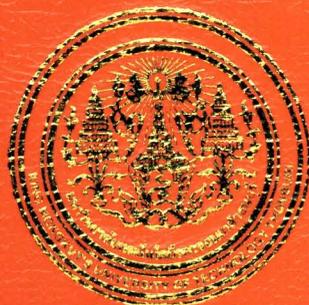


ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246179



ผลงานวิจัยที่สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

นางสาวสุวิภา อรรถนันทน์

โครงการวิจัยที่สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศิลปกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

พ.ศ. 2558

๒๐๐๒๕ 1888



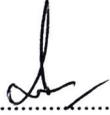
246179

การใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาขนาดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

นายณัฐวุฒิ ชนนันท์กุล วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)

โครงการวิจัยเฉพาะเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
พ.ศ. 2553

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง

  
.....  
(ดร.ศิรินทร ทองแสง)

ประธานกรรมการสอบโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง

  
.....  
(ผศ.ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนนต์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

  
.....  
(อ.วิเชียร ศรีสวัสดิ์)

กรรมการ



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อโครงการวิจัยเฉพาะเรื่อง	การใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาขนาดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายณัฐวุฒิ ธนนันทกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนันต์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

#### บทคัดย่อ

**246179**

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอในการฉีดขึ้นรูปโดยไม่เกิดการเสียรูป โดยนำทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์และทฤษฎีการเสียรูปของแม่พิมพ์ มาประยุกต์ใช้เพื่อหาขนาดแม่พิมพ์มาตรฐาน ขนาด runner และ ขนาด gate โดยออกแบบให้โปรแกรมมีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับช่างแม่พิมพ์พลาสติกทั่วไป โปรแกรมนี้สามารถใช้ในออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อป้องกันการโก่งตัวมากเกินไปเนื่องจากแรงดันฉีด ผลการทดสอบโปรแกรมใน 9 กรณีศึกษา เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดมีค่าแตกต่างกัน  $-0.0108$  มิลลิเมตร โปรแกรมสามารถหาขนาดแม่พิมพ์มาตรฐานที่เหมาะสมได้ตามต้องการ

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก / การเสียรูปของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก / การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก / การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม

:

Special Research Study Title	Development of a Computer Program for Injection Mold Design
Special Research Study Credits	6
Candidate	Mr. Nattawut Thanonnantakul
Special Research Study Advisor	Asst.Prof.Dr. Surasit Rojananan
Program	Master of Engineering
Field of Study	Polymer Processing Engineering
Department	Tool and Materials Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

#### Abstract

**246179**

The goal of this research project is to develop a computer program for calculating the required size of an injection mold to prevent mold deformation during the injection process. The program incorporates the mathematics of injection mold design theory and deformed mold theory. The theories have been employed such that the specifications of runner and gate size are appropriate for use with general plastic injection molding. The program was used to design an injection mold for plastic that can prevent excess curvature in the case of excess injection pressure. Verification of the program was conducted against finite element (FE) models. In the nine case studied it was found that the dimensional deviation between the program and the FE model was 0.01 mm. It is concluded that the computer program can accurately specify the mold size as required.

Keywords : Injection Mold / Deformation / Mold Design / CAE

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบคุณ ท่านอาจารย์วิเชียร ศรีสวัสดิ์ และ ดร.ศิรินทร ทองแสง ที่ให้การอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบโครงการวิจัย รวมทั้งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าว ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ญ
รายการสัญลักษณ์	ต
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ณ
<b>บทที่</b>	<b>1</b>
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	3
2.2 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ (mould parts)	3
2.2.1 แหวนบังคับศูนย์กลาง (locating ring)	3
2.2.2 ปลอกนำฉีด (sprue bushing)	4
2.2.3 สลักนำและปลอกนำ (leader pin and leader pin bushing)	5
2.2.4 tapered interlock	5
2.2.5 angle pin	6
2.2.6 เข็มกระทุ้ง (ejector pin) และ core pin	8
2.2.7 แผ่นฐานอยู่กับที่หรือแผ่นยึดบน (fixed base plate or front clamp plate)	9
2.2.8 แผ่นโพรงแบบอยู่กับที่หรือแผ่นแม่พิมพ์บน (fixed cavity plate or front cavity plate)	9
2.2.9 แผ่นฐานยึดล่างหรือแผ่นฐานยึดเคลื่อนที่ (support core plate)	10

2.2.10	หมอนรอง (spacer block)	10
2.2.11	เสาตั้ง (support pillar)	10
2.2.12	แผ่นกระทุ้ง และแผ่นใส่เข็มกระทุ้งพร้อมด้วย stop button (ejector plate and ejector retainer plate with stop button)	11
2.2.13	แผ่นยึดด้านล่าง (moving clamping plate (bottom))	12
2.2.14	แผ่นแม่พิมพ์ล่าง (core plate or moving cavity plate)	12
2.3	การวางตำแหน่งและชนิดของ gate	12
2.3.1	การวางตำแหน่ง gate	12
2.3.2	ชนิดของ gate	13
2.3.2.1	sprue gate	13
2.3.2.2	film gate	14
2.3.2.3	lateral film gate	14
2.3.2.4	disk gate หรือ diaphragm gate	14
2.3.2.5	ring gate	15
2.3.2.6	overlap gate	16
2.3.6	tunnel gate หรือ submarine gate	17
2.4	ขนาดของ gate	17
2.5	ระบบ runner	19
2.5.1	ระบบ runner มาตรฐาน (standard runner system)	19
2.5.2	ระบบ hot runner	19
2.5.3	ระบบ cold runner	19
2.5.4	ลักษณะเฉพาะของ runner	20
2.5.5	การออกแบบ runner	21
2.5.6	หน้าที่ของ runner	22
2.5.7	ขนาดของ runner	24
2.5.8	การแบ่งประเภทของระบบ runner	26
2.6	การเสียรูปของแม่พิมพ์ (mould deformation)	27
2.6.1	ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเสียรูป	28
2.6.2	วิธี superimposition	30
2.6.3	ชิ้นส่วนที่เทียบได้กับสปริงคู่	30

2.6.4 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเสียรูปด้านแผ่นฐานจากแรงดันฉีด	31
2.6.5 ความล้า (fatigue)	33
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
<b>3. ระเบียบวิธีวิจัย</b>	<b>37</b>
3.1 วิธีการวิจัย	37
3.2 ระบบการทำงานของโปรแกรมเพื่อคำนวณหาขนาดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	39
3.2.1 การคำนวณหาขนาดความกว้างและความยาวของแม่พิมพ์	39
3.2.2 การคำนวณหาความหนาของแผ่นปิดหลังแม่พิมพ์	46
3.2.3 วิธีการคำนวณหาค่า clamp force	47
3.2.4 คำนวณหาขนาด runner	48
3.2.5 คำนวณหาขนาด gate	53
<b>4. ผลการวิจัย</b>	<b>56</b>
4.1 ผลการทำงานของโปรแกรม	56
4.1.1 กรณีศึกษาที่ 1	56
4.1.2 กรณีศึกษาที่ 2	63
4.1.3 กรณีศึกษาที่ 3	69
4.1.4 กรณีศึกษาที่ 4	74
4.1.5 กรณีศึกษาที่ 5	80
4.1.6 กรณีศึกษาที่ 6	86
4.1.7 กรณีศึกษาที่ 7	94
4.1.8 กรณีศึกษาที่ 8	99
4.1.9 กรณีศึกษาที่ 9	105
4.2 ผลการเปรียบเทียบระยะการ โกงตัว	111
4.3 ผลการเปรียบเทียบความเค้นที่เกิดจากความล้า	112
4.4 ผลการเปรียบเทียบการ โกงตัวของ support plate	113
<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>115</b>
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>117</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>120</b>

ก. คำสั่งในการทำงานของโปรแกรม	120
ข. คุณสมบัติของเหล็กสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	191
ค. ความดันเฉลี่ยภายในโพรงแบบ	197
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>200</b>

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบระบบ runner	20
2.2 หน้าที่และความต้องการสำหรับระบบ runner	21
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อแบบและขนาดของ	22
2.4 รูปร่างหน้าตัดของ runner	22
2.5 การแบ่งประเภทของ runner และ gate ที่ใช้ด้วยกันได้	27
3.1 ความยาวของแม่พิมพ์ ( $L_x$ ) และความกว้างของแม่พิมพ์ ( $L_y$ )	45
3.2 ค่าปรับเนื่องจากผลของระยะทาง runner	53
4.1 ระยะ โกงตัวของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมและวงกลมคำนวณจากไฟไนต์เอลิเมนต์	91
4.2 ผลการเปรียบเทียบระยะการ โกง	111
4.3 ระยะการ โกงด้านล่างโดยไฟไนต์เอลิเมนต์	114

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แหวนบังคับศูนย์กลาง (locating ring)	4
2.2 ปลอกนำฉีด (sprue bushing)	4
2.3 สลักนำ (leader pin)	5
2.4 ปลอกนำ (leader pin bush)	5
2.5 tapered interlock	6
2.6 angle pin	6
2.7 การใช้ angle pin ในแม่พิมพ์	7
2.8 โครงสร้างแม่พิมพ์มี slide core	7
2.9 เข็มกระทุ้งแบบตรง (straight ejector pin)	8
2.10 เข็มกระทุ้งแบบขั้น (stepped ejector pin)	9
2.11 ปลอกกระทุ้ง (ejector sleeve)	9
2.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์	10
2.13 ส่วนประกอบของแผ่นกระทุ้ง (ejector plate) พร้อมด้วยเสาค้ำ (support pillar) และแผ่นฐานเคลื่อนที่ (moving base plate)	11
2.14 เสาค้ำ (support pillar) ชนิดต่างๆ (สำหรับการยึดติดกับแผ่นเคลื่อนที่ด้วยวิธีต่าง ๆ)	11
2.15 การวางตำแหน่งของ stop button ในแผ่นรอง (ejector back plate)	12
2.16 gate เข้าตรงกลาง	13
2.17 gate เข้าด้านข้าง	13
2.18 การไหลเป็นรูปตัวหนอนหรือพุ่งเป็นลำ	13
2.19 sprue gate	13
2.20 disk gate หรือ diaphragm gate	15
2.21 ผลของการกระจายพลาสติกเหลวที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน	15
2.22 disk gate รูปกรวยที่มีช่องสำหรับยึดคอร์	15
2.23 disk gate แบบต่างๆ	15
2.24 ring gate สำหรับงานรูปปลอกและมีส่วน interlock สำหรับยึดคอร์	16
2.25 ring gate ที่มีวงแหวนหน้า	16
2.26 ring gate ที่มีวงแหวนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส	16
2.27 ring gate แบบวงแหวนอยู่นอกและอยู่ใน	16
2.28 overlap gate	16

2.29 tunnel gate ที่มีรูเข้าเป็น taper tunnel	17
2.30 tunnel gate ที่ตัดส่วน tunnel เป็นรูเข้า	17
2.31 แบบของ gate ที่ถูกต้อง	18
2.32 ปลายของ runner เข้าสู่โพรงแบบด้วยแบบที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง	18
2.33 weld line ที่มองเห็นได้หลัง core	18
2.34 pin gate เข้าหลายจุด (X = ความยาวการไหลของพลาสติกเหลว)	18
2.35 runner หลักรูปวงแหวนแยกเป็น runner สาขา	24
2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาด runner และ น้ำหนักชิ้นงาน	25
2.37 แผนภาพสำหรับการหาขนาดของ runner	25
2.38 แผนภาพของแรงแบบยึดหยุ่นของชุดประกบแม่พิมพ์และแม่พิมพ์	28
2.39 ลักษณะการเสีรูปของแม่พิมพ์และชุดประกบในทิศทางการประกบแม่พิมพ์	29
2.40 การแยกส่วนของแม่พิมพ์	30
2.41 วิธี superimposition	31
2.42 รูปแบบของ beam โดยที่ ก, ค และ จ รับแรงกระทำเป็นจุด และ ข ง และ ฉ รับแรงกระทำกระจายเต็มหน้าตัด	32
2.43 beam รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	33
2.44 พื้นที่ปิดแม่พิมพ์ (shut-off area)	34
3.1 โครงสร้างการดำเนินโครงการงาน	37
3.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	40
3.3 flow chart การคำนวณหาความกว้างและความยาวของแม่พิมพ์	41
3.4 แผ่น core 1 โพรงแบบ	42
3.5 แผ่น cavity 1 โพรงแบบ	42
3.6 แผ่น core 4 โพรงแบบ	42
3.7 แผ่น cavity 4 โพรงแบบ	42
3.8 การวางตำแหน่งและจำนวนโพรงแบบที่ใช้ในโปรแกรม	44
3.9 แม่พิมพ์ด้าน move size	46
3.10 flow chart การคำนวณหาค่า clamp force	47
3.11 ขนาดของ runner สำหรับพลาสติกชนิด PS, ABS	48
3.12 ขนาดของ runner สำหรับพลาสติกชนิด PE, PP, PA, PC, POM	49
3.13 flow chart การหาขนาด runner	50
3.14 flow chart การหาขนาด gate	53
4.1 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 1	56

4.2 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 1)	57
4.3 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 1)	57
4.4 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 1)	58
4.5 หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 1)	58
4.6 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 1)	59
4.7 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 1)	60
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอลิเมนต์ และระยะ โกงตัว	61
4.9 การอ้างอิง COORDINATE สำหรับรูปจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	61
4.10 ระยะเวลา โกงตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 1)	62
4.11 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 1)	62
4.12 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 2	63
4.13 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 2)	64
4.14 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 2)	64
4.15 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 2)	65
4.16 หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 2)	65
4.17 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 2)	66
4.18 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 2)	67
4.19 ระยะเวลา โกงตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 2)	68
4.20 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 2)	68
4.21 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 3	69
4.22 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 3)	69
4.23 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 3)	70
4.24 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 3)	70
4.25 หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 3)	71
4.26 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 3)	71
4.27 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 3)	72
4.28 ระยะเวลา โกงตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 3)	73
4.29 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 3)	74
4.30 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 4	74
4.31 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 4)	75
4.32 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 4)	75
4.33 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 4)	76

4.34	หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 4)	76
4.35	หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 4)	77
4.36	ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 4)	78
4.37	ระยะการโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 4)	79
4.38	ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 4)	80
4.39	แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 5	80
4.40	หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 5)	81
4.41	หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 5)	81
4.42	หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 5)	82
4.43	หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 5)	82
4.44	หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 5)	83
4.45	ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 5)	83
4.46	ระยะการโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 5)	85
4.47	ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 5)	85
4.48	แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 6	86
4.49	หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 6)	86
4.50	หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 6)	87
4.51	หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 6)	87
4.52	หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 6)	88
4.53	หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 6)	88
4.54	ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 6)	89
4.55	ระยะการโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 6)	90
4.56	ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 6)	91
4.57	การคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 6 คุณค่าปรับแก้วงกลม)	92
4.58	ระยะการโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 6 คุณค่าปรับแก้วงกลม)	93
4.59	ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 6 คุณค่าปรับแก้วงกลม)	93
4.60	แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 7	94
4.61	หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 7)	94
4.62	หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 7)	95
4.63	หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 7)	95
4.64	หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 7)	96
4.65	หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 7)	96

4.66 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 7)	97
4.67 ระยะเวลาโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 7)	98
4.68 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 7)	99
4.69 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 8	99
4.70 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 8)	100
4.71 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 8)	100
4.72 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 8)	101
4.73 หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 8)	101
4.74 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 8)	102
4.75 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 8)	103
4.76 ระยะเวลาโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 8)	104
4.77 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 8)	104
4.78 แบบชิ้นงานกรณีศึกษาที่ 9	105
4.79 หน้าต่างการเลือกลักษณะ undercut ด้านนอก (กรณีศึกษาที่ 9)	105
4.80 หน้าต่างการเลือกชนิดแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 9)	106
4.81 หน้าต่างการเลือกลักษณะการปลดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 9)	106
4.82 หน้าต่างการป้อนข้อมูลขนาดชิ้นงาน (กรณีศึกษาที่ 9)	107
4.83 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติอื่นๆ (กรณีศึกษาที่ 9)	108
4.84 ผลจากการคำนวณ (กรณีศึกษาที่ 9)	108
4.85 ระยะเวลาโค้งตัวของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 9)	110
4.86 ความเค้นของแม่พิมพ์ (กรณีศึกษาที่ 9)	110
4.87 ระยะเวลาโค้งตัวของโครงแบบวงกลม 1 โครงแบบ ที่ขนาดต่างๆ	112
4.88 ความเค้นที่เกิดจากความล้า	112
4.89 S-N CURVES สำหรับเหล็ก AISI1045	113
4.90 ระยะเวลาโค้งตัวของ support plate	113

### รายการสัญลักษณ์

X	=	ความกว้างของชิ้นงาน
Y	=	ความยาวของชิ้นงาน
H	=	ความสูงของชิ้นงาน
f	=	ระยะการโค้งตัว
P	=	ความดันเฉลี่ยของพลาสติกในโพรงแบบ
E	=	ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นเหล็ก
H cav	=	ความลึกของโพรงแบบด้าน cavity plate
H core	=	ความลึกของโพรงแบบด้าน core plate
Sxf	=	ระยะความหนาของแม่พิมพ์ด้านยาว ด้าน cavity plate
Syf	=	ระยะความหนาของแม่พิมพ์ด้านกว้าง ด้าน cavity plate
Sxm	=	ระยะความหนาของแม่พิมพ์ด้านยาว ด้าน core plate
Sym	=	ระยะความหนาของแม่พิมพ์ด้านกว้าง ด้าน core plate
Lx	=	ความกว้างของแม่พิมพ์
Ly	=	ความยาวของแม่พิมพ์
X1	=	ระยะห่างระหว่างโพรงแบบ 1 ในแนวแกน X
X2	=	ระยะห่างระหว่างโพรงแบบ 2 ในแนวแกน X
Y1	=	ระยะห่างระหว่างโพรงแบบ 1 ในแนวแกน Y
Y2	=	ระยะห่างระหว่างโพรงแบบ 2 ในแนวแกน Y
C'	=	ความหนาของแผ่นฐาน (support plate) รวมกับ ความหนาของ core plate ที่ไม่มีโพรงแบบ
W	=	ความดันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
Ls	=	ระยะห่างของขอบหมอนรอง
G	=	น้ำหนักชิ้นงาน 1 โพรงแบบ
S	=	ความหนาของชิ้นงาน

## ประมวลศัพท์และคำย่อ

มม.	=	มิลลิเมตร
ซม.	=	เซนติเมตร
mm.	=	millimeter
cm.	=	centimeter
MPa	=	megapascal
Kg./cm. <sup>2</sup>	=	kilogram per square centimeter
PS	=	Polystyrene
ABS	=	Acrylonitrile-butadiene styrene terpolymer
SAN	=	Styrene-acrylonitrile copolymer
CAB	=	Cellulose acetate butyrate
PE	=	polyethylene
PP	=	Polypropylene
PA	=	polyamide
PC	=	Polycarbonate
POM	=	Polyoxymethylene