	1.5-3.0
Polypropylene	0.010-0.030	1.0-3.0
Polystyrene		
general purpose	0.002-0.008	0.2-0.8
heat resistant	0.002-0.008	0.2-0.8
pet	0.02-0.04	0.2-0.4

หมายเหตุ : อัตราการหดตัวค่าน้อยใช้สำหรับชิ้นงานที่มีความหนา=17.78มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า



ภาพที่ 2.2 (ก) คำนวณหาขนาด h ก่อน

(ข) เพิ่มค่าอัตราการหดตัวก่อนคำนวณขนาด h

ในภาพที่ 2.2 แสดงส่วนหนึ่งของชิ้นงานที่ประกอบด้วยส่วนโค้งที่มีรัศมีแตกต่างกัน 2 ส่วน คือ ขนาดรัศมี 463.55 มิลลิเมตร (18.250") และรัศมี 18.847 มิลลิเมตร (0.742") ดังแสดงในรูป (ก) เพื่อให้มั่นใจว่ารัศมีมีความโค้งทั้งสองจะต่อกันพอดี จึงจำเป็นต้องคำนวณหาระยะ h สมมติว่า อัตราการหดตัวของพลาสติกมีค่าเท่ากับ 0.015 มิลลิเมตร/มิลลิเมตร (0.015 นิ้ว/นิ้ว) หรือ 1.5 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณวิธีที่ 1 แสดงไว้ในรูป (ก) จาก $\triangle ABC$ มีมุม ABC เป็นมุมฉาก ดังนั้น

$$AC^2 = AB^2 + BC^2$$

$$(463.55 - 18.847)^2 = (h + 272.54)^2 + (181.61)^2$$

$$\therefore h = \sqrt{(463.55 - 18.847)^2 - (181.61)^2} - 272.54$$

$$= 133.389 \text{ มิลลิเมตร (5.2515")}$$

จากค่าที่คำนวณได้นี้จะต้องนำไปเพิ่มค่าการหดตัวเพื่อหาขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์} &= \text{ขนาดชิ้นงาน} + \text{ค่าการหดตัว} \\ &= 133.389 + (133.389 \times 0.015) \\ &= 135.39 \text{ มิลลิเมตร (5.3303")} \end{aligned}$$

ในวิธีที่ 1 จะสังเกตเห็นว่า ขนาดต่าง ๆ จะคำนวณจากขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงาน จากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณได้มาเพิ่มค่าการหดตัวในภายหลัง

การคำนวณวิธีที่ 2 แสดงไว้ในรูป (ข) ค่าการหดตัวจะเพิ่มเข้าไปในขนาดต่าง ๆ ของชิ้นงานก่อนในขั้นแรก จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดระยะ h จากขนาดชิ้นงานใหม่นี้ ทำให้ระยะ h ที่คำนวณได้มีค่าการหดตัวเพิ่มไว้แล้วขนาดกำหนดในรูป (ข) เป็นขนาดที่ได้เพิ่มค่าการหดตัวไว้แล้ว ดังนี้

$$\begin{aligned}
 h &= \sqrt{(470.51 - 19.126)^2 - (184.328)^2} - 276.631 \\
 &= 412.032 - 276.631 = 135.401 \text{ มิลลิเมตร} \\
 (\text{หรือ } h &= \sqrt{[(18.524 - 0.753)^2 - (7.257)^2]} - 10.891 \\
 &= 16.22171 - 10.891 = 5.3307 \text{ นิ้ว})
 \end{aligned}$$

ค่าระยะ h ที่คำนวณได้จากวิธีทั้งสองจะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการเลือกตำแหน่งของทศนิยมในตำแหน่งที่ 3 และ 4 ด้วยเหตุผลนี้จึงมักเลือกใช้วิธีที่ 2 มากกว่า

จากตัวอย่างที่ผ่านมาพอจะสรุปเป็นสูตรในการคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่เพิ่มค่าการหดตัวไว้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 D &= d(1 + s) \\
 \text{เมื่อ} \quad D &= \text{ขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ - มิลลิเมตร (นิ้ว)} \\
 d &= \text{ขนาดของชิ้นงาน - มิลลิเมตร (นิ้ว)} \\
 s &= \text{อัตราการหดตัว - มิลลิเมตร/มิลลิเมตร (นิ้ว/นิ้ว)}
 \end{aligned}$$

2.1.2 พิกัดความเผื่อของชิ้นงาน (Component Tolerances) พิกัดความเผื่อที่แสดงในชิ้นงาน ไม่ใช่จะแสดงแต่เพียงพิกัดความเผื่อเพื่อการใช้งานของชิ้นส่วนนั้นเท่านั้น แต่ควรจะสัมพันธ์กับแฟกเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย คือ

(1) **ความผันแปรของการหดตัว** อัตราการหดตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้นได้จากผลของชิ้นงานทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิตอัตราการหดตัวที่เกิดขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน

(2) **มุมเอียงของแม่พิมพ์** มุมเอียงในที่นี้เป็นมุมที่จัดเตรียมไว้บนชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ เพื่อให้การปลดชิ้นงานกระทำได้ง่าย

(3) พิกัดความเผื่อของงานตัดเฉือน สิ่งที่ต้องระลึกถึงอีกประการหนึ่งก็คือ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะทำให้ได้ขนาดถูกต้องตามกำหนดนั้นกระทำได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดพิกัดความเผื่อสำหรับงานตัดเฉือนไว้ด้วย เพื่อให้ช่างทำแม่พิมพ์ผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น

เมื่อเป็นเช่นนี้หากชิ้นงานที่ต้องการผลิตที่พิกัดความเผื่อน้อยมาก แล้วยังต้องรวมขนาดเผื่อสำหรับแฟกเตอร์เหล่านี้เข้าไว้ด้วย วิธีหนึ่งที่ทำกันคือ การเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้เหลือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยวิธีนี้เมื่อนำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นทลลงฉีด และตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแล้วจะสามารถแก้ไขและปรับแต่งให้ได้ขนาดพิกัดตามต้องการได้ และปรับแต่งโดยการลดขนาดเนื้อโลหะออกจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์จะกระทำได้ง่ายกว่าการพอกเติมเนื้อโลหะบนชิ้นส่วนแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นตัวผู้หรือส่วนคอร์จะทำให้มีขนาดโตที่สุดเท่าที่จะทำได้ และทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นตัวเมียหรือส่วนเบ้า ให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ภายในพิกัดที่ยอมให้ได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้กันในบางครั้งได้แก่การ เพิ่มอัตราการหดตัวที่มีค่ามากกับชิ้นส่วนตัวผู้และเพิ่มอัตราการหดตัวที่มีค่าน้อยกับชิ้นส่วนตัวเมียของแม่พิมพ์ ในกรณีที่ชิ้นงานทำด้วยวัสดุที่มีอัตราการหดตัวสูง เช่น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-density Polythene) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการหดตัวในแนวขนานกับทิศทางการไหลของพลาสติกแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก ซึ่งจำเป็นจะต้องเลือกใช้พิกัดความเผื่อที่เหมาะสม หากชิ้นงานมีความเที่ยงขนาดสูงและโดยเฉพาะที่ทำด้วยวัสดุที่มีอัตราการหดตัวสูง เช่น ไนลอน จะต้องเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้มากที่สุดเพื่อให้สามารถปรับแต่งได้หลังจากการทลลงฉีด หรือทลลงฉีดโดยการทำให้เป็นแม่พิมพ์แบบอิมเพรสชันเดียวแบบง่าย ๆ เพื่อทดสอบหาค่าอัตราการหดตัวที่แท้จริง

2.1.3 มุมเอียง (Taper) มุมเอียงมักจะจัดเตรียมไว้ในส่วนเบ้าและส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ในแนวทิศทางการเปิดของแม่พิมพ์เสมอความมุ่งหมายในการทำมุมเอียงมีอยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์หมดทุกส่วน
2. เพื่อป้องกันไม่ให้รอยตัดเฉือนและรอยขีดผิวเกิดเป็นรอยขีดขวางหรือด้านการปลดชิ้นงาน

ความมุ่งหมายในข้อที่ 1 นั้นเป็นข้อพิจารณาในทางทฤษฎี ซึ่งอันที่จริงแล้วการทำมุมเอียงบนผิวของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ก็เพื่อให้สามารถปลดชิ้นส่วนแม่พิมพ์ก็เพื่อให้สามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย อย่างน้อยที่สุดก็ควรจะทำไว้บนส่วนคอร์เพื่อเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลง จะหดตัวและรัดติดอยู่กับส่วนคอร์ โดยทั่วไปขนาดมุมเอียงเล็กที่สุดมีขนาด 1 องศา แต่ก็ได้หมายความว่าสามารถใช้ขนาดมุมเอียงนี้ได้เสมอไป ทั้งนี้เพราะขนาดพิกัดความเผื่อของชิ้นงานอาจไม่เพียงพอสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ ผิวเอียงที่เกิดบนชิ้นงานอาจมีผลต่อหน้าที่การใช้งานของชิ้นงานได้

การลดขนาดมุมเอียงลงเหลือ $\frac{1^0}{2} - \frac{1^0}{4}$ ต่อด้าน ก็อาจใช้ได้ แต่ควรจำกัดใช้ในด้านที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการปลดชิ้นงานในภายหลัง

พิถีพิถันเพื่อสำหรับงานตัดเฉือนเพื่อสร้างชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ของแต่ละบริษัทจะแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสำหรับชิ้นงานที่มีพิถีพิถันเพื่อ ± 0.150 มิลลิเมตร ($\pm 0.006''$) หรือมากกว่า จะเลือกใช้พิถีพิถันเพื่อสำหรับงานตัดเฉือนเท่ากับ ± 0.05 มิลลิเมตร ($\pm 0.002''$) ส่วนขนาดชิ้นงานที่มีพิถีพิถันเพื่อแคบกว่านี้จะใช้พิถีพิถันเพื่อของงานตัดเฉือนเท่ากับ ± 0.012 มิลลิเมตร ($\pm 0.0005''$) ค่าพิถีพิถันเพื่อที่กล่าวมานี้ส่วนมากนิยมใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดไม่เกิน 300 มิลลิเมตร (12'') สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดโตกว่านี้มีแฟกเตอร์อื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อขนาดของชิ้นงาน โดยเฉพาะเกี่ยวกับกรรมวิธีในการฉีดพลาสติก ทำให้การผลิตชิ้นงานที่มีพิถีพิถันเพื่อแคบกระทำได้ยาก ในแม่พิมพ์ขนาดใหญ่การขยายตัวของแม่พิมพ์เนื่องจาก ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิในขณะฉีดพลาสติก เป็นแฟกเตอร์หนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์ขนาดยาว 508 มิลลิเมตร (20'') ทำด้วยวัสดุเหล็กนิเกิล - โครเมียม ที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเท่ากับ $0.000012 / ^\circ\text{C}$ หากขณะตัดเฉือนขึ้นรูป ณ อุณหภูมิห้องเท่ากับ 20°C และนำไปใช้ในงานฉีดพลาสติกที่อุณหภูมิของแม่พิมพ์เท่ากับ 70°C จะมีการขยายตัวของแม่พิมพ์เท่ากับ $508 \times (70-20) \times 0.000012 = 0.3048$ มิลลิเมตร ดังนั้นชิ้นงานที่ค่าพิถีพิถันเพื่อแคบ ๆ การขยายตัวของแม่พิมพ์ในขณะใช้งาน ก็เป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญประการหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา

ดังนั้นในการทำชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานที่มีพิถีพิถันเพื่อแคบหรือชิ้นงานทำด้วยพลาสติกที่ไม่ทราบค่าอัตราการหดตัว จึงควรเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้เหลือมากที่สุดภายในขอบเขตของพิถีพิถันเพื่อที่กำหนด เพื่อให้สามารถปรับแต่งได้หลังจากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดและตรวจสอบขนาดชิ้นงานแล้ว

ส่วนของแม่พิมพ์ที่เป็นตัวเมีย คือ ส่วนเบ้า จะกำหนดขนาดจากกันหรือด้านล่างของเบ้า และทำให้มีขนาดเล็กลงของค่าพิถีพิถันเพื่อที่กำหนด

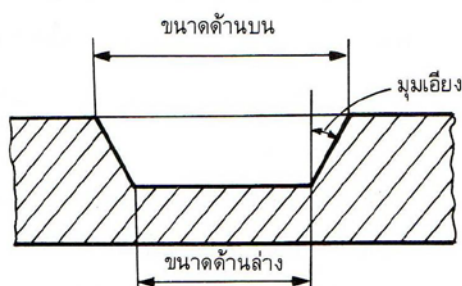
ส่วนของแม่พิมพ์ที่เป็นตัวผู้คือ ส่วนคอร์ สลักคอร์ (core pin) ที่ขึ้นรูปภายในของชิ้นงาน เช่น รูจะกำหนดขนาดจากตัวโคน หรือ ด้านที่อยู่ติดกับแผ่นยึด และทำให้มีขนาดโตสุดของค่าพิถีพิถันเพื่อที่กำหนด

มุมเอียงของผิวชิ้นส่วนแม่พิมพ์จะทำให้ส่วนของเบ้าด้านบนมีขนาดโตขึ้น และทำให้ส่วนของคอร์ด้านบนมีขนาดเล็กลง ดังภาพที่ 2.3 (ก) และ (ข) ขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่โตขึ้นหรือเล็กลงนี้เป็นสิ่งที่ช่างทำแม่พิมพ์จะต้องคำนึงถึงในระหว่างขั้นตอนของการตัดเฉือน หากขนาดที่

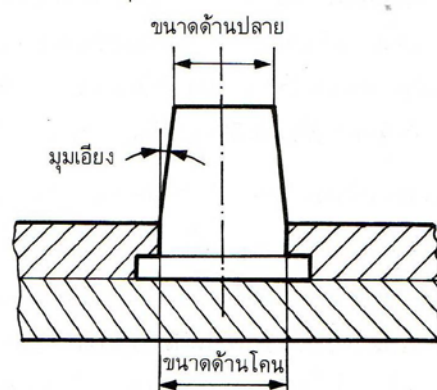
เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้มีค่ามากเกินไปก็เกิดความผิดที่กำหนดไว้ หรือเกิดความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อยในระหว่างขั้นตอนของการตัดเฉือน ก็สามารถที่จะแก้ไขได้โดยการลดขนาดของมุมเอียงลง

กฎเหล่านี้จะต้องยกเว้นไว้ในกรณีที่ส่วนของเบ้าขึ้นรูปโดยวิธีการอัดขึ้นรูปหรือโดยวิธีหล่อขนาดต่าง ๆ ที่กำหนดในแบบของส่วนเบ้า จะต้องนำมาใช้ในการทำต้นแบบหรือแม่แบบซึ่งเป็นตัวผู้ ดังนั้นขนาดกำหนดในแบบของเบ้าจะต้องกำหนดเป็นขนาดโตสุดแทนที่จะกำหนดเป็นขนาดเล็กสุดที่ใช้กับการทำส่วนเบ้าโดยวิธีการตัดเฉือนขึ้นรูป

ตัดเฉือนขึ้นรูป



(ก) ส่วนเบ้า



(ข) ส่วนคอร์

ภาพที่ 2.3 ก,ข ส่วนเบ้าและส่วนคอร์

2.2 การออกแบบผลิตภัณฑ์

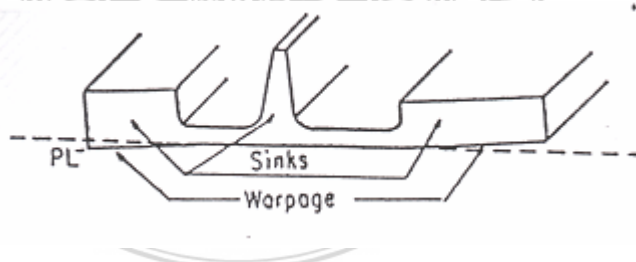
ในการออกแบบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก จะต้องคำนึงถึงตัวแปรจำนวนมากที่อาจจะเกิดขึ้นโดยไม่อาจคาดหมายได้ล่วงหน้าไว้เสมอ ตัวอย่าง เช่น ค่าความแข็งแรงของวัสดุพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตที่ทนแรงกระแทกสูง (High Impact Thermoset) ที่เสริมความแข็งแรงด้วยใยแก้ว ยาวโดยทั่วไปจะมีค่าความแข็งแรงสูง เมื่อใช้การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อัด อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงนี้อาจลดลงได้มากถึง 50 % หากเปลี่ยนเป็นใช้การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อัดส่ง (Transfer or Plunger Mold) ทั้งนี้เพราะว่าแม่พิมพ์อัดส่งจะทำให้ใยแก้วฉีกขาด และยอมให้ใยแก้วสั้น ๆ ไหลไปพร้อมกับเรซินเข้าไปในส่วนที่บางและซับซ้อนได้เท่านั้น เป็นผลให้ผนังชิ้นงานส่วนที่บางมีความแข็งแรงตามความหนาแน่นน้อยกว่าผนังส่วนที่หนามากกว่า

ข้อแนะนำที่สำคัญเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

2.2.1 ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลาสติกจะต้องคำนึงถึงรูปแบบการไหล (Flow patterns) ของพลาสติกหลอมไว้เสมอ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถครอยเส้นการไหล (Flow Patterns) ที่มักจะเกิดขึ้นเสมอในบริเวณรอบๆ รู, ครีบ (Ribs) และบริเวณรูเข้าให้มนน้อยที่สุดได้

ภาพที่ 2.4 แสดงการไหลของพลาสติกเหลว

2.2.2 ควรออกแบบผนังชิ้นงานให้มีขนาดความหนาสม่ำเสมอ และมุมเอียงที่เหมาะสมโดยควรหลีกเลี่ยงชิ้นงานที่มีความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันหรือมีความหนาไม่สม่ำเสมอ เพราะจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) การบิดงอ และการแตกร้าว (Cracks) การยุบหรือรอยบุ๋ม (Sinks) และเกิดความเครียด (Strain) ในชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันทำให้เกิดการเย็นตัวที่แตกต่างกัน เป็นผลให้เกิดการหดตัว (Shrinkage) ที่แตกต่างกันของผนังชิ้นงานด้านหนึ่งกับผนังชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง



ภาพที่ 2.5 แสดงการหลีกเลี่ยงการออกแบบชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน

2.3 หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานพลาสติก

การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกจำเป็นต้องพิจารณาถึงการหดตัว ซึ่งจะมีการหดตัวเกิดขึ้น 2 ครั้งด้วยกัน

2.3.1 การหดตัวครั้งแรก เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่พลาสติกหลอมถูกทำให้เย็นตัวลง โดยระบบหล่อเย็นเรียกว่าการหดตัวในแม่พิมพ์ (Mold Shrinkage)

2.3.2 การหดตัวภายหลัง เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังที่ชิ้นงานถูกดันปลดจากแม่พิมพ์ ซึ่งมีช่วงเวลาเกิดการหดตัวได้นานถึง 24 ชั่วโมง

ดังนั้นในการออกแบบชิ้นงานควรกำหนดค่าพิคัดความเพื่อให้กว้างหรือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงรอยเชื่อม และรอยเส้นการไหลที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานด้วย พนักชิ้นงานควรออกแบบให้หนา มีริ้วรอย และมุมเอียงที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงชิ้นงานที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอเพราะอาจทำให้เกิดการบิดเบี้ยว การบิดงอและการแตกร้าว การยุบหรือรอยบุ๋ม การเกิดความเครียด (Strain) ในชิ้นงานเนื่องจากความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันจะเป็นผลให้เกิดการหดตัว

2.4 สมบัติของพลาสติก

การเริ่มที่จะทำผลิตภัณฑ์ประเภทแรกที่จะต้องรู้คือ หน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้อง ก่อนที่จะตัดสินใจทำผลิตภัณฑ์ด้วยพลาสติกแทนโลหะควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของพลาสติกเสียก่อน

- พลาสติกทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะแล้วจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า
- คุณสมบัติของพลาสติกจะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พลาสติกโดยทั่วไปจะทนความร้อนได้ประมาณ 60-70 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความแข็งแรงของพลาสติกจะลดลง
- พลาสติกจะได้รับผลกระทบจากความชื้นซึ่งจะทำให้คุณสมบัติบางประการของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป

- พลาสติกจะทำปฏิกิริยากับสารเคมี

2.4.1 ลักษณะทางกายภาพของพลาสติกที่ใช้

HDPE คุณสมบัติทั่วไป

- ทนความร้อนได้ดี สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิ 60-80 °C
- ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน เหนียว ทนต่อแรงดึง แรงกระแทก และทรงตัวดี ไม่มีสิ่งเป็นพิษตกค้าง
- ฆ่าเชื้อโรคที่อุณหภูมิ 120 °C ไม่ดูดซึมน้ำ
- จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณความร้อนของพลาสติกบางชนิด

ชนิดของ พลาสติก	อุณหภูมิ หลอม °C	อุณหภูมิ แม่พิมพ์ °C	อุณหภูมิที่ แตกต่างกัน °C	ความร้อน จำเพาะ J/kg.K	ความร้อนที่ ระบาย J/g	ความ หนาแน่น g/cm ³
ABS	240	60	180	2050	369	1.07
AS/AAS	260	60	200	2010	402	1.07
CA	210	50	160	1700	272	1.26-1.30
CAB	210	50	160	1700	272	1.15-1.21
CP-CAP	210	50	160	1700	272	1.18-1.23
FEP	350	220	130	1600	240	2.12
HDPE	240	20	220	3640	801	0.94-0.965
HIPS	240	20	220	1970	433	1.05-1.08
LDPE	210	30	180	3180	572	0.92
PA 6	250	80	170	3060	520	1.13
PA 11/22	260	60	200	2440	488	1.04/1.02
PA 66	280	80	200	3075	615	1.15
PC	300	90	210	1750	368	1.21
PEEK	370	165	205	1340	275	1.3
PES	360	150	210	1150	242	1.37
PET	240	60	180	1570	283	1.29-1.4
PMMA	240	60	180	1900	342	1.18
POM	205	90	115	3000	345	1.41
PP	240	50	190	2790	670	0.9
PPO	280	80	200	2170	434	-
PPS	320	135	185	2080	385	-
PS	220	20	200	1970	394	1.01-1.09

ตารางที่ 2.3 แสดงความดันปิดของพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดของพลาสติก	ความดันปิด(MN/m ²)	ชนิดของพลาสติก	ความดันปิด (MN/m ²)
ASA	38.6-61.8	PES	92.6-154.4
ABS	38.6-61.8	PES (ไหลง่าย)	61.8-92.6
BDS	30.9-46.3	PET Amorphous	30.9-38.6
BDS (ผนังบาง)	46.3-61.8	PET Crystalline	61.8-92.6
CA	15.4-30.9	PMMA	30.9-61.8
CAB	15.3-30.9	POM-H	46.3-77.2
CAP	15.3-30.9	POM-CO	46.3-77.2
FEP	77.2	PPO-M(ไม่เสริมแรง)	30.9-46.3
HIPS	15.4-30.9	PPO-M (เสริมแรง)	61.8-77.2
HIPS (ผนังบาง)	38.6-54.0	PPS	30.9-46.3
PPVC	23.2-38.6	PP-H	23.2-38.6
PA6	61.8-77.2	PP-CO	23.2-38.6
PA66	61.8-77.2	PP-H/CO(ทางไหล ขาว)	38.6-54.0
PA11	23.2-30.9	PS(GPPS)	15.4-30.9
PA12	23.2-30.9	PS(GPPS) (ผนังบาง)	46.3-61.8
PBT	46.3-69.5	PSU	92.6-154.4
PC	46.3-77.2	PSU(ไหลง่าย)	61.8-92.6
PEBA (เกรดแข็ง)	30.9	PVDF	30.9
PEBA (เกรดอ่อน)	23.-30.9	SAN(ทางไหลขาว)	38.6-46.3
PEEL	30.9-46.3	SAN(ไหลง่าย)	46.3-61.8
PEEK (ไม่เสริมแรง)	30.9-61.8	TPU/PUR	7.7-23.2
PEEK (เสริมแรง)	61.8-92.6	TPU/PUR	23.2-38.6
PE-HD	23.2-38.6	UPVC	30.9-46.3
PE-HD(ทางไหลขาว)	38.6-54.0	PP	23.2-38.6

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

จุดมุ่งหมายของงานฉีดพลาสติก Injection Molding (IM) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน และการผลิตจำนวนมากในการฉีดแต่ละครั้ง การขึ้นรูปพลาสติกโดยกระบวนการฉีดนั้นจะใช้พลาสติกที่เป็นเม็ดหรือผง ซึ่งอาจจะเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) และ อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

2.5.1 กรรมวิธีฉีดพลาสติก

พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือผงในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลี่ยวहनอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลี่ยวहनอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์หล่อเย็นอย่างนี้จะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งขณะที่พลาสติกแข็งตัวก่อนเปิดแม่พิมพ์จะทำการหมุนเกลี่ยวहनอนพร้อมทั้งถอยหลังเพื่อหลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป

2.5.2 วัตถุดิบสำหรับงานฉีดพลาสติก

วัสดุ 3 กลุ่มพื้นฐาน ที่สามารถนำมาฉีดงานพลาสติก

2.5.2.1 เทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติที่นำไปหลอมเหลว แล้วปล่อยให้แข็งตัว ยังสามารถนำกลับมาหลอมได้อีก เช่น โพลีสไตรีน (PS), โพลีคาร์บอเนต (PC), โพลีโพรไพรีน (PP)

2.5.2.2 เทอร์โมเซต มีคุณสมบัติที่นำไปหลอมเหลว และจะแข็งตัวโดยปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecular Crosslinking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น และไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้อีกเช่น ยูเรียเรซิน (UF), ฟีนอลิก เรซิน (PE)

2.5.2.3 อีลาสโตเมอร์ (กลุ่มยางสังเคราะห์) เมื่อนำไปหลอมเหลวและทำให้แข็งตัวโดยกรรมวิธีวัลคาไนเซชัน (Vulcanisation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecular Crosslinking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น และไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้

2.5.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฉีดพลาสติก

หลังจากที่เราทราบถึงหลักการทำงานของงานฉีดพลาสติกแล้ว เราก็ต้องมาทำความเข้าใจกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในงานฉีดพลาสติกด้วย เพื่อที่จะได้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมกับลักษณะงาน ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในงานฉีดพลาสติกและมีอิทธิพลต่อเวลาการทำงาน ตลอดจนคุณภาพของชิ้นงานนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.5.3.1 อุณหภูมิ (พลาสติกเหลว แม่พิมพ์)

2.5.3.2 เวลา (ฉีด ย้ำ หล่อเย็น และวงจรการทำงาน)

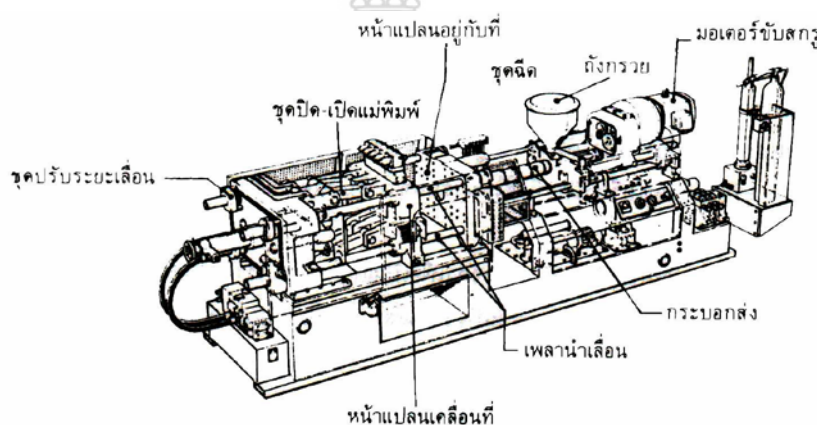
2.5.3.3 ความดัน (ฉีด ย้ำ ด้านการถอยของเกลียวหนอนและในแม่พิมพ์)

2.4.3.4 ความเร็ว (ฉีดปิด - เปิดแม่พิมพ์ชุด ฉีดเคลื่อนเข้า - ออกและรอบเกลียวหนอน)

2.6 เครื่องฉีดพลาสติก

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

ในกระบวนการฉีดพลาสติกจะประกอบด้วยเครื่องมือและเครื่องจักรที่สำคัญ คือ แม่พิมพ์ฉีด และเครื่องฉีดพลาสติกเม็ดพลาสติกจะถูกป้อนเข้าไปในกรวยสกรูส่ง หรือก้านส่งจะพาให้เม็ดพลาสติกเคลื่อนที่ผ่านกระบอกส่งไปยังแม่พิมพ์โดยผ่านตัวทำความร้อน ทำให้พลาสติกหลอมผ่านหัวฉีดและฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จากนั้นปล่อยให้เย็นและปลดออกจากแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องฉีด

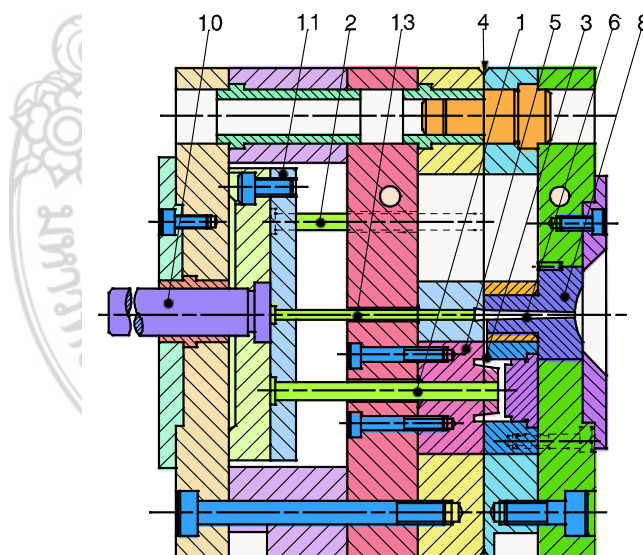
ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติกและขีดความสามารถในการผลิตของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ ซึ่งได้แก่ความสามารถในการผลิตพลาสติกหลอมในแต่ละครั้งและขนาดของแม่พิมพ์ฉีดที่สามารถจับยึดกับชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ได้

ช่องเนื้อที่ที่ใช้จับยึดแม่พิมพ์จะอยู่ระหว่างแผ่นยึดแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ของ เครื่องฉีดพลาสติก และอยู่ระหว่างเฟลนาลื่นทั้งในแนวระดับและแนวตั้งของเครื่องพลาสติกขนาดความกว้างและความยาวของแม่พิมพ์ โดสุดจะถูกกำหนดด้วยระยะห่างของเฟลนาลื่นในแนวระดับ (ระยะ a) และในแนวตั้ง (ระยะ b) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระยะห่างของสกรูและขนาดของสกรูที่ใช้ขันยึดแม่พิมพ์ฉีดเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกอีกด้วย ซึ่งในที่นี้คือระยะ c1 และ c2 ในส่วนของแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่จะอยู่ทางด้านชุดฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกจะมีรูบังคับศูนย์ของเครื่องฉีดพลาสติก (d) ซึ่งผู้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดจะต้องออกแบบให้แหวนบังคับศูนย์มีขนาดที่พอดีกับขนาดของรูบังคับศูนย์นี้ เพื่อความรวดเร็วในการจับยึดแม่พิมพ์

a	=	ระยะห่างของเพลาน้ำเลื่อนในแนวระดับ
b	=	ระยะห่างของเพลาน้ำเลื่อนในแนวตั้ง
c_1	=	ระยะห่างของรูสกรูในแนวระดับ
c_2	=	ระยะห่างของรูสกรูในแนวตั้ง
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูบังคับศูนย์
E_1	=	ระยะห่างของรูประกอบเพลาระทั้งในแนวระดับ
E_2	=	ระยะห่างของรูประกอบเพลาระทั้งในแนวตั้ง
F_1	=	ขนาดความกว้างของแผ่นแม่พิมพ์
F_2	=	ขนาดความยาวของแผ่นแม่พิมพ์

2.7 หลักเกณฑ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ฉีดแบบ 2 แผ่น (Two Plate Injection Mould) เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่ปราศจากร่องหรือป๋าลักษณะของแม่พิมพ์แบบนี้จะมีเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์เพียงเส้นเดียวหรือมีช่องเปิดสำหรับปลดชิ้นงานแกนรูวิ่งและแกนรูฉีดเพียงช่องเดียวเท่านั้น ดังแสดงดังรูป



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพของแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น

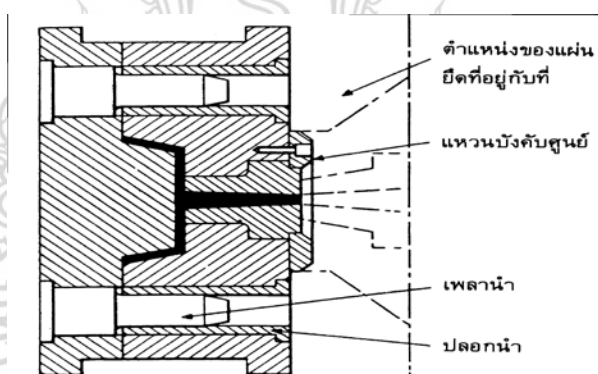
จากภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น ซึ่งออกแบบให้มีรูเขาแบบเข็ม (Pinpoint Gate) ที่จุด(3)เมื่อพลาสติกหลอมไหลเข้าเต็ม อิมเพรสชันแล้วก็เป็นอันว่าสิ้นสุดขบวนการฉีดแม่พิมพ์จะเลื่อนเปิดออกตามแนวลูกศร (4) ส่วนของแม่พิมพ์ด้านขวาจะอยู่กลับที่ และส่วนของแม่พิมพ์ด้านซ้ายจะเลื่อนเปิดออกชิ้นงานจะติดอยู่กับส่วนคอร์ (5) ในแม่พิมพ์ (7) จะ

ทำเป็นร่องวงแหวนเรียบไว้ตำแหน่งที่ตรงกันกับรูของปลอกกรณี (8) ทำให้แกนกรณี (6) ถูกดึงออกจากปลอกกรณี (8) เมื่อแม่พิมพ์เลื่อนเปิดออก เมื่อแม่พิมพ์เลื่อนต่อไป เพลาต้นปลด (10) จะปะทะกับเพลากระทุ้งของเครื่องฉีดพลาสติกทำให้แผ่นยึดตัวปลด (1) ดันออกและสลักดันแกนกรณี (13) ก็ จะดันแกนกรณี (6) ให้หลุดออกจากร่องวงแหวนเรียบพร้อมๆกับชิ้นงาน ในจังหวะที่แม่พิมพ์เลื่อน ปิด สลักดันกลับ (2) ซึ่งประกอบอยู่กับแผ่นยึดตัวปลด ปลดสลักดันกลับจะปะทะกับแผ่นแม่พิมพ์ ด้านที่อยู่กับที่และดันให้แผ่นยึดตัวปลด (11) สลักปลด (1) และสลักดันแกนกรณี (13) กลับไปยัง ตำแหน่งเดิม

2.7.1 อิมเพรสชัน (Impression)

แม่พิมพ์ฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่าง ๆ หลายชิ้นเกิดเป็นโพรงภายในที่ เรียกว่า “อิมเพรสชัน” ที่ซึ่งเนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าไปและเย็นตัวลงได้ชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่าง เหมือนกับอิมเพรสชัน อิมเพรสชันเกิดขึ้น จากการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ 2 ชิ้น คือ

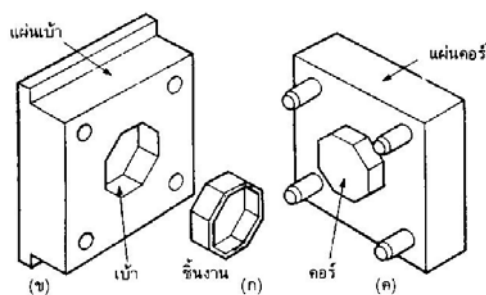
- (1) เบ้า (cavity) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายนอกขึ้น
- (2) คอว์ (core) เป็นส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายในของชิ้นงาน



ภาพที่ 2.8 แสดงภาพของแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่ และแม่พิมพ์ส่วนเคลื่อนที่

2.7.2 แผ่นเบ้าและแผ่นคอว์ (Cavity and Core Plates)

ภาพที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ของภาชนะบรรจุสิ่งของทรงแปดเหลี่ยม แม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ในกรณีนี้ประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งขุดลึกเป็นโพรงเข้าไปซึ่งเป็นส่วนขึ้นรูปร่างนอกของชิ้นงาน และเรียกว่า “แผ่นเบ้า” และอีกแผ่นหนึ่งจะทำเป็นแกนยื่นออกมาและเป็นส่วนขึ้นรูปร่างภายในของชิ้นงาน ส่วนนี้เรียกว่า “แผ่นคอว์” เมื่อแม่พิมพ์ปิดแผ่นเบ้า และแผ่นคอว์จะเลื่อนเข้าไปประกบกันทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นเบ้าและแผ่นคอว์ ซึ่งก็คือ ส่วนที่เรียกว่า อิมเพรสชัน



ภาพที่ 2.9 แสดงภาพแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์และคอร์

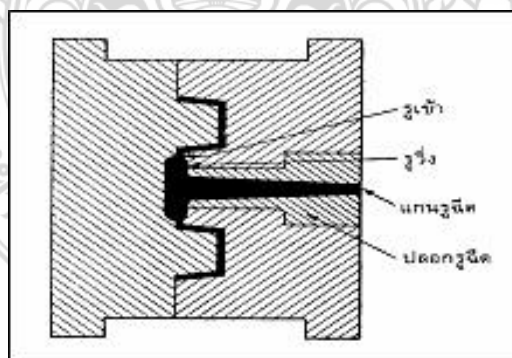
2.7.3 รูว้าง

รูว้างเป็นร่องที่ถูกตัดผิวบนแผ่นแม่พิมพ์ เพื่อให้พลาสติกหลอมที่ไหลมาจากปลอกรูฉีดนั้นวิ่งไปตามเบ้าต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง ไม่ว่าในกรณีมีหลายเบ้า หรือกรณีมีเบ้าเดียวแต่มีหลายทางเข้าก็ตาม รูว้างก็จะทำให้พลาสติกหลอมไหลไปตามทางอย่างถูกต้อง และไปเชื่อมต่อกับรูเข้าต่อไป

2.7.4 รูเข้า

เป็นรูที่เชื่อมต่อมาจากรูว้าง โดยจะมีขนาดเล็กลง และมีช่วงสั้นๆ ส่วนปลายอีกข้างของรูว้างก็จะเชื่อมต่อกับเบ้านั่นเอง เหตุที่ต้องทำให้มีขนาดเล็กๆ นั่นก็เพราะว่า

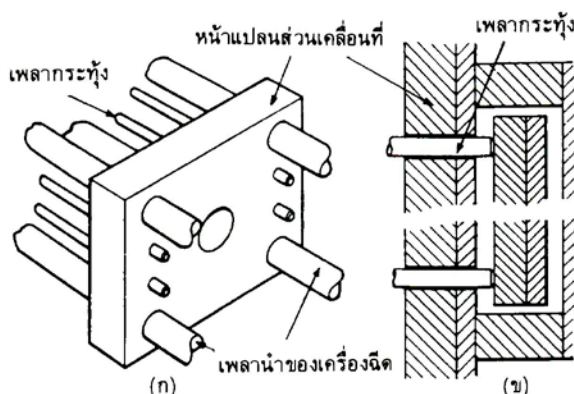
- ป้องกันการดูดกลับของเนื้อพลาสติกภายในอิมเพรสชั่น
- เพื่อให้ปลดแกนรูเข้าได้ง่าย
- เกิดรอยตำหนิบนผิวงานน้อยที่สุด
- สามารถควบคุมการเติมเนื้อพลาสติกในกรณีที่มีหลายอิมเพรสชั่นได้



ภาพที่ 2.10 แสดงภาพรูว้าง และรูเข้า

2.7.5 ระบบปลด

ระบบปลดทำหน้าที่ในการปลดชิ้นงานพลาสติกออกจากอิมเพรสชั่นในตอนแม่พิมพ์เปิดออก ในระบบของการปลดก็สามารถเลือกใช้ได้หลายวิธีขึ้นกับความเหมาะสมของงาน เช่น ใช้แผ่นปลด ใช้สลักปลด และใช้ปลอกปลด เป็นต้น



ภาพที่ 2.11 แสดงภาพระบบปลด

2.7.6 การเลือกใช้พลาสติก

หลักเกณฑ์ในการเลือกวัสดุชนิดใดนั้นมิข้อสังเกตดังนี้ จะต้องใส่ใจและเลือกวัสดุให้ถูกต้อง บางครั้งจะต้องทำการทดสอบ หรือทำตัวอย่างเพื่อทดสอบ เพื่อหาข้อมูลที่แน่นอนต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุโดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุการใช้งาน คุณสมบัติที่ทนต่อสภาวะอากาศ ความทนต่ออุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความเป็นตัวนำไฟฟ้าความต้านทานเชื้อรา เปลวไฟ ปฏิกริยาทางเคมี จะต้องคำนึงถึงความแน่นอนและชนิดของพลาสติก

2.7.7 ผนังและพื้น (Wall and Base)

ความหนาผนังของชิ้นงานฉีดพลาสติก ไม่ได้อยู่ที่ว่าชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงตามต้องการหรือไม่แต่เพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับระยะทางในการไหล ซึ่งน้ำพลาสติกต้องไหลผ่านแม่พิมพ์ด้วย เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบเกือบทุกชนิด จะมีการหดตัวค่อนข้างมาก และขนาดของการหดตัว จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล และพลาสติกที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบมีการหดตัวน้อยกว่าและเท่ากันในทุกทิศทุกทาง ดังนั้นในการออกแบบผนังด้านข้างและพื้น จึงต้องพิจารณาแยกกันในแต่ละส่วน

2.7.8 การฝังอินเสิร์ท (Inserts)

ในชิ้นงานพลาสติกเราสามารถฝังโลหะไว้เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงในการจับยึดและทำให้รับแรงได้มากหรือพูดง่ายๆ ว่าโลหะฝังจะช่วยให้การจับยึดเคลื่อนย้ายและการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันสะดวกยิ่งขึ้น โลหะฝังนี้จะทำให้มีผลคล้าย หรือเพื่อให้เหมาะแก่การใช้งานจะต้องจำไว้เป็นหลักการว่าจะต้องไม่ทำให้วัฏจักรของการทำงาน (Moulding Cycle) ยาวขึ้นและทำให้ต้นทุนสูงขึ้น นั่นก็คือให้พยายามใช้อินเสิร์ทฝังให้น้อยที่สุด ถ้าจำเป็นจะต้องใช้ ห้ามใช้อินเสิร์ทฝังในชิ้นงานที่ทำด้วย Polycarbonate (PC) เพราะจะทำให้เกิดรอยแตกหรือร้าวรอบ ๆ โลหะฝัง

2.7.9 ระบบหล่อเย็น (Cooling System)

หลักการทำงานเบื้องต้นของการฉีดพลาสติกก็คือ พลาสติกร้อนจะถูกฉีดเข้าไป และเย็นตัวอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่พลาสติกแข็งตัวอย่างเพียงพอที่จะคงรูปร่างอิมเพรสชันไว้ได้ ชิ้นงานก็ถูกดันปลดออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นอุณหภูมิของแม่พิมพ์จึงเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากการควบคุมวัฏจักรการฉีดพลาสติก พลาสติกหลอมจะไหลสะดวกในแม่พิมพ์ที่ร้อน แต่จะต้องใช้เวลาในการเย็นตัวของพลาสติกหลอมนานกว่าชิ้นงานจะแข็งตัวเพียงพอที่จะดันปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ ในทางตรงกันข้ามพลาสติกหลอมจะเย็นตัวได้เร็วในแม่พิมพ์ที่เย็น แต่พลาสติกหลอมจะไหลไปไม่ทั่วถึงส่วนต่างๆของอิมเพรสชัน ดังนั้นจะต้องหาจุดที่จะทำให้แม่พิมพ์สามารถทำงานได้ผลดีที่สุด

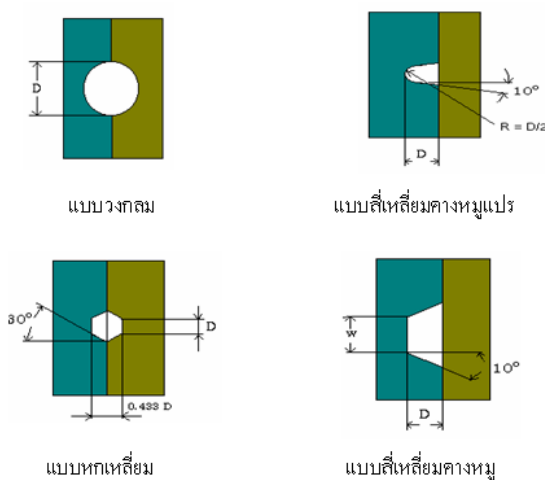
ตารางที่ 2.4 แสดงการกำหนดขนาดของรูน้ำหล่อเย็น

ความหนาของชิ้นงาน (mm)	ขนาด  ของรูน้ำหล่อเย็น (mm)
2	8-10
4	10-12
5	12-15

2.7.10 รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่ง

รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่งที่ใช้ในแม่พิมพ์ โดยปกติจะเลือกใช้ 1 ใน 4 แบบ คือ

- 1) แบบกลม
- 2) แบบสี่เหลี่ยมคางหมู
- 3) แบบสี่เหลี่ยมคางหมูแปร
- 4) แบบหกเหลี่ยม



ภาพที่ 2.12 แสดงภาพทรงหน้าตัดของรูว้าง

การออกแบบรูว้างที่มีประสิทธิภาพมีเกณฑ์การพิจารณาหลายประการ กล่าวคือ รูว้างควรมีพื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุดเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายแรงดัน และเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายความร้อน รูว้างควรมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเนื้อพลาสติกน้อยที่สุดอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบของรูว้างจะช่วยชี้บอกถึงประสิทธิภาพของการออกแบบรูว้าง กล่าวคือ หากอัตราส่วน มีค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ารูว้างแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะเป็นแบบที่มีค่าอัตราส่วนมากในขณะที่ค่าอัตราส่วนของแบบครึ่งวงกลม และแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าต่ำ ทำให้ไม่นิยมใช้กัน



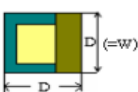
แบบกลม = $0.25D$



$d = D/2$	$0.166D$
$D/4$	$0.1D$
$D/6$	$0.071D$



แบบครึ่งวงกลม = 0.153



แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส = $0.25D$

ภาพที่ 2.13 แสดงประสิทธิภาพของรูว้างที่มีรูปทรงหน้าตัดต่างๆ กัน

แต่รูปร่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ค่อยนิยมใช้กัน ทั้งนี้เพราะการปลดแกรูปร่างกระทำได้ยาก และเพราะเหตุผลข้อนี้ในทางปฏิบัติจึงทำผนังของรูปร่างให้เอียงเป็นมุม 10° ซึ่งเป็นการปรับปรุงรูปร่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสไปเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ปริมาตรของรูปร่างแบบสี่เหลี่ยมคางหมูจะมากกว่า ปริมาตรของรูปร่างแบบกลมที่มีขนาดเท่ากัน ประมาณ 25% เพื่อลดค่าแตกต่างกันนี้และยังคงขนาดเดิมไว้ รูปร่างแบบสี่เหลี่ยมคางหมูจึงถูกพัฒนาไปอีกขั้นหนึ่งเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมูแปร ซึ่งจะมี ปริมาตรมากกว่าแบบกลมประมาณ 14 % เท่านั้น สำหรับรูปร่างแบบหกเหลี่ยมก็คือ รูปร่างแบบสี่เหลี่ยมคางหมูสองประอันปะกบกันนั่นเอง ซึ่งรูปร่างทั้งสองจะประกบกันตรงผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ สำหรับรูปร่างแบบนี้จะมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 52 % ของรูปร่างแบบกลมที่มีขนาดเดียวกัน ดังนั้นหาก ต้องการให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากันจะต้องเพิ่มค่า D ให้มากขึ้นอีก ช่างทำแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะ ทำการออกแบบโดยการทำรูปร่างแบบสี่เหลี่ยมคางหมูให้ประกบกับรูปร่างที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 3 mm เนื่องจากพลาสติกหลอมจะถูกกดไหลเข้าไปตามรูปร่างและระบบป้อนของแม่พิมพ์พลาสติกที่อยู่ติดกับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็นอุณหภูมิของพลาสติกหลอมจะลดลงอย่างรวดเร็วและแข็งตัว พลาสติกหลอมที่ไหลตามมาไหลผ่านบริเวณศูนย์กลางของพลาสติกที่แข็งตัวนี้

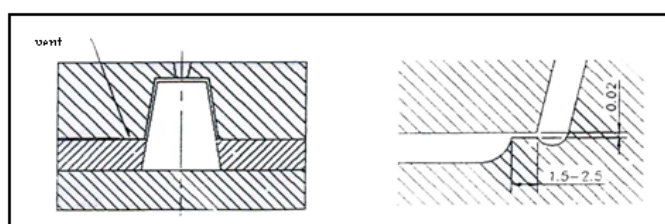
ข้อจำกัดประการหนึ่งของการใช้รูปร่างแบบกลมก็คือรูปร่างแบบกลมเกิดขึ้นจากการนำร่องครึ่ง วงกลม 2 ร่องซึ่งตัดเฉือนบนแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นและนำมาประกบเข้าด้วยกัน รอยต่อจะต้อง ประกบกันพอดีมิเช่นนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของรูปร่างลดลงและไม่สวย นอกจากนี้การเลือกใช้ รูปทรงหน้าตัดของรูปร่างจะต้องพิจารณาถึงวิธีการดันปลดแกรูปร่าง

2.7.11 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ (Venting)

ในระหว่างที่น้ำพลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์จะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในควาวิดี ถ้าอากาศ ไม่สามารถออกได้จะทำให้เกิดการอัดตัวจะทำให้พลาสติกที่อยู่รอบๆเกิดการไหม้ โดยทั่วไปแม่พิมพ์ ไม่ต้องการการออกแบบร่องระบายอากาศพิเศษ เพราะอากาศสามารถออกทางเข็มกระทุ้งได้

PP,PA,PA - GR และ HDPE ไม่เกิน 0.015 มม.

PET,ABS,PC และ PMMA ไม่เกิน 0.03 มม.



ภาพที่ 2.14 แสดงการทำช่องระบายอากาศ

ถ้าชิ้นส่วนผนังแม่พิมพ์ที่มีผนังบาง ใช้อัตราการฉีดสูงควรทำร่องระบายอากาศไว้ใกล้กับทางเข้า การระบายอากาศไปได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการอุดตัน

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความลึกของช่องอากาศของพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ให้ใช้ได้ (ค่าโดยประมาณ)

ชนิดของพลาสติก	ความลึกของช่องอากาศ
PE	0.02
HDPE	0.01-0.02
PS	0.02
SB	0.03
ABS	0.03
SAN	0.03
PET	0.03

2.8 การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม (CAD/CAE/CAM)

ในทางวิศวกรรมได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆขึ้น โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์ ยังสามารถส่งข้อมูลไปสั่งงานเครื่องจักรเพื่อทำการผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ซึ่งระบบนี้คือระบบ CAD / CAE / CAM

2.8.1 Computer-Aided Design

วิวัฒนาการของระบบคอมพิวเตอร์ในงานออกแบบ (CAD) นี้อาจถือได้ว่าเริ่มมีมาตั้งแต่การพัฒนาระบบการสร้างภาพกราฟฟิคบนจอภาพได้ แต่ CAD ได้มีการวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีสูงกว่าระบบกราฟฟิคทั่วไปอย่างมาก ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ช่วยในงานออกแบบหรือ CAD นี้อาศัยเทคโนโลยีที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์กราฟฟิค ซึ่งเป็นการเขียนรูปบนจอภาพหลัก แต่สามารถจัดการกับภาพที่สร้างขึ้นนี้ให้อยู่ในตำแหน่งและลักษณะตามต้องการ โดยที่ผู้ใช้ซึ่งส่วนมากจะเป็นวิศวกรหรือสถาปนิก จะใส่ข้อมูลต่างๆตลอดจนคำสั่งเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์รับข้อมูลเข้า ส่วนคอมพิวเตอร์จะติดต่อมายังผู้ใช้โดยผ่านทางจอภาพคำสั่งที่ใส่เข้าไปนี้จะเรียกชุดโปรแกรมโดยอาศัยซอฟต์แวร์เป็นตัวช่วยคำนวณ ส่วนวิธีการคำนวณเกี่ยวกับการหัดวัดจะพิจารณาถึง

- ตำแหน่งของ Dimension เมื่อเทียบกับ GATE
- ทิศทางของ Dimension เมื่อเทียบกับการไหล
- แรงที่ใช้ในการปิดแม่พิมพ์

CAE สามารถให้ข้อมูลที่จำเป็นที่ผู้ออกแบบต้องการ เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนหรือแม่พิมพ์ที่ทำการผลิตนั้นเป็นที่พอใจ หรือมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

2.8.2 Computer - Aided Engineering (CAE)

คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) คือกระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์และ Software ที่เหมาะสมช่วยในการออกแบบในงานวิศวกรรม และการคำนวณประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้ CAE ในการออกแบบและช่วยในการคำนวณประกอบด้วย

- แก้ไขและเปลี่ยนแปลง คุณลักษณะได้
- ช่วยให้ต้นทุนต่ำ พร้อมทั้งไม่จำกัดรูปร่าง, ลดขั้นตอนการทำงานและเวลาใน

กระบวนการผลิต

- แก้ไขการออกแบบผลิตภัณฑ์ ก่อนเริ่มต้นการผลิต
- ลดเวลาในการผลิตให้ต่ำลง

2.8.3 Computer - Aided Manufacturing (CAM)

ในสายงานการผลิต และการออกแบบมักจะต้องแยกจากกันอยู่เสมอ โดยปกติแล้วช่องว่างระหว่างการออกแบบ และการผลิตนั้นกว้างมาก ทางที่จะบรรลุดังกล่าวดังกล่าวอย่างเป็นผลคือ การลดงานที่ต้องทำซ้ำซ้อน หรือไม่ จำเป็นต้องทำจากการออกแบบที่จะต้องมาทำในการผลิตอีก ดังนั้นหลายบริษัทจึงหันมาใช้เทคนิคของคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า CAM (Computer - Aided Manufacturing) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยตัวเลข (NC ย่อมาจาก Numerical Control)

เทคโนโลยี NC นี้ ปัจจุบันได้ขยายตัวไปมากโดยครอบคลุมงานหลายลักษณะไม่ว่าจะเป็นงานวาดแบบงานประกอบชิ้นส่วนเช่นการตัด การเจาะ การกลึง ชิ้นงานที่เป็นโลหะเป็นหลัก ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ NC หรือระบบจัดการด้วยคำสั่งเชิงตัวเลขจะมีด้วยกัน 3 ส่วนคือ ชุดคำสั่ง หน่วยควบคุม หรือ Machine Control Unit (MCU) และส่วนสุดท้ายคือเครื่องมือกลหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ควบคุมการผลิต

ระบบ CNC (Computer Numerical Control) นี้เป็นการนำไมโครโพรเซสเซอร์พัฒนาขึ้นมาให้สามารถควบคุมเครื่อง NC ได้โดยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กๆ 1 เครื่องจะควบคุมเครื่อง NC ได้ 1 เครื่องโดยตรง ทำให้การใช้งานเครื่อง NC ลดความยุ่งยากลงไปมาก ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่เราสามารถตรวจสอบ NC โปรแกรมได้โดยการดูทิศทางเดินของเครื่องมือซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์จริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถตรวจสอบเวลาที่ใช้งานในการจำลองสถานการณ์จริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และยังสามารถตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการทำงานจริงๆ ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบ CAM โดยที่ยังไม่ต้องทำการตัดเนื้อชิ้นงานจริง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

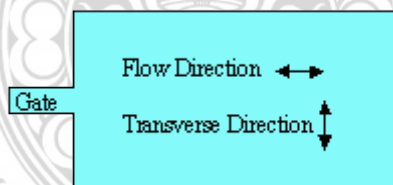
ในการดำเนินงานโครงการวิจัย

สามารถแบ่งขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - 3.2 การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ
 - 3.3 การวิเคราะห์การฉีดด้วยโปรแกรม Cad Mould
 - 3.4 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ
 - 3.5 การจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Cad Mould
 - 3.6 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ
- #### 3.1 ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.1.1 นี่คือมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของชิ้นงานฉีดโดยเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ ข้อมูลการหดตัวใช้เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุ ค่าการหดตัวที่กำหนดมาให้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานมากที่สุด, ความไม่เสถียรของแม่พิมพ์, และเงื่อนไขการปฏิบัติงาน

การหดตัวของวัสดุแต่ละชนิดแตกต่างกันทั้งทิศทางการไหลและขวางทิศทางการไหล ทิศทางการไหลถูกจัดวางขึ้น เช่นเดียวกันกับระบบขนส่งวัสดุที่หลอมเหลวแล้ว เมื่อทางออกมันคือ เกจ(gate)และเข้าแม่พิมพ์



ทิศทางการวัด

ชิ้นทดสอบมาตรฐานสามแบบที่ใช้กำหนดค่าการหดตัวมีแบบA แบบB และแบบD2 เพอร์เซ็นต์การหดตัวขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดแม่พิมพ์

ค่าการหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหลสามารถคำนวณได้จาก :

$$S_{low} = 100 * (L_M - L_S) / L_M$$

เมื่อ L_M คือความยาวในแนวตัดของเบ้าแม่พิมพ์ที่ใช้ทดสอบ

L_S คือความยาวในแนวตัดของชิ้นทดสอบที่เย็นตัวแล้ว

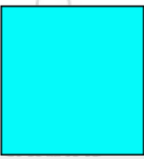
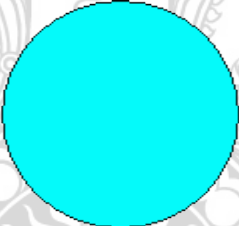
ค่าการหดตัวของพลาสติกขวางทิศทางการไหลสามารถคำนวณได้จาก :

$$T_{\text{ransverse}} = 100 * (W_M - W_S) / W_M$$

W_M คือความกว้างในแนวตั้งของเบ้าแม่พิมพ์ที่ใช้ทดสอบ

W_S คือความกว้างในแนวตั้งของชิ้นทดสอบที่เย็นตัวแล้ว

ตารางที่ 3.1 ตารางชิ้นทดสอบ ISO 294-4

ชนิดชิ้นทดสอบ	รูปร่าง	ขนาดของชิ้นทดสอบ	การวัดการหดตัว
1	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	60x60x2 mm 	ทิศทางการไหลกับ ขวางทิศทางการไหล
2	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	12.7x127x3.2 mm 	ทิศทางการไหล
3	วงกลม	100 mm diameter, 3.2 mm thick 	ทิศทางการไหลกับ ขวางทิศทางการไหล

3.1.2 จากขอบเขตงานวิจัยที่กำหนดให้ชิ้นงานทั้งสามชิ้นอยู่ในแม่พิมพ์เดียวกันและชิ้นงานทั้งสามชิ้นต้องฉีดพลาสติกเต็มพร้อมกันจึงต้องใช้โปรแกรม Cad Mould เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดของทางวิ่ง(runner)และทางเข้า(gate) แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใช้โปรแกรม Mould Wizard ช่วยในออกทำการเขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Unigraphics การศึกษาเงื่อนไขและปัญหาในชิ้นงานชิ้นทดสอบการเลือกใช้ค่าอัตราการหดตัวที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ใช่แค่เพียงให้ได้สัดส่วนของชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการสวมประกอบชิ้นงานนั้นกับชิ้นส่วนอื่น ๆ และการนำไปใช้งานของชิ้นงานนั้นด้วย ชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง(height precision)สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือการหดตัวของพลาสติก(shrinkage) ก่อนการฉีดและหลังจากการฉีดเป็นอย่างดี มิฉะนั้นต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and error)และเกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์สั่งงานไม่ตรงตามกำหนดขาดความเชื่อถือจากลูกค้าเสียค่าแรงเสียโอกาสทางการค้า

อัตราการหดตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้นได้จากผลของชิ้นงานทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลต่ออัตราการหดตัวที่เกิดขึ้น

ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางการหดตัวกับค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน

3.1.3 ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(shrinkage)

การหดตัวของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 3 ข้อได้แก่

1. ความดันการฉีดแซ่ ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดแซ่ให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง
2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัดคือ เมื่อเนื้อพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด Post Shrinkage ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนา ดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้

3.1.4 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เลือกใช้เป็นแบบสองแผ่น

หลักเกณฑ์ในการวางชิ้นงาน

- ประหยัดพื้นที่
- ออกแบบลักษณะวางชิ้นงานให้มีความสมดุลย์
- พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก HDPEและPET

ได้ออกแบบและเขียนแบบให้อยู่ในรูป SURFACE เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมCad Mould โดยการออกแบบได้ทำการเขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Unigraphics

3.2 การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ

ข้อมูลของพลาสติกที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆมีดังนี้

3.2.1 พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก HDPE



ภาพที่ 3.1พลาสติก Inno Plus HD1600J

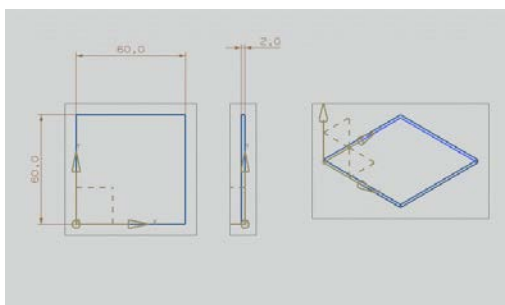
- ชนิดของพลาสติก : Inno Plus HD1600J
- เลขที่ผลิต : H0208905C
- วันที่ผลิต : 07.07.2010
- การไหลตัว (MFR2.16kg) : 12.2g/10min(ASTM D1238)
- ความหนาแน่น(Density) : 0.957 g/cm³(ASTM D1505)
- อัตราการหดตัว : 1.5-3.5 %
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : Min 20-Max 40°C
- อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก : Min 190-Max 280°C
- อุณหภูมิปลดชิ้นงาน : 75°C
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : 20-40°C
- อุณหภูมิแตกต่างของอุณหภูมิสารหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออก : 4°C
- คำนวณความร้อนเฉลี่ยของพลาสติก : 0.092 mm²/s

3.2.2 พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก PET Resin Grade :N1



ภาพที่ 3.2 พลาสติก PET Resin Grade :N1

- ชนิดของพลาสติก : PET Resin Grade :N1
- เลขที่ผลิต : 2110G003
- วันที่ผลิต : 14/07/2010
- ความหนาแน่น(Density) : 1.450 g/cm³
- อัตราการหดตัว : .2-.4%
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : Min 80-Max 120°C
- อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก : Min 265-Max 290°C
- อุณหภูมิปลดชิ้นงานสูงสุด : 150°C
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : 80-120°C
- อุณหภูมิแตกต่างของอุณหภูมิสารหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออก : 2°C
- คำนวณความร้อนเฉลี่ยของพลาสติกHDPE : 0.082 mm²/s

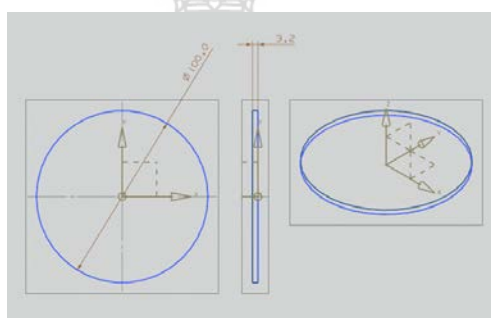


ภาพที่ 3.4 ชิ้นทดสอบที่ 2

น้ำหนักของชิ้นงานได้จากการประมวลผลของโปรแกรม Cad Mould

น้ำหนักของชิ้นงาน HDPE=23.6g

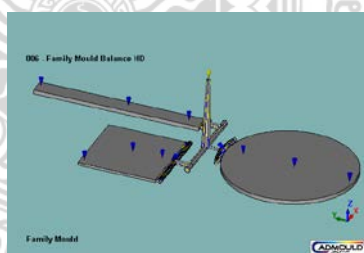
น้ำหนักของชิ้นงาน PET= 39.2g



ภาพที่ 3.5 ชิ้นทดสอบที่ 3

3.3 การวิเคราะห์การฉีดโดยใช้โปรแกรมCAD Mould

3.3.1 ปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE



ภาพที่ 3.6 ปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE

ในการคำนวณหาปริมาณการฉีดของเครื่องต้องบวกค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง 10%

น้ำหนักของระบบป้อน = 3.53g

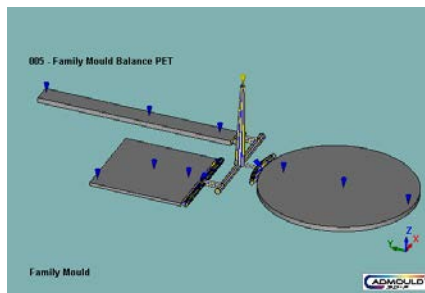
ปริมาณการฉีด (Shot Weight) = 4.85g + 6.77g + 23.6g + 3.53g

= 38.75 g + 10%

= 42.62 g $\approx$ 43 g

สรุป ว่าเครื่องฉีดที่ใช้ฉีดต้องมีปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE ตั้งแต่ 43 g ขึ้นไป

3.3.2 ปริมาณการฉีด (Shot Weight) PET



ภาพที่ 3.7 ปริมาณการฉีด (Shot Weight) PET

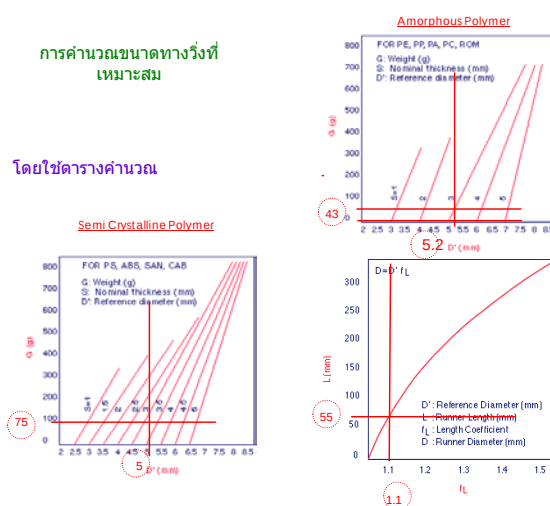
ในการคำนวณหาปริมาณการฉีดของเครื่องต้องบวกค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง 10%
น้ำหนัก ของระบบป้อน = 8.86g

$$\begin{aligned} \text{จะได้ปริมาณการฉีด} &= 8.05 \text{ g} + 11.2 \text{ g} + 39.2 \text{ g} + 8.86 \text{ g} \\ &= 67.31 \text{ g} + 10\% \\ &= 74.04 \text{ g} \approx 75 \text{ g} \end{aligned}$$

สรุป ว่าเครื่องฉีดที่ใช้ฉีดต้องมีปริมาณการฉีด (Shot Weight) ตั้งแต่ 75g ขึ้นไป

3.4 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ

3.4.1 การคำนวณหาขนาดของรูวิ่ง RUNNER ของ HDPE



ภาพที่ 3.8 แสดงภาพการหาขนาดของ Runner

พลาสติก HDPE เป็นแบบ Amorphous ปริมาณการฉีด (Shot Weight) = 43 g

หนาสูงสุด 3.2 มม. ความยาว Runner 55 มม. จากตารางความโตของ Runner = 5 มม. คูณด้วยค่า Factor 1.1 จะได้ขนาดของ Runner = 5.75 หลังจากนั้นเข้าโปรแกรม Cad Mould วิเคราะห์และปรับแก้ให้เหมาะสมกับการฉีด สามารถลดขนาดความโตของ Runner อยู่ที่ 5.2 มม.

พลาสติกPETเป็นแบบSemi Crystallineปริมาณการฉีด (Shot Weight) ตั้งแต่ 75g

หนาสูงสุด3.2ม.มความยาวRunner55ม.มจากตารางความโตของRunner=5.2ม.มคูณด้วยค่าFactor1.1 จะได้ขนาดของRunner=5.5หลังจากนั้นเข้าโปรแกรมCad Mouldวิเคราะห์และปรับแก้ให้เหมาะสมกับการฉีดสามารถลดขนาดความโตของRunnerอยู่ที่5ม.ม

3.4.2 การคำนวณหาขนาดของรูเข้า (Gate)

การคำนวณหาขนาดรูเข้าของชิ้นงานพิจารณา จากตารางโดยเทียบกับน้ำหนักของชิ้นงานที่เหมาะสมดังนี้ โดยเลือกรูเข้าแบบฉีด

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการเทียบน้ำหนักของชิ้นงานกับรูเข้าแบบต่างๆ

มวลของชิ้นงาน (g)	รูเข้าแบบฉีด($\varnothing$ mm)	รูเข้าแบบเข็ม(mm)	รูเข้าแบบเหลี่ยม (W x H) (mm)
< ถึง 10	2.5 -3.5	0.8	1.0 x 2.0-2.0 x 2.0
11 ถึง 20	3.5 – 4.5	0.8	1.5 x 2.5-2.5 x 3.5
21 ถึง 40	4.0 - 5.0	1.0 – 1.2	2.0 x 3.0-2.5 x 3.5
41 ถึง 150	4.5 – 6.0	1.5 – 2.5	2.5 x 3.0- 3.5 x 4.5
151ถึง 300	4.5 – 7.5	1.5 – 2.8	2.5 x 3.5 – 3.5 x 4.5

จากตาราง เมื่อเทียบกับน้ำหนักของชิ้นงานของแต่ละชิ้น (อยู่ในช่วง0ถึง20g)

หมายเหตุ จากการพิจารณาเลือกใช้ขนาดของรูเข้า ลักษณะและรูปร่างของชิ้นงานที่ไม่มีความสมมาตร รวมทั้งระยะห่างหรือช่วงของการวางตำแหน่งของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญที่จะส่งผลต่อการ Balance Flow ดังนั้น ในการกำหนดขนาดของทางเข้า (Gate) ต้องพิจารณาเผื่อขนาดอาจเพิ่มหรือลดขนาดลงเพื่อให้เวลาในการเติมเต็มของชิ้นงานเกิดขึ้นพร้อมๆกันในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมCad Mouldช่วยในการหาขนาดตำแหน่งและรูปร่างของทางเข้า (Gate)การ Balance Flow ที่เหมาะสม

3.4.3 การคำนวณหาแรงปิดแม่พิมพ์

แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้จะต้องมากเพียงพอที่จะรักษาแม่พิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่งปิดสนิทในระหว่างขั้นตอนการไหลตัวของพลาสติกหลอมและอัดตัวของเนื้อพลาสติกได้จึงต้องมีการคำนวณหาครั้งนี้แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้คำนวณได้จากค่าความดันของวัสดุ

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าความดันในCavity

Average pressure in the mold (kg/cm ²)			
Name of resin	Ordinary molding	Outer part molding	Precision molding
PS	250	350	450
HIPS	250	350	450
SAN	300	400	500
ABS	300	400	500
Rigid PVC	300	400	500
Soft PVC	250	350	450
PP	250	350	450
PE	250	350	450
PA-6	350	450	600
PA-66	400	500	650
PC	400	550	700
PMMA	350	500	600
PPO	400	500	600
POM	350	500	650
PET	350	500	650
PBT	350	500	650
PPS	400	500	700
PES	400	500	700
TPX	350	450	550
PSF	400	500	700
PAI	400	500	700
PEI	400	500	700
PEEK	400	500	700
U polymers	400	500	700
Fluorine	500	600	800
UP	300	400	500
UF	400	500	600
MF	400	500	600
PF	300	400	500
Epoxy	400	500	600

$$\text{สูตร} \quad F = \frac{A \times P}{1000} \quad (3.3)$$

เมื่อ F = แรงปิดแม่พิมพ์ (T)

A = พื้นที่ฉายของชิ้นงาน (cm²)

P = ความดันภายในของเบ้าพิมพ์ (kg/cm²)

1000 = ค่าที่นำมาหารทำให้หน่วยเป็น T

ใช้วัสดุ HDPE กับ ได้ค่าแรงดันในCavityตามตาราง ค่าที่ได้ = 350 kg/cm²

$$\begin{aligned} \text{แรงปิดที่ต้องการ} &= \frac{127.97 \times 350}{1000} \\ &= 44.78 \text{ T} \end{aligned}$$

แรงปิดแม่พิมพ์ควรเพิ่มค่าความปลอดภัยจากเดิมอีก 10 %

$$\begin{aligned} &= 44.78 \times 1.1 \\ &= 49.26 \text{ T} \end{aligned}$$

เครื่องที่ใช้ต้องที่มีแรงดันปิดแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า 50 T ขึ้นไปจึงจะใช้งานได้

ใช้วัสดุ PET ได้ค่าแรงดันในCavityตามตาราง ค่าที่ได้ = 500 kg/cm²

$$\begin{aligned} \text{แรงปิดที่ต้องการ} &= \frac{127.97 \times 500}{1000} \\ &= 63.98 \text{ T} \end{aligned}$$

แรงปิดแม่พิมพ์ควรเพิ่มค่าความปลอดภัยจากเดิมอีก 10 %

$$\begin{aligned} &= 63.98 \times 1.1 \\ &= 70.38 \text{ T} \end{aligned}$$

เครื่องที่ใช้ต้องที่มีแรงดันปิดแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า 70 T ขึ้นไปจึงจะใช้งานได้

ในการทดลองใช้เครื่อง 168 T ที่มีอยู่

3.4.3 การคำนวณเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) HDPE

$$T_k = \frac{S^2}{\pi^2 \times a_{\text{eff}}} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{l_m - l_w}{l_z - l_w} \right) \right] \quad (3.5)$$

T_k = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time)

S = ความหนาของชิ้นงาน คัดส่วนที่หนาสุด = 3.2 mm

a_{eff} = ประสิทธิภาพการนำความร้อนเฉลี่ยพลาสติก HDPE = 0.092 mm²/s

l_m = อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก = 190 °C

l_e = อุณหภูมิในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ = 75 °C

l_w = อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์ = 25 °C

$$T_k = \frac{(3.2\text{mm})^2}{\pi^2 \times 0.092\text{mm}^2/\text{s}} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{190^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{75^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} \right) \right]$$

$$= 11.37 \ln 4.20$$

$$T_k = 16.2\text{s}$$

∴ เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น HDPE ≈ 16s

การคำนวณเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) PET

T_k = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time)

S = ความหนาของชิ้นงาน คัดส่วนที่หนาสุด = 3.2 mm

a_{eff} = ประสิทธิภาพการนำความร้อนเฉลี่ยพลาสติก PET = 0.082 mm²/s

l_m = อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก = 275 °C

l_e = อุณหภูมิในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ = 85 °C

l_w = อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์ = 35 °C

$$T_k = \frac{(3.2\text{mm})^2}{\pi^2 \times 0.082\text{mm}^2/\text{s}} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{275^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{85^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}} \right) \right]$$

$$= 1.28 \ln 4.8$$

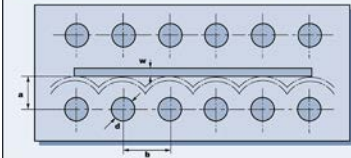
$$= 12.8 \times 1.5 = 20.07\text{ s}$$

∴ เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น PET ≈ 20.00 s

3.4.4 การคำนวณหาจำนวนน้ำหล่อเย็น

ในการออกแบบปั๊มน้ำหล่อเย็น โต 8 มม

"w"	"d"	"g"	"b"
wall thickness of the product mm (in)	diameter of the cooling channels mm (in)	center distance with respect to mold cavity	center distances between cooling channels
2 (0.08)	8-10 (0.31-0.40)	1.5-2d	2-3d
2-4 (0.08-0.16)	10-12 (0.40-0.47)		
4-6 (0.16-0.24)	12-14 (0.47-0.55)		



ภาพที่ 3.9 แสดงขนาดรูน้ำหล่อเย็น

3.5 การจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Cad Mold

3.5.1 ค่าพารามิเตอร์แม่พิมพ์

ค่าพารามิเตอร์เม็ดพลาสติก HDPE

- Melt Temperature = 180°C
- Mold Temperature = 25°C
- Eject Temperature 75°C
- Cooling Time = 8 s
- Density $23^{\circ}\text{C} = 0.94 \text{ g/cm}^3$
- ปริมาณการฉีด (Shot Weight) = 43 g

Filling Time [s]	0.3	Recommended Process Temperatures [°C]			
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0	Material	Melt	Wall	Ejection
Melt Temperature [°C]	180	PC	260 - 320	85 - 120	90 - 140
Uniform wall temperature [°C]	25	PC+ABS	240 - 270	70 - 90	80 - 120
Ejection Temperature [°C]	75	PC+ABS-GF	250 - 280	70 - 90	80 - 120
☐ Packing	Duration [s]	PC-GF	290 - 325	80 - 115	100 - 140
☐ S + W	Input	PE-GF	230 - 260	40 - 70	60 - 120
☐ Injection Compression	Input	PE-HJ	210 - 230	10 - 60	60 - 110
Default	Load	PE-LD	190 - 270	10 - 60	60 - 110
OK	Cancel	PMMA	210 - 260	40 - 80	110 - 110
		PMF	270 - 330	30 - 70	30 - 150
		PP	170 - 210	60 - 120	90 - 150
		PP-GF	190 - 220	60 - 120	90 - 150
		PP	220 - 270	20 - 90	60 - 100
		PP-D	220 - 260	40 - 70	60 - 100
		PP-FR	190 - 220	40 - 80	60 - 100
		PP-GF	220 - 260	40 - 70	60 - 100
		PP-GF FR	200 - 220	60 - 80	60 - 100

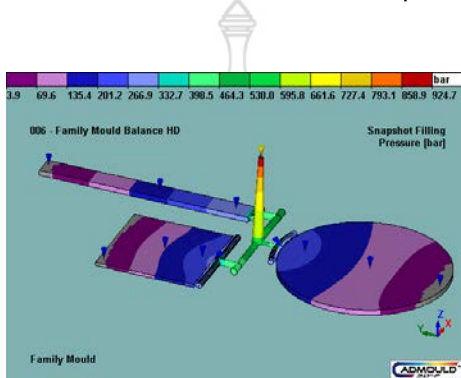
ภาพที่ 3.10 แสดงเลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีด HDPE

3.5.2 ใส่ค่าพารามิเตอร์เม็ดพลาสติก PET

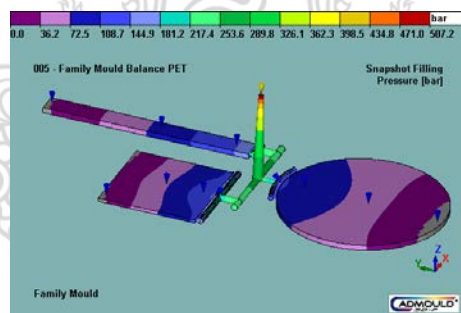
- Melt Temperature = 280°C
- Mold Temperature = 70°C
- Eject Temperature 175°C
- Density $23^{\circ}\text{C} = 1.56 \text{ g/cm}^3$
- ปริมาณการฉีด (Shot Weight) ตั้งแต่ 71g

Filling Time [s]	0.3	Recommended Process Temperatures [°C]			
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0	Material	Melt	Wall	Ejection
Melt Temperature [°C]	280	PA-66-MF	270 - 300	80 - 120	100 - 150
		PA-66-SF	270 - 300	80 - 110	100 - 150
Uniform wall temperature [°C]	110	PE	220 - 260	50 - 110	90 - 130
		PBT-FE	230 - 260	60 - 100	80 - 130
		PBT-FR	240 - 260	60 - 90	80 - 130
		PBT-GF	240 - 260	70 - 90	80 - 130
		PBT-GF-FR	240 - 260	70 - 90	80 - 130
		PC	260 - 320	85 - 120	90 - 140
		PC+ABS	240 - 270	70 - 90	80 - 120
		PC+ABS-GF	250 - 280	70 - 90	80 - 120
		PC-GF	230 - 325	80 - 115	100 - 140
		PE-GF	220 - 260	40 - 70	60 - 120
		PE-HD	210 - 290	10 - 60	60 - 110
		PE-LD	130 - 270	10 - 60	60 - 110
		PMMA	210 - 250	40 - 80	110 - 110
		PMP	270 - 330	30 - 70	90 - 150

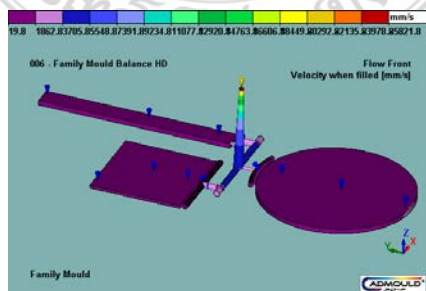
ภาพที่ 3.11 แสดงเลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีดPET



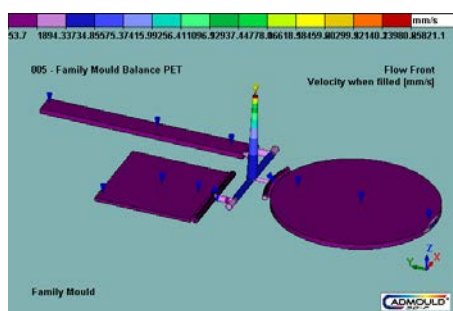
ภาพที่ 3.12 ความดัน (Pressure) ที่ใช้ฉีดHDPE
จากการวิเคราะห์ความดัน (Pressure) ที่ใช้ฉีดHDPEคือ924.7บาร์



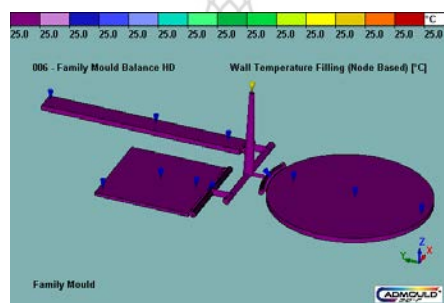
ภาพที่ 3.13 แสดง ความดัน (Pressure) ที่ใช้ฉีดPET
จากการวิเคราะห์ความดัน (Pressure) ที่ใช้ฉีดPETคือ507.2บาร์



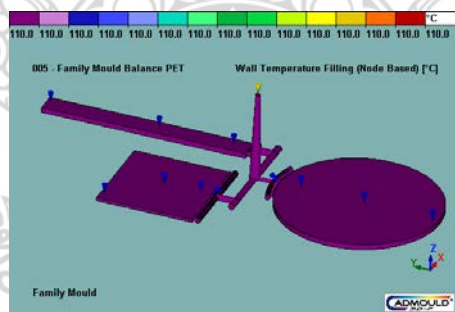
ภาพที่ 3.14 แสดง ความเร็วในการฉีดHDPE
จากการวิเคราะห์ความเร็วในการฉีดHDPEคือ5821.8มม:วินาที



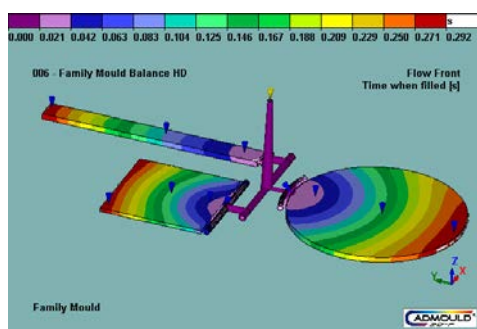
ภาพที่ 3.15 แสดง ความเร็วในการฉีดPET
จากการวิเคราะห์ความเร็วในการฉีดPETคือ5821.8มม:วินาที.



ภาพที่ 3.16 แสดง อุณหภูมิ (Temperature)ผนังของชิ้นงานHDPE
จากการวิเคราะห์อุณหภูมิ (Temperature)ผนังของชิ้นงานHDPE 25 °C

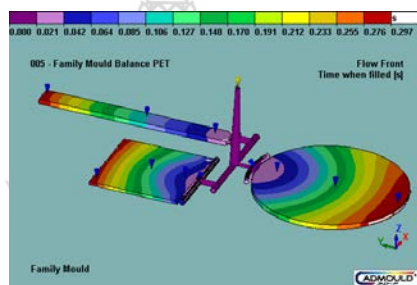


ภาพที่ 3.17 แสดงความดันทั้งหมดหลังการฉีดจนพลาสติกแข็งตัว
จากการวิเคราะห์อุณหภูมิ (Temperature)ผนังของชิ้นงานPET คือ110 °C



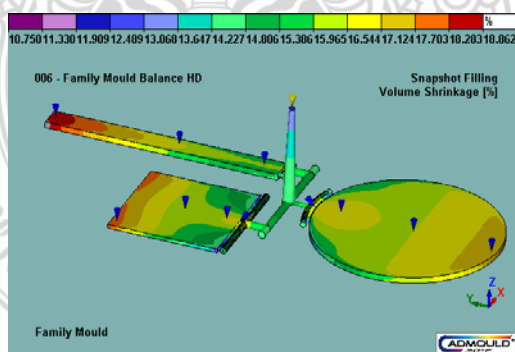
ภาพที่ 3.18 แสดงความเร็ว HDPE

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นในชิ้นงานดังแสดงในการฉีด โดยดูจากแถบสีจุดที่มีความเร็วสูงสุดประมาณ 0.292 วินาที



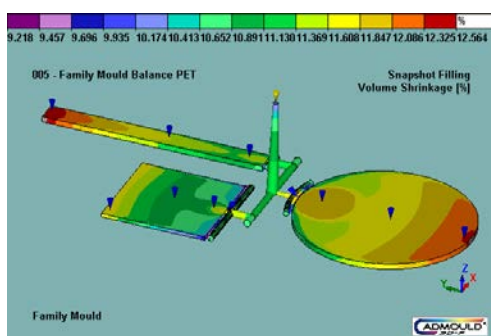
ภาพที่ 3.20 แสดงความเร็ว PET

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นในชิ้นงานดังแสดงในการฉีด โดยดูจากแถบสีจุดที่มีความเร็วสูงสุดประมาณ 0.297 วินาที



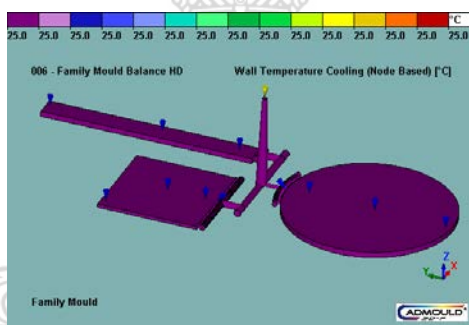
ภาพที่ 3.21 แสดงปริมาตรการหดตัว (Volume Shrinkage) HDPE

พิจารณาจากภาพที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าปริมาตรการหดตัวเมื่อเทียบกับกันแล้วมีค่าปริมาตรการหดตัวส่วนใหญ่ที่บริเวณชิ้นงานประมาณ 10-18 % จึงนำมาเป็นแนวทางในการฉีดชิ้นงานจริง โดยพลาสติก HDPE จะมีปริมาตรการหดตัว 2 – 4 %



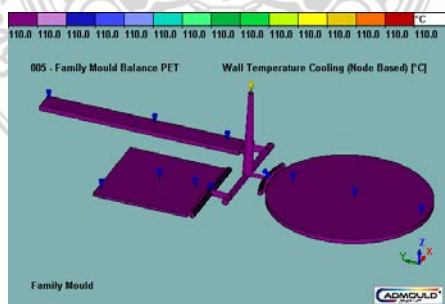
ภาพที่ 3.22 แสดงปริมาตรการหดตัว (Volume Shrinkage)PET

พิจารณาจากภาพที่ 3.22 จะเห็นได้ว่าปริมาตรการหดตัวเมื่อเทียบกับกันแล้วมีค่าปริมาตรการหดตัวส่วนใหญ่ที่บริเวณชิ้นงานประมาณ 9.2- 12.56 % จึงนำมาเป็นแนวทางในการฉีดชิ้นงานจริง โดยพลาสติก PET จะมีปริมาตรการหดตัว 0.2 – 0.4 %



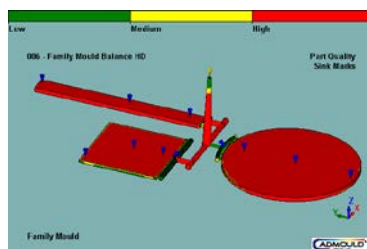
ภาพที่ 3.23 แสดงถึงอุณหภูมิของชิ้นงานหลังจากหล่อเย็น(Cooling)แล้วHDPE

จากภาพที่ 3.24 แสดงอุณหภูมิการเย็นตัวของชิ้นงานหลังการฉีด การเย็นตัวของชิ้นงาน อย่างสม่ำเสมอโดยอุณหภูมิเย็นตัวสูงสุดที่ 25 °C

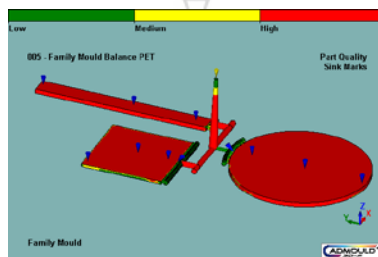


ภาพที่ 3.24 แสดงถึงอุณหภูมิของชิ้นงานหลังจากหล่อเย็นแล้วPET

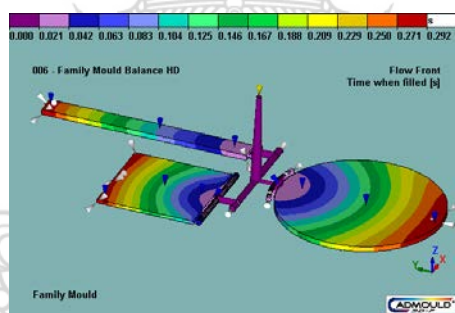
จากภาพที่ 3.24 แสดงอุณหภูมิการเย็นตัวของชิ้นงานหลังการฉีด การเย็นตัวของชิ้นงาน อย่างสม่ำเสมอโดยอุณหภูมิเย็นตัวสูงสุดที่ 110 °C



ภาพที่ 3.25 แสดงการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน(Sink Mark) HDPE

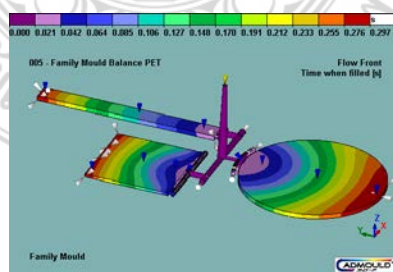


ภาพที่ 3.26 แสดงการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน(Sink Mark) PET



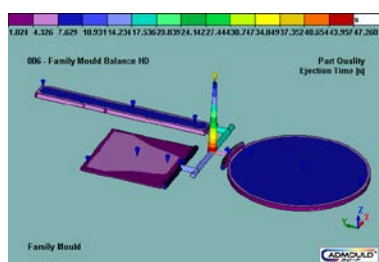
ภาพที่ 3.27 แสดงการเกิดฟองอากาศ(Air Trap)ที่ชิ้นงานHDPE

จากภาพที่3.27 แสดงให้เห็นว่าจะเกิดขึ้นส่วนใหญ่บริเวณมุมและจุดปลายสุดของชิ้นงาน ฉะนั้นในการสร้างแม่พิมพ์จึงทำการสร้าง Air vien เพื่อให้เกิด Air Trap น้อยที่สุด

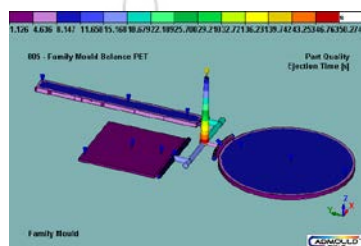


ภาพที่ 3.28 แสดงให้เห็นว่าเกิด Air Trap PET

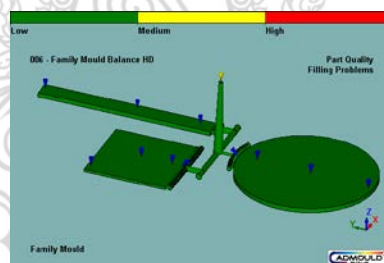
จากภาพที่3.28 แสดงให้เห็นว่าจะเกิดขึ้นส่วนใหญ่บริเวณมุมและจุดปลายสุดของชิ้นงาน ฉะนั้นในการสร้างแม่พิมพ์จึงทำการสร้าง Air vien เพื่อให้เกิด Air Trap น้อยที่สุด



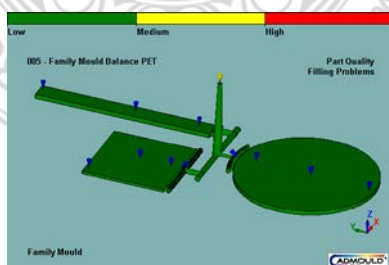
จากภาพที่3.28 แสดงให้เห็นถึงเวลานิดพลาสติกเข้าชิ้นงานจนสามารถปลดชิ้นงานได้ ใช้เวลาอยู่ระหว่าง1.024-47.26วินาที(HDPE)



ภาพที่3.29 แสดงให้เห็นถึงเวลานิดพลาสติกเข้าชิ้นงานจนสามารถปลดชิ้นงานได้ใช้เวลาอยู่ระหว่าง 1.126-50.274วินาที(PET)



จากภาพที่3.29 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์หลังจากปรับค่าในการฉีด HDPE



ภาพที่3.30 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์หลังจากปรับค่าในการฉีด PET

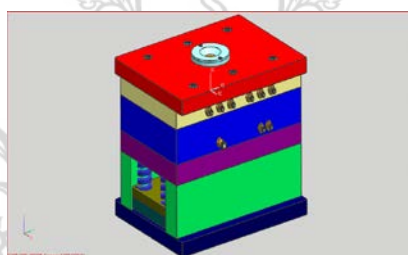
3.5.3 การกำหนดขนาดและตำแหน่งต่างๆของชิ้นส่วนในแม่พิมพ์

ในการกำหนดขนาดและตำแหน่งของชิ้นส่วนต่างๆในแม่พิมพ์ฉีด โดยแม่พิมพ์ชุดนี้จะมี 3 เบ้า ซึ่งจะมีอินเลอร์อยู่ทั้งหมด 1 ชิ้น โดยจะอยู่ในส่วนแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่ 3 ชิ้น โดยขนาดช่องอินเลอร์จะใช้เครื่องกัดขึ้นรูปเบ้าได้

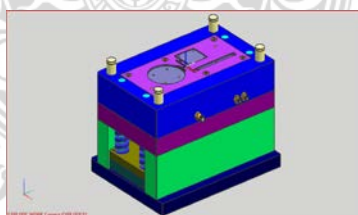
3.6 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ

เมื่อได้ขนาดของ Insert แล้วจึงนำ Mould Base ในโปรแกรม Mould Wizard ออกมาใช้ในการวางตำแหน่งของชิ้นงานเพื่อกำหนดขนาดของแม่พิมพ์ ต้องยึดตำแหน่งของชิ้นงานตามการวิเคราะห์ของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์การไหลตัว (Cad Mould) โดยให้ระยะของชิ้นงานสมมาตรกันมากที่สุดเท่าที่ทำได้ ในการร่างแบบต้องคำนึงถึงตำแหน่งการยึด Insert ตำแหน่งของสลักปลดชิ้นงาน ตำแหน่งของรูน้ำหล่อเย็นด้วยเพื่อป้องกันการเจาะรูซ้อนกันขึ้นทำให้การสร้างแม่พิมพ์เสียหายได้

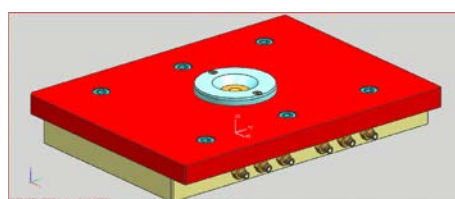
แม่พิมพ์ฉีดชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 3.31 ภาพประกอบ Mould



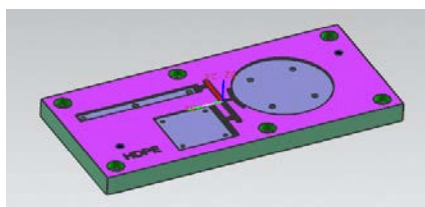
ภาพที่ 3.32 แสดงแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่



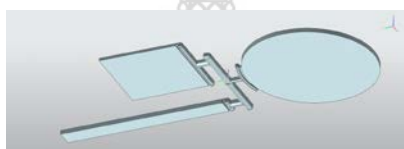
ภาพที่ 3.33 แสดงแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่

การกำหนดตำแหน่งของ Cavity

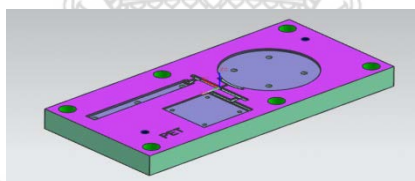
หลังจากการกำหนดตำแหน่งของระบบหล่อเย็นแล้วจึงออกแบบระบบ Core ที่ฝังลงไปในพื้นที่ Plate จำเป็นต้องใช้สลักซึ่งยึดอยู่ด้านแผ่นยึดตัวปลด



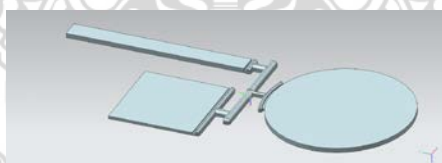
ภาพที่ 3.34 แสดงตำแหน่งระบบ Core HDPE



ภาพที่ 3.35 แสดงชั้นทดสอบ HDPE



ภาพที่ 3.36 แสดงตำแหน่งระบบ Core PET



ภาพที่ 3.37 แสดงชั้นทดสอบ PET

ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับการทดสอบด้วยระบบ CAD/CAM/CAE ผู้จัดทำได้เลือกใช้แม่พิมพ์ฉีดแบบ Two Plate Mould สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีดังนี้

- 1.รูปร่างชิ้นงานที่ ทำให้การปลดชิ้นงานนั้นทำได้ง่าย
- 2.กำหนดตำแหน่งการวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ฉีดแบบ Two Plate แบบ Framaly Mould
- 3.กำหนดตำแหน่งเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Line) เพื่อให้ทราบตำแหน่งของชิ้นงานที่สัมผัสเส้นส่วนแม่พิมพ์ โดยแยกชิ้นส่วนออกเป็น ส่วน Core และ Cavity

ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับขั้นตอนทดสอบ

สามารถออกแบบสร้างแม่พิมพ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.6.1 ชุดแม่พิมพ์ฉีดสำหรับขั้นตอนทดสอบประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นเอง

- ก) แหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)
- ข) ปลอกกรูฉีด (Spure Bush)
- ค) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (Front Plate)
- ง) แผ่น Cavity Plate
- จ) Insert Cavity HDPE
- ฉ) Insert Cavity PET
- ช) แผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)
- ซ) แผ่นยึดสลักปลด (Ejecter Plate)
- ฌ) แผ่นดันปลด (Ejecter Return Plate)
- ญ) แผ่นยึดสลักปลด (Ejecter Plate)
- ฎ) แท่งรอง (Spacer Block)
- ฐ) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านหลังเคลื่อนที่ (Back Plate)

3.6.2 ชิ้นส่วนมาตรฐาน

- ก) เฟลาน้ำ (Guide Pin)
- ข) ปลอกนำชนิด A (Guide Bush Type A)
- ค) สลักดันกลับ (Return Pin)
- ง) สลักดันปลด (Ejector Pin)
- จ) สลักดึงแกนรูฉีด (Spure Puller)

3.6.3 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

1. ทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขั้นตอนทดสอบ ด้วยโปรแกรม Unigraphics

- เขียนภาพชิ้นงานและกำหนดขนาดจากโปรแกรม Unigraphics
- นำชิ้นงานที่เขียนมากำหนดขนาด Mould Base ของ Futaba และวางลักษณะทิศทางการวางชิ้นงานลงในแม่พิมพ์
- เขียนแบบแม่พิมพ์และกำหนดขนาดและตำแหน่งของส่วนประกอบแม่พิมพ์

2. สร้างโปรแกรม Cam เพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน

- นำชุดคำสั่ง G-code ที่สร้างไว้ Save ลงแผ่น
- นำชุดคำสั่ง มาเปลี่ยน Format ให้เข้ากับเครื่อง CNC พร้อมทั้งแก้ไข code บางตัว เช่น จุดศูนย์

ของงานความเร็วรอบ ความเร็วกัด

- นำ G-code เข้าสู่เครื่อง CNC และเลือก File ที่เรา Save เข้ามา
- ตั้งเครื่องให้พร้อมที่จะทำงาน โดยปรับค่าศูนย์ของงานและนำศูนย์ของเครื่องที่ตำแหน่งศูนย์ของงานไปใส่ในคำสั่งเริ่มจุดเริ่มต้นการกัดงานแล้วปฏิบัติตามวิธีการใช้เครื่องจนเสร็จ

ก) แหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)



ภาพที่ 3.38 แสดงภาพแหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)

- นำเหล็กความโต 120.5x16 มม. ขึ้นรูปด้วยเครื่อง กลึง ให้ได้ขนาด 120 x 15 มม.
- คว้านรู โต 36 เพื่อสวมเข้ากับปลอกกรูนิด (Spure Bush)
- คว้านรูและเจาะรูร้อยผ่านเกลียว M6 ประกอบ Locating Ring เข้ากับแผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (Front Plate)

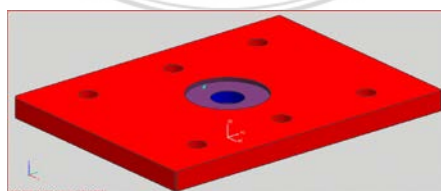
ข) ปลอกกรูนิด (Spure Bush)



ภาพที่ 3.39 แสดงภาพปลอกกรูนิด (Spure Bush)

- นำเหล็กขนาดความโต 42x60 มม. ขึ้นรูปด้วยเครื่อง กลึง ให้ได้ขนาด 40 x 55 มม. ของปลอกกรูนิด = 36 มม. ตามแบบกำหนด

ค) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (Front Plate)

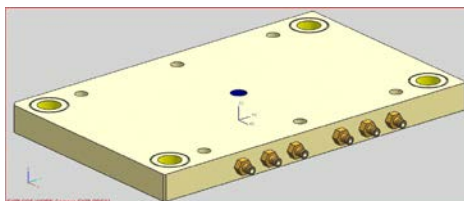


ภาพที่ 3.40 แสดงภาพ Front Plate

- นำเหล็กขนาด 300.2x400.2x25 มม. ขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด 300x400x25

- คว้านรูและเจาะรูทำเกลียวใช้กับ M14 เพื่อใช้ประกอบแผ่น Cavity Plate
- คว้านรูและเจาะรูทำเกลียว M6 ประกอบ Locating Ring
- คว้านรูและรีมเมอร์รูขนาด 16 มม. เพื่อใส่ Spure Bush

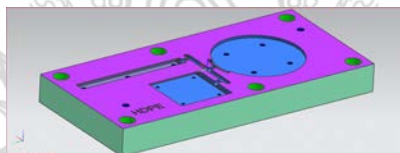
ง) แผ่นแม่ด้านเคลื่อนที่ Cavity Plate



ภาพที่ 3.41 แสดงภาพ Cavity Plate

- นำเหล็กขนาด 250.2x400.2x30.2 มาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด 250x400x30
- เจาะรูเพื่อทำเกลียว M14 ขีดระหว่าง แผ่น Front และ Cavity Plate เข้าด้วยกัน
- เจาะรูใส่สลักนำ
- เจาะรูใส่ Spure Bush และ Reamer
- เจาะรูระบบหล่อเย็น

จ) Insert Cavity HDPE



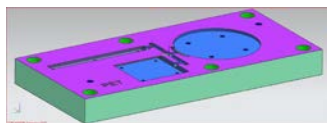
ภาพที่ 3.42 แสดงภาพ Insert Cavity HDPE



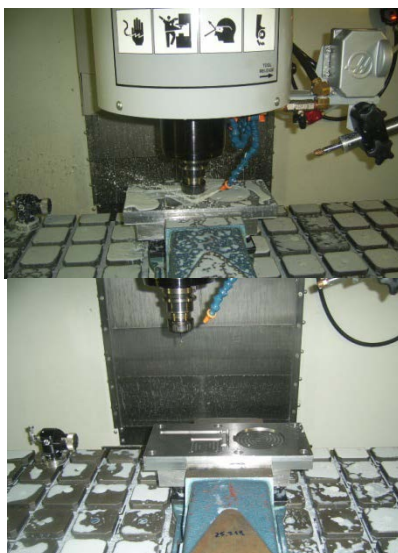
ภาพที่ 3.43 แสดงภาพการขึ้นรูป Cavity Plate HDPE

นำเหล็กขนาด ขนาด 320.2x150.2x30.2 มาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด 320x150x30 พร้อมกับการขึ้นรูป Cavity HDPE

ฉ) Insert Cavity PET



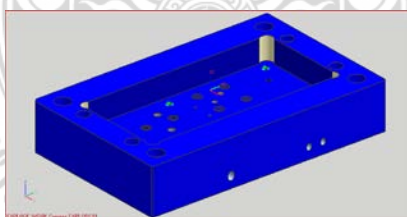
ภาพที่ 3.44 แสดงภาพInsert Cavity PET



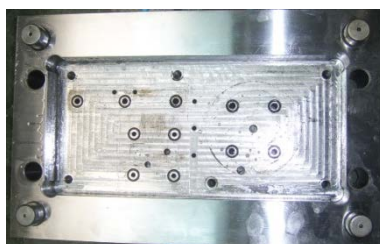
ภาพที่ 3.45 แสดงภาพการขึ้นรูปInsert Cavity PET

นำเหล็กขนาด ขนาด320.2x150.2x30.2มาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด320x150x30 พร้อมกับขึ้นรูปCavity PET

ซ) แผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)



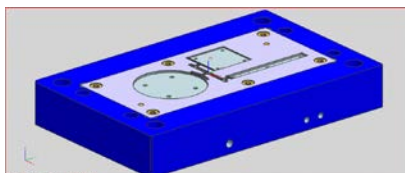
ภาพที่ 3.46 แสดงภาพแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)จากแบบ



ภาพที่ 3.47 แสดงภาพแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)ทำแล้ว

นำเหล็กขนาด ขนาด400.2x250.2x60.2มาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด400x250x60พร้อมกับขึ้นรูปเป้าให้ได้ขนาด320x150x30เพื่อใส่ Insert Cavity PETและInsert Cavity HDPE

ซ.ประกอบแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)เข้ากับแผ่นคาวีตี้(Insert Cavity)

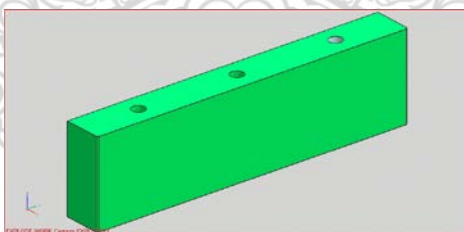


ภาพที่ 3.48 แสดงภาพประกอบแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate) จากแบบ



ภาพที่ 3.49 แสดงภาพ แผ่นคาวีตี้(Insert Cavity)

ญ) แท่งรอง (Spacer Block)



ภาพที่ 3.50 แสดงภาพ Spacer Block

- นำเหล็กขนาด 400.2x90.2x48มาทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด400x90x48
- เจาะรูเพื่อใช้ยึดระหว่าง Bottom Plate กับ ประกอบแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)

ญ) แผ่นยึดสลักปลด (Ejecter Plate)



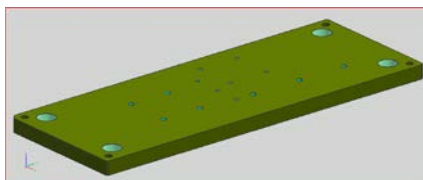
ภาพที่ 3.51 แสดงภาพ Ejecter Plate

- นำเหล็กขนาด 400.2x150.2x20มาทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling

ให้ได้ขนาด 400x150 x20

- เจาะรูเพื่อทำเกลียวM8ยึกระหว่าง Ejector Retainer plate กับ Ejector Plate

ฅ) แผ่นดันปลด (Ejector Return Plate)



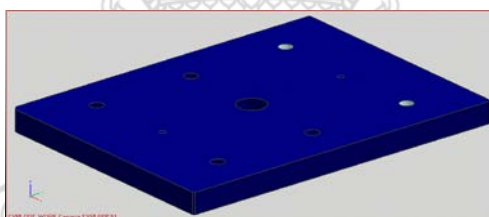
ภาพที่ 3.52 แสดงภาพ Ejector Retainer Plate

- นำเหล็กขนาด 400.2x150.2x15มาทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้

ขนาด 400x150x15

- เจาะรูร้อยผ่านเกลียวM8เพื่อยึกระหว่าง Ejector Retainer plate กับ Ejector Plate

จ) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านหลังเคลื่อนที่ (Back Plate)



ภาพที่ 3.53 แสดงภาพ Back Plate

- นำเหล็กขนาด 400.2 x 300.2x25มาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Milling ให้ได้ขนาด 400 x 300 x 25
- เจาะรูเพื่อใช้ยึดเกลียว เพื่อประกอบ Back Plate เข้ากับ Spacer Block และประกอบแผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)

3.6.4 การประกอบแม่พิมพ์

การประกอบแม่พิมพ์ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่ได้ขนาดตามที่กำหนดนำมาประกอบเข้าด้วยกัน นอกจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์ทั้ง 22 ชิ้นแล้วจะมีชิ้นส่วนมาตรฐานที่จะต้องนำมาประกอบเพิ่มเติมอีกถึงจะได้ชุดแม่พิมพ์ฉีดขึ้นทศอบที่สมบูรณ์

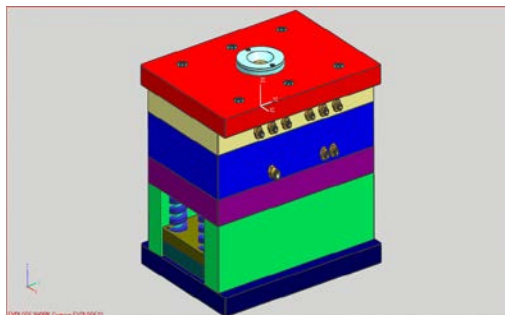
ในการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ แสดงภาพแม่พิมพ์ที่ทำการประกอบเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในการประกอบจะยึดด้วยสกรู M8 และ M14 เป็นตัวขันยึด

ขนาดของแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้วจะมีขนาดดังนี้

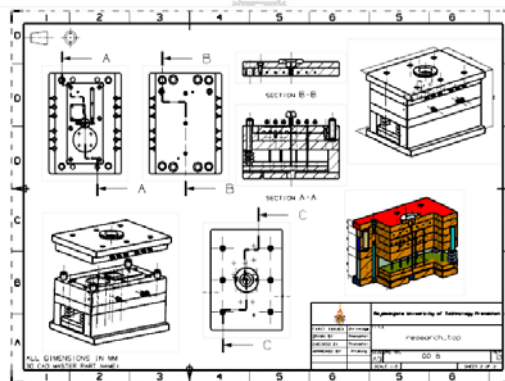
- 1.ความสูงของแม่พิมพ์ชุดอยู่กับที่ 55 มิลลิเมตร

2. ความสูงของแม่พิมพ์ชุดเคลื่อนที่ 175 มิลลิเมตร

3. ความสูงของแม่พิมพ์เมื่อประกอบแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่และแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่เข้าด้วยกัน
จะมีความสูง 230 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.54 แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์



ภาพที่ 3.55 แสดงภาพแบบประกอบแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ชั้นทดสอบ HDPE

1. เปรียบเทียบการหดตัวของชั้นทดสอบขนาด 60x60 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.024	13	.002	1.014	.455
Within Groups	.084	46	.002		
Total	.108	59			

ผลการทดสอบตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการฉีด

1.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชั้นทดสอบขนาด 60x60 มม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.015	1	.015	1.573	.215
	Within Groups	.544	58	.009		
	Total	.559	59			
VAR00002	Between Groups	.000	1	.000	.047	.829
	Within Groups	.534	58	.009		
	Total	.535	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดและขวางทิศทางการฉีดมีค่าการหดตัวไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

1.2 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 2 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR0000					
Between Groups	.003	15	.000	555280822 248774000 000000000 0.000	.000
Within Groups	.000	44	.000		
Total	.003	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวแตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้า กับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าอย่างมีนัยสำคัญ.05

1.3 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 2 มม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.000	5	.000	2.558	.038
	Within Groups	.002	54	.000		
	Total	.003	59			
VAR00002	Between Groups	.001	5	.000	2.781	.026
	Within Groups	.003	54	.000		
	Total	.003	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวแตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้า กับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและแตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิตอย่างมีนัยสำคัญ.05

2. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 12.7x127 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.065	28	.002	1.209	.304
Within Groups	.057	30	.002		
Total	.122	58			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการฉีด

2.1เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 12.7 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	8	.000	.562	.804
Within Groups	.001	51	.000		
Total	.001	59			

ผลการทดลอง ไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.2 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 127 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.014	2	.007	.714	.494
Within Groups	.545	56	.010		
Total	.559	58			

ผลการทดลอง ไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.3เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 3.2 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	12	.000	1.077	.400
Within Groups	.001	47	.000		
Total	.001	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้า

2.4 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 3.2 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	1.515	.223
Within Groups	.003	58	.000		
Total	.003	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและไม่แตกต่างกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3.เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด 100 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.129	23	.006	.955	.537
Within Groups	.212	36	.006		
Total	.341	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวงทิศทางการฉีด

3.1เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด 100 มม.

เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.007	1	.007	1.148	.288
	Within Groups	.334	58	.006		
	Total	.341	59			
VAR00002	Between Groups	.000	1	.000	.016	.899
	Within Groups	.379	58	.007		
	Total	.379	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวงทิศทางการฉีดและไม่แตกต่างจากค่ามาตรฐานที่กำหนดจากผู้ผลิต

3.2เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบความหนา 3.2 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	1.147	.325
Within Groups	.008	57	.000		
Total	.009	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้า

3.1เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบกับความหนา 3.2 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.077	14	.006	.942	.524
	Within Groups	.263	45	.006		
	Total	.341	59			
VAR00002	Between Groups	.088	14	.006	.974	.494
	Within Groups	.291	45	.006		
	Total	.379	59			

ผลการทดลอง การฉีดร่องความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าและไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

การหัดตัวของชิ้นทดสอบPET

1. เปรียบเทียบการหัดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001					
Between Groups	.016	14	.001	2.661	.007
Within Groups	.019	44	.000		
Total	.035	58			

ผลการทดสอบตามทิศทางการฉีดมีการหัดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการฉีดอย่างมีนัยสำคัญ .05

1.1 เปรียบเทียบการหัดตัวของชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.004	4	.001	1.968	.112
	Within Groups	.031	55	.001		
	Total	.036	59			
VAR00002	Between Groups	.002	4	.000	.328	.858
	Within Groups	.069	55	.001		
	Total	.070	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดและขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

1.2 เปรียบเทียบการหัดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 2 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	8	.000	3.967	.001
Within Groups	.002	51	.000		
Total	.003	59			

ผลการทดลอง การฉีดเรื่องความหนาของชิ้นงานมีการหัดตัวแตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้า กับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้าอย่างมีนัยสำคัญ.05

1.3เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 2 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	1.865	.177
Within Groups	.003	58	.000		
Total	.003	59			

ผลการทดลอง การหดตามทิศทางการฉีดและขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด ความหนา 12.7x127 มม.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.310	19	.016	19.988	.000
Within Groups	.033	40	.001		
Total	.343	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการฉีด

2.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาดความยาว12.7 มม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

VAR0	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	11	.000	.723	.711
Within Groups	.001	48	.000		
Total	.001	59			

ผลการทดลอง การฉีดขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.2 เปรียบเทียบการหัดตัวของชั้นทดสอบขนาดความยาว 127 มม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.569	2	.285	1.612	.208
Within Groups	10.061	57	.177		
Total	10.630	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทาง การฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

2.3 เปรียบเทียบการหัดตัวของชั้นทดสอบขนาด ความหนา 3.2 มม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.245	11	.113	.579	.836
Within Groups	9.385	48	.196		
Total	10.630	59			

ผลการทดลอง การฉีดเรื่องความหนาของชั้นงานมีการหัดตัวไม่แตกต่างกันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้ทางเข้ากับจุดที่อยู่ห่างจากทางเข้า

2.4 เปรียบเทียบการหัดตัวของชั้นทดสอบขนาด ความหนา 3.2 มม กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	1.246	.269
Within Groups	.020	58	.000		
Total	.021	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทาง การฉีดและขวางทิศทาง การฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3. เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด100 มม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.005	7	.001	2.521	.026
Within Groups	.015	52	.000		
Total	.021	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวแตกต่างจากขวางทิศทางการฉีดอย่างนัยสำคัญทางสถิติ0.05

3.1 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบขนาด งานกลมขนาด100 มมกับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.000	1	.000	.042	.838
	Within Groups	.021	58	.000		
	Total	.021	59			
VAR00002	Between Groups	.000	1	.000	.143	.706
	Within Groups	.024	58	.000		
	Total	.024	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดและขวางทิศทางการฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

3.2 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบกับความหนา3.2 มม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	10	.001	.952	.496
Within Groups	.030	49	.001		
Total	.036	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทางการฉีดมีการหดตัวไม่แตกต่างจากขวางทิศทางการฉีด

3.3 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบกับความหนา 3.2 มม กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	.000	1	.000	.364	.549
	Within Groups	.036	58	.001		
	Total	.036	59			
VAR00002	Between Groups	.000	1	.000	.857	.358
	Within Groups	.007	58	.000		
	Total	.007	59			

ผลการทดลอง การฉีดตามทิศทาง การฉีดและขวางทิศทาง การฉีดไม่แตกต่างจากค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



บรรณานุกรม

ผศ.ชาลี ตระการกุล. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1 และการออกแบบแม่พิมพ์ 2.

พิมพ์ครั้งที่4,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2536.

ผศ.ชาลี ตระการกุล. เอกสารประกอบการเรียนวิชา ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก2.

ประจำ ภาคเรียนที่2,ปีการศึกษา 2544.

รศ.บรรเลง ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่9,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

(ไทย-ญี่ปุ่น),9 สิงหาคม 2537.

รศ.บรรเลง ศรีนิล,รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ตารางโลหะ. ตำ นักพิมพ์สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2549.

วิโรจน์ เตชะวิญญธรรม. งานฉีดพลาสติก. กรุงเทพมหานคร , ซีเอ็ดยุคชื่น , 2540

เอกสารคู่มือการใช้โปรแกรม.CAD MOLD

มาตรฐานขึ้นทดสอบของสหรัฐอเมริกา ASTM D3123-94

นสพ.โพสต์ทูเดย์ประจำวันี่ 25 มกราคม 2551

สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย

สถาบันไทย-เยอรมัน(TGI)

ล้วน สายยศ. และ อังคณา สายยศ. 2538 เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพ ฯ : สุวีริยาสาส์น.

ขนาดของชิ้นงานที่วัดได้



ภาคผนวก

หลังจากทำการสร้างแม่พิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้วขั้นต่อไปที่จะทำการตรวจสอบแม่พิมพ์ก่อนทำการฉีดจริง แล้วนำค่าต่างๆ ที่ได้จากผลการทดลองของโปรแกรมCad Mold มาเป็นตัวกำหนดในการทดลองฉีดต่อไป สามารถกำหนดเป็นข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1.ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องฉีด
2. การเตรียมการทดลองฉีด
3. ขั้นตอนการฉีด
4. ผลการทดลองฉีด
5. สรุปผลการทดลองฉีด



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องฉีดพลาสติก Jetmaster C Serie JM168-C/ES

1. ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องฉีด

ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการจัดตั้งที่ Zone ต่าง ๆ

Zone 1 (Nozzle) อุณหภูมิที่หัวฉีด

Zone 2 (Cylinder) อุณหภูมิที่กระบอกฉีดช่วงที่ 2

Zone 3 (Cylinder) อุณหภูมิที่กระบอกฉีดช่วงที่ 3

Zone 4 (Cylinder) อุณหภูมิที่กระบอกฉีดช่วงที่ 4

- เวลาในการฉีด (Injection pressure time)
- แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)
- ระยะชักเปิด (Opening stroke)

- อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold temperature)
- ความเร็วฉีด (Injection pressure time)
- ความดันฉีดแช่ (Holding pressure)
- ความเร็วดันปลด (Ejector speed)
- ปริมาตรการฉีด
- เวลาในการใช้ความดันฉีดแช่ (Holding pressure time)
- อุณหภูมิหล่อเย็น (Cooling temperature)
- เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time)
- เวลาในการเปิดแม่พิมพ์ (Mold open time)
- ความดันกลับ (Back pressure)
- ความเร็วปิดแม่พิมพ์ (Clamped closing speed)
- ความเร็วเปิดแม่พิมพ์ (Clamped open speed)
- ความเร็วรอบของสกรู (Screw speed)

2. การเตรียมการทดลองฉีดเครื่องฉีดที่ใช้ฉีดHDPE

การคำนวณหาระยะถอยหลังกลับสกรูของเครื่องฉีดที่ใช้ฉีดHDPE

ระยะถอยสกรูไม่รวมระยะกันกระแทกสามารถหาได้จาก

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 L = \text{ปริมาตรพลาสติกเหลว}$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูเครื่องฉีด (Diameter Screw) = 52mm.

$$\therefore \text{ปริมาตร (V) ของแข็ง } V = \frac{m}{p}$$

$$m = \text{น้ำหนักของชิ้นงาน } 38.75g$$

$$p = \text{ความหนาแน่นของพลาสติกของ HDPE} = 0.95 \text{ g/cm}^3$$

$$= \frac{38.75g}{0.95g/cm^3}$$

$$= 40.78 \text{ cm}^3$$

L = ระยะถอยสกรูไม่รวมระยะกันกระแทก

$$L = \frac{40.78cm^3 \times 4}{\pi \times (5.2cm)^2}$$

$$L = 1.92cm$$

$$L = 19.2mm$$

ระยะพลาสติกเหลวปลายกระบอกลัด = L+ระยะกันกระแทก

$$= 19.2 + 6 \text{ mm}$$

$$= 25.2 \text{ mm}$$

การคำนวณหาระยะถอยหลังกลับสกรูของเครื่องฉีดที่ใช้ฉีดPET

ระยะถอยสกรูไม่รวมระยะกันกระแทกสามารถหาได้จาก

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 L = \text{ปริมาตรพลาสติกเหลว}$$

เมื่อ $D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูเครื่องฉีด (Diameter Screw) = 52mm.

$$\therefore \text{ปริมาตร (V) ของแข็ง } V = \frac{m}{p}$$

$$m = \text{น้ำหนักของชิ้นงาน } 67.31\text{g}$$

$$p = \text{ความหนาแน่นของพลาสติกของPET} = 1.405 \text{ g/cm}^3$$

$$= \frac{67.31\text{g}}{1.405\text{g/cm}^3}$$

$$= 47.90 \text{ cm}^3$$

$$L = \text{ระยะถอยสกรูไม่รวมระยะกันกระแทก}$$

$$L = \frac{47.90\text{cm}^3 \times 4}{\pi \times (5.2\text{cm}^2)^2}$$

$$L = 2.255\text{cm}$$

$$L = 22.55\text{mm}$$

ระยะพลาสติกเหลวปลายกระบอกลัด = L+ระยะกันกระแทก

$$= 22.55 + 6 \text{ mm}$$

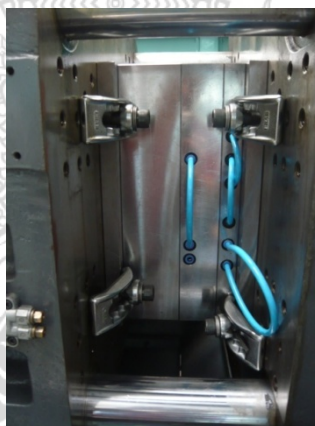
$$= 28.55 \text{ mm}$$

เมื่อสร้างแม่พิมพ์ฉีด ขึ้นทดสอบ เรียบร้อยแล้ว และได้ข้อมูลค่าต่างๆจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cad mould แล้วจะนำแม่พิมพ์มาทำการทดลองฉีดที่เครื่องดังนี้

การเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ขึ้นเครื่องฉีดโดยใช้เครนยกจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะการเคลื่อนย้ายอาจทำให้แม่พิมพ์เกิดความเสียหายได้จากการกระแทก

3. ขั้นตอนการฉีด

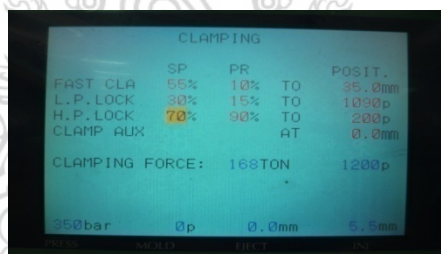
- 4.6.1 เปิดเครื่องฉีดแล้วเปิดน้ำแปลนฉีดแม่พิมพ์ออกจนสุด
- 4.6.2 ยกแม่พิมพ์ขึ้นยึดกับแม่พิมพ์โดยนำแหวนบังคับศูนย์ใส่เข้ากับรูหน้าแปลนเครื่องฉีด
- 4.6.3 เลื่อนปิดแม่พิมพ์ โดยกำหนดแรงในระยะเวลาต่างๆก่อน
- 4.6.4 ยึดแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน
- 4.6.5 ปลดแตรนออก
- 4.6.6 ทดลองปิด – เปิดแม่พิมพ์
- 4.6.7 ใส่ค่าตัวแปรที่กำหนดไว้
- 4.6.8 ใส่พลาสติกในสกรู
- 4.6.9 ทดลองฉีดชิ้นงาน
- 4.6.10 ปรับค่าต่างๆจนได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์



ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก



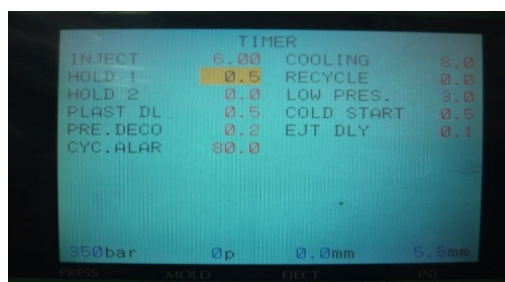
ภาพที่ 3 แสดงหน้าจอการปรับนืด



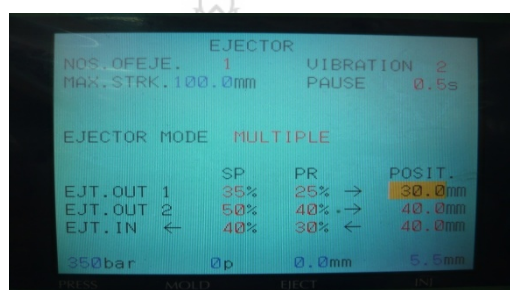
ภาพที่ 4 แสดงการปรับตั้งClamping



ภาพที่ 5 แสดงการปรับอุณหภูมิฉีด



ภาพที่ 6 แสดงการปรับเวลานีด6sหล่อเย็น8sนืดช้า0.5s



ภาพที่ 7 แสดงการปรับระยะการปลดชิ้นงานโดยปลดสองระยะ
ระยะแรก30ม.ระยะที่สอง40ม.ม



ภาพที่ 8 แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกHDPE

ตารางที่ 1 แสดงผลการฉีดHDPEเงื่อนไขที่ 1

ค่าพารามิเตอร์	ข้อมูลจาก เครื่องฉีด
อุณหภูมิฉีด (°C)	220
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	25
เวลาในการฉีด (s)	0.5
เวลาการนืดช้า (s)	0.5

เวลาในการหล่อเย็น	(s)	8
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	(°C)	25
แรงดันฉีด	(psi)	1,200
แรงดันฉีดย้ำ	(psi)	1,100
ระยะถอยหลังกลับของสกรู (mm)		25
ผลการฉีด		ชิ้นงาน ไม่เต็ม



ภาพที่ 9 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการฉีด HDPE ครั้งแรก

สาเหตุ

1. แรงดันฉีดไม่พอ
2. แรงดันฉีดย้ำไม่พอ
3. อุณหภูมิพลาสติกไม่เพียงพอ
4. ช่วงระยะชักสกรูน้อยเกินไป

วิธีแก้ปัญหา

1. เพิ่มแรงดันฉีดมากขึ้น
2. เพิ่มแรงดันฉีดย้ำมากขึ้น
3. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม
4. เพิ่มระยะชักสกรูมากขึ้น

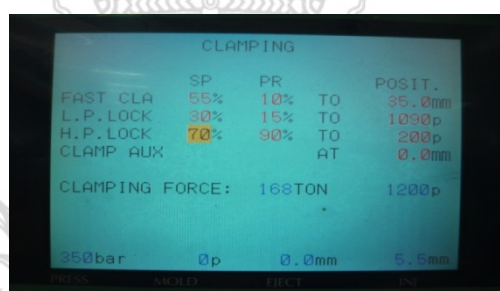
ตารางที่ 2 แสดงผลการฉีด HDPE เงื่อนไขที่ 2

ค่าพารามิเตอร์	ข้อมูลจาก เครื่องฉีด
อุณหภูมิฉีด	(°C) 225
อุณหภูมิแม่พิมพ์	(°C) 25
เวลาในการฉีด	(s) 0.6
เวลาการฉีดย้ำ	(s) 0.5
เวลาในการหล่อเย็น	(s) 8
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	(°C) 50

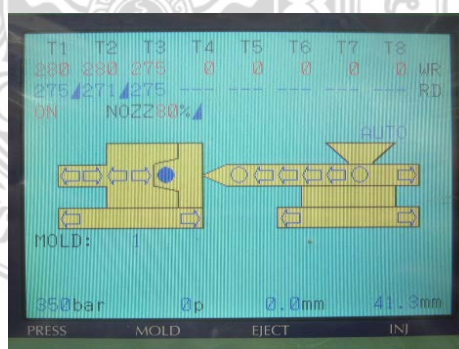
แรงดันฉีด	(psi)	1,200
แรงดันฉีดย้อน	(psi)	1,200
ระยะถอยหลังกลับของสกรู (C1)	(mm)	30
ผลการฉีด		ชิ้นงานเต็ม



ภาพที่ 10 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการฉีด HDPE



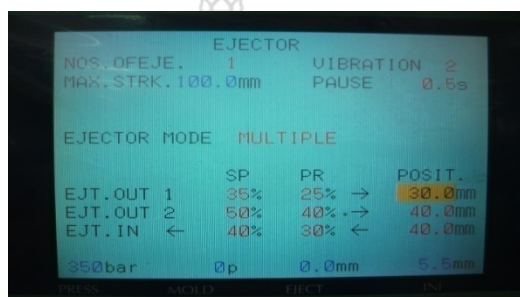
ภาพที่ 11 แสดงการปรับตั้ง Clampingฉีด PET



ภาพที่ 12 แสดงการปรับอุณหภูมิฉีด PET



ภาพที่ 13 แสดงการปรับเวลานีด6sหล่อเย็น23sฉีดเข้า0.5s



ภาพที่ 14 แสดงการปรับระยะการปลดชิ้นงานโดยปลดสองระยะ
ระยะแรก30ม.ระยะที่สอง40ม.ม



ภาพที่ 15 แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกPET



ภาพที่ 16 ภาพอุปกรณ์อบเม็ดPET ที่ 150 C นาน4ชม.



ภาพที่ 17 แสดงเกจวัดแรงปิดแบบ



ภาพที่ 18 แสดงเกจวัดแรงดันฉีด

4.ผลการทดลองฉีด PET

ตารางที่ 3 แสดงผลการฉีด PET เงื่อนไขที่ 1

ค่าพารามิเตอร์	ข้อมูลจาก เครื่องฉีด
อุณหภูมิฉีด (°C)	280
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	50
เวลาในการฉีด (s)	0.6
เวลาการฉีดซ้ำ (s)	0.5
เวลาในการหล่อเย็น (s)	20
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (°C)	50
แรงดันฉีด (psi)	1,200
แรงดันฉีดซ้ำ (psi)	1,200
ระยะถอยหลังกลับของสกรู (mm)	30
ผลการฉีด	ชิ้นงานไม่เต็ม



ภาพที่ 19 แสดงผลการฉีด PET เงื่อนไขที่ 1

สาเหตุ

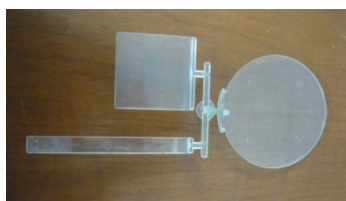
1. แรงดันฉีดไม่พอ
2. แรงดันฉีดช้าไม่พอ
3. อุณหภูมิพลาสติกไม่เพียงพอ
4. ช่วงระยะชักสกรูน้อยเกินไป

วิธีแก้ปัญหา

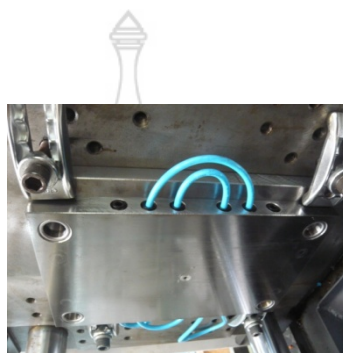
1. เพิ่มแรงดันฉีดมากขึ้น
2. เพิ่มแรงดันฉีดช้ามากขึ้น
3. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม
4. เพิ่มระยะชักสกรูมากขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงผลการฉีด PET เงื่อนไขที่ 2

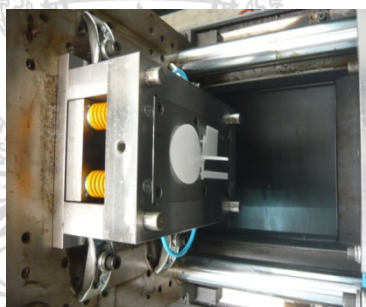
ค่าพารามิเตอร์	ข้อมูลจาก เครื่องฉีด
อุณหภูมิฉีด (°C)	280-285
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	50
เวลาในการฉีด (s)	0.6
เวลาการฉีดช้า (s)	0.6
เวลาในการหล่อเย็น (s)	23
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (°C)	50
แรงดันฉีด (psi)	1,200
แรงดันฉีดช้า (psi)	1,200
ระยะถอยหลังกลับของสกรู (mm)	33
ผลการฉีด	ชิ้นงานเต็ม



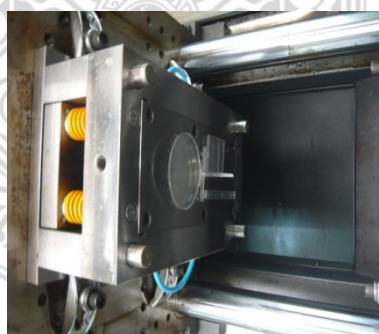
ภาพที่ 20 แสดงผลการเชื่อมชิ้นที่ 2



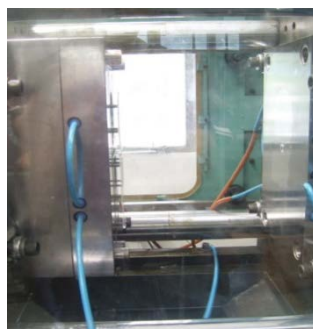
ภาพที่ 21 แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Fix plate บนเครื่องฉีดพลาสติกHDPEและPET



ภาพที่ 22 แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Moving plate บนเครื่องฉีดพลาสติกHDPE



ภาพที่ 23 แสดงภาพแม่พิมพ์ด้าน Moving plate บนเครื่องฉีดพลาสติกPET



ภาพที่ 24 แสดงภาพแม่พิมพ์ขณะเปิดและปลดHDPE



ภาพที่ 25 แสดงภาพแม่พิมพ์ขณะเปิดและปลดPET



ภาพที่ 26 แสดงภาพการวัดขนาดความโตของชิ้นงาน



ภาพที่ 27 แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างของชิ้นงาน



ภาพที่ 28 แสดงภาพการวัดขนาดความหนาของชิ้นงาน



ภาพที่ 29 แสดงภาพการวัดขนาดความลึกของชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 30 แสดงภาพการวัดขนาดความลึก 2.0 มม. วัดได้ 2.05 มม.



ภาพที่ 31 แสดงภาพการวัดขนาดความลึก 3.2 มม. วัดได้ 3.256 มม.



ภาพที่ 32 แสดงภาพการวัดขนาดความลึก 3.2 มม. วัดได้ 3.257 มม.



ภาพที่ 33 แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างขนาด 12.7x127 มม.



ภาพที่ 34 แสดงภาพการวัดขนาดความโต 100x100 มม.



ภาพที่ 35 แสดงภาพการวัดขนาดความกว้างขนาด 60x60 มม.