การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์รองแก้วน้ำ

DESIGN AND PRODUCTION OF INJECTION MOLDING FOR PRODUCTION COASTER

นายดำรงค์เกียรติ สุขพงษ์ รหัส 50370448

นายเอกรัตน์ สายคำ รหัส 50371513

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์รองแก้วน้ำ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายดำรงค์เกียรติ สุขพงษ์	รหัส 50370448
	นายเอกรัตน์ สายคำ	รหัส 50371513
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์	
	อาจารย์ประเทือง โมราราย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2556	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์รองแก้วน้ำ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายดำรงค์เกียรติ สุขพงษ์ รหัส 50370448
	นายเอกรัตน์ สายคำ รหัส 50371513
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์
	อาจารย์ประเทือง โมรารายย
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2556

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นงานเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับรองแก้วน้ำ โดยมีสัญลักษณ์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นอักษรย่อภาษาอังกฤษอยู่กลางชิ้นงาน

การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) จะทำการออกแบบเป็นรูปที่รองแก้วรูปสี่เหลี่ยม โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2007 (CAD) ในการออกแบบและใช้โปรแกรม Mastercam X5 (CAM) เพื่อช่วยในการจำลองการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีรุ่น Mazak FJV-250 ส่วนแม่พิมพ์จะมีด้วยกันทั้งหมด 9 ชิ้น ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ เหล็กแผ่น (P20) เมื่อออกแบบเสร็จแล้วนำไปแปลงให้ได้ NC-code ออกมาทำการกัดชิ้นงานจริงบนแผ่นเหล็ก จึงได้แม่พิมพ์ที่ใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Moldind) ตามที่ได้ออกแบบไว้

นำแม่พิมพ์ที่ได้ไปใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Moldind) ยี่ห้อ GMBH53577 Neustadt Germany รุ่น BOY50R จะทำให้ได้ชิ้นงานที่รองแก้ว 2 ชิ้น ในการฉีด 1 ครั้ง เมื่อทดลองฉีดพลาสติกแล้วชิ้นงานที่ได้จากการฉีดพลาสติกมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ออกแบบไว้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์ ที่ได้ให้แนวความคิด อธิบาย คำแนะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัย และแก้ไขปัญหาในเรื่องแม่พิมพ์ และวิธีการใช้เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50M ตลอดจนการปรับปรุงการทำงานต่างๆ ด้วย ณ อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอขอบคุณ อาจารย์ประเทือง โมราราย ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้แนวคิดและอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกเพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

ขอขอบคุณ ดร.ทวีศักดิ์ มโนสืบ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอาจารย์จุมพล ชัยประเดิมศักดิ์ ที่สอนวิธีการใช้เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R ณ อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์สมเกียรติ อู่เงิน นักวิชาการพัฒนาฝีมือแรงงาน ระดับชำนาญการ สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5 และใช้เครื่องจักร CNC

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี ศูนย์ไทย-เยอรมัน ณ นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ในการใช้เครื่องเจียรปาดหน้าเรียบ

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบคุณพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายดำรงค์เกียรติ สุขพงษ์
นายเอกรัตน์ สายคำ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน.....2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก.....4
2.2 กรรมวิธีออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....6
2.3 วัสดุประเภทเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....10
2.4 พลาสติก.....12
2.5 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และช่วยในการผลิต (CAM).13
2.6 ทฤษฎีโปรแกรม Solidworks 2007 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ 15
2.7 ทฤษฎีโปรแกรม Mastercam X5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต.....19
2.8 ทฤษฎีเครื่องจักร ซี.เอ็น.ซี 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 ความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability).....25
2.10 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด (Errors Measurement).....26
2.11 อัตราการยืดหดตัวจากการฉีดพลาสติก.....27

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....30
3.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks Version 2007.....30
3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5.....30
3.3 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250.....30
3.4 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี.....30
3.5 ศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R.....31
3.6 ทดลองฉีดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์.....31
3.7 วิเคราะห์และสรุปผล.....31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....32
4.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน.....32
4.2 การคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์.....32
4.3 การศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks.....32
4.4 การศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5.....39
4.5 การใช้งานเครื่องซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250.....40
4.6 ชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์.....42
4.7 การศึกษาเครื่องฉีดพลาสติกและฉีดแม่พิมพ์ในเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY50R.....47
4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง และการแก้ปัญหา.....48
4.9 แก้ไขแม่พิมพ์และทดสอบฉีดพลาสติก.....49
4.10 วิเคราะห์ผลการทดลองขึ้นรูปแม่พิมพ์.....52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ....60

5.1 สรุป....60

5.1 ข้อเสนอแนะ....60

เอกสารอ้างอิง....62

ภาคผนวก ก....63

ภาคผนวก ข....77

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....98

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 เกรดมาตรฐานทั่วไปและส่วนผสม (ร้อยละ) ของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์....10

2.2 ค่าความแข็งของเหล็กทำแม่พิมพ์....11

2.3 หน้าที่การใช้งานเริ่มต้นแต่ละคำสั่งของโปรแกรม....17

2.4 ร้อยละการหดตัว....28

4.1 ขนาดของชิ้นงาน....34

4.2 ขนาดของชิ้นงานเมื่อเพิ่มค่าการหดตัวร้อยละ 2....35

4.3 ขนาดของแบบ....53

4.4 ขนาดแม่พิมพ์....55

4.5 ค่าเฉลี่ยจากการวัดขนาดชิ้นงาน....57

4.6 ค่าเฉลี่ยของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงาน....57

4.7 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์เทียบกับแบบ....58

4.8 ร้อยละการหดตัวของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์....58

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แม่พิมพ์ฉีด 4

2.2 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 5

2.3 แม่พิมพ์อัด 5

2.4 แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด 6

2.5 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด 6

2.6 การใช้ CAD ในการออกแบบ 14

2.7 การใช้ CAM ดูเส้นทางการเดินมีดกัด 15

2.8 หน้าต่างโปรแกรม 16

2.9 เลือกไอคอนที่ต้องการสร้าง 17

2.10 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม 18

2.11 หน้าต่างโปรแกรม 19

2.12 งานออกแบบ (Design) 20

2.13 งานผลิตชิ้นส่วน (Part) 21

2.14 รูปชุดควบคุมการทำงานต่างๆ 23

2.15 กลไกการเคลื่อนที่ 23

2.16 วงจรของกลไกการเคลื่อนที่ 24

2.17 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ 25

2.18 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติเครื่องกัด 25

4.1 ชิ้นงาน 33

4.2 วัดขนาดความกว้างของชิ้นงาน 34

4.3 วัดขนาดความหนาของชิ้นงาน 34

4.4 แม่พิมพ์พลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์ 35

4.5 แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 35

4.6 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 36

4.7 แผ่นรองอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา 36

4.8 แผ่นดันปลดชิ้นงาน 36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 แผ่นยึดแผ่นดันปลดชิ้นงาน 37
4.10 แผ่นึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 37
4.11 แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่ 37
4.12 แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่ 38
4.13 เพลานำ 38
4.14 สลักดันกลับ 38
4.15 สลักปลดชิ้นงาน 38
4.16 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด 38
4.17 การจำลองทางเดินมีดกัด 39
4.18 การใช้ CAM ในการสร้าง (NC-Code) 39
4.19 เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 40
4.20 แผ่นเหล็กที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ 40
4.21 แม่พิมพ์ที่ผ่านการเจียรไนราบ 41
4.22 แม่พิมพ์ที่เข้าเครื่องกัดซีเอ็นซี 41
4.23 แม่พิมพ์ที่เข้าเครื่องกัดซีเอ็นซี 41
4.24 แม่พิมพ์สำเร็จ 42
4.25 แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 42
4.26 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 42
4.27 แท่นรองแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา 43
4.28 แผ่นดันปลดชิ้นงาน 43
4.29 แผ่นยึดตัวดันปลดชิ้นงาน 43
4.30 แผ่นยึดด้านหลังของอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ 44
4.31 แผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่ 44
4.32 แผ่นยึดอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่ 44
4.33 ปลอกนำฉีด 45
4.34 เพลานำ 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.35 สลักดันกลับ....45
4.36 สลักปลดชิ้นงาน....46
4.37 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด....46
4.38 แม่พิมพ์สำเร็จ....46
4.39 เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R....47
4.40 ติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R....47
4.41 โซนความร้อน....48
4.42 ชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง....49
4.43 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่....49
4.44 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่....50
4.45 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นยึดอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่....50
4.46 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด....51
4.47 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดอย่างสมบูรณ์....51
4.48 ชิ้นงานที่รองแก้ว....51
4.49 วัดขนาดแบบแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่....52
4.50 วัดขนาดแบบแผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่....53
4.51 วัดขนาดแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่....54
4.52 วัดขนาดแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่....54
4.53 ขนาดของชิ้นงานที่รองแก้ว A1, A2....56
4.54 ขนาดของชิ้นงานที่รองแก้ว B1, B2....57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันโปรแกรม CAD/CAM ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการออกแบบหรือเขียนแบบในด้านต่างๆ โดยที่ CAD ย่อมาจาก Computer Aided Design และ CAM ย่อมาจาก Computer Aided Manufacturing และได้มีการใช้โปรแกรม CAD/CAM เพื่อใช้ในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ โดยโปรแกรม CAD ใช้ในขั้นตอนของการการออกแบบ และโปรแกรม CAM ใช้ในขั้นตอนควบคุมและผลิตชิ้นงานที่ออกแบบโดยโปรแกรม CAD เพื่อเป็นการทดสอบก่อนการผลิตจริง และวัสดุที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในปัจจุบันก็มีให้เลือกมากมายหลายอย่าง เช่น ดิน โลหะ ยาง ไม้ เหล็ก และพอลิเมอร์ แต่ผลิตภัณฑ์ที่หาซื้อได้ง่ายและราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์วัสดุประเภทอื่นคงจะเป็นพอลิเมอร์ เพราะพอลิเมอร์หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าพลาสติกมีคุณสมบัติคือ เหนียว แข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบาเป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาทางผู้ดำเนินโครงงานจึงสนใจที่จะทำการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติกในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่รองแก้ว เพื่อจะใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนและใช้งานได้จริง ซึ่งผลิตจากพอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylene : PP) ผ่านกระบวนการฉีดพลาสติกจากเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตาก ได้ออกมาเป็นที่รองแก้วอย่างสมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์

1.2.2 เพื่อให้แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก ยี่ห้อ GMBH53577 Neustadt Germany รุ่น BOY50R

1.3.2 ได้ตัวอย่างชิ้นงานที่รองแก้วฐานสี่เหลี่ยม ตามขนาดที่ออกแบบไว้

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 แม่พิมพ์สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

1.4.2 ชิ้นงานหลังฉีดพลาสติกได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก GMBH53577 Neustadt Germany รุ่น BOY50R ภายในอาคารปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตาก

1.5.2 ใช้เม็ดพลาสติกในการฉีด คือ Polypropylene (PP)

1.5.3 สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกรูปที่รองแก้วน้ำ ฐานสี่เหลี่ยม

1.5.4 โปรแกรมที่ใช้ออกแบบ Solidworks (CAD) และโปรแกรมที่ใช้ทำ Toolpaths Mastercam (CAM)

1.5.5 เครื่องมือที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ คือ เครื่องจักร CNC

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาคที่ 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน

1.6.3 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตาก

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน 1 เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		เม.ย 56	พ.ค. 56	มิ.ย. 56	ก.ค. 56	ส.ค. 56	ก.ย. 56	ต.ค. 56	พ.ย. 56	ธ.ค. 56
1	ศึกษาการใช้โปรแกรม CAD/CAM สร้างแม่พิมพ์ฉีด									
2	ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250									
3	ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี									
4	ทดลองฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์									
5	ทำการทดลองฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์จริง									
6	วิเคราะห์และสรุปผล									

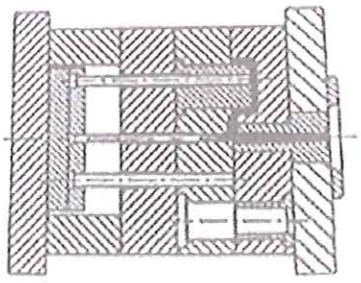
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก การตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ถึงความต้องการการใช้งานแม่พิมพ์ที่ดีที่สุดและมีความคุ้มค่ามากที่สุด การตัดสินใจในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกกระบวนการผลิตการผลิตแบบหนึ่ง หรือหลายๆชิ้นงาน จำนวนของชิ้นงานที่ต้องการผลิตความเที่ยงตรงของชิ้นงานและสภาพผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์พลาสติกมีการใช้งานที่แตกต่างกันไปเช่น แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection Moulding) แม่พิมพ์เป่า (Blow Moulding) แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปร่าง (Extrusion Moulding) แม่พิมพ์แบบส่งผ่าน (Transfer Moulding) แม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) และอื่นๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทแม่พิมพ์พลาสติกได้ดังต่อไปนี้

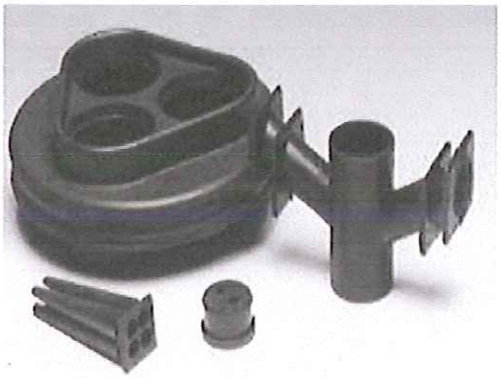
2.1.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Plastic Injection Moulding)

เป็นกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและมีหลายลักษณะงาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น เครื่องสำอาง เป็นต้น การผลิตชิ้นงานนั้นจะใช้เม็ดพลาสติกป้อนเข้าที่เครื่องฉีด เครื่องฉีดจะทำหน้าที่หลอมละลายเม็ดพลาสติกและฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ คงความดันและอัดพลาสติกเหลวเข้าเต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานจะถูกหล่อเย็นด้วยขณะฉีด เพื่อให้ได้ชิ้นงานรูปร่างตามแม่พิมพ์แล้วจึงเปิดแม่พิมพ์เพื่อทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยทั่วไปถ้ามีการบำรุงรักษาแม่พิมพ์เป็นอย่างดีจะทำให้อายุการใช้งาน 500,000-1,000,000 Shots ซึ่งตัวอย่างรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 แม่พิมพ์ฉีด

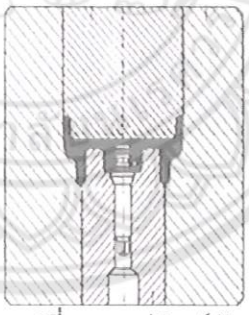
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

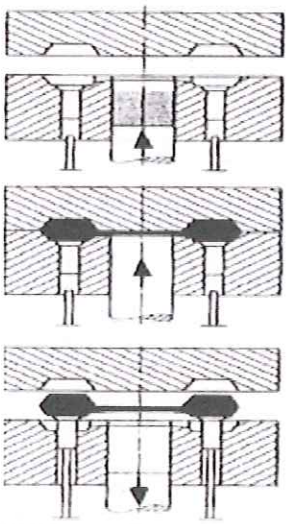
2.1.2 แม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์อัดฉีด (Compression and Transfer Moulding)

แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงานโดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรงของแม่พิมพ์ จากนั้นหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวจึงปลดชิ้นงานออก ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์ฉีดคือ แม่พิมพ์อัดจะใช้ลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์ฉีดจะใช้การเติมพลาสติก แม่พิมพ์อัดจะถูกนำไปใช้ในงานผลิตชิ้นงานต้นแบบ ผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนน้อย ใช้เวลาในการผลิตนาน รูปแม่พิมพ์อัด แสดงดังรูปที่ 2.3



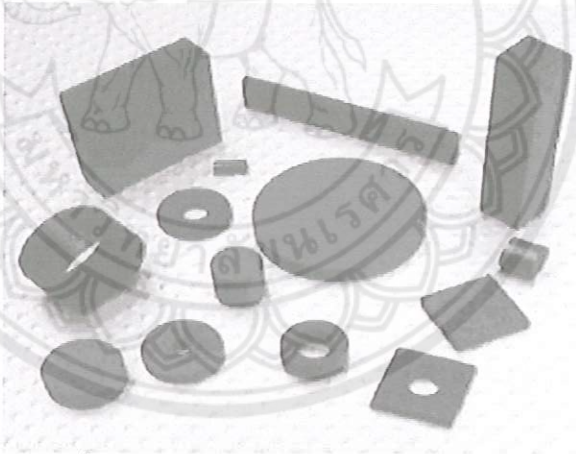
รูปที่ 2.3 แม่พิมพ์อัด
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

ส่วนแม่พิมพ์อัดฉีดแสดงดังรูปที่ 2.4 เป็นการพัฒนาแม่พิมพ์อัดให้เป็นการผลิตแบบอัตโนมัติ โดยพลาสติกจะยังไม่ถูกใส่ไปในแม่พิมพ์โดยตรง พลาสติกจะถูกทำให้ร้อนในกระบอกสูบก่อนจะถูกส่งไปยังแม่พิมพ์ ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดฉีดและแม่พิมพ์อัดอยู่ที่โครงสร้างของแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์อัดฉีดจะต้องมีห้องอัดซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมกับเบ้า (Cavity) แม่พิมพ์ด้วยรูฉีด



รูปที่ 2.4 แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

สำหรับแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดจะใช้ในการผลิต เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดดังแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

2.2 กรรมวิธีออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์สามารถที่จะยึดและนำมาดัดแปลงใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระบบการทำงานที่หลากหลาย ประกอบด้วย คือ

2.2.1.1 ระบบรูวิ่ง (Spue and Runner System) การไหลพลาสติกหลอมจากหัวฉีดของเครื่องฉีดไปยังอิมเพรสชั่นแต่ละแห่งจึงต้องออกแบบเป็นพิเศษให้สามารถรับพลาสติกเหลวที่ถูก

ฉีดออกมาจากเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อไม่ให้มีการติดขัดและมีทางวิ่งให้สั้นที่สุดเพื่อลดเนื้อพลาสติกที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต

2.2.1.2 ระบบเบ้าและคอร์ (Core and Cavity Inserts) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ต้องออกแบบให้มีลักษณะตามชิ้นงานสิ่งสำคัญคือต้องออกแบบให้สามารถปลดชิ้นงานได้

2.2.1.3 ระบบไล่อากาศ (Venting System) กรณีแม่พิมพ์ปิดต้องมีระบบไล่อากาศ เพราะถ้าไม่มีระบบนี้ พลาสติกเหลวจะไม่สามารถเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในโพรงแม่พิมพ์ได้เนื่องจากอากาศไม่มีที่ให้ระบายออก

2.2.1.4 ระบบหล่อเย็น (Cooling System) เป็นระบบเพื่อรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิ ของแม่พิมพ์ไม่ให้สูงจนเกินไป ระบบหล่อเย็น น้ำหรือของเหลวอื่นๆ จะถูกส่งเข้าไปไหลเวียนในรูหรือล่องที่ทำขึ้นในแม่พิมพ์ รูหรือล่องที่ทำขึ้นนี้เรียกว่า ทางไหลของระบบหล่อเย็น หรือทางน้ำหล่อเย็น เนื่องจากถ้าไม่มีระบบดังกล่าว เมื่อผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ความร้อนจากเนื้อพลาสติกจะสะสมอยู่ในแม่พิมพ์ ส่งผลให้แม่พิมพ์มีความร้อนสูง ทำให้ผลิตชิ้นงานได้น้อยลงเนื่องจากรอบเวลาการผลิตที่มากขึ้นและยังส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยในแง่ของผิวงานและขนาดไม่ได้ตามแบบที่กำหนด

2.2.1.5 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection System) เป็นระบบที่ใช้ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เมื่อฉีดพลาสติกเข้าไปในอิมเพรสชั่นการปลดชิ้นงานแต่ละครั้งเพื่อความสะดวกจึงมีระบบกระทุ้งอัตโนมัติสำหรับดันให้ระบบปลดชิ้นงานทำงานเนื่องจากหลังจากพลาสติกเย็นตัวลงจะเกิดการหดตัวลงเล็กน้อยทำให้เกาะติดกับแม่พิมพ์จึงต้องมีระบบปลดชิ้นงานเพื่อสามารถปลดชิ้นงานได้โดยง่ายและเป็นไปโดยอัตโนมัติ

2.2.1.6 ระบบนำศูนย์ (Guiding System) เนื่องจากแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะประกอบแผ่นเหล็กประกบกันหลายแผ่นซึ่งแต่ละแผ่นต้องมีศูนย์กลางร่วมกันขณะแม่พิมพ์ทำงานจะมีการเปิดปิดหลายพันหลายหมื่นครั้ง ระบบนำศูนย์ต้องถูกคำนวณและออกแบบเป็นอย่างดี ถ้าไม่ดีจะส่งผลต่อรอยประกบของผิวชิ้นงานได้

2.2.1.7 ระบบจับยึดแม่พิมพ์ (Mounting System) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับการยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีดพลาสติก การออกแบบระบบจับยึดที่ดีจะทำให้ลดเวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ได้

2.2.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตามมาตรฐาน

2.2.2.1 รูวิ่ง (Runner) คือ ร่องที่ตัดเฉือนในแม่พิมพ์เพื่อให้รูฉีดและรูอิมเพรสชั่นติดต่อกันได้สำหรับแม่พิมพ์แบบสองส่วน รูวิ่งจะอยู่บนผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์

ก. รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่ง จะเลือกใช้แบบครึ่งวงกลม รูวิ่งควรจะมีพื้นที่หน้าตัดโตที่สุดเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายแรงดันและเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายความร้อน รูวิ่งควรจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเนื้อพลาสติกน้อยที่สุด อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่ผิวสัมผัส

โดยรอบของรูวิ่งจะช่วยชี้บอกถึงประสิทธิภาพของการออกแบบรูวิ่ง คือ หากอัตราส่วนมีค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง

ข. ขนาดของรูวิ่ง ซึ่งจะต้องพิจารณาจาก

ข.1 รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่งและปริมาตรของชิ้นงาน

ข.2 ระยะทางจากรูวิ่งหลักหรือรูฉีดไปยังอิมเพรสชั่น

ข.3 การพิจารณาเกี่ยวกับการหล่อเย็นระบบรูวิ่ง

ข.4 ขนาดของมีดกัดที่สามารถหาใช้ได้

ข.5 ชนิดของพลาสติกที่ใช้

ค. การร่างแบบรูวิ่ง การร่างแบบรูวิ่งจะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ค.1 จำนวนอิมเพรสชั่น

ค.2 รูปทรงของชิ้นงาน

ค.3 ชนิดของแม่พิมพ์ (แบบ 2 แผ่นหรือแบบหลายแผ่น)

ค.4 ชนิดของรูเข้า

ง. การออกแบบเพื่อร่างแบบรูวิ่งมีข้อพิจารณาใหญ่ 2 ประการ คือ

ง.1 ความยาวของรูวิ่งควรจะออก แบบให้สั้นที่สุดเพื่อลดการศูนย์เสียแรงดัน

ง.2 ระบบรูวิ่งจะต้องสมดุลกัน

2.2.2.2 รูเข้า (Gate) คือ ร่องหรือรูเล็กๆที่ต่อระหว่างรูวิ่งกับอิมเพรสชั่น ซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กเพื่อ

ก. แกนรูเข้าจะแข็งตัวได้เร็วหลังจากที่อิมเพรสชั่นถูกเติมเนื้อพลาสติกจนเต็มทำให้สามารถถอยก้านฉีด ของเครื่องฉีดพลาสติกออกได้โดยไม่ทำให้เกิดเป็นช่องว่างหรือแอ่งบนชิ้นงานเนื่องจากการดูดกลับของเนื้อพลาสติก

ข. ปลดแกนรูเข้าได้ง่ายและในแม่พิมพ์บางแบบสามารถปลดแกนรูเข้าได้โดยอัตโนมัติ

ค. หลังจากปลดแกนรูเข้าแล้วจะเหลือรอยตำหนิบนชิ้นงานเล็กๆเท่านั้น

ง. ควบคุมการเติมเนื้อพลาสติกในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชั่นได้ดี

จ. ความจำเป็นที่จะต้องอัดเนื้อพลาสติกเข้าไปในอิมเพรสชั่นมากกว่าที่ต้องการ เพื่อแก้ไขขนาดเนื่องจากการหดตัวมีน้อยลง

ฉ. การกำหนดตำแหน่งรูเข้า ตำแหน่งรูเข้าควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการไหลเติมเนื้อพลาสติกในอิมเพรสชั่นอย่างสม่ำเสมอ และกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกเข้าไปยังส่วนต่างๆ ของอิมเพรสชั่นในเวลาที่ใกล้เคียงกันที่สุด วิธีนี้การกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกที่ไหลมาบรรจบกันจะไม่ทำให้เกิดเป็นรอยเชื่อมของเนื้อพลาสติก

ช. ชนิดของรูเข้า เพื่อให้สภาวะการเติมพลาสติกหลอมได้ประโยชน์อย่างเต็มที่ต้องเลือกใช้ชนิดของรูเข้าอย่างระมัดระวัง โครงงานนี้จะเลือกใช้ รูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งแบบนี้ใช้ในวัตถุประสงค์ทั่วๆ ไปและง่ายๆ ทำเพียงตัดเฉือนเป็นร่องสี่เหลี่ยมบนแผ่นแม่พิมพ์ด้านหนึ่งเพื่อต่อระหว่างรูวิ่งกิ่งกับอิมเพรสชั่น

2.2.3 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection)

ในการทำงานบนเครื่องฉีดพลาสติก จะจัดเตรียมระบบกระทุ้งอัตโนมัติสำหรับดันให้ระบบปลดชิ้นงาน ระบบปลดชิ้นงานของแม่พิมพ์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถ้าประกอบอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่ โดยระบบปลดชิ้นงานจะมี 3 ส่วน คือ

2.2.3.1 ห้องระบบปลดชิ้นงาน

2.2.3.2 แผ่นประกอบตัวปลด

2.2.3.3 วิธีดันปลดชิ้นงาน

2.2.4 อิมเพรสชั่น

โครงงานนี้จะเป็นแม่พิมพ์แบบ 4 อิมเพรสชั่น ซึ่งการออกแบบอิมเพรสชั่น ต้องออกแบบให้เกิดการสมดุลรูวิ่ง คือ ระยะทางที่เนื้อพลาสติกหลอมไหลจากรูฉีดไปยังรูข้าวของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องเท่ากัน เพื่อให้มั่นใจว่าอิมเพรสชั่นแต่ละอันจะถูกเติมเนื้อพลาสติกให้เต็มพร้อมๆ กันอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้รูเข้าที่มีความยาวและพื้นที่เหมือนๆ กัน

2.2.5 การตรวจสอบแบบแม่พิมพ์ฉีด

เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งจะเป็นการพิจารณาหาข้อผิดพลาดในการออกแบบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้และแก้ไขข้อผิดพลาดเหล่านี้ให้ถูกต้อง โดยวิศวกรผู้ออกแบบและช่างผู้เขียนแบบจะมีโอกาสตรวจสอบแบบก่อนบุคคลอื่น เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะทำแม่พิมพ์จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สูตรคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

ขนาดของแม่พิมพ์ = ขนาดของชิ้นงาน + (ขนาดของชิ้นงาน × เปอร์เซ็นต์การหดตัว) (2.1)

2.2.6 การตรวจสอบแม่พิมพ์ฉีด

2.2.6.1 ตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ว่ามีชิ้นส่วนเกิดความเสียหายหรือไม่ ถ้าเสียหายให้แก้ไขหรือทำใหม่ก่อนนำไปใช้งาน

2.2.6.2 ตรวจสอบ Spring ทุกตัวทุกขนาดว่ามีการแตกหักบ้างหรือไม่ หรือดูจากสภาพ Spring ว่าถ้าใช้งานได้อีกไม่นานก็ควรเปลี่ยนใหม่

2.2.6.3 ทำการขัดผิวใหม่ (Repolishing) ในส่วนที่มีการขัดผิวละเอียด ตัวอย่างชิ้นงานที่จะขัดเช่น Cavity Bush, Core Bush, Out Core, Center Core เป็นต้น

2.2.6.4 ตรวจสอบรู Gate ในกรณีที่เป็น Pinpoint Gate ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือไม่ มีเศษฝุ่นผงติดค้างอยู่ในรู Gate หรือไม่

2.2.6.5 ขัด Sprue Runner และ Runner ใหม่ทั้งหมด ให้มีความเรียบมันเพื่อให้พลาสติกไหลเข้าได้สะดวกขึ้น

2.2.6.6 ตรวจสอบดูว่าระบบหล่อเย็น มีการอุดตันหรือไม่โดยการใช้ลมเป่าเข้าไป ถ้าลมเบาออกน้อยหรือเบาให้ทำความสะอาดระบบหล่อเย็นทั้งหมด โดยการถอด Insert ออกจาก Plate แล้วทะลวงรูน้ำที่ Plate, Core Bush, Cavity Bush หรือ Cooling Bush ทุกชิ้นส่วนที่มีระบบหล่อเย็นอยู่

2.2.6.7 ตรวจสอบ O-ring หรือ V-ring ว่ายังมีสภาพดีอยู่หรือไม่

2.2.6.8 ตรวจสอบ Guide Pin และ Guide Bush มีรอยขีดข่วนหรือไม่ ระยะระหว่าง Guide Pin และ Guide Bush ความตรงและความกลม

2.2.6.9 ตรวจสอบ Air-vent ทุกๆ จุด เช่น บริเวณหน้า Parting Line, Taper, ปรกติถ้าเป็นพลาสติก (PP) จะมีร่อง Air-vent ประมาณ 0.01 - 0.015 มม.

2.3 วัสดุประเภทเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกจะมีมากมายหลายอย่าง ซึ่งอาจจะแบ่งตามชนิดของเหล็ก เกรด คุณสมบัติ เป็นต้น เราควรจะเลือกเหล็กที่นำไปใช้ทำแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการต่างๆ เพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่ยืนยาว ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 เกรดมาตรฐานทั่วไปและส่วนผสม (ร้อยละ) ของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์

เหล็กที่ชุบแข็งมาแล้ว									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M200	0.40	0.30	1.50	2.00	-	0.20	-	-	-
M238	0.38	0.30	1.50	2.00	-	0.20	-	-	1.10
P20	0.40	0.30	1.45	2.00	-	1.20	-	-	-
เหล็กสแตนเลส									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M300	0.38	0.40	0.65	16.00	-	1.00	-	-	0.08
M310	0.41	0.70	0.45	14.30	0.20	0.60	-	-	-

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) เกรดมาตรฐานทั่วไปและส่วนผสม (ร้อยละ) ของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์

M340	0.54	0.45	0.40	17.30	0.10	1.10	-	-	-
N695	1.05	0.40	0.40	17.00	-	0.20	-	-	-
เหล็กที่ชุบแข็งพร้อมใช้งาน									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M461	0.13	0.30	2.00	0.35	-	-	-	-	3.50
NAK80	0.15	0.30	1.50	-	-	0.30	1.00	1.00	3.00

ที่มา: บริษัท ชนะพานิช สตีล จำกัด (2552)

ตารางที่ 2.2 ค่าความแข็งของเหล็กทำแม่พิมพ์

การอบ-ชุบ		ความแข็ง (Hardness)
N695	ชุบน้ำมัน	58 - 60 HRC
M202	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	46 - 49 HRC
M238	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	52 - 54 HRC
NAK80	ชุบน้ำมัน/เกลือ	37 - 43 HRC
P20	ชุบน้ำมัน/เกลือ	30 - 33 HRC
M300	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	น้ำมัน 46 - 49 HRC ลม 42 - 48 HRC
M310	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	53 - 56 HRC
M340	ชุบน้ำมัน	53 - 58 HRC
M461	เป่าลม	40 - 44 HRC

ที่มา: บริษัท ชนะพานิช สตีล จำกัด (2552)

2.3.1 เหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม ขัดเงาได้ดี สามารถกลึง เจาะ ไส ได้ดี มีคุณสมบัติ ทางโฟโตเอทชิ่งดี ความแข็งแรงสูง

2.3.1.1 M202 ขัดขึ้นเงาดี ทำงานง่าย มีความแข็งสม่ำเสมอใช้ทำ แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ ทำโมลด์อินเสิร์ต (ชิ้นสอด)

2.3.1.2 M238 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วมีการผสมกำมะถันต่ำมาก 0.003% ทำให้ไม่มีความแข็งสม่ำเสมอ ขัดเงาได้เหมือนกระจก ใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ เมลามีน

2.3.1.3 P20 สามารถทำแม่พิมพ์ลวดลายได้ สามารถรับแรงดึงสูง ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีจำนวนการผลิตค่อนข้างสูง ชุบแข็งมาแล้ว ทำการชุบแข็งผิวด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่งเพื่อเพิ่มความแข็ง โดยรักษาความแข็งไว้ที่อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Skock) ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง การบิดเบี้ยวต่ำ ความสามารถในการกลึงไสได้ง่ายไม่เปราะ ขัดเงาได้ดี

2.3.2 เหล็กสแตนเลส สามารถทนต่อการกัดกร่อนสูง สามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี

2.3.2.1 เหล็ก N695 ใช้ทำอุปกรณ์ที่ต้องการทนสนิม มีความคมและทนทานต่อการเสียดสี เช่น มีดผ่าตัด

2.3.2.2 เหล็ก M300 ทำแม่พิมพ์ชนิดที่ต้องทนกรดสูง ทนสนิม เช่น แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์อุตสาหกรรมท่อพีวีซี

2.3.2.3 เหล็ก M310 สามารถทนต่อการกัดกร่อนที่สูงได้ และสามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี

2.3.2.4 เหล็ก M340 สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้ดีมาก ทนต่อการสึกหรอได้ดีมาก คงขนาดรูปร่างได้ดีระหว่างชุบแข็ง ทำโมลด์, โมลด์อินเสิร์ต, สกรู

2.3.2.5 เหล็ก NAK80 เป็นเหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติกขั้นสูง มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความสามารถในการกลึงดีเยี่ยมทั้งที่มีความแข็งสูง ขัดเงาเหมือนกระจก

2.3.2.6 เหล็ก M461 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วและพร้อมใช้งาน และไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม (อยู่ในสภาพชุบแข็งพร้อมใช้งาน 40 HRC สามารถชุบแข็งได้ถึง 44 HRC) ความแข็งสูง ขัดเงาดีเลิศ สามารถเจาะ ไสได้ดี มีคุณสมบัติทางโพโตเอทซิ่งดี ทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความแข็งสูง

2.4 พลาสติก

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดแข็งตัวถาวร มีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า ฟิล์ม ภาชนะ ส่วนประกอบเรือหรือรถยนต์

2.4.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน

เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกในตระกูลเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิพรอพีลีน (Polypropylene: PP) มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีความหนาแน่นในช่วง 0.890-0.905 ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกันกับพอลิเอทิลีน ลักษณะอื่นๆ คล้ายกับพอลิเอทิลีน

2.4.1.1 สมบัติทั่วไป

ก. มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปง่าย

ข. สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก

ค. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง

ง. ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัว หรืออ่อนนิ่มได้

จ. มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 15 องศาฟาเรนไฮต์ไปจนถึง 105 องศาฟาเรนไฮต์ (-10 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส) แต่ที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์ จะเปราะ

ฉ. มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

ช. สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization: 100 องศาเซลเซียส) ได้

ซ. ผสมสีได้ง่ายลักษณะโปร่งแสงและทึบแสง

2.4.1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรไพลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือนกล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระป๋องน้ำมันเครื่อง กระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย

เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนต่อแรงดึงแรงกระแทกและทรงตัวดี มีจุดหลอมตัวที่ 165 องศาเซลเซียส ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก มีการเอา PP ไปใช้ในลักษณะเดียวกับ PE เมื่อต้องการให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น PP ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ฟิล์มใส ฟิล์มห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มซองบุหรี่ เชือก แห อวน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

2.5 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และช่วยในการผลิต (CAM)

2.5.1 CAD

เป็นคำย่อของ Computer Aided Disign ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างชิ้นส่วน (Part) ด้วยการจำลองทางเรขาคณิตวิศวกรเครื่องกลหรือวิศวกรออกแบบใช้ CAD Software ในการสร้างชิ้นส่วน หรือเรียกว่าแบบจำลอง (Model) และแบบจำลองนี้สามารถแสดงเป็นแบบ (Drawing) หรือไฟล์ข้อมูล CAD สำหรับการผลิตโดยการใช้ CAD Software เพื่อ

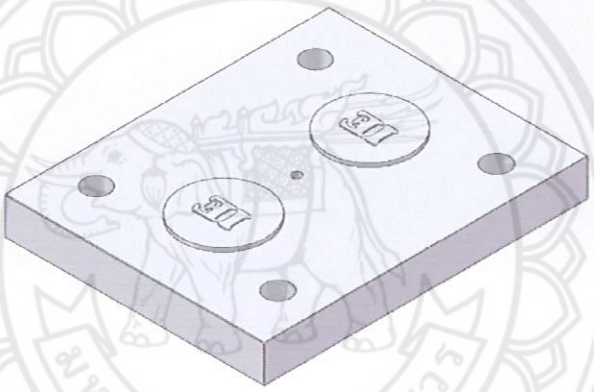
2.5.1.1 พัฒนาแบบจำลองชิ้นส่วนจากแบบที่ได้รับ

2.5.1.2 ประเมินและแก้ไขข้อมูล CAD ของชิ้นส่วนที่ออกแบบบนระบบ CAD เพื่อให้ยอมรับได้ในการผลิต

2.5.1.3 เปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่ออกแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้สิ่งนี้อาจรวมถึงการเพิ่มมุมสอบ (Draft angle) หรือพัฒนาแบบจำลองของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับขั้นตอนที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน

2.5.1.4 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดโพรงแบบ (Model Cavity) ฐานแม่พิมพ์ (Model Base) หรือเครื่องมืออื่นๆ

การใช้ CAD ในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วนสามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ ปริมาตรตัน (Solid) พื้นผิว (Surface) และโคลงลวด (Wire Frame) ซึ่งแต่ละแบบจะเหมาะกับงานเฉพาะอย่าง



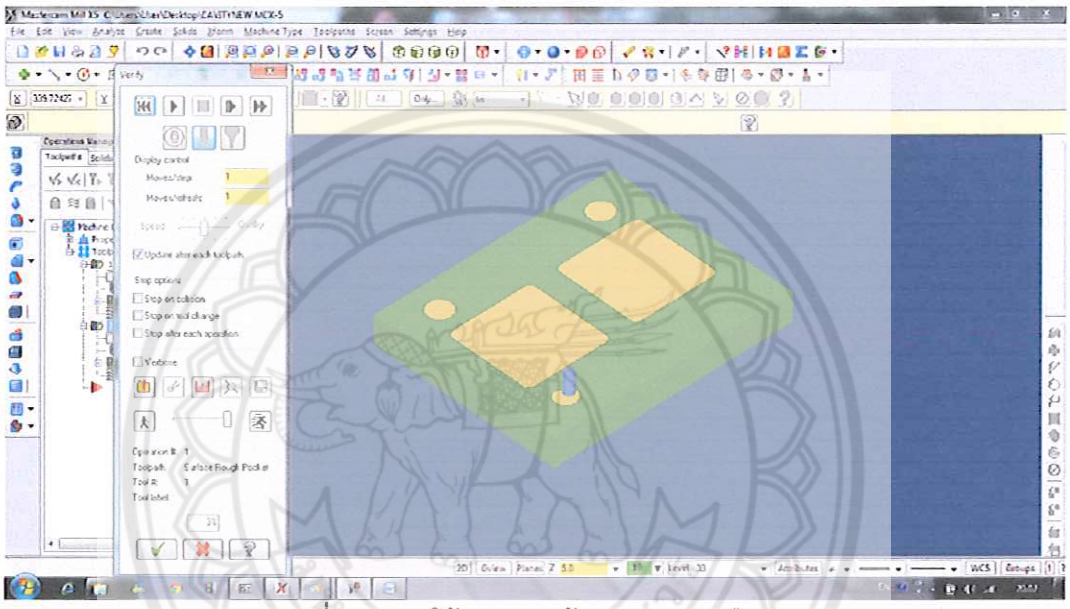
รูปที่ 2.6 การใช้ CAD ในการออกแบบ

นอกจากการใช้ CAD ในการสร้างชิ้นส่วนแล้วปัจจุบัน CAD Software บางตัวยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) ได้คุณภาพของพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาจากซอฟต์แวร์วิศวกรรมย้อนกลับส่วนมากขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบ คือ คุณภาพของแบบจำลอง หรือส่วนประกอบที่นำมาสแกน และคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลข บางครั้งในการทำงานจริงเราไม่สามารถได้แบบจำลองที่สมบูรณ์หรือคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้ไม่ดี เนื่องจากชิ้นส่วนชำรุดหรือถูกทำลาย CAD Software บางตัวสามารถแก้ไขปัญหาพื้นผิวของแบบจำลองในบริเวณที่ชำรุดได้ หรืออาจแต่งเติมดัดแปลงได้ดีกว่าของเดิมที่สแกนมาได้

2.5.2 CAM

เป็นคำย่อของ Computer Aided Manufacturing แปลเป็นภาษาไทยว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างรหัสจี (G-code) เพื่อควบคุม

เครื่องจักรซีเอ็นซีในการกัดขึ้นรูปชิ้นส่วน โดยใช้ข้อมูลทางรูปร่างจาก CAD ซึ่งจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยี IT CAM สามารถใช้ข้อมูลจาก CAD ในการกำหนดว่าจะใช้เครื่องจักรชิ้นใดในการผลิตวัสดุชิ้นงานมีขนาดเท่าใด วางตำแหน่งอ้างอิงอย่างไร ใช้เครื่องมืออะไรในการตัดเฉือนจะใช้เครื่องมืออะไรในการตัดเฉือน จะใช้วิธีตัดเฉือนกี่ขั้นตอน รวมไปถึงขั้นตอนการจำลองขั้นตอนการทำงานเพื่อดูเส้นทางการตัดเฉือนของเครื่องมือตัดเฉือน และตรวจสอบความผิดพลาดในการผลิตด้วยการพัฒนา CAM Software ได้รับการพัฒนาให้ช่วยส่งเสริมการกัดหยาบได้อย่างรวดเร็วขึ้นและสามารถกัดละเอียดด้วยความเร็วสูงรวมถึงการกัด 3 แกน แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การใช้ CAM ดูเส้นทางการเดินมีดกัด

2.6 ทฤษฎีโปรแกรม Solidworks 2007 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

Solidworks 2007 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดจากการนำเอาข้อดี และความคุ้นเคยในการทำงานของโปรแกรมอื่นๆ นำมาประสมประสานจนทำให้เป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่าย เป็นโปรแกรมที่เรียนรู้ได้ง่ายสำหรับผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โปรแกรม Solidworks 2007 ช่วยลดเวลาในการเขียนถ่ายทอดแนวคิดด้วยการร่างเส้น (Sketch), Solidworks เป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบในการสร้างชิ้นส่วน (Part) ด้วยแบบจำลองทางเรขาคณิตใช้ในการสร้างชิ้นส่วน หรือเรียกว่า แบบจำลอง (Model) และแบบจำลองนี้สามารถแสดงเป็นแบบ (Drawing) การทดลองประกอบด้วยระบบสามมิติ, การสร้างแบบจำลองภาพที่เหมือนจริง, การถอดแบบเป็นแบบสั่งงานที่แสดงรายละเอียด ทั้งยังปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานได้ง่าย และสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นๆ เพื่อทำงานด้าน CAD/CAM/CAE ได้อย่างสมบูรณ์

Solidworks เป็นโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล ชิ้นงานต่างๆ ตามที่ต้องการในรูปสามมิติซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานดังต่อไปนี้

2.6.1 การสร้าง Part Solid ใช้วิธีการ และเทคโนโลยีของ Surface Modering (NURBS)

2.6.1.1 Assembly Modeling สามารถประกอบชิ้นส่วนสามมิติ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยมีขนาดของไฟล์เล็กลง และใช้หน่วยความจำน้อย

2.6.1.2 Drawing สร้าง Drawing 2 มิติจาก 3 มิติโดยอัตโนมัติ และบันทึกไฟล์เป็น *dwg ได้

2.6.1.3 Simulation ใช้ทดสอบการเคลื่อนที่ และตรวจสอบหาชิ้นส่วนที่ขัดกัน

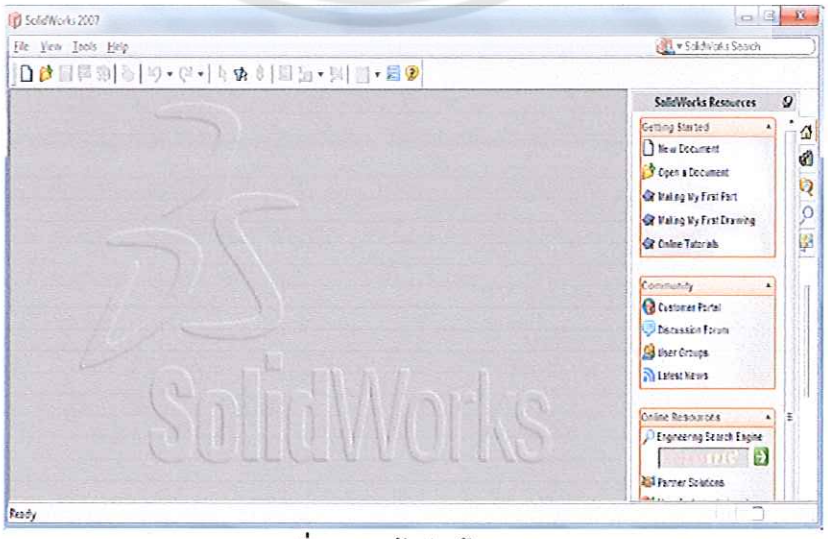
2.6.1.4 Animator สร้างภาพเคลื่อนไหวแสดงการทำงานของชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกลและสามารถบันทึกไฟล์เป็น *AVI (ไฟล์วีดีโอ) ได้

2.6.1.5 Sheet Metal สามารถสร้างงานพับแบบต่างๆ และทำแผ่นคลี่งานโลหะแผ่นได้

2.6.1.6 Module การใช้งานอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น เมื่อเปิดโปรแกรม Solidworks

2.6.1.7 การเปิดใช้ซอฟแวร์ Solidworks 2007

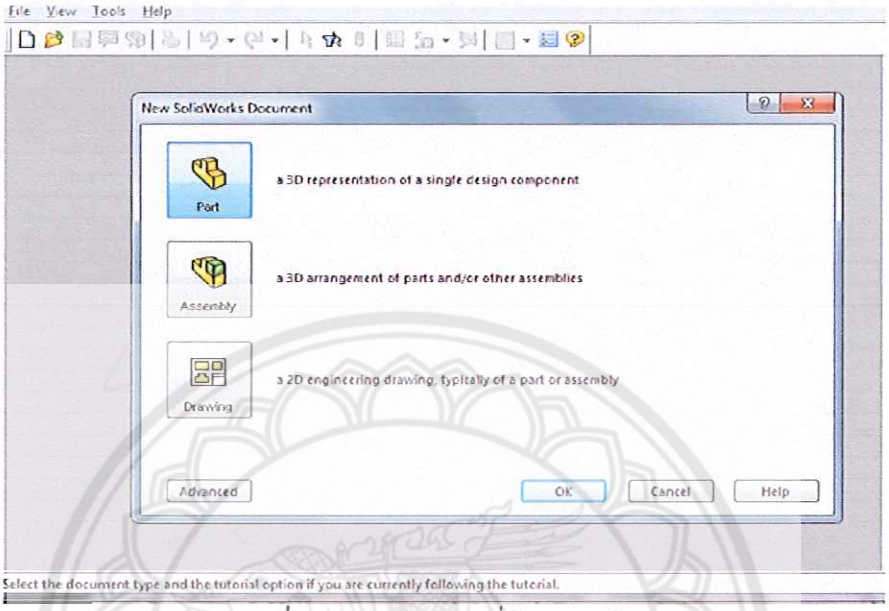
การเปิดใช้ซอฟแวร์ Solidworks 2007 ใช้งานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ Graphic User Interface ของ Microsoft Windows หลังจากติดตั้งซอฟแวร์เสร็จสิ้นจะปรากฏไอคอน อยู่บนเดสก์ทอปของวินโดว์เมื่อเรียกใช้งานซอฟแวร์จะปรากฏหน้าต่างแรก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หน้าต่างโปรแกรม

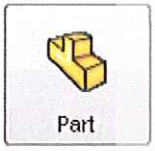
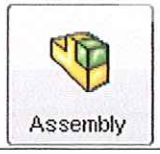
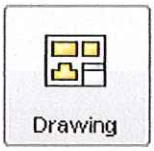
2.6.1.8 ชนิดของไฟล์ในโปรแกรม Solidworks

เมื่อคลิกไอคอน New ก็จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.9 ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ที่มีสกุลต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

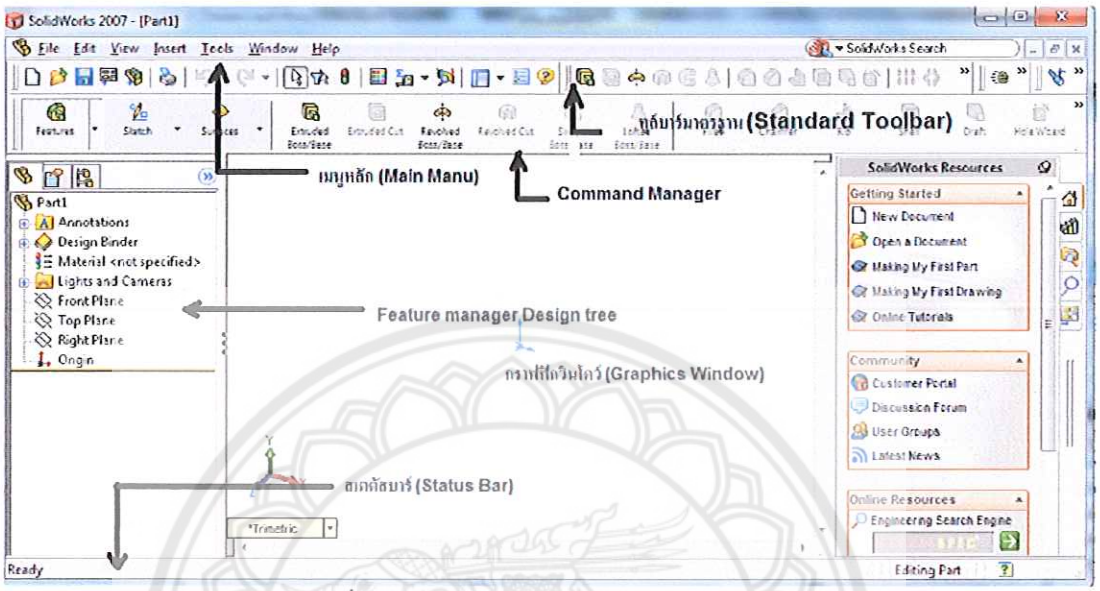


รูปที่ 2.9 เลือกไอคอนที่ต้องการสร้าง

ตารางที่ 2.3 หน้าที่การใช้งานเริ่มต้นแต่ละคำสั่งของโปรแกรม

ไอคอน	ชื่อคำสั่ง	หน้าที่
	เทมเพลทชิ้นส่วนเดี่ยว	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับใช้สร้างชิ้นส่วน (Part) หนึ่งไฟล์จะมีเพียงชิ้นส่วนประกอบเดียวเท่านั้น สามารถสร้างให้เป็น 2 มิติหรือ 3 มิติก็ได้
	เทมเพลทชิ้นส่วนรวม	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับสร้างชิ้นส่วน ไฟล์ชิ้นส่วนเดียวหรือไฟล์ชิ้นส่วนประกอบ (Sub Assemblies) มาประกอบกัน
	เทมเพลทเขียนแบบ	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับเขียนแบบ ที่ใช้สร้างแบบสั่งงานผลิต (Drawing) โดยนำไฟล์ Part หรือไฟล์ Assembly มาวางบนไฟล์นี้ สามารถกำหนดขนาดและสัญลักษณ์ในการเขียนแบบต่างๆ เพื่อนำไปสั่งงานผลิตชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้

โปรแกรม Solidworks จะรันอยู่บนระบบปฏิบัติการ ซึ่งมีเมนูบาร์ ทูลบาร์ต่างๆ ให้ใช้งานอย่างง่ายๆ เหมือนโปรแกรมอื่นๆ ที่รันบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ทั่วไป จะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม

ที่มา: ผศ.ดร. จตุรงค์ ลังกาพันธุ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี

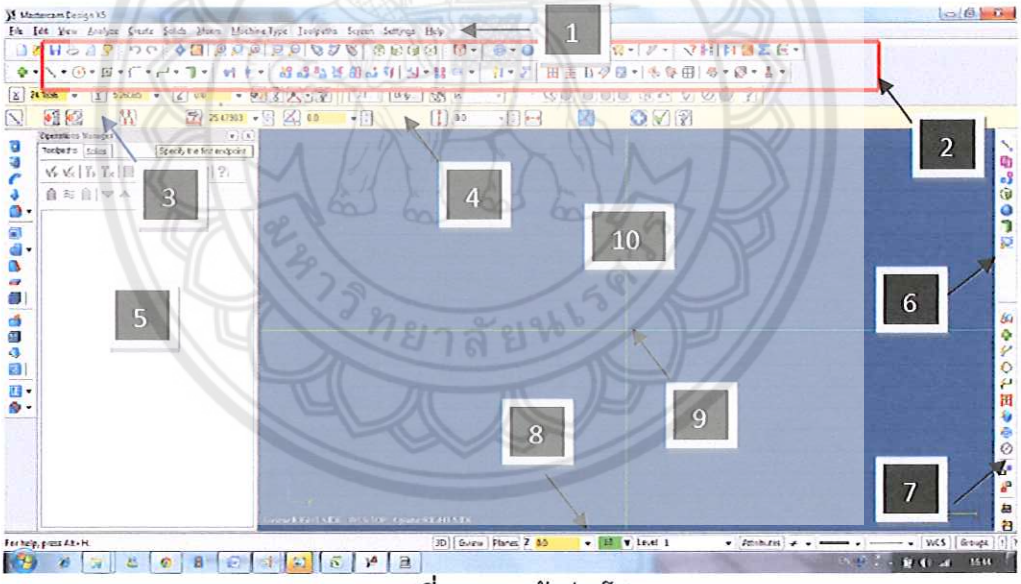
Main Menus	เป็นแถบคำสั่งที่ใช้เรียกใช้งาน โดยใช่เมาส์เลือกจะแสดงชื่อ
Standard toolbar	เป็นคำสั่งมาตรฐานของวินโดว์และโปรแกรม Solidworks และเป็นที่อยู่
Command Manager	ของแถบเครื่องมือโปรแกรม Solidworks สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ
Feature Manager	เป็นที่อยู่ของ Browser จะแสดงประวัติขั้นตอนการใช้เครื่องมือ
Design tree	ชนิดใด วิธีใดมาบ้าง และพร้อมที่จะแก้ไขได้ตลอดเวลา
Graphics Window	เป็นพื้นที่ที่ใช้เขียนแบบ 2 มิติและ 3 มิติ
Status Bar	เป็นตำแหน่งที่แสดงข้อความบอกให้ทราบว่าคุณทำงานถึงขั้นตอนไหน และเป็นสิ่งที่เราจะคอยอธิบายให้คุณทำอะไรต่อไป

2.7 ทฤษฎีโปรแกรม Mastercam X5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

Mastercam X5 คือโปรแกรม CAD/CAM ที่คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องจักรCNC โดยมีจุดประสงค์ที่พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อรองรับการทำงานกับเครื่องจักรCNC ได้ทุกประเภท สามารถสร้าง Toolpaths ให้กับเครื่องจักร CNC ได้ทุกประเภท สามารถรับแต่งคุณสมบัติการแสดงผล และการทำงานให้มีความละเอียด สามารถคำนวณ Toolpaths ที่ดีที่สุด และจะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติเมื่อมีการแก้ไขงาน จะสร้าง Toolpaths ที่มีคุณภาพที่สูงที่สุดมีความยืดหยุ่นสูง สามารถทำงานร่วมกับ CAD อื่นๆได้ คำสั่งการใช้งานสำหรับการออกแบบ 2 มิติและ 3 มิติ สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง ละเอียดและแม่นยำเพื่องานที่ดีที่สุด

2.7.1 Mastercam X5

เป็นโปรแกรมช่วยในการเดินมีดกัด และ Simulate จำลองการเครื่องที่หาข้อบกพร่องเพื่อปรับเปลี่ยนค่าให้มีความแม่นยำในการกัดงานได้ดี และ Generate Code (NC-Code) ให้มีความแม่นยำในการกัดงานได้ดี เพื่อนำไปใช้งานกับเครื่อง CNC ใช้กัดชิ้นงานให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ



รูปที่ 2.11 หน้าต่างโปรแกรม

ส่วนที่ 1 Menu Bar

ส่วนที่ 2 Toolbar

ส่วนที่ 3 Auto Cursor Ribbon Bar

ส่วนที่ 4 Ribbon Bar

ส่วนที่ 5 Operation Manager Pane (Tool Path Solid Art Manager)

ส่วนที่ 6 MRU Function Bar (Most Recently Used)

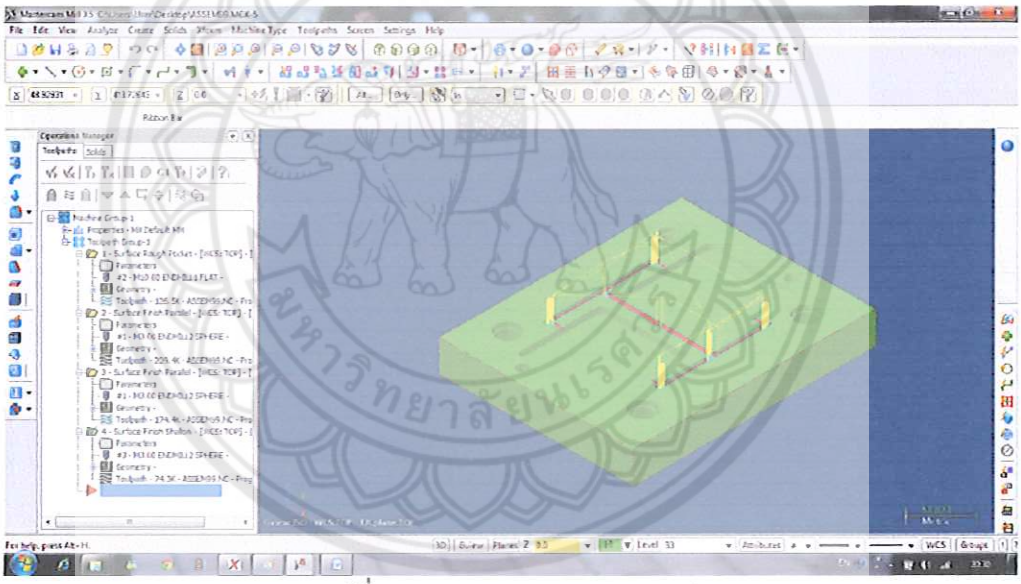
ส่วนที่ 7 Quick Masks

ส่วนที่ 8 Status Bar

ส่วนที่ 9 จุด Origin

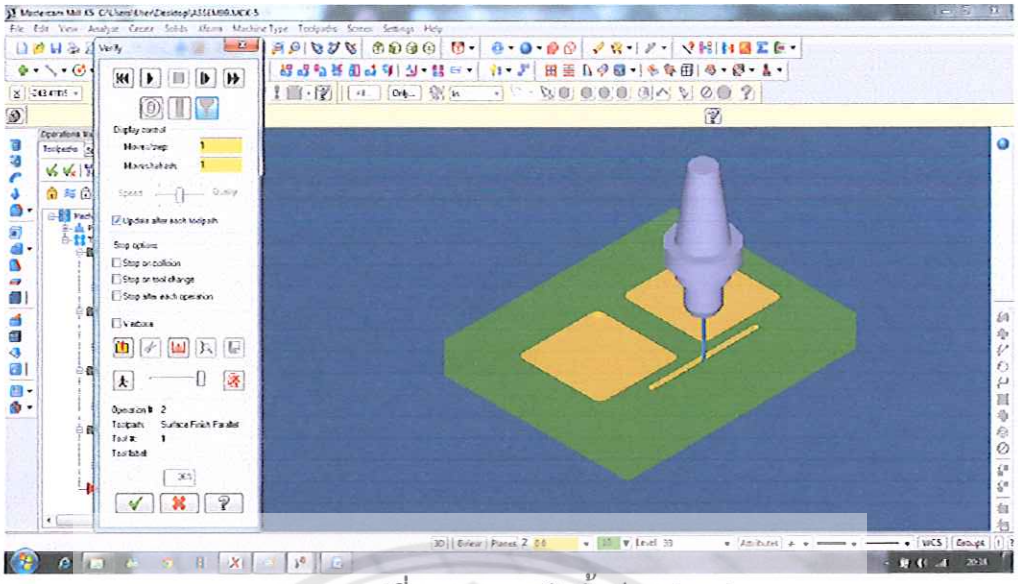
ส่วนที่ 10 Graphics Window

2.7.1.1 ในส่วนของโปรแกรมแบ่งประเภทรองรับงานหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.12 งานออกแบบ (Design)

สามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปทรงได้ตามต้องการ โดยมีไอคอนแก้ไขรูปทรงมาตรฐานทั่วไปเช่นTrim/Break/Extend/Filleft/Chamfer ซึ่งจากรูปทรง 2 มิตินั้นสามารถขึ้นรูปรูปทรง 3 มิติโดยใช้ฟังก์ชัน Solid, Surface ที่สามารถขึ้นรูปทรงได้ง่ายและรวดเร็วไม่ซับซ้อนและยังสามารถกลับไปแก้ไขรูปทรงภายหลังได้ที่แถบของ Solid Manager การสร้างรูปทรง 3 มิตินั้นยังมีผลต่อการสร้างงานกัด (CAM) เมื่อรูปทรงของชิ้นงาน 3 มิติมีการเปลี่ยนแปลง Toolpaths ของงานกัดที่สร้างไว้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.13 งานผลิตชิ้นส่วน (Part)

งานกัดประเภท 2 แกนครึ่ง หรือ 2+1 สามารถสร้าง Toolpaths ได้ง่ายหรือหลากหลายโดยจุดเด่นของงานประเภทนี้สามารถสร้างจากเส้นรูปทรง 2 มิติได้โดยไม่จำเป็นที่จะต้องสร้างชิ้นงานให้เป็น 3 มิติ สามารถเขียนรูปทรง 2 มิติได้ในตัวของโปรแกรมเองหรือนำเข้ามาจากโปรแกรมอื่นๆ เช่น AutoCAD (*.DWG, *.DFX) โดยไม่ต้องแปลงไฟล์ เพราะในตัวโปรแกรม Mastercam รองรับไฟล์ CAD ได้ถึง 24 นามสกุล ไม่ว่าจะเป็นไฟล์โดยตรง เช่น AutoCAD, Solidworks, Inventor และอื่นๆ หรือประเภทไฟล์บางประเภทนามสกุล STEP, IGES, STL Parasolid และไฟล์อื่นๆ

ทั้งนี้สามารถทำงานได้กับเครื่องจักรทุกยี่ห้อไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรจากอเมริกา, ยุโรป, ญี่ปุ่น, ไต้หวัน เป็นต้นโดย Mastercam X5 มีจุดเด่นหลักๆ ที่ทำให้ User ต่างๆ เลือกใช้และชอบคือเรียนรู้ง่ายและเร็วสามารถทำงานกับเครื่องจักรต่างๆ ได้ง่าย, การทำงานไม่วุ่นวายซับซ้อนเป็น Software ที่ค่อนข้างเสถียรและคุณภาพงานที่ดีเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก

Mastercam X5 สามารถใช้ไฟล์งานจากโปรแกรมอื่นๆ ได้โดยตรง ได้แก่ IGES, Parasolid, SAT(ACISsolids), AutoCAD(DXF,DWG,Invertor), Solidworks, SolidEdge, STEP, EPS, CSDL, STL, VDA, ASCII, และยังสามารถเพิ่มเติมไฟล์อื่นๆ ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มไอคอนการแปลงค่า การแสดงผลมายัง Mastercam X5 ในโปรแกรม Solidworks, SolidEdge และ AutoCAD Invertor

2.8 ทฤษฎีเครื่องจักร ซี.เอ็น.ซี

ในปี ค.ศ. 1948 ที่สถาบัน M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) ได้ริเริ่มได้นำเอาคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของเครื่องจักรเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินซึ่งมีความละเอียดและซับซ้อนยากแก่การผลิต แต่ก่อนจะได้เครื่องจักรซีเอ็นซีนั้นได้พัฒนาเครื่องจักร

เอ็นซี (NC) ขึ้นก่อน เครื่องจักรเอ็นซี (Numerical Control) เป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยชุดรหัสควบคุมซึ่งรหัสนี้ประกอบไปด้วยตัวเลขและตัวอักษรและรหัสอื่นๆ ประกอบกันเป็นชุดคำสั่งและชุดคำสั่งเหล่านี้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ในเครื่องจักร

2.8.1 คำนิยามของการควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control)

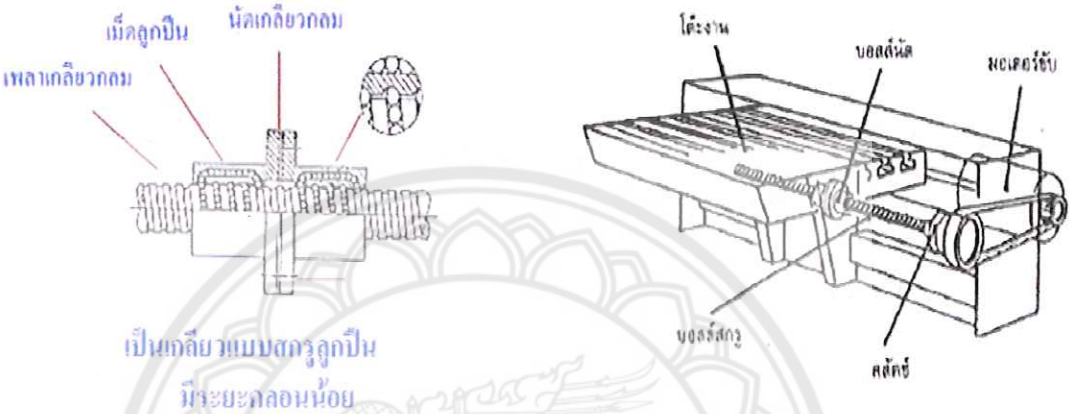
เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยตัวเลขเป็นเครื่องที่ทำงานตามโปรแกรมที่มีคำสั่งเชิงตัวเลขประกอบไปด้วยตัวเลขและตัวอักษรที่ป้อนผ่านหน่วยควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control Unit) ข้อกำหนดของชิ้นส่วน ซึ่งก็คือข้อมูลที่ปรากฏบนพิมพ์เขียวหรือแบบทางวิศวกรรมจะเริ่มพัฒนามาจากการแทนค่าในรูปของคณิตศาสตร์ จากนั้นทำเป็นข้อความทางคณิตศาสตร์บรรยายเส้นทางการทำงาน (Path) ที่สั่งให้เครื่องกลึงทำงานแล้วเปลี่ยนเป็นคำสั่งละเอียดที่แปลงรหัสตัวเลข (Numerical Code) รหัสคำสั่งนี้จะถูกอ่านและแปลค่าเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อใช้ควบคุมเครื่องต่อไปนอกเหนือจากเส้นทางการทำงานของเครื่องกลึงกับชิ้นงานแล้วคำสั่งเชิงตัวเลขอาจนำมาใช้ควบคุมความเร็วให้คงที่อัตราการป้อนสารหล่อเย็นและการเลือกมีดกลึงได้คำสั่งเหล่านี้จะบันทึกลงบนเทปเอ็นซีแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณซึ่งกระตุ้นให้ระบบกลไกทำงานไปตามกระบวนการของเครื่อง

2.8.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง (Machining Center)

2.8.2.1 ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) ชุดควบคุมของ (Machining Center) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมแก้ไขดัดแปลงได้คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำงานตามคำสั่งในโปรแกรมชุดควบคุมประกอบไปด้วยแผงควบคุม (Control Panel) จอภาพ (Monitor) แป้นพิมพ์ (Keyboard หรือ Keypad) และปุ่มสวิตซ์ควบคุมต่างๆ เช่น ความเร็วฟีด (Feed) และความเร็วสปินเดิล (Spindle) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.14

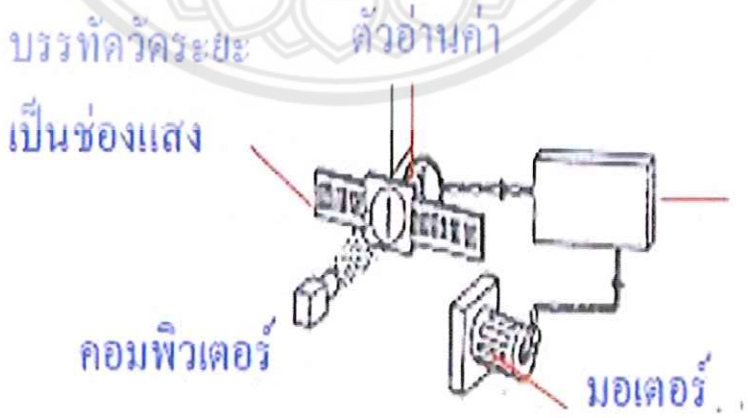
รูปที่ 2.14 รูปชุดควบคุมการทำงานต่างๆ
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.8.2.2 กลไกการเคลื่อนที่ ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็นโซโวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide Way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่างๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กลไกการเคลื่อนที่
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

สำหรับเครื่องที่ต้องการความแม่นยำสูงจะมีลิเนียร์สเกล (Linear Scale) เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้หรือเซนเซอร์ (Sensor) บอกตำแหน่งในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรของกลไกการเคลื่อนที่
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.8.2.3 ตัวเครื่องจักร โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลักเช่น

ก. แท่นเครื่อง (Machine Bed) เป็นโครงสร้างหลักของเครื่องจักร สำหรับรองรับอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร

ข. หมอนรอง หรือ แสดเดิล (Saddle) เคลื่อนที่ได้ 1 แกนบนแท่นเครื่อง เช่น แกน X หรือแกน Y

ค. โต๊ะ (Table) สำหรับวางชิ้นงานโดยทั่วไปโต๊ะเคลื่อนที่อยู่กับที่บนหมอนรอง มีร่องรูปตัวที (T-slot) สำหรับใช้ในการจับยึดชิ้นงานให้แนบติดกับโต๊ะโดยมีระนาบโต๊ะติดตั้งกับเสา

ง. เสา (Column) เป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้งสปินเดิล เครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์แนวตั้งรุ่นใหม่นิยมสร้างเป็นแบบเสาคู่ (Double Column) เพราะให้ความแม่นยำที่ดีกว่า

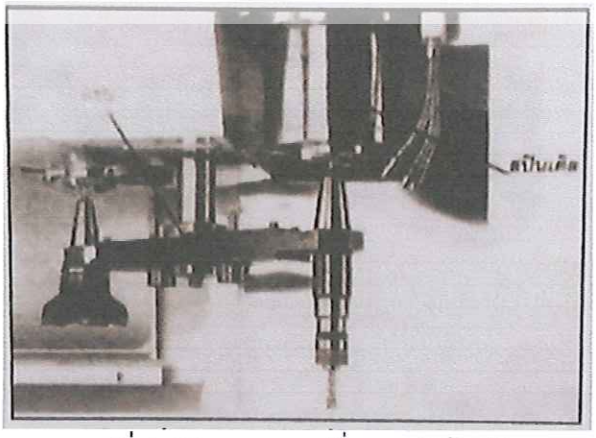
จ. สปินเดิล (Spindle) สำหรับติดตั้งชุดจับทูล แบบเทเปอร์แชงค์ (Tapered Shank) หรือแบบไฮสปีด (Hi Speed) โดยมีมอเตอร์สปินเดิล (Spindle Motor) ขับเคลื่อนสปินเดิลผ่านเกียร์หรือสายพานหรือต่อตรงรวมเป็นชุดเดียวกัน

2.8.2.4 อุปกรณ์เปลี่ยนทูลอัตโนมัติ (Automatic Tool Changer, ATC) ติดตั้งในเครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์แบบแนวตั้ง (Vertical Machining Center หรือ VMC) และแบบแนวนอน (Horizontal Machining Center) สามารถเปลี่ยนทูลจากที่เก็บทูล (Tool Storage) หรือทูลแมคมาซีน (Tool Magazine) ประเภทของ ATC สามารถแยกได้ดังนี้

ก. เป็นแบบโซ่ (Chain-Type)

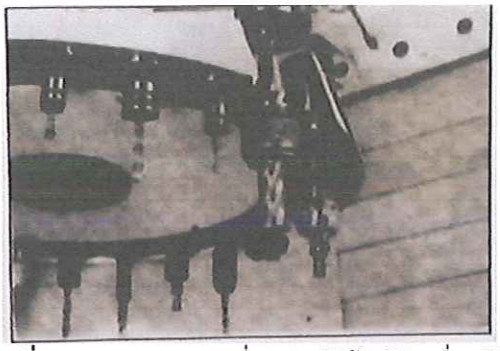
ข. แบบจานหมุน (Carousel-Type)

โดยแบบโซ่สามารถเก็บทูลได้จำนวนมากกว่าแบบจานหมุน ทั้งสองแบบจะมีแขนจับทูล (Tool Changing Arm) ระหว่างที่เก็บทูลและสปินเดิล บางรุ่นอาจจะไม่ต้องใช้แขนหรือเป็นแบบไร้แขน (Armless) ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18



รูปที่ 2.17 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ

ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)



รูปที่ 2.18 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติเครื่องกัด

ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.9 ความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability)

2.9.1 การหาความเชื่อมั่นแบบอิงกลุ่มโดยใช้ค่าความแปรปรวน

วิธีการของคูเดอร์ – ริชาร์ดสัน kuder – Richardson (ค.ศ. 1937) เป็นการหาความเชื่อมั่นโดยการใช้เครื่องมือ 1 ชุด ใช้ทดสอบเพียงครั้งเดียว และไม่ต้องแบ่งครึ่งแบบทดสอบโดยมีสมมติฐานที่ว่าข้อคำถามในเครื่องมือชุดเดียวกันจะวัดในองค์ประกอบเดียวกัน นั่นคือ เนื้อหาข้อคำถามและข้อภายในฉบับจะต้องมีความเป็นเอกพันธ์ ดังนั้น การหาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีการนี้จึงเป็นการวัดความสอดคล้องภายในเครื่องมือ (Internal Consistency)

2.9.1.1 สูตร KR – 21

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left[1 - \bar{X}\left\{\frac{K-\bar{X}}{KS_t^2}\right\}\right] \qquad (2.2)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

K หมายถึง จำนวนครั้งการทดลอง

$\bar{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย

S_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$S_t^2 = \frac{N\sum(x^2) - (\sum x)^2}{N^2} \qquad (2.3)$$

N หมายถึง จำนวนครั้งการทดลอง

X หมายถึง คะแนนเฉลี่ยของชิ้นงาน

2.9.2 เกณฑ์การแปลผล

ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมืออยู่ระหว่าง 0.00 – 1.00 ยิ่งใกล้ 1.00 ยิ่งมีความเชื่อมั่นสูง เกณฑ์การแปลผลความเชื่อมั่นมีดังนี้

0.00-0.20 ความเชื่อมั่นต่ำมาก

0.21-0.40 ความเชื่อมั่นต่ำ

0.41-0.70 ความเชื่อมั่นปานกลาง

0.71-1.00 ความเชื่อมั่นสูง

2.10 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด (Errors Measurement)

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

ความคลาดเคลื่อนอาจจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

2.10.1 ความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด (Gross Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขณะใช้เครื่องวัด เช่นการอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาด การบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องมือผิดวิธี

2.10.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ในกระบวนการใช้เครื่องมือวัดประกอบด้วย

2.10.2.1 ความคลาดเคลื่อนในเครื่องมือวัด (Instrument Errors) ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเสียดสีภายในเดือดกับแบริ่ง หรือการคายตัวหรือการตึงตัวสปริงก้นหอย สามารถลดได้โดยการบำรุงรักษา การควบคุมเครื่องวัดอย่างถูกวิธี

2.10.2.2 ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมขณะใช้เครื่องวัด เช่น บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือบริเวณที่มีความชื้นไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้การทำงานของเครื่องวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2.10.2.3 ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการสังเกตของผู้อ่านค่ามองไม่ตั้งฉากกับเข็มและสเกล การแก้ไข

ทำได้โดยการใช้กระจกหรือแถบสะท้อนแสงติดอยู่ในระนาบเดียวกับสเกล สำหรับการอ่านค่าที่ถูกต้องต้องมองเห็นเข็มกับภาพของเข็มทับซ้อนกันสนิท

2.10.3 ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ จะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้นสำหรับการคำนวณหาต้องใช้วิธีการทางสถิติ

วิธีหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด

กำหนดให้

e = ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด

Yn = ค่าที่แท้จริงของเครื่องวัด

Xn = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$e = Xn - Yn \tag{2.4}$$

นอกจากนี้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\text{Percent errors} = \frac{Xn - Yn}{Yn} \times 100 \tag{2.5}$$

2.11 อัตราการยืดหดตัวจากการฉีดพลาสติก

เมื่อพลาสติกถูกหลอมเหลวภายในกระบอกฉีดที่มีความร้อนจะทำให้พลาสติกขยายตัว หลังจากนั้นใช้แรงดันทำให้พลาสติกหดตัวลง และเมื่อเม็ดพลาสติกถูกหลอมเหลวและถูกทำให้เย็นลง แม่พิมพ์ก็จะหดตัวลงการการทำความเย็น และขยายตัวขึ้นจากการกำจัดแรงดัน เราเรียกความแตกต่างของปริมาตรว่า การยืดหดตัวจากการขึ้นรูปพลาสติก

ตารางที่ 2.4 ร้อยละการหดตัว

วัตถุดิบ	อัตราการหดตัว (ร้อยละ)
1) Polystyrene	2/1000 ~ 10/1000 (0.2~1.0)
2) Polystyrene ชนิดทนแรงกระแทก	2/1000 ~ 10/1000 (0.2~1.0)
3) Polyethylene ความหนาแน่นต่ำ	~ 30/1000 (~3.0)
4) Polyethylene ความหนาแน่นสูง	10/1000 ~ 40/1000 (1.0~4.0)
5) Polypropylene	8/1000 ~ 22/1000 (0.8~2.2)
6) Acrylnitrile - Butadien - Styrene (ABS)	3/1000 ~ 8/1000 (0.3~0.8)
7) Styrene - Acrylnitrile - Copolymerisate (SAN)	2/1000 ~ 6/1000 (0.2~0.6)
8) Polycarbonate	5/1000 ~ 8/1000 (0.5~0.8)
9) Polyacetate	15/1000 ~ 35/1000 (1.5~3.5)
10) Nylon 6	6/1000 ~ 20/1000 (0.6~2.0)
11) Acetatecellulose	4/1000 ~ 5/1000 (0.4~0.5)
12) Polyvinylchloride, PVC hard	1/1000 ~ 4/1000 (0.1~0.4)
13) Polyvinylchloride, PVC Soft	10/1000 ~ 50/1000 (1.0~5.0)
14) FRTP (SAN)	1/1000 ~ 3/1000 (0.1~0.3)
15) FRTP (PC)	1/1000 ~ 3/1000 (0.1~0.3)

ถึงแม้จะเป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน แต่ถ้าเงื่อนไขการฉีดแตกต่างกัน อัตราการหดตัวของพลาสติกย่อมแตกต่างกันด้วย เช่น อุณหภูมิภายในกระบอกฉีดสูง แรงดันฉีดต่ำ อัตราการหดตัวจะมีค่าสูง ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิภายในกระบอกฉีดต่ำ แรงดันสูงอัตราการหดตัวจะมีค่าต่ำ กล่าวโดยสรุปคืออัตราการหดตัวจะแตกต่างกันตามทิศทางการไหลและการบรรจบกันของพลาสติก การกระจายตัวของอนุภาคในพลาสติก รวมถึงความแตกต่างที่เกิดจากระดับการเย็นตัวลงจากความหนาของชิ้นงาน โครงสร้างของแม่พิมพ์ และลักษณะรูปทรงของชิ้นงานด้วย

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

การหดตัวของชิ้นงานจะคำนวณจากชิ้นงานทดสอบ

$$\text{อัตราการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \times 100 \qquad (2.6)$$

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks Version 2007

โปรแกรม Solidworks 2007 เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่จ้องเป็น Solid หรือ Surface เป็นแบบ 3 มิติ นำมาใช้ในการเขียนแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เหมาะสำหรับงานออกแบบเขียนแบบ

เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรมเขียนแบบและออกแบบ โดยศึกษาความรู้เบื้องต้นของ Solidworks 2007 หลักทั่วไปในการใช้และวิธีการใช้คำสั่ง Solidworks 2007 ในการออกแบบให้ได้แผ่นเบ้าแม่พิมพ์ขนาด 200×250×35 มิลลิเมตร และชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์

3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5

เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5 ในการเขียนแบบและแปลงโค้ด เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยศึกษาความรู้พื้นฐานของโปรแกรม Mastercam X5, โปรแกรมกัดงานในระบบ 3 แกน (3D Machianing Cycle) และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Mastercam X5

3.3 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

เป็นการศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 โดยศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องซีเอ็นซี, ระบบการทำงานของเครื่องซีเอ็นซี, การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี, ชุดควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซีและการกำหนดแนวแกนของเครื่องจักรซีเอ็นซี

3.4 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี

เป็นการปฏิบัติการใช้โปรแกรม Mastercam X5 ช่วยในการออกแบบและช่วยในการผลิตสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีในการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยการผลิตจะใช้เหล็กเกรด P20 เพราะเหมาะสมในการทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.5 ศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R

เป็นการศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R โดยศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องจักรกลไกระบบการทำงานการตั้งค่าต่างๆ และตัวแปลที่มีผลต่อการฉีด อุณหภูมิความร้อน เวลา แรงดันของเครื่องฉีกพลาสติก, ชุดควบคุมการเคลื่อนที่

3.6 ทดลองฉีดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์

ทำการทดลองฉีดแม่พิมพ์โดยทดลองกับเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R เพื่อให้แน่ใจว่าแม่พิมพ์สามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน และสามารถปลดชิ้นงานออกได้ ถ้าทำการทดลองฉีดแม่พิมพ์แล้วไม่สามารถปลดชิ้นงานออกหรือมีข้อผิดพลาดตรงไหนก็ทำการแก้ไขและปรับปรุงแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่สามารถฉีดและปลดชิ้นงานได้ โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก ของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

3.7 วิเคราะห์และสรุปผล

เป็นการวิเคราะห์และสรุปผลของการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และช่วยในการผลิต (CAM) สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีว่ามีข้อผิดพลาดและมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใดจากชิ้นงานที่ได้จากการฉีดพลาสติก

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน

จากการที่ได้ทำการคัดเลือกและศึกษาหัวข้อโครงงานที่จะดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ซึ่งได้ หัวข้อที่จะศึกษาคือ การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์รองแก้วน้ำ เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2007 ในการออกแบบ (CAD) ซึ่งได้ทำการออกแบบเป็นรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม Mastercam X5 เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่สร้างทางเดินของมีด, สร้าง NC-Code (CAM) ใช้เครื่อง ซีเอ็นซี (CNC) รุ่น Mazak FJV-250 สร้างรูปชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ และใช้เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY50R ในการฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นงาน

4.2 การคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

การคำนวณและกัดอิมเพรสชั่นเพิ่มเติมโดยกัดตามขนาดที่ได้จากค่าคำนวณ ค่าการหดตัวของพลาสติกพอลิพรอพีลีน (PP) อยู่ที่ 0.8-2.2 (ตารางที่ 2.4 หน้า 26)

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

$$\text{อัตราการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \qquad (4.1)$$

(ที่มา: พงศ์ศักดิ์ วงรัศมีทอง บทความเรื่อง การศึกษาการหดตัวของพลาสติกหลังการขึ้นรูป และอัตราการตกผลึกของ Cristalline Polymer ที่มีผลต่อการแข็งตัวของชิ้นงาน)

สูตรคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

ขนาดของแม่พิมพ์ = ขนาดของชิ้นงาน + (ขนาดของชิ้นงาน × เปอร์เซ็นต์การหดตัว) (4.2)

(ที่มา: ผศ.ประสงค์ ก้านแก้ว บทความเรื่อง เปรียบเทียบค่าการหดตัวของพลาสติก)

4.3 การศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks

การออกแบบแม่พิมพ์โดยเลือกใช้โปรแกรม Solidworks 2007 นั้นเป็นโปรแกรมที่สามารถออกแบบในรูป 3 มิติ เสมือนจริง และสามารถสร้างรูป 2 มิติ กำหนดรายละเอียดให้โดยอัตโนมัติ และโปรแกรมนี้เป็นที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีตัวเลือกและฟังก์ชั่นต่างๆ มากมาย ดังนั้นจึงได้เลือกใช้โปรแกรม Solidworks 2007 ในการเขียนชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

4.3.1 โปรแกรม solidworks

4.3.1.1 เป็นการออกแบบงานที่เข้าใจง่ายเพราะแสดงภาพเป็นแบบ 3 มิติ เสมือนจริง

4.3.1.2 ลดข้อผิดพลาดจากการออกแบบก่อนการผลิตจริงเพราะสามารถเห็นภาพจริงก่อนการผลิตจริง รวมทั้งสามารถทดสอบการทำงานทางกายภาพได้บนจอคอมพิวเตอร์ สามารถทราบน้ำหนักปริมาตร รวมถึงความเป็นไปได้ในเชิงวิศวกรรมได้ทันที

4.3.1.3 การทำ Detail Drawing สะดวกรวดเร็วขึ้นเพราะ Solidworks (Software 3D) สามารถสร้าง 2D Detail Drawing ให้โดยอัตโนมัติ

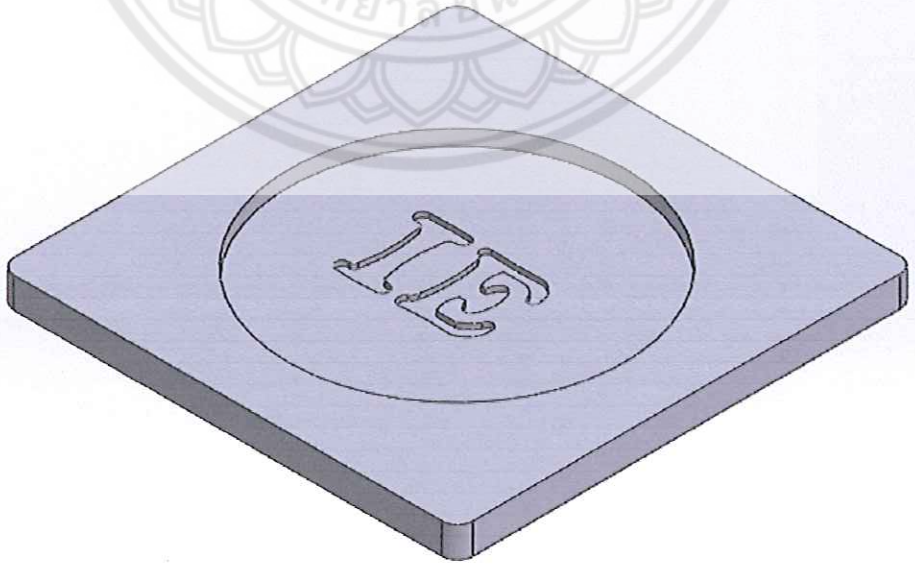
4.3.1.4 เป็นเรื่องพื้นฐานในการนำชิ้นงานไปใช้ใน Application ต่อเนื่อง เช่น Mold Design, Cam Design ตลอดจนสร้าง Toolpaths ในการบังคับเครื่อง CNC ทำการกัดงานจริงออกมา

4.3.1.5 Solidworks (3D) ทำให้งานออกแบบเร็วขึ้นกว่าการใช้ 2D มากกว่า 50% พร้อมทั้งคุณภาพดีกว่าอีกด้วย

4.3.1.6 เป็นโปรแกรมที่หาใช้ได้ง่าย เป็นที่นิยมในงานออกแบบ

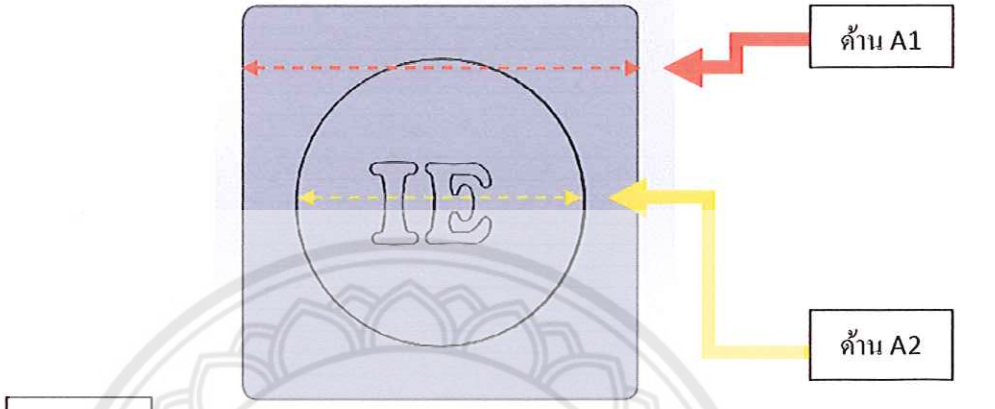
4.3.2 การออกแบบชิ้นงาน

ในการทำการทดลองกำหนดให้การหดตัวของชิ้นงานอยู่ที่ 2% เมื่อทำการออกแบบชิ้นงานแล้วขนาดของด้านต่างๆของชิ้นงานจะต้องทำการเพิ่มขนาดอีก 2% ของขนาดของชิ้นงานที่ต้องการเพื่อทำการออกแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 4.1 ชิ้นงาน

เมื่อออกแบบชิ้นงานที่ต้องการแล้ว ทำการคำนวณค่าการหดตัวของพลาสติก เพื่อทำการออกแบบแม่พิมพ์ ทั้งนี้ผู้จัดทำโครงงานกำหนดให้ ทำการวัดขนาดของด้าน A1, B1, A2 และ B2 ใช้ในการคำนวณหาค่าการหดตัวของพลาสติกเพื่อใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 วัดขนาดความกว้างของชิ้นงาน

รูปที่ 4.3 วัดขนาดความหนาของชิ้นงาน

ทำการวัดขนาดตามด้านที่กำหนดก่อนการเพิ่มค่าการหดตัวของชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของชิ้นงาน

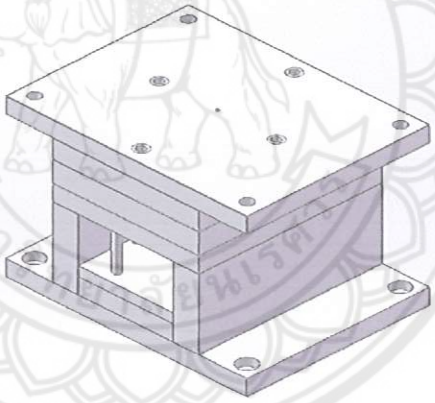
	ขนาดของชิ้นงาน (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
ขนาดชิ้นงาน	88	6	64	2.8

เมื่อได้ขนาดของชิ้นงานแล้วก่อนการออกแบบแม่พิมพ์ต้องเพิ่มค่าการหดตัวของชิ้นงาน อีก ร้อยละ 2 จึงจะสามารถออกแบบแม่พิมพ์ได้ ดังตารางที่ 4.2

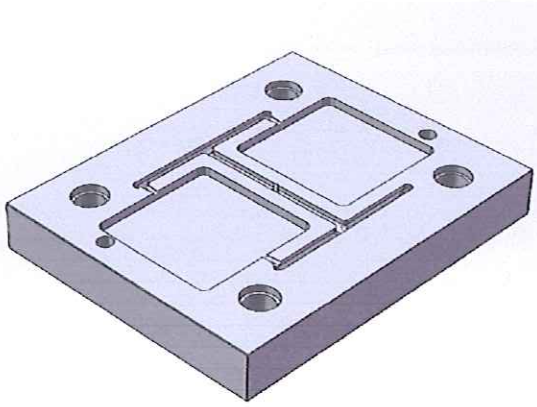
ตารางที่ 4.2 ขนาดของชิ้นงานเมื่อเพิ่มค่าการร้อยละ 2

	ขนาดของชิ้นงานเมื่อเพิ่มค่าการหดตัวร้อยละ 2 (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
ขนาดชิ้นงาน	90	6.13	66	3

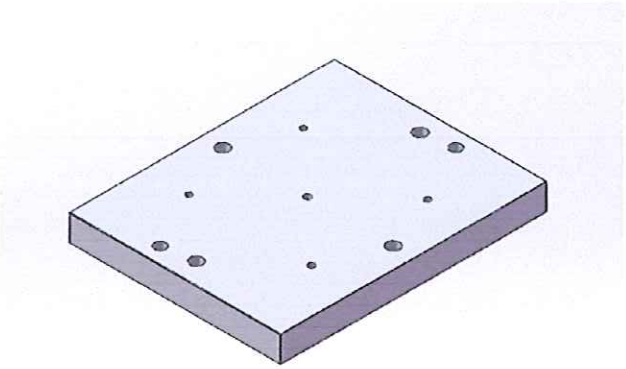
4.3.3 การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์โดยใช้ Solidworks



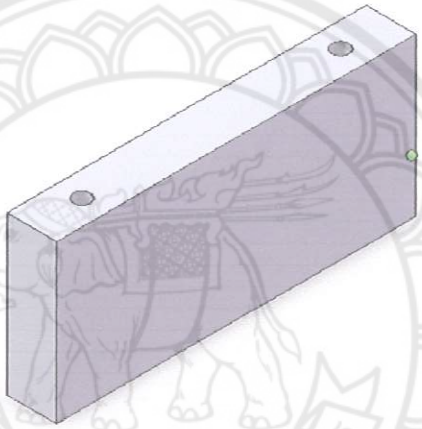
รูปที่ 4.4 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์



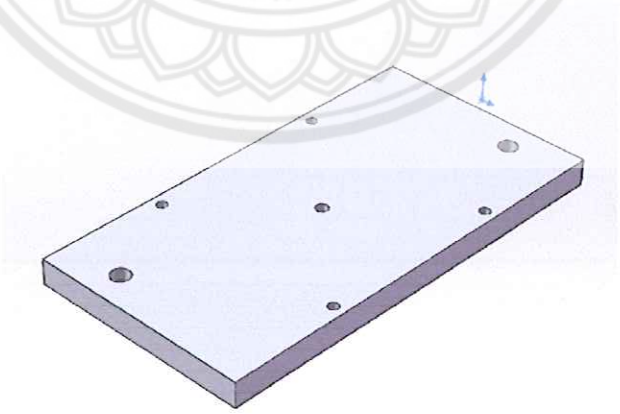
รูปที่ 4.5 แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่



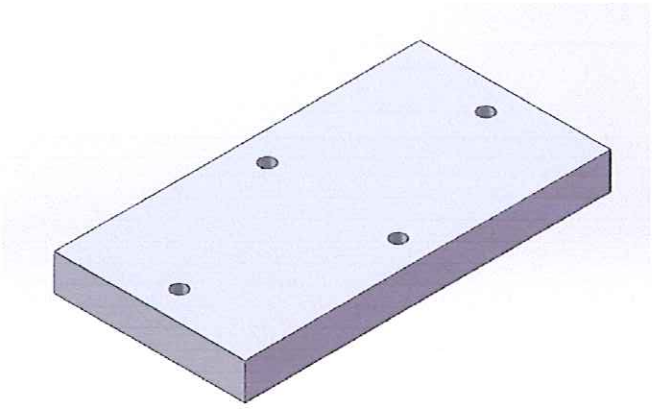
รูปที่ 4.6 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่



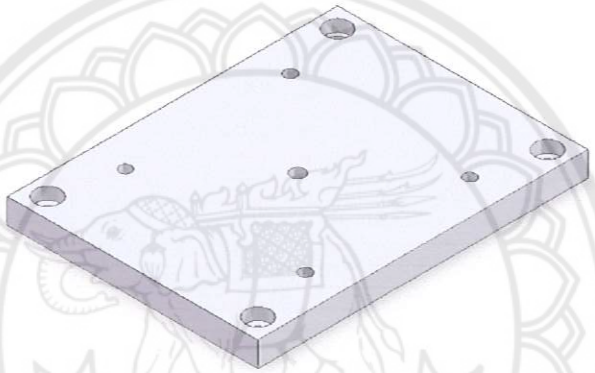
รูปที่ 4.7 แผ่นรองอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา



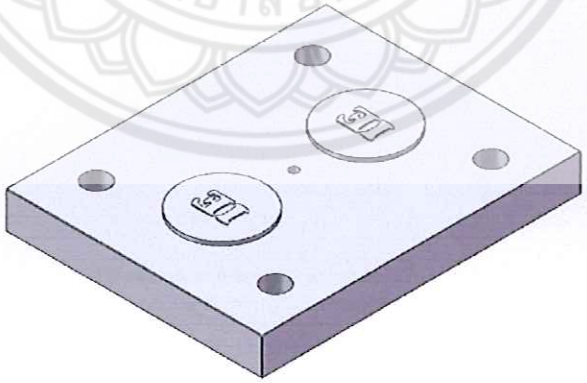
รูปที่ 4.8 แผ่นดันปลดชิ้นงาน



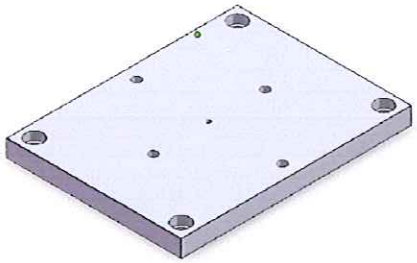
รูปที่ 4.9 แผ่นยึดแผ่นดันปลดชิ้นงาน



รูปที่ 4.10 แผ่นยึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่



รูปที่ 4.11 แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่



รูปที่ 4.12 แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่

รูปที่ 4.13 เพลานำ

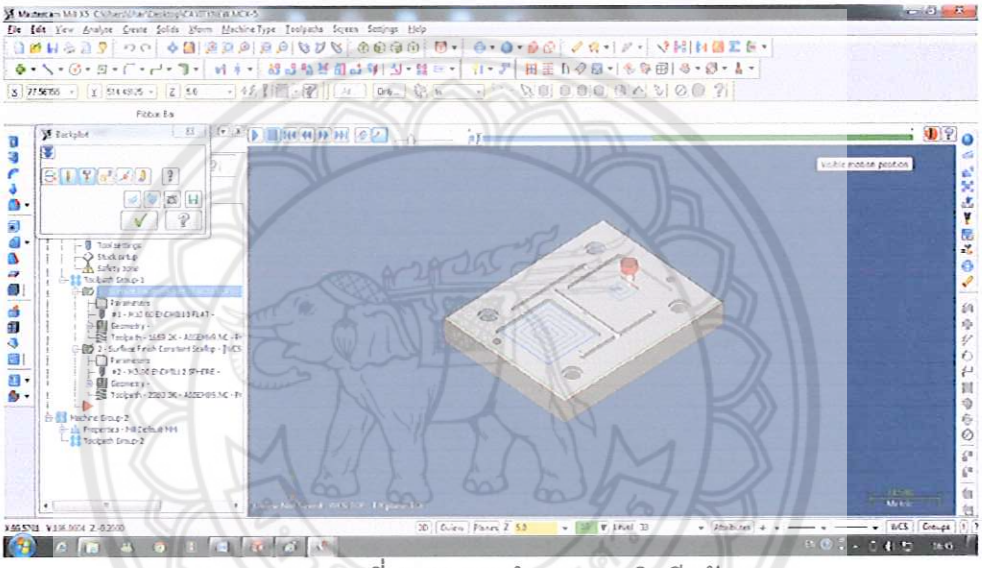
รูปที่ 4.14 สลักดันกลับ

รูปที่ 4.15 สลักปลดชิ้นงาน

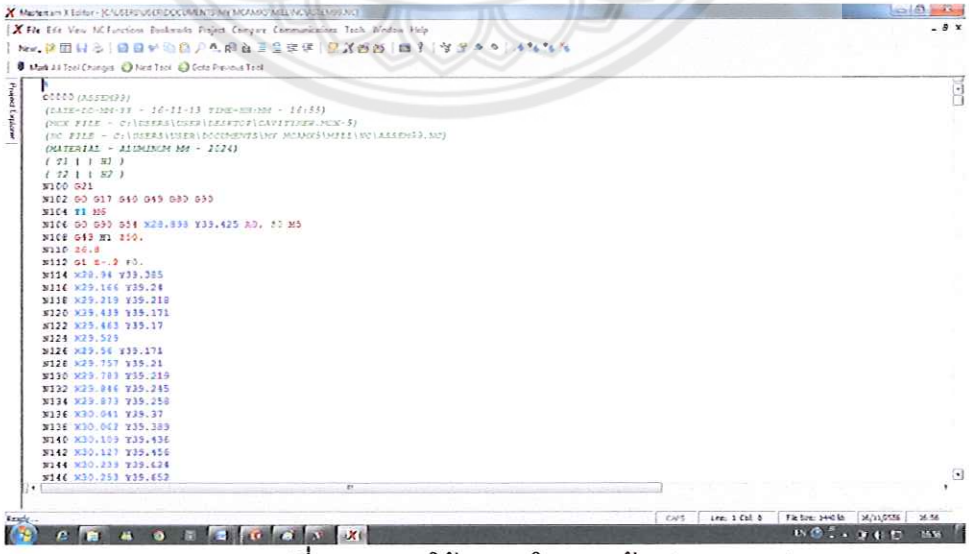
รูปที่ 4.16 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด

4.4 การศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X5

Mastercam X5 เป็นโปรแกรมช่วยในการสร้าง Toolpath ทางเดินมีดกัด และสามารถ Simulate จำลองการเคลื่อนที่หาข้อบกพร่อง เพื่อปรับเปลี่ยนค่า Parameter ให้มีความแม่นยำในการกัดได้ดีและ Generate Code (NC-Code) ให้มีความแม่นยำในการกัดชิ้นงาน โดยปกติแล้ว Solidworks จะ Save File เป็นสกุล (*.prt, *.sldprt) จึงต้องเปลี่ยนสกุลให้เป็น (*.stp) เพื่อนำไปใช้งานกับ Mastercam และสร้าง Toolpath เพื่อ Generate Code (NC-Code) ดังรูปที่ 4.17 ใช้กับเครื่อง CNC ให้กัดชิ้นงานเป็นรูปที่ออกแบบไว้ตามต้องการ และโปรแกรม Mastercam นี้ยังสามารถรับไฟล์ CAD ได้ถึง 24 สกุล ไม่ว่าจะเป็นไฟล์โดยตรง เช่น AutoCAD, Inventor และอื่นๆ



รูปที่ 4.17 การจำลองทางเดินมีดกัด



รูปที่ 4.18 การใช้ CAM ในการสร้าง (NC-Code)

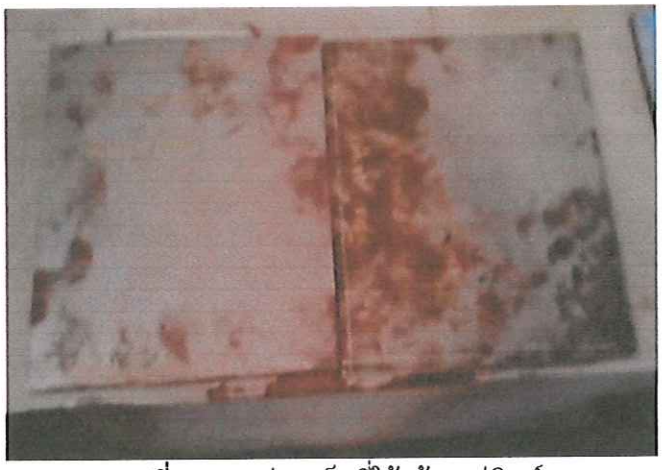
4.5 การใช้งานเครื่องซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

เนื่องจากเครื่องกัดซีเอ็นซีในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการไม่สามารถใช้งานได้ ทางผู้ดำเนินโครงงานทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 ดังรูปที่ 4.19 ของสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน ซึ่งเป็นเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน โดยจะกัดชิ้นงานครั้งละ 1 ชิ้น

รูปที่ 4.19 เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

4.5.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้จากเครื่องกัดซีเอ็นซี

การปฏิบัติการใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีสามารถผลิตงานแม่พิมพ์ได้ทุกแผ่นดังรูปที่ 4.20 แต่ทุกแผ่นที่จะกัดควรจะต้องเตรียมแผ่นเหล็กให้มีความเรียบด้วยการเจียรปาดหน้าให้ได้ขนาดตามต้องการก่อนโดยการเจียรนัยราบ ดังรูปที่ 4.21 เนื่องจากผิวแม่พิมพ์ที่ได้จากการกัดซีเอ็นซีจะมีรอยทางเดินมีด เมื่อนำแม่พิมพ์ไปขึ้นรูปฉีดพลาสติกออกมา ชิ้นงานจะเกิดรอยครีบ ทำให้ต้องเสียเวลาต้องตกแต่งชิ้นงานมาก แล้วนำเหล็กไปกัดในเครื่องซีเอ็นซีดังรูปที่ 4.22 และ 4.23 เมื่อกัดชิ้นส่วนต่างๆ เสร็จ นำมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้แม่พิมพ์สำเร็จรูป ดังรูปที่ 4.24

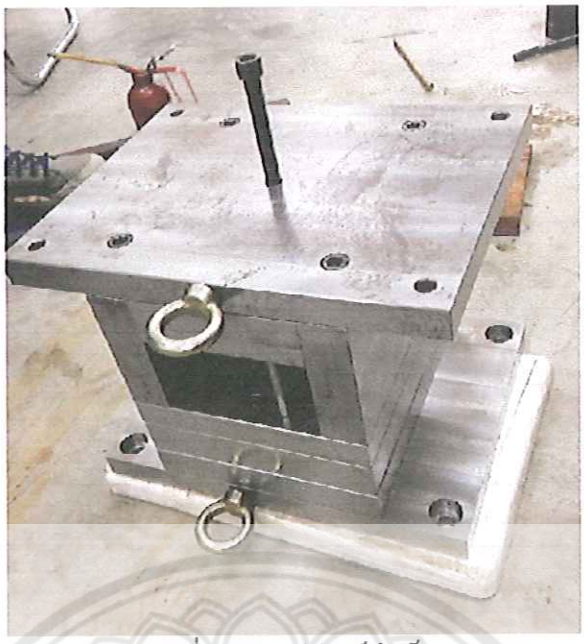


รูปที่ 4.20 แผ่นเหล็กที่ใช้สร้างแม่พิมพ์

รูปที่ 4.21 แม่พิมพ์ที่ผ่านการเจียรไนราบ

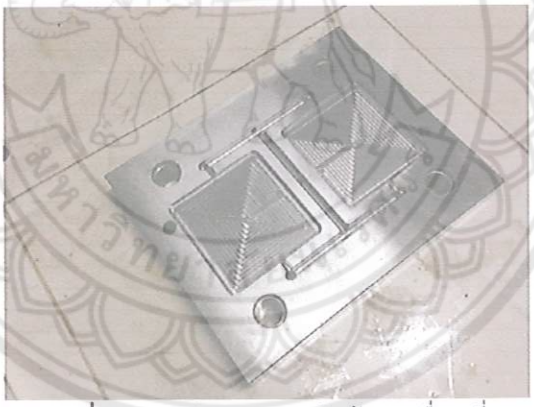
รูปที่ 4.22 แม่พิมพ์ที่เข้าเครื่องกัดซีเอ็นซี

รูปที่ 4.23 แม่พิมพ์ที่เข้าเครื่องกัดซีเอ็นซี

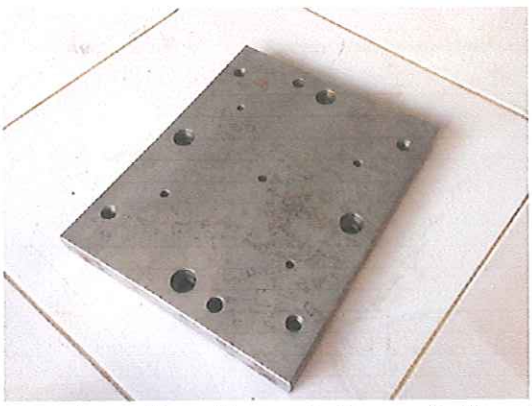


รูปที่ 4.24 แม่พิมพ์สำเร็จ

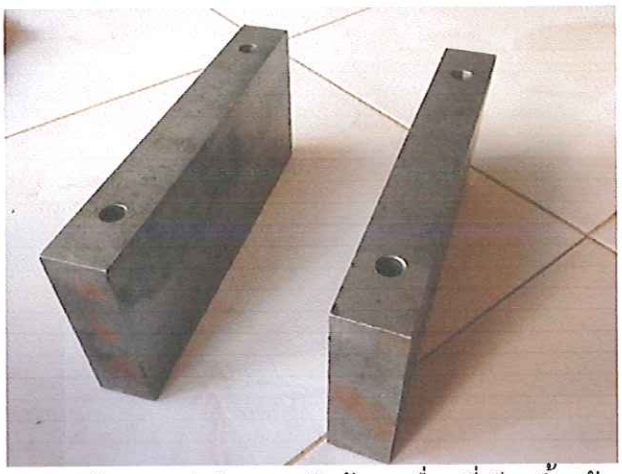
4.6 ชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ 4.25 แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่

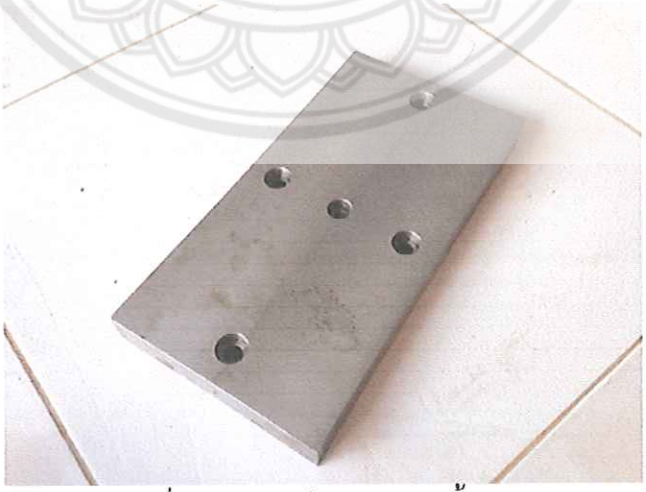


รูปที่ 4.26 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่

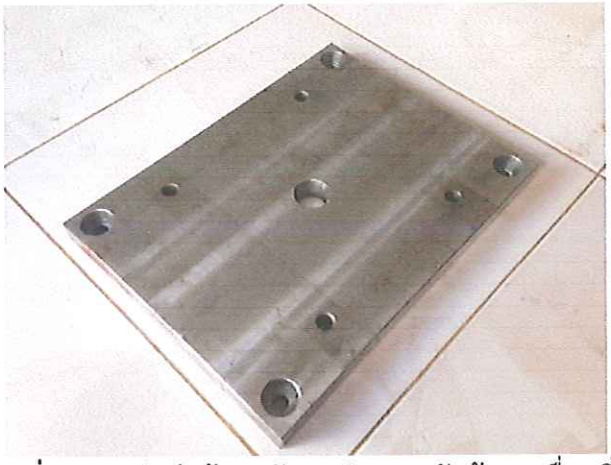


รูปที่ 4.27 แท่นรองแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย-ขวา

รูปที่ 4.28 แผ่นดันปลดชิ้นงาน

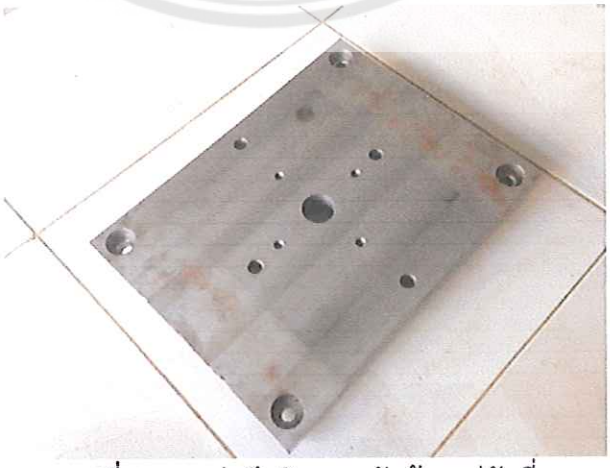


รูปที่ 4.29 แผ่นยึดตัวดันปลดชิ้นงาน



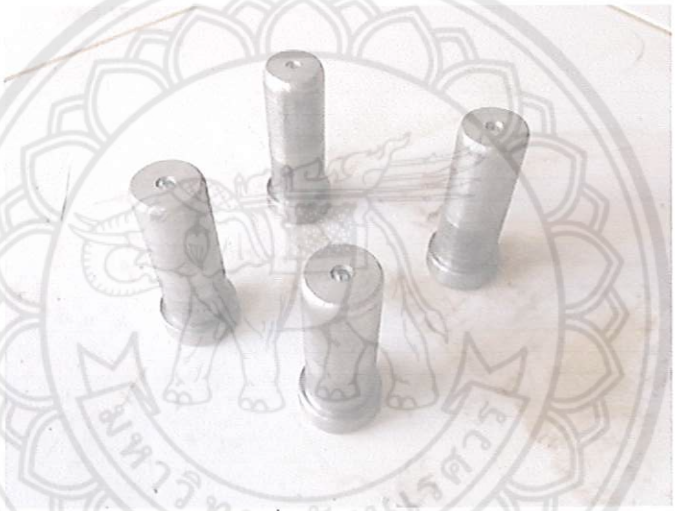
รูปที่ 4.30 แผ่นยึดด้านหลังของอิมเพรสชันด้านแคลื่อนที่

รูปที่ 4.31 แผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่



รูปที่ 4.32 แผ่นยึดอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่

รูปที่ 4.33 ปลอกนำฉีด



รูปที่ 4.34 เพลานำ

รูปที่ 4.35 สลักดันกลับ

รูปที่ 4.36 สลักปลดชิ้นงาน

รูปที่ 4.37 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด

นำชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้แม่พิมพ์สำเร็จรูป

รูปที่ 4.38 แม่พิมพ์สำเร็จ

4.7 การศึกษาเครื่องฉีดพลาสติกและการฉีดแม่พิมพ์ในเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY50R

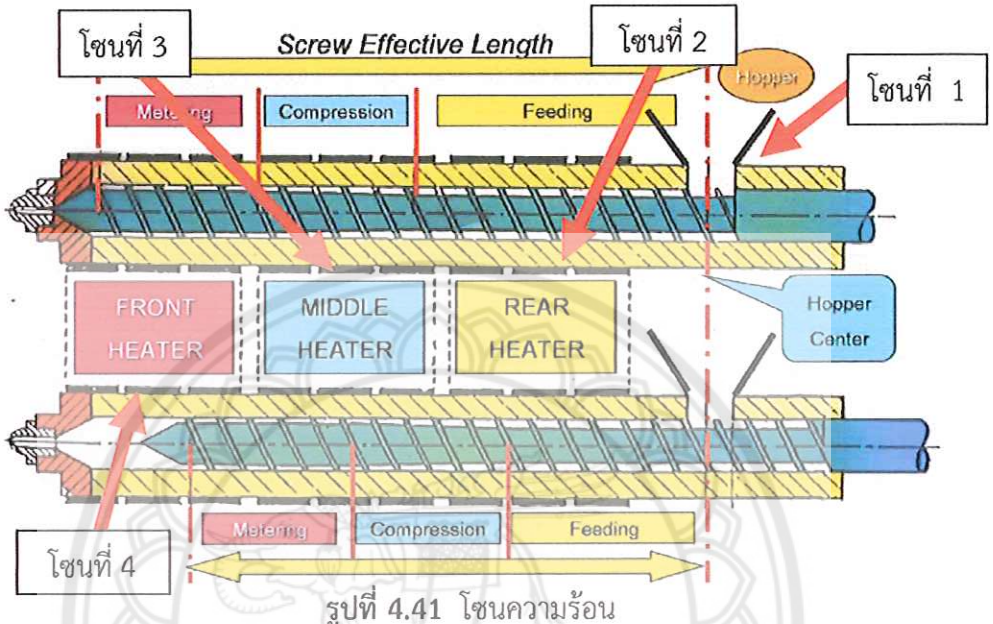
หลังจากที่ได้ประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเสร็จสมบูรณ์แล้ว นำไปเข้าเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY50R ณ ห้องปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ดังรูปที่ 4.39

รูป 4.39 เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R

รูป 4.40 ติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50R

4.7.1 ขั้นตอนการฉีดพลาสติกและการปรับตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติก

4.7.1.1 อุณหภูมิชุดหัวฉีดที่จะใช้จะตั้งอยู่ที่ โซนที่ 1 คือ 210 องศาเซลเซียส โซนที่ 2 คือ 230 องศาเซลเซียส โซนที่ 3 คือ 220 องศาเซลเซียส โซนที่ 4 คือ 210 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 โซนความร้อน

ที่มา: http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=bright-brave&date=01-10-2011&group=3&gblog=4

4.7.1.2 ระยะชักของแม่พิมพ์จะตั้งอยู่ที่ 260 มิลลิเมตร

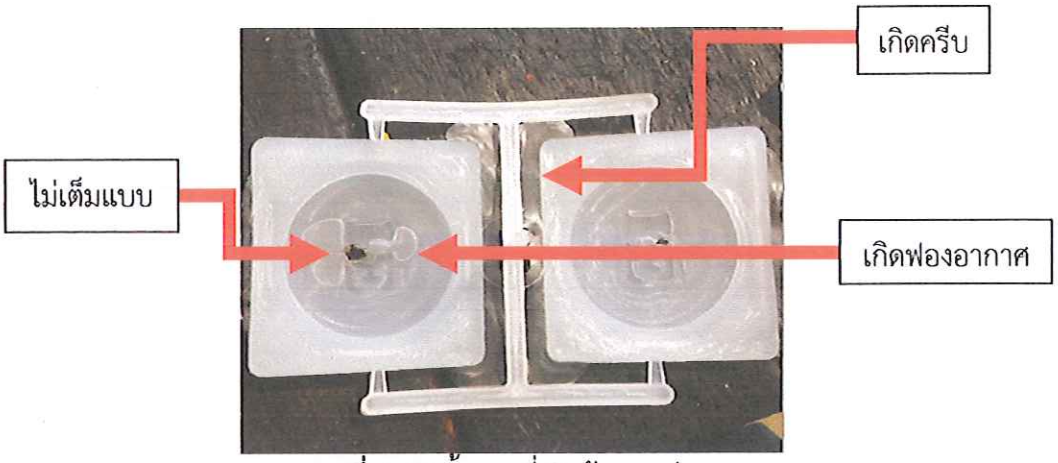
4.7.1.3 แรงในการฉีดจะตั้งอยู่ที่ 1500 bar

4.7.1.4 อุณหภูมิหัวฉีด 210 องศาเซลเซียส

4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง และการแก้ปัญหา

จากการศึกษาการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและเหล็กที่นำมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2007 ในการออกแบบชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ ใช้โปรแกรม Mastercam X5 ในการจำลองการกัด ใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีในการกัดชิ้นงาน เครื่องมือต่างๆ ในการผลิตแม่พิมพ์ และใช้เครื่องฉีดพลาสติกในการฉีดพลาสติก

ซึ่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใช้งานได้จริง และเมื่อฉีดออกมาพบว่า ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดเกิดข้อบกพร่องคือ พลาสติกอัดเข้าไม่เต็มแบบและมีฟองอากาศในชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง

4.8.1 วิเคราะห์ปัญหาที่พลาสติกไม่เต็มแบบและมีฟองอากาศ

4.8.1.1 เกิดฟองอากาศเพราะแม่พิมพ์ไม่มี Air-vent

4.8.1.2 ทางเข้าของน้ำพลาสติกอยู่ไกลทำให้เนื้อพลาสติกไม่เต็มแบบ

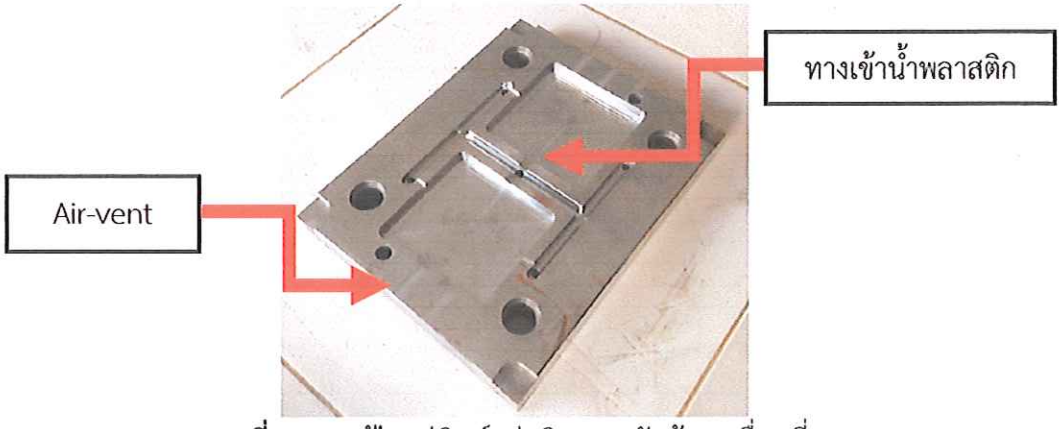
4.8.1.3 เกิดรอยเชื่อมประสานของเนื้อพลาสติก บริเวณตัวอักษร IE

4.8.1.4 เกิดครีบ

4.9 แก้ไขแม่พิมพ์และทดสอบฉีดพลาสติก

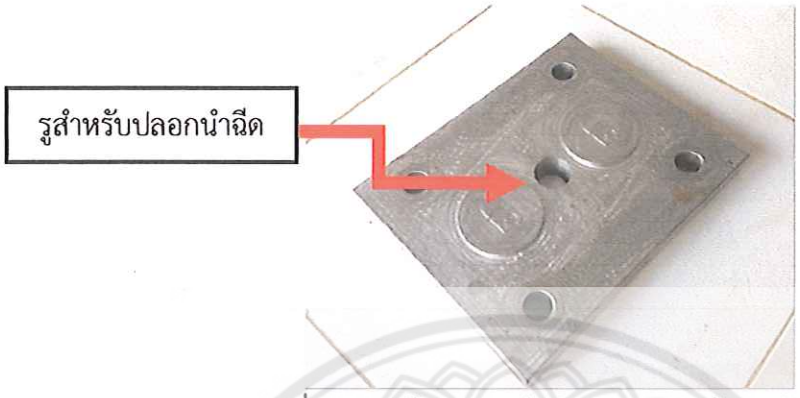
4.9.1 การแก้ไขแม่พิมพ์

4.9.1.1 ทำการแก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่โดยการเปิดรู Runner เพิ่มให้มีทางเข้าจากรูฉีดเข้าชิ้นงานโดยตรงเพื่อแก้ปัญหาการฉีดพลาสติกเข้าไม่เต็มแบบ พร้อมป้องกันการเกิดรอยเชื่อมประสานของเนื้อพลาสติก (Weld line) และเซาะร่องเพิ่มเพื่อระบายอากาศป้องกันการเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.43



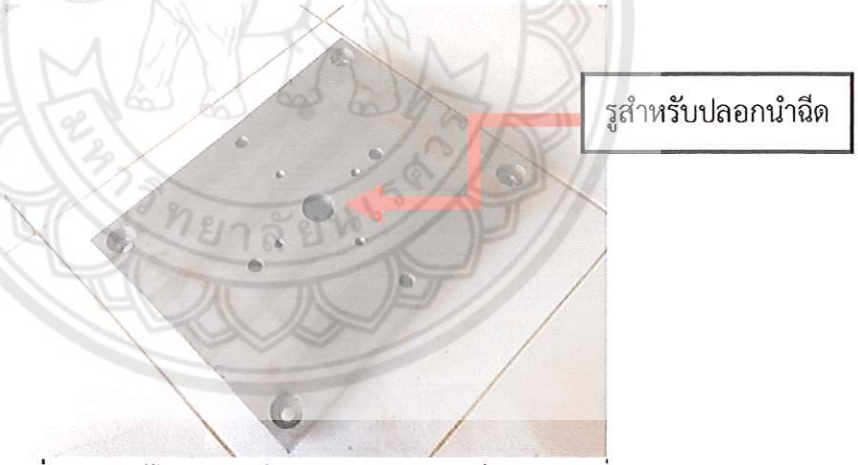
รูปที่ 4.43 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่

4.9.1.2 ทำการแก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชั่นด้านอยู่กับที่ โดยการเพิ่มรูสำหรับปลอกนำฉีด (Sprue Bush) ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่

4.9.1.3 ทำการแก้ไขแม่พิมพ์แผ่นยึดอิมเพรสชั่นด้านอยู่กับที่ โดยการเพิ่มรูสำหรับปลอกนำฉีด (Sprue Bush) เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับเครื่องฉีดพลาสติกได้หลายรุ่นโดยการเปลี่ยนปลอกนำฉีด ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 แก้ไขแม่พิมพ์แผ่นยึดอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่

4.9.2 ทดลองฉีดพลาสติก

โดยตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกตามเดิม ผลของการทดลองฉีดที่ได้จากการแก้ไขแม่พิมพ์ ทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.46 และ 4.47

รูปที่ 4.46 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด

รูปที่ 4.47 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดอย่างสมบรูณ์

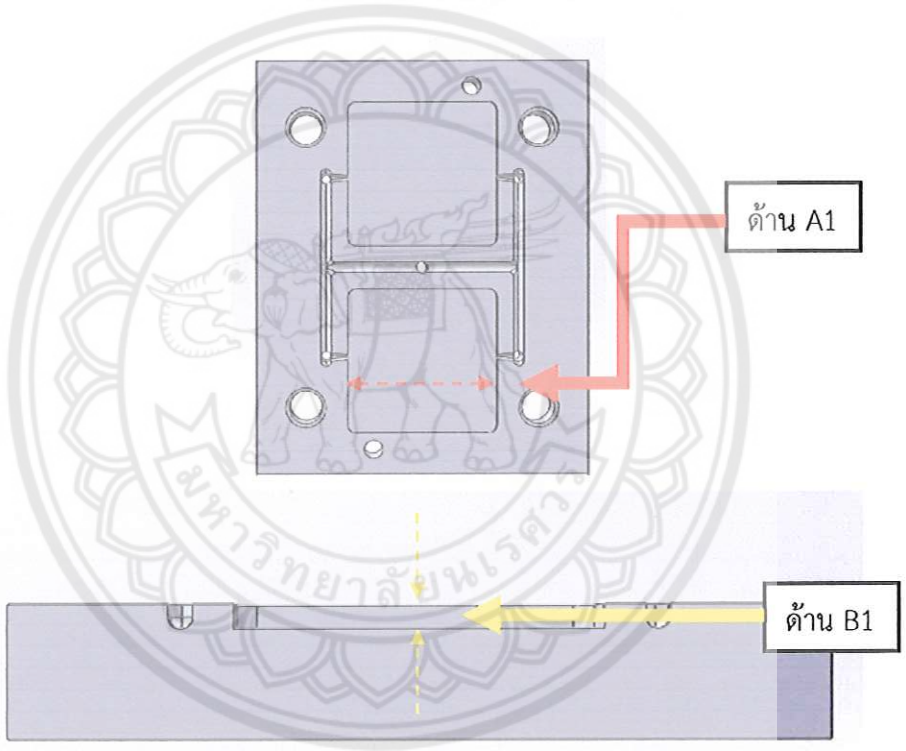
รูปที่ 4.48 ชิ้นงานที่รองแก้ว

4.10 วิเคราะห์ผลการทดลองขึ้นรูปแม่พิมพ์

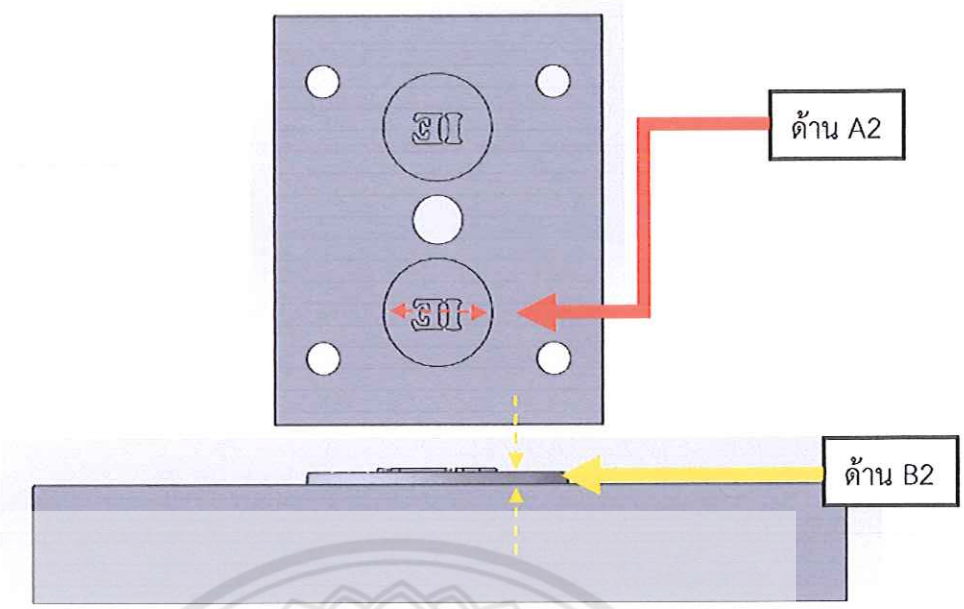
4.10.1 วิเคราะห์ขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว

เป็นการวิเคราะห์ขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้วว่าจากการที่ได้ทำการออกแบบไว้โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2007 นำแบบที่ได้ไปกัดได้แม่พิมพ์ออกมา แล้วทำการทดลองฉีดพลาสติกได้ชิ้นงานที่รองแก้วออกมานั้นมีขนาดเท่ากันทั้ง 3 ส่วนหรือไม่

4.10.1.1 การวัดขนาดแบบ วัดขนาดของแบบก่อน เพราะเป็นขั้นตอนแรกในการทำแม่พิมพ์ ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A และด้าน B ดังรูปที่ 4.49 และ 4.50 โดยแสดงค่าในตาราง 4.1



รูปที่ 4.49 วัดขนาดแบบแผ่นอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่



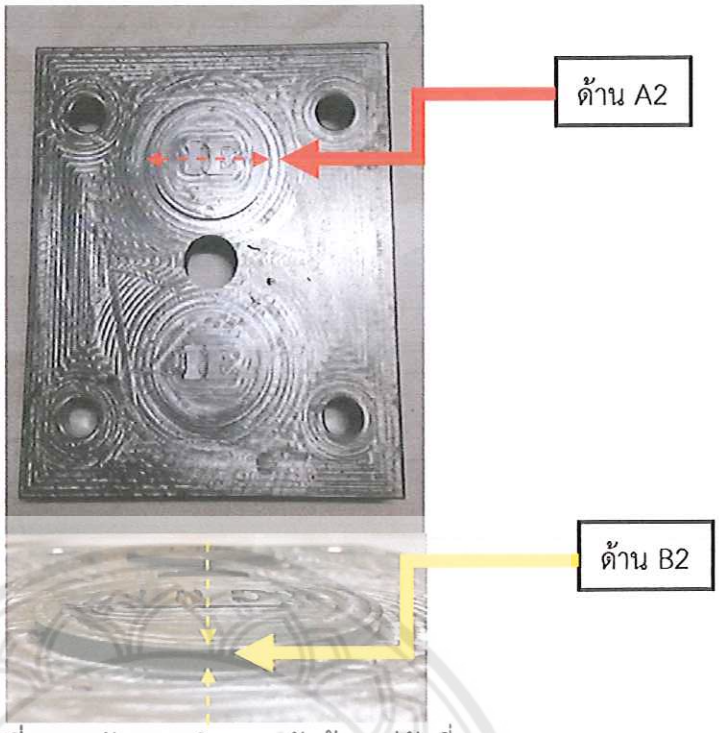
รูปที่ 4.50 วัดขนาดแบบแผ่นอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่

หมายเหตุ: ด้าน A1 และด้าน B1 เป็นเส้นขอบแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่
ด้าน A2 และด้าน B2 เป็นเส้นขอบของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านอยู่กับที่

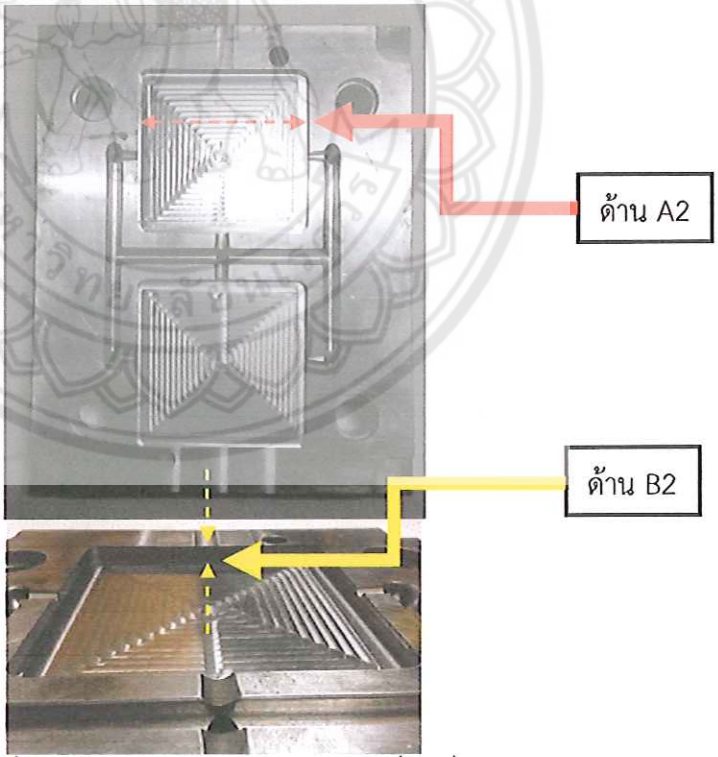
ตารางที่ 4.3 ขนาดของแบบ

รูปที่	ขนาดของแบบ (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
	90.00	6.13	66.00	3.00

4.10.1.2 การวัดขนาดแม่พิมพ์ทำการวัดขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้จากแบบที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำไปทำการกัดมาจากเครื่องจักรซีเอ็นซีได้แม่พิมพ์ออกมา ขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้จะตรงตามแบบที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ ต้องทำการวัดขนาดอีกครั้ง ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A และด้าน B ดังรูปที่ 4.47 และ 4.48 โดยแสดงค่าในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.51 วัดขนาดอิมเพรสชันด้านอยู่กับที่



รูปที่ 4.52 วัดขนาดอิมเพรสชันด้านเคลื่อนที่

หมายเหตุ: เส้นสีเหลือง คือ ความหนา

เส้นสีแดง คือ ความกว้าง

ตารางที่ 4.4 ขนาดแม่พิมพ์

ชิ้นงานที่	ขนาดแม่พิมพ์ (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
1	91.00	6.22	66.00	3.3
2	91.00	6.22	66.00	3.3
Average	91.00	6.22	66.00	3.3

4.10.1.3 การวัดขนาดชิ้นงานที่รองแก้วจากที่ได้ทำการวัดขนาดของแบบ, ของแม่พิมพ์ แล้วก็มาทำการวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดพลาสติกว่ามีขนาดเท่ากับแบบและแม่พิมพ์หรือไม่ ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A และด้าน B ดังรูปที่ 4.49 และ 4.50 โดยแสดงค่าในตารางที่ 4.3 แล้วได้ทำการทดลองฉีดพลาสติกที่รองแก้วจำนวน 120 ครั้ง เพื่อมาทำการวัดขนาด โดยคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นจากการทดลองฉีดจำนวน 120 ครั้งมีค่าความเชื่อมั่นสูงพอหรือไม่

สูตร KR – 21

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left[1 - \overline{X}\left\{\frac{K-\overline{X}}{KS_t^2}\right\}\right] \qquad (4.3)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

K หมายถึง จำนวนครั้งการทดลอง

$\overline{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย

s_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

$$s_t^2 = \frac{N\sum(x^2)-(\sum x)^2}{N^2} \qquad (4.4)$$

เมื่อ N หมายถึง จำนวนครั้งการทดลอง

X หมายถึง ผลรวมของคะแนนแต่ละชิ้นงาน

วิธีทำ K = 120, $\bar{X}$ = 1.36, N = 120, X = 19161.30, X^2 = 3060675

$$s_t^2 = \frac{120(3060675)-(19161.30)^2}{120^2} \quad (4.5)$$

= 8.73

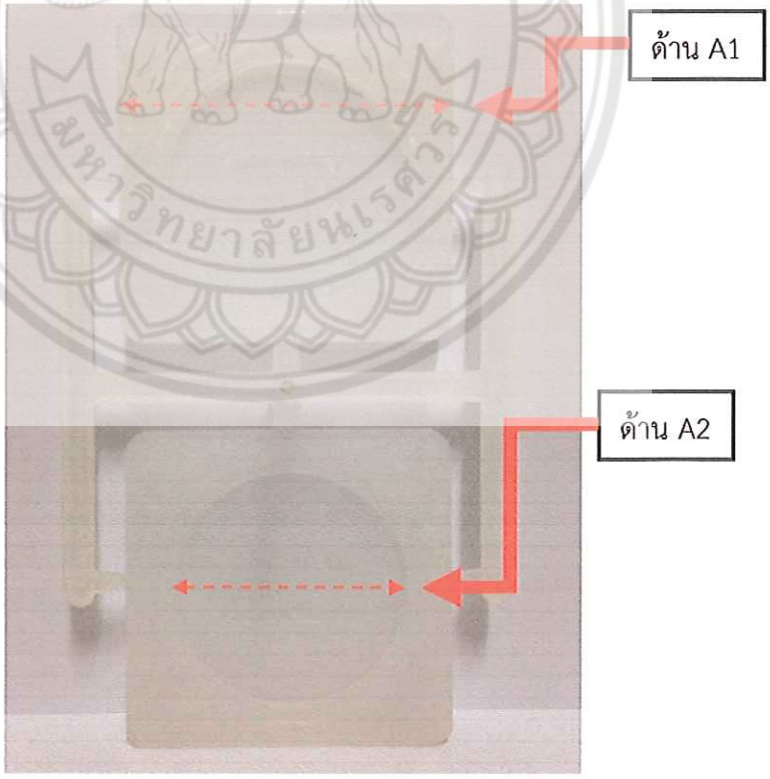
$$r_{tt} = \frac{120}{120-1}\left[\ 1 - 1.36\ \ \left\{\frac{120-1.36}{120x8.73}\right\}\right] \quad (4.6)$$

= 0.85

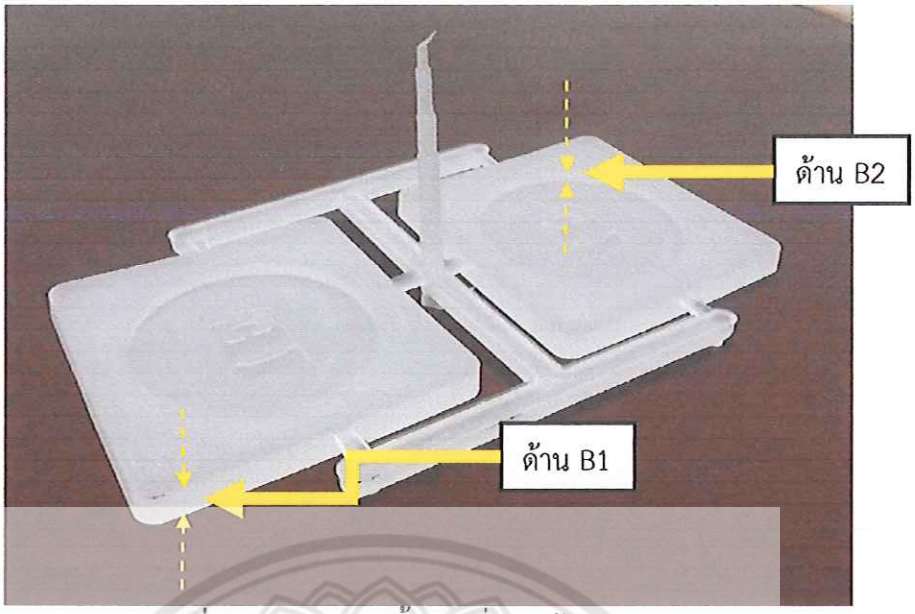
นั่นคือ การทดลองนี้มีความเชื่อมั่น 0.85

แปลความหมายได้ว่า ค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 การทดลองนี้มีความเชื่อมั่นในระดับสูง (หน้า 26)

ดั้งนั้น การทดลองฉีดพลาสติกจำนวน 120 ครั้ง จึงเพียงพอสำหรับการมาวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับขนาดของแบบและขนาดของแม่พิมพ์



รูปที่ 4.53 ขนาดของชิ้นงานที่รองแก้ว A1, A2



รูปที่ 4.54 ขนาดของชิ้นงานที่รองแก้ว B1, B2

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยจากการวัดขนาดชิ้นงาน จากภาคผนวก

	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
Average	89.47	6.06	64.73	3.13
Max	90.00	6.15	65.00	3.22
Min	86.89	6.00	64.22	3.00
SD	0.67	0.05	0.24	0.08

4.10.1.4 ค่าเฉลี่ยได้มาจากการวัดขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงาน**ที่รองแก้ว ซึ่งได้**ค่าตามตาราง 4.6 เพื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงาน

ค่าเฉลี่ยของ	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
แบบ	90	6.13	66	3
แม่พิมพ์	91	6.22	66	3.3
ชิ้นงาน	89.47	6.06	64.73	3.13

4.10.1.5 หาร้อยละความคลาดเคลื่อนเมื่อได้ค่าเฉลี่ยของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว ก็นำมาหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้กำหนดไว้ในแบบมากน้อยเพียงใด

$$\text{สูตร} \quad \text{Percent errors} = \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \times 100 \qquad (4.5)$$

กำหนดให้

Y_n = ขนาดของแบบ

X_n = ขนาดของแม่พิมพ์

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์เทียบกับแบบ

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์เทียบกับแบบ			
ขอบนอก		ขอบใน	
ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
1.112	1.468	0	10

4.10.1.6 การหาร้อยละการหดตัวของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้วก็เพื่อหาค่าของการหดตัวของทั้งสามอย่างว่าหดตัวไปจากแบบมากน้อยเพียงใด

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของชิ้นงาน} - \text{ขนาดของแม่พิมพ์}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \times 100 \qquad (4.6)$$

ตารางที่ 4.8 ร้อยละการหดตัวของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์

ร้อยละการหดตัวของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์			
ขอบนอก		ขอบใน	
ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
-0.57	-1.14	-1.92	-5.15

สรุปผลการวิเคราะห์

ชิ้นงานที่รองแก้วที่ต้องการมีขนาดดังตารางที่ 4.1 จึงได้ทำการเขียนแบบแม่พิมพ์ตามขนาดชิ้นงานซึ่งเพิ่มค่าการหดตัวดังตารางที่ 4.2 และผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกออกมา แล้วทำการวัดขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าแบบที่ได้ออกแบบไว้เล็กน้อย เนื่องจากข้อผิดพลาดของเครื่องจักรขณะทำการผลิตแม่พิมพ์ คำนวณร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบและแม่พิมพ์ แสดงในตารางที่ 4.7

หลังจากทำการฉีดพลาสติกและวัดขนาดของชิ้นงานได้ขนาดจากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าชิ้นงานที่ได้หลังการฉีดมีขนาดเล็กกว่าแม่พิมพ์ เนื่องจากการหดตัวของพลาสติกชนิดพอลิ-พรอพิลีน (PP) ดังตารางที่ 2.4 พลาสติดพอลิพรอพิลีน (PP) จะมีอัตราการหดตัวร้อยละ 0.8 - 2.2 จากการคำนวณร้อยละการหดตัวของชิ้นงานเทียบกับแม่พิมพ์ดังตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าด้านความหนาของชิ้นงาน B2 มีการหดตัวเกินกว่าร้อยละ 2.2 เกิดจากความหนาของชิ้นงานที่ต่างระดับกันมากเกินไป เนื่องมากจากการออกแบบชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเย็นตัวไม่เท่ากันทั้งชิ้นงาน และชิ้นงานจึงเกิดการหดตัวมากกว่าปกติ ชิ้นงานที่ได้หลังจากการฉีดมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ออกแบบไว้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

5.1.1 ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2007 (CAD) ในการออกแบบแม่พิมพ์เป็นรูปที่รองแก้วและใช้โปรแกรม Mastercam X5 (CAM) เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างเส้นทางเดินของดอกกัดในการจำลองการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีแล้วสร้าง NC-code เพื่อทำงานร่วมกับเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 แบบ 3 แนวแกน แล้วได้แม่พิมพ์ต้นแบบที่ใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก(Injection Molding) ออกมา

5.1.2 ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ทางผู้ดำเนินโครงงานใช้วัสดุแผ่นเหล็ก (P20) จำนวน 9 ชิ้น ใช้งานกับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) และใช้พอลิเมอร์ ชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylent: PP) เป็นวัสดุในการผลิตชิ้นงานที่รองแก้ว

5.1.2.1 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์มีทั้งหมด 9 ชิ้น

5.1.2.2 ผลจากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดเกิดข้อบกพร่องคือ พลาสติกอัดเข้าไม่เต็มแบบและมีฟองอากาศในชิ้นงาน จึงทำการแก้ไขที่ตัวชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ดังนี้

ก. แม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่ โดยการเปิดรู Runner เพิ่ม ให้มีทางเข้าจากรูฉีดเข้าชิ้นงานโดยตรงเพื่อแก้ปัญหาการฉีดพลาสติกเข้าไม่เต็มแบบ พร้อมป้องกันการเกิดรอยเชื่อมประสานของเนื้อพลาสติก และเซาะร่องเพิ่มเพื่อระบายอากาศ ป้องกันการเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน

ข. แม่พิมพ์แผ่นอิมเพรสชั่นด้านอยู่กับที่ โดยการเพิ่มรูสำหรับปลอกนำฉีด

ค. แม่พิมพ์แผ่นยึดอิมเพรสชั่นด้านอยู่กับที่ โดยการเพิ่มรูสำหรับปลอกนำฉีด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรคำนึงการออกแบบทางเดินน้ำพลาสติก (Runner) และควรออกแบบทางเข้าของน้ำพลาสติก (Gate) ให้เป็นแบบแผ่นฟิล์ม เพื่อให้เนื้อพลาสติกสามารถไหลเข้าโพรงแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นหากชิ้นงานเป็นแบบแบนทรงสี่เหลี่ยม เพื่อลดรอยเชื่อมของเนื้อพลาสติก (Weld line)

5.2.2 การออกแบบชิ้นงานควรคำนึงถึงความหนาของชิ้นงาน ไม่ควรออกแบบให้มีความหนาต่างกันมาก ในชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานโก่งตัวและหดตัวมาก

5.2.3 การผลิตแม่พิมพ์ หากต้องการให้ผิวชิ้นงานเรียบ ควรใช้เครื่องจักร EDM เพราะการใช้เครื่องกัด CNC เพียงอย่างเดียวจะทำให้ได้ผิวชิ้นงานที่มีรอยมีดกัด

5.2.4 หากต้องการฉีดพลาสติกครั้งละจำนวนมากๆ ควรมีระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์ เพื่อลดความร้อนสะสมภายในแม่พิมพ์

5.2.5 การออกแบบแม่พิมพ์ควรคำนึงถึงการหดตัวของพลาสติกที่จะใช้เป็นอันดับแรก

เอกสารอ้างอิง

กฤติกร สุขศิริพงศ์วาศรี (ผู้เรียบเรียง). (ม.ป.ป). **เอกสารการอบรมเรื่องระบบเซอร์โวและการบำรุงรักษาเครื่องจักรซีเอ็นซี.** สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2556, จาก www.bpcd.net/machine/cnc_CDl.pdf.

เกียรติสุดา ศรีสุข. **ระเบียบวิธีวิจัย.** เชียงใหม่: โรงพิมพ์ครองช่าง, (2552).

โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา. (สาขาแม่พิมพ์). (ม.ป.ป.). **เทคโนโลยีแม่พิมพ์.** สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2556, จาก http://library.dip.go.th/multim4/eb/EB%20122.2%20ม47.doc.

ชาลี ตระการกูล. (2536) **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: บริษัท ประชาชล, Global supply industrial Ltd., Part. สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2556

บริษัท ชนะพาณิชย์ สตีล จำกัด. (ม.ป.ป.). **เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mould Streel).** สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2556, จาก www.chanastreel.com/spec/plastic.htm.

บริษัท คูลซอฟท์ จำกัด. (ม.ป.ป.). Mastercam X5. สืบค้นเมื่อ 7 มิถุนายน 2556, จาก www.mastercamthaitraining.com.

วิลเลียม เอฟ สมิธ. **วัสดุวิศวกรรม.** (รศ.แม้น อมรสิทธิ์, ผศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทอป/แมคกรอ-ฮิล, 2547.

ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธ์. **คู่มือปฏิบัติการ รายวิชา 309372 ปฏิบัติการกระบวนการผลิตวัสดุ** (Materails Processing Laboratory). ภาคเรียนที่ 1/2554. 2554.

ศุภฤกษ์ หาญจริง, อนันต์ หนูเป้า. **การออกแบบและวางแผนผลิตแม่พิมพ์ฉีดหวีพลาสติก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2546.

อำนาจ ทองแสน. **ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม CNC สำหรับการควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการวัดขนาดชิ้นงานหลังการฉีดพลาสติก

ตารางแสดงการวัดขนาดชิ้นงานที่ได้หลังการฉีด

ตาราง ก .1 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
1	1	88.98	6.10	64.68	3.21
	2	87.98	6.01	64.67	3.11
2	3	89.81	6.11	64.77	3.29
	4	88.89	6.06	64.77	3.25
3	5	89.94	6.11	64.67	3.12
	6	89.94	6.01	64.68	3.20
4	7	88.99	6.00	64.69	3.11
	8	89.88	6.11	64.68	3.21
5	9	88.89	6.10	64.77	3.01
	10	89.89	6.00	64.71	3.10
6	11	89.97	6.10	64.68	3.01
	12	88.98	6.10	64.71	3.00
7	13	89.79	6.00	64.89	3.32
	14	87.79	6.00	64.89	3.01
8	15	89.99	6.00	64.98	3.11
	16	89.00	6.10	64.97	3.23
9	17	89.99	6.00	64.99	3.01
	18	89.99	6.00	64.99	3.02
10	19	88.89	6.00	64.99	3.31
	20	89.79	6.10	65.00	3.21

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
11	21	88.98	6.10	64.69	3.14
	22	87.16	6.02	64.74	3.21
12	23	89.81	6.10	64.77	3.10
	24	89.89	6.10	64.61	3.21
13	25	88.74	6.01	64.43	3.20
	26	89.94	6.10	64.22	3.11
14	27	88.67	6.10	64.94	3.30
	28	88.88	6.10	64.88	3.10
15	29	89.76	6.01	64.29	3.03
	30	88.77	6.11	64.26	3.05
16	31	89.12	6.01	64.67	3.01
	32	89.99	6.10	64.22	3.16
17	33	89.55	6.11	64.29	3.14
	34	87.66	6.11	64.29	3.20
18	35	88.34	6.11	64.28	3.22
	36	90.00	6.03	64.22	3.11
19	37	87.99	6.10	64.30	3.02
	38	89.99	6.11	64.52	3.30
20	39	88.89	6.02	64.39	3.20
	40	89.88	6.01	64.68	3.01

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
21	41	89.98	6.00	64.69	3.00
	42	89.98	6.01	64.67	3.01
22	43	87.81	6.11	64.77	3.00
	44	89.89	6.11	64.77	3.01
23	45	89.94	6.10	64.67	3.05
	46	89.94	6.02	64.68	3.11
24	47	88.99	6.00	64.69	3.10
	48	88.88	6.10	64.68	3.08
25	49	89.89	6.10	64.77	3.21
	50	89.89	6.06	64.71	3.22
26	51	89.97	6.01	64.68	3.06
	52	89.98	6.10	64.71	3.22
27	53	88.79	6.10	64.89	3.20
	54	89.79	6.15	64.89	3.20
28	55	87.99	6.09	64.98	3.21
	56	88.00	6.02	64.97	3.22
29	57	89.99	6.11	64.99	3.05
	58	87.99	6.01	64.99	3.10
30	59	88.89	6.02	64.99	3.21
	60	89.79	6.11	65.00	3.10

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
31	61	88.99	6.03	64.99	3.00
	62	88.99	6.10	64.99	3.10
32	63	88.81	6.00	64.77	3.10
	64	89.89	6.00	64.77	3.11
33	65	89.94	6.00	64.67	3.06
	66	89.94	6.01	64.68	3.20
34	67	87.99	6.00	64.98	3.03
	68	89.88	6.01	64.68	3.21
35	69	88.99	6.10	64.99	3.02
	70	89.99	6.11	64.99	3.10
36	71	89.97	6.01	64.68	3.20
	72	89.98	6.10	64.71	3.11
37	73	88.94	6.01	64.68	3.11
	74	87.99	6.01	64.69	3.06
38	75	89.99	6.01	64.98	3.11
	76	89.00	6.01	64.97	3.10
39	77	87.99	6.02	64.99	3.13
	78	89.99	6.10	64.99	3.03
40	79	88.89	6.10	64.99	3.02
	80	87.79	6.10	65.00	3.11

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
41	81	89.99	6.01	64.98	3.11
	82	89.99	6.01	64.99	3.06
42	83	88.99	6.11	64.99	3.01
	84	89.99	6.06	64.99	3.11
43	85	88.74	6.02	64.43	3.01
	86	88.94	6.03	64.22	3.01
44	87	89.67	6.10	64.94	3.20
	88	87.88	6.00	64.88	3.10
45	89	89.76	6.11	64.29	3.11
	90	88.77	6.10	64.26	3.10
46	91	89.12	6.01	64.67	3.17
	92	89.99	6.11	64.22	3.20
47	93	89.55	6.01	64.29	3.01
	94	88.70	6.14	64.29	3.01
48	95	87.34	6.01	64.28	3.02
	96	89.00	6.01	64.22	3.20
49	97	89.99	6.02	64.30	3.00
	98	89.99	6.14	64.52	3.00
50	99	88.89	6.12	64.39	3.11
	100	89.89	6.01	64.39	3.11

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
51	101	88.98	6.00	64.69	3.00
	102	89.98	6.10	64.67	3.10
52	103	89.81	6.11	64.77	3.21
	104	87.89	6.10	64.77	3.21
53	105	88.94	6.00	64.67	3.11
	106	87.94	6.01	64.68	3.07
54	107	88.99	6.11	64.69	3.07
	108	89.88	6.01	64.68	3.02
55	109	88.89	6.02	64.77	3.07
	110	89.89	6.01	64.71	3.17
56	111	88.97	6.11	64.68	3.19
	112	89.98	6.10	64.71	3.18
57	113	88.79	6.01	64.89	3.10
	114	88.79	6.11	64.89	3.05
58	115	89.99	6.01	64.98	3.11
	116	90.00	6.01	64.97	3.05
59	117	89.99	6.00	64.99	3.07
	118	88.99	6.10	64.99	3.18
60	119	88.89	6.00	64.99	3.19
	120	88.79	6.10	65.00	3.21

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
61	121	89.98	6.14	64.68	3.00
	122	89.98	6.01	64.67	3.10
62	123	88.81	6.10	64.77	3.07
	124	89.89	6.02	64.77	3.17
63	125	88.94	6.00	64.67	3.16
	126	89.94	6.10	64.68	3.00
64	127	88.99	6.01	64.69	3.00
	128	89.88	6.06	64.68	3.25
65	129	89.89	6.01	64.77	3.24
	130	89.89	6.01	64.71	3.11
66	131	89.97	6.14	64.68	3.20
	132	89.98	6.01	64.71	3.21
67	133	88.79	6.11	64.89	3.25
	134	89.79	6.11	64.89	3.24
68	135	89.99	6.11	64.98	3.10
	136	90.00	6.01	64.97	3.21
69	137	88.99	6.11	64.99	3.14
	138	89.99	6.10	64.99	3.09
70	139	89.00	6.11	64.69	3.07
	140	90.00	6.10	64.69	3.20

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
71	141	89.99	6.13	64.99	3.22
	142	89.99	6.01	64.99	3.10
72	143	88.99	6.01	64.99	3.11
	144	89.99	6.11	64.99	3.11
73	145	88.74	6.11	64.43	3.20
	146	89.94	6.08	64.22	3.20
74	147	89.67	6.02	64.94	3.11
	148	89.88	6.01	64.88	3.03
75	149	89.97	6.06	64.68	3.11
	150	88.98	6.10	64.71	3.14
76	151	89.79	6.11	64.89	3.21
	152	89.79	6.12	64.89	3.27
77	153	89.99	6.13	64.98	3.10
	154	90.00	6.09	64.97	3.02
78	155	89.99	6.01	64.99	3.12
	156	89.00	6.00	64.22	3.07
79	157	88.99	6.10	64.30	3.01
	158	88.99	6.00	64.52	3.04
80	159	89.99	6.11	64.22	3.22
	160	89.99	6.10	64.68	3.11

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
81	161	88.98	6.12	64.88	3.24
	162	89.99	6.11	64.89	3.20
82	163	88.99	6.11	64.98	3.01
	164	89.88	6.01	64.68	3.02
83	165	88.94	6.10	64.67	3.00
	166	88.94	6.11	64.68	3.20
84	167	89.99	6.01	64.98	3.11
	168	89.88	6.11	64.68	3.09
85	169	89.99	6.01	64.99	3.10
	170	88.99	6.01	64.99	3.07
86	171	89.97	6.00	64.68	3.01
	172	89.98	6.11	64.71	3.01
87	173	89.94	6.11	64.68	3.20
	174	89.99	6.11	64.69	3.11
88	175	89.99	6.10	64.98	3.11
	176	89.00	6.10	64.97	3.17
89	177	89.99	6.01	64.99	3.19
	178	89.99	6.00	64.99	3.02
90	179	89.89	6.11	64.98	3.05
	180	89.00	6.11	64.99	3.05

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
91	181	89.98	6.01	64.69	3.21
	182	89.98	6.02	64.67	3.11
92	183	89.81	6.03	64.77	3.06
	184	89.89	6.11	64.77	3.17
93	185	89.94	6.10	64.67	3.22
	186	89.94	6.06	64.68	3.21
94	187	88.98	6.10	64.99	3.02
	188	89.99	6.00	64.99	3.15
95	189	89.89	6.00	64.77	3.07
	190	89.89	6.11	64.71	3.15
96	191	89.97	6.11	64.68	3.22
	192	88.99	6.10	64.99	3.10
97	193	89.79	6.01	64.89	3.11
	194	89.79	6.10	64.89	3.21
98	195	89.99	6.11	64.98	3.10
	196	90.00	6.11	64.97	3.20
99	197	89.99	6.11	64.99	3.11
	198	89.99	6.02	64.99	3.12
100	199	89.99	6.00	64.98	3.29
	200	89.99	6.05	64.98	3.10

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
101	201	89.99	6.01	64.98	3.09
	202	89.99	6.01	64.99	3.10
102	203	89.99	6.01	64.99	3.21
	204	89.99	6.01	64.99	3.15
103	205	89.74	6.00	64.43	3.17
	206	89.94	6.00	64.22	3.11
104	207	89.67	6.01	64.94	3.01
	208	89.88	6.01	64.88	3.11
105	209	89.76	6.01	64.29	3.17
	210	89.77	6.01	64.26	3.20
106	211	89.12	6.10	64.67	3.20
	212	89.99	6.10	64.22	3.26
107	213	89.55	6.11	64.29	3.21
	214	89.67	6.01	64.29	3.15
108	215	89.34	6.01	64.28	3.29
	216	90.00	6.01	64.22	3.15
109	217	89.99	6.10	64.30	3.07
	218	89.99	6.11	64.52	3.28
110	219	89.99	6.01	64.22	3.21
	220	90.00	6.01	64.22	3.15

ตาราง ก.1 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	ชิ้นงานที่	ขนาดชิ้นงาน (มม.)			
		ขอบนอก		ขอบใน	
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
111	221	90.00	6.00	64.78	3.21
	222	89.16	6.00	64.74	3.20
112	223	89.81	6.01	64.77	3.29
	224	86.89	6.00	64.61	3.10
113	225	89.74	6.00	64.93	3.23
	226	89.67	6.00	64.94	3.14
114	227	89.67	6.01	64.94	3.10
	228	89.88	6.01	64.88	3.11
115	229	89.99	6.00	64.99	3.23
	230	89.99	6.07	64.99	3.10
116	231	89.12	6.11	64.67	3.06
	232	89.67	6.07	64.94	3.22
117	233	89.98	6.01	64.88	3.17
	234	89.68	6.00	64.29	3.01
118	235	89.67	6.01	64.94	3.11
	236	89.88	6.00	64.88	3.21
119	237	89.99	6.10	64.30	3.25
	238	89.99	6.00	64.88	3.23
120	239	89.89	6.01	64.79	3.20
	240	89.89	6.10	64.68	3.10

ตาราง ก.2 สรุปขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

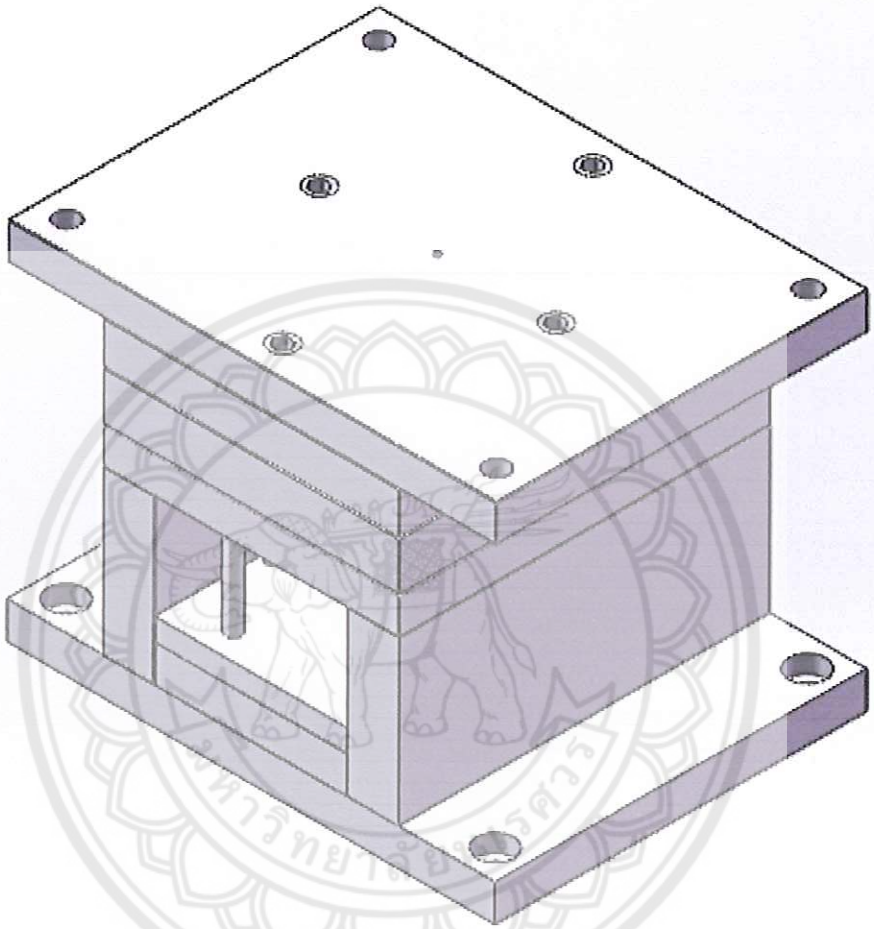
	สรุปขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)			
	ขอบนอก		ขอบใน	
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน A2	ด้าน B2
Average	89.47	6.06	64.73	3.13
Max	90.00	6.15	65.00	3.32
Min	86.89	6.00	64.22	3.00
SD	0.67	0.05	0.24	0.08

ภาคผนวก ข

แบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

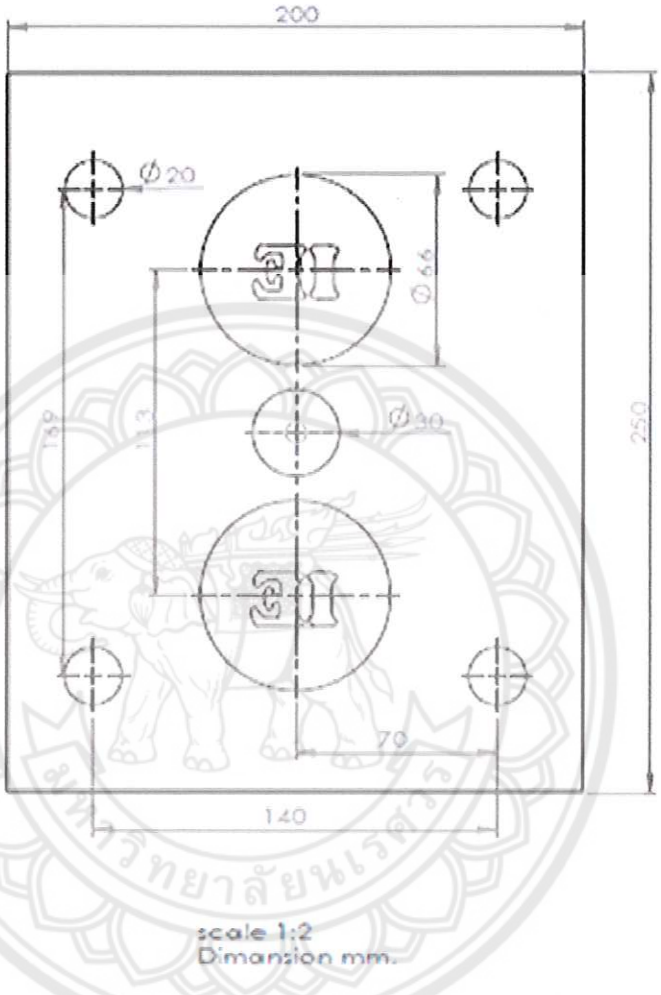
แบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

1. Drawing Assembly

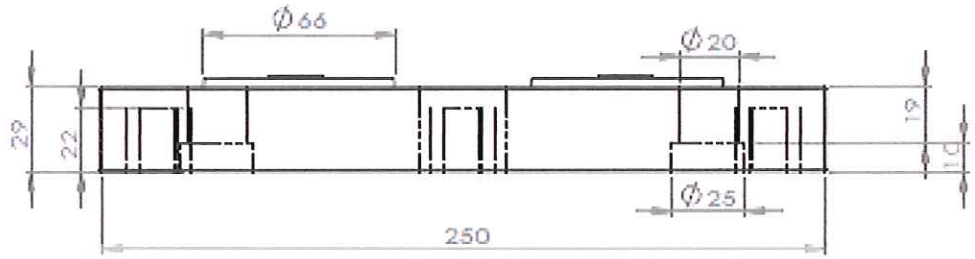


รูปที่ ข.1 Drewing Assemble

2. แม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่

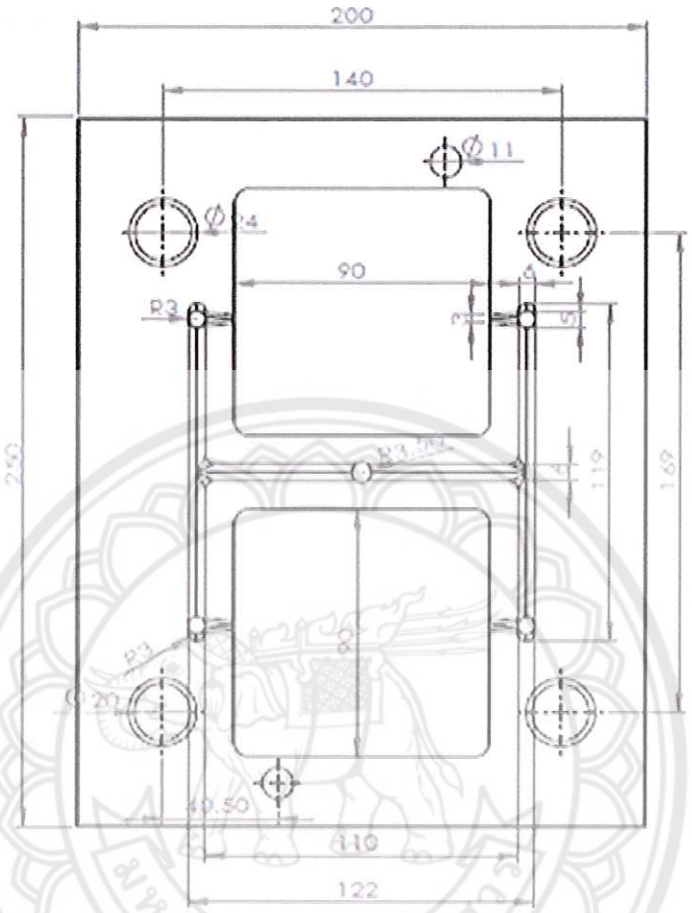


รูปที่ ข.2.1 แม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่

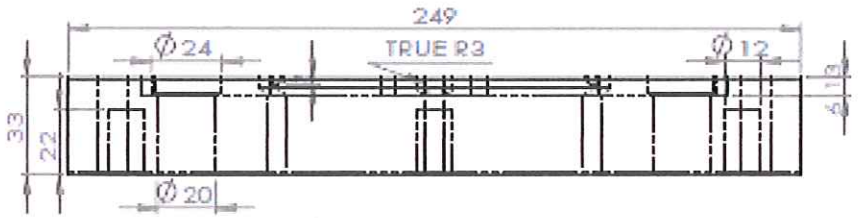


รูที่ ข.2.2 แม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่

3. แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่

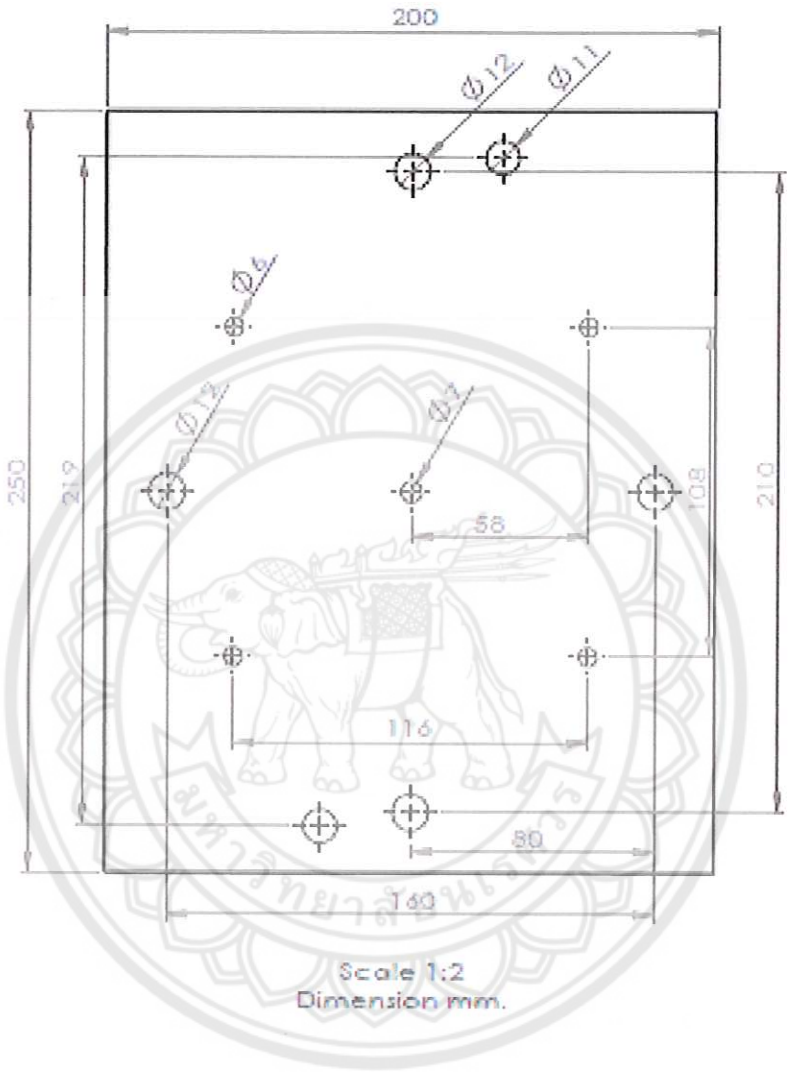


รูปที่ ข.3.1 แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่

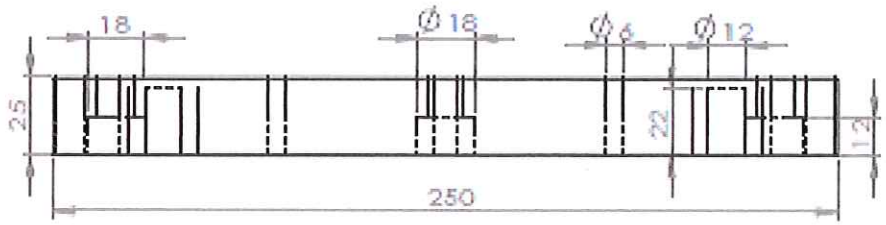


รูปที่ ข.3.2 แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่

4. แผ่นรองอิมเพรสชั่น



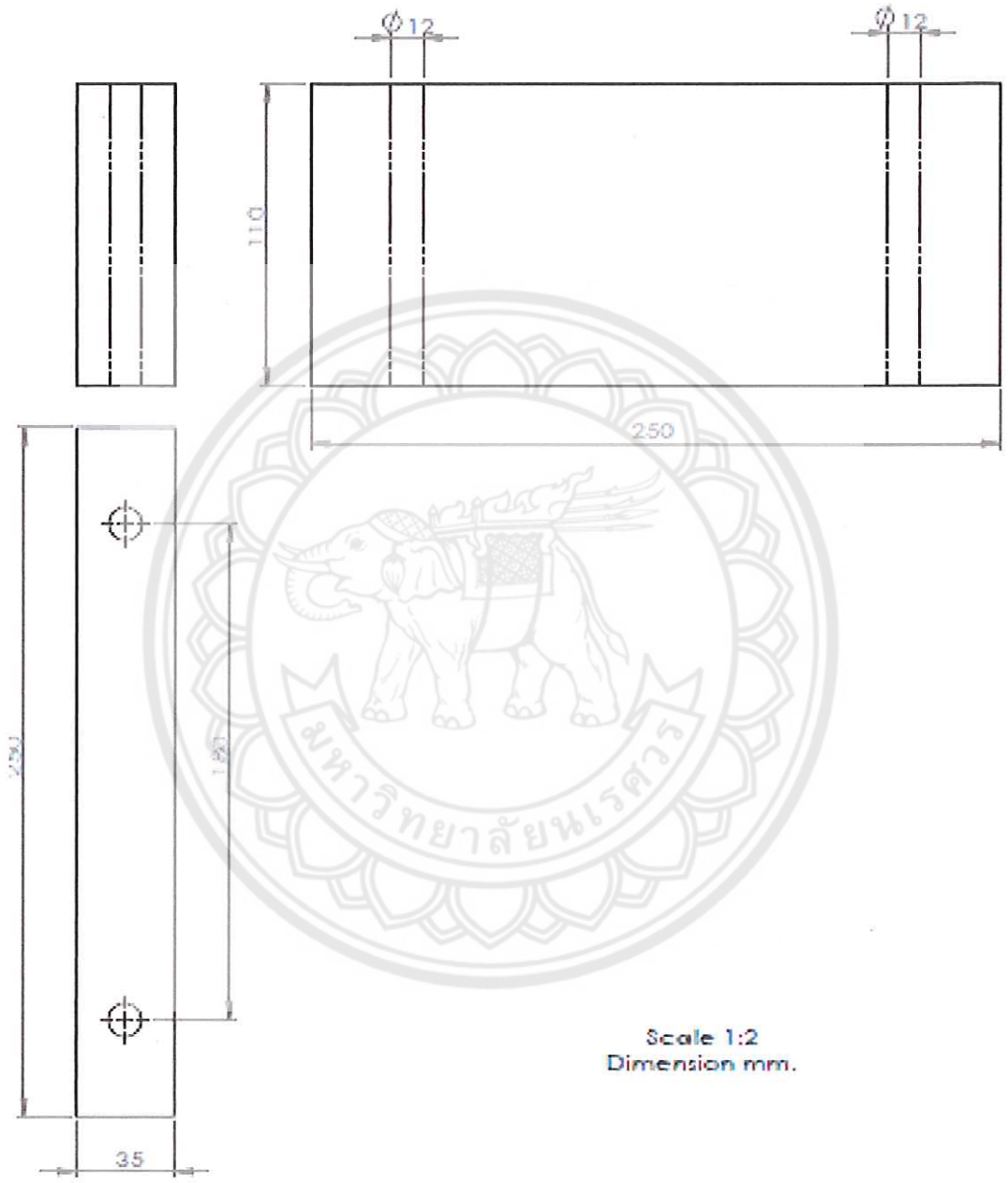
รูปที่ ข.4.1 แผ่นรองอิมเพรสชั่น



Scale 1:2
Dimension mm.

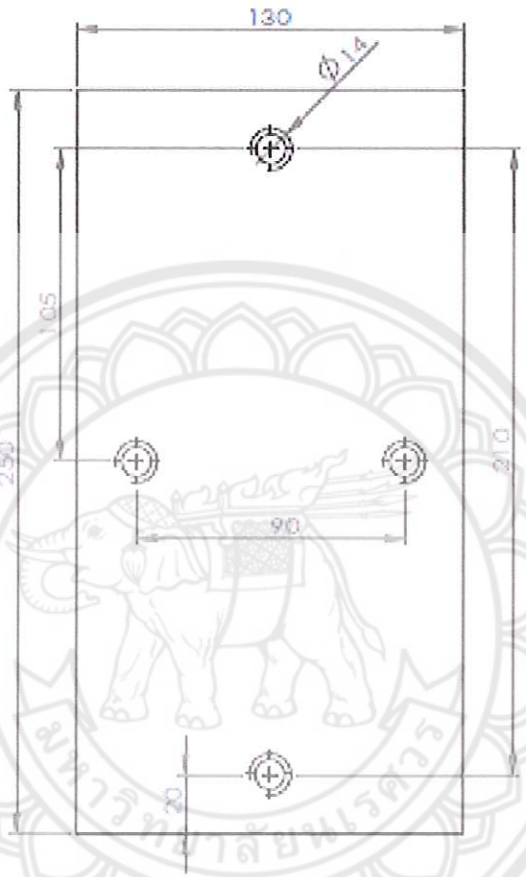
รูปที่ ข.4.2 แผ่นรองอิมเพรสชั่น

5. แท่นรองอิมเพรสชั่น

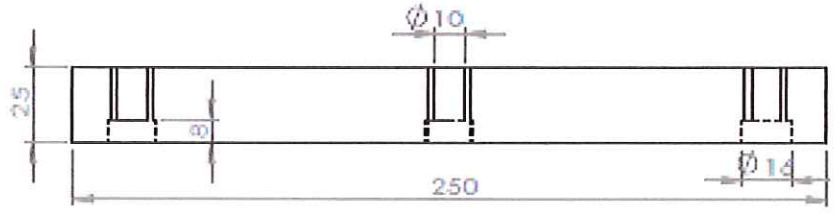


รูปที่ ข.5 แท่นรองอิมเพรสชั่น

6. แผ่นยึดแผ่นปลดชิ้นงาน



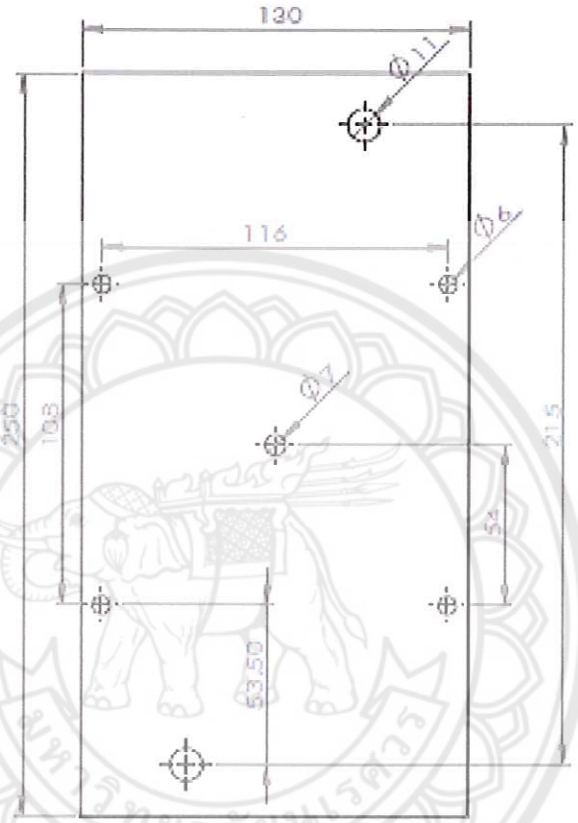
รูปที่ ข.6.1 แผ่นยึดแผ่นปลดชิ้นงาน



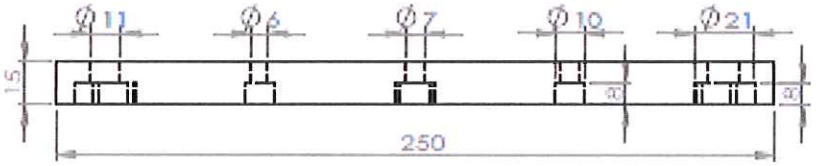
Scale 1:2
Dimension mm.

รูปที่ ข.6.2 แผ่นยึดแผ่นปลดชิ้นงาน

7. แผ่นปลดชิ้นงาน



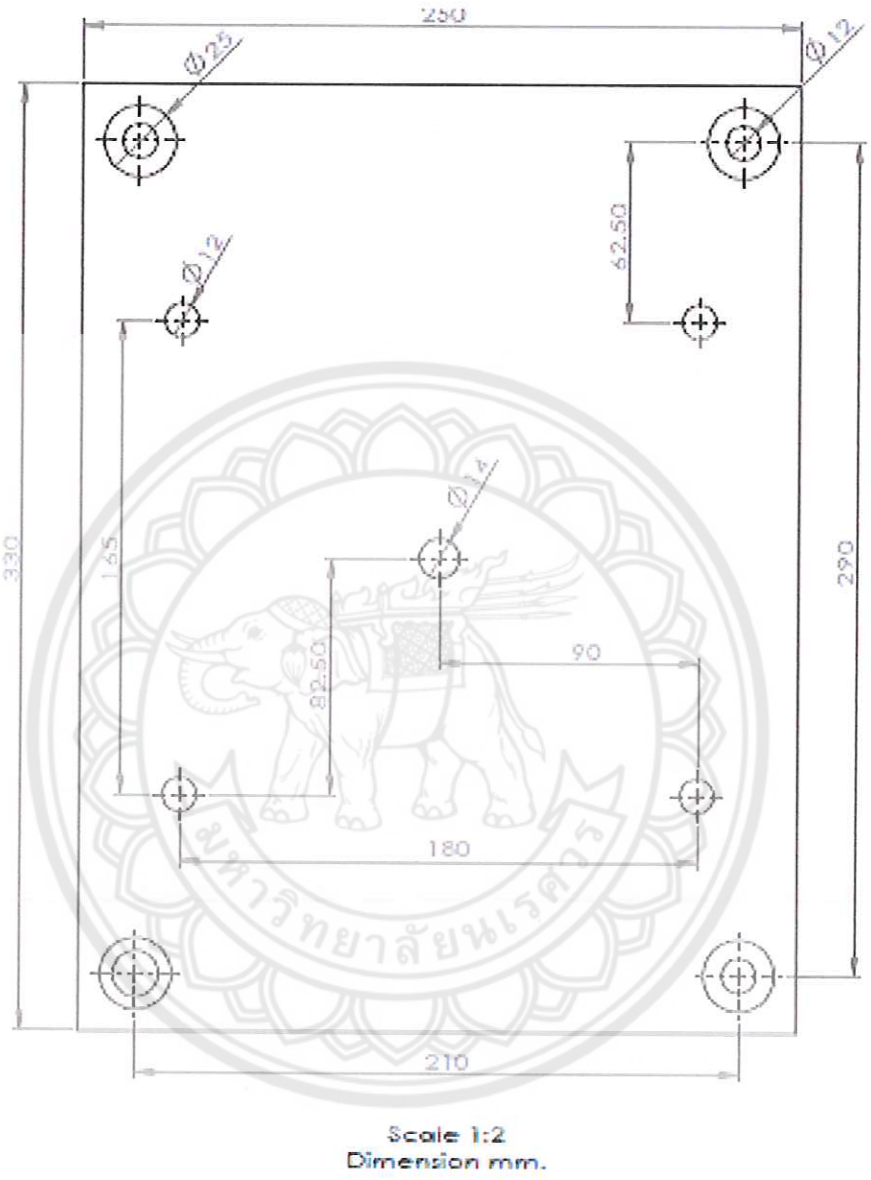
รูปที่ ข.7.1 แผ่นปลดชิ้นงาน



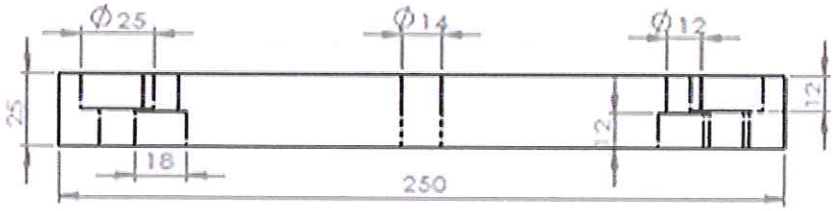
Scale 1:2
Dimension mm.

รูปที่ ข.7.1 แผ่นปลดชิ้นงาน

8. แผ่นยึดด้านหลัง

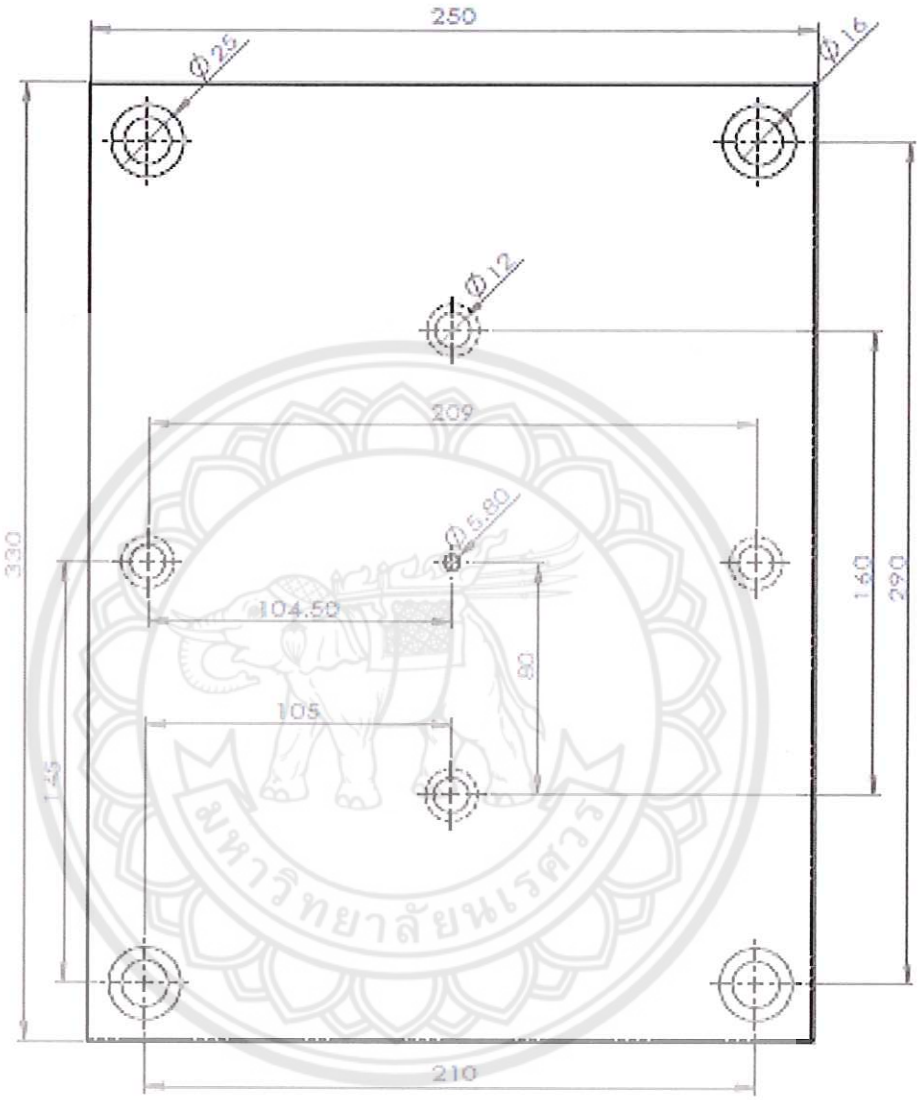


รูปที่ ข.8.1 แผ่นยึดด้านหลัง

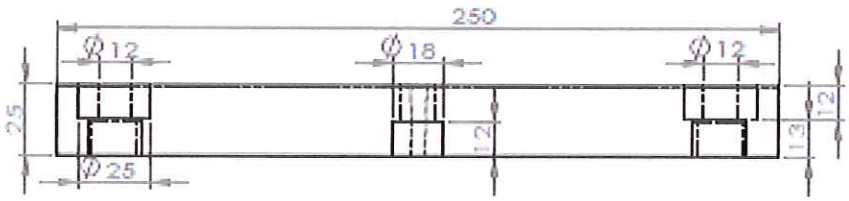


รูปที่ ข.8.2 แผ่นยึดด้านหลัง

9. แผ่นยึดด้านหน้า



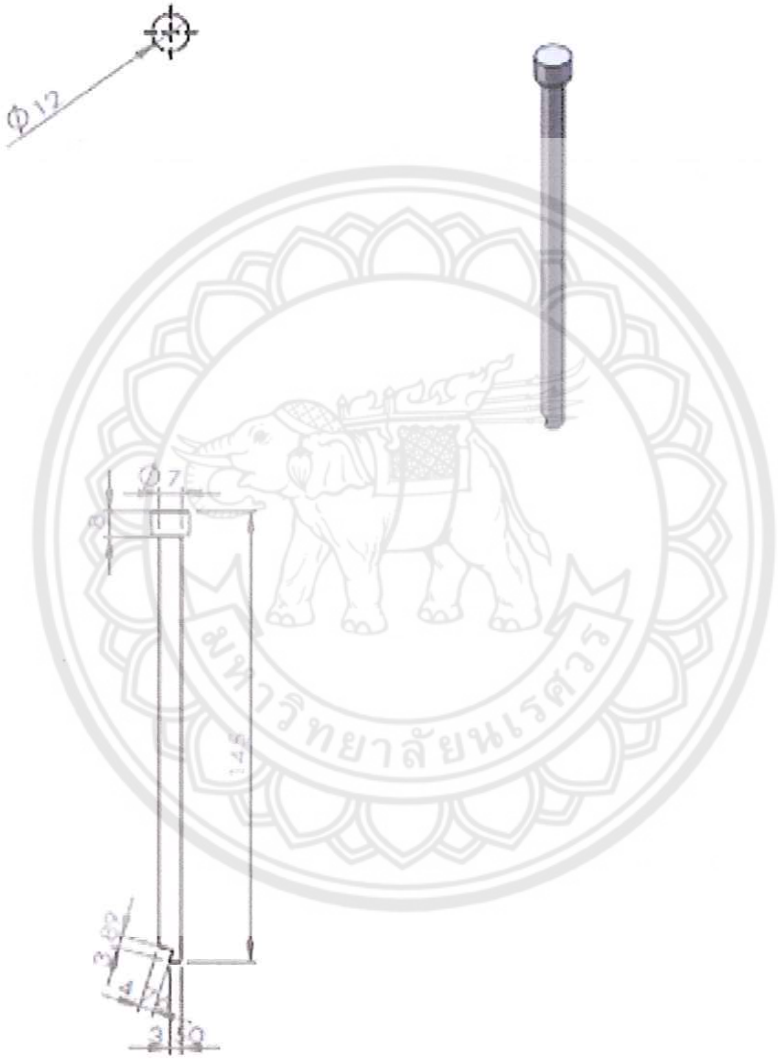
รูปที่ ข.9.1 แผ่นยึดด้านหน้า



Scale 1:2
Dimension mm.

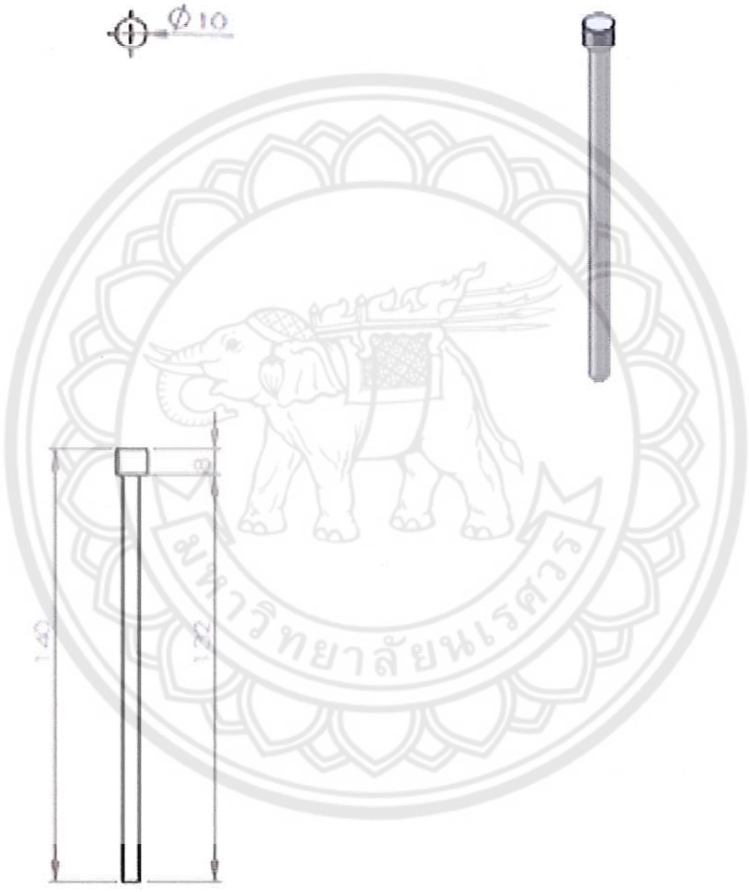
รูปที่ ข.9.2 แผ่นยึดด้านหน้า

10. ตัวกระทุ้งกลาง



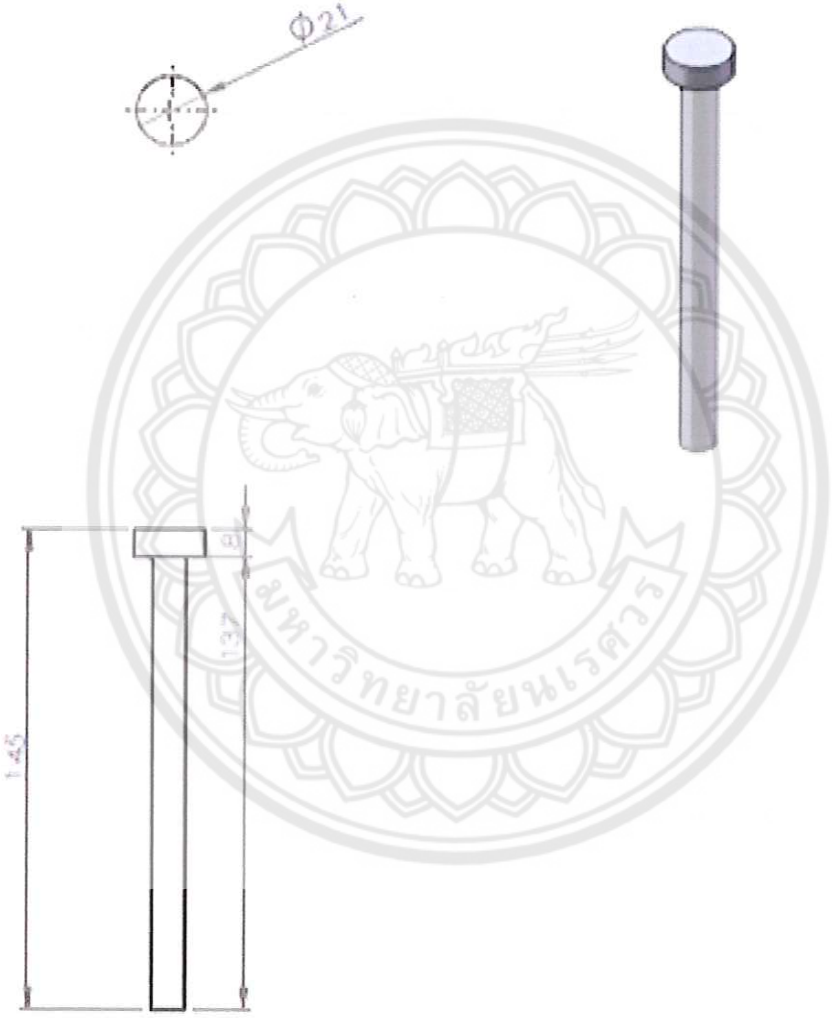
รูปที่ ข.10 ตัวกระทุ้งกลาง

11. ตัวกระทุ้งชิ้นงาน



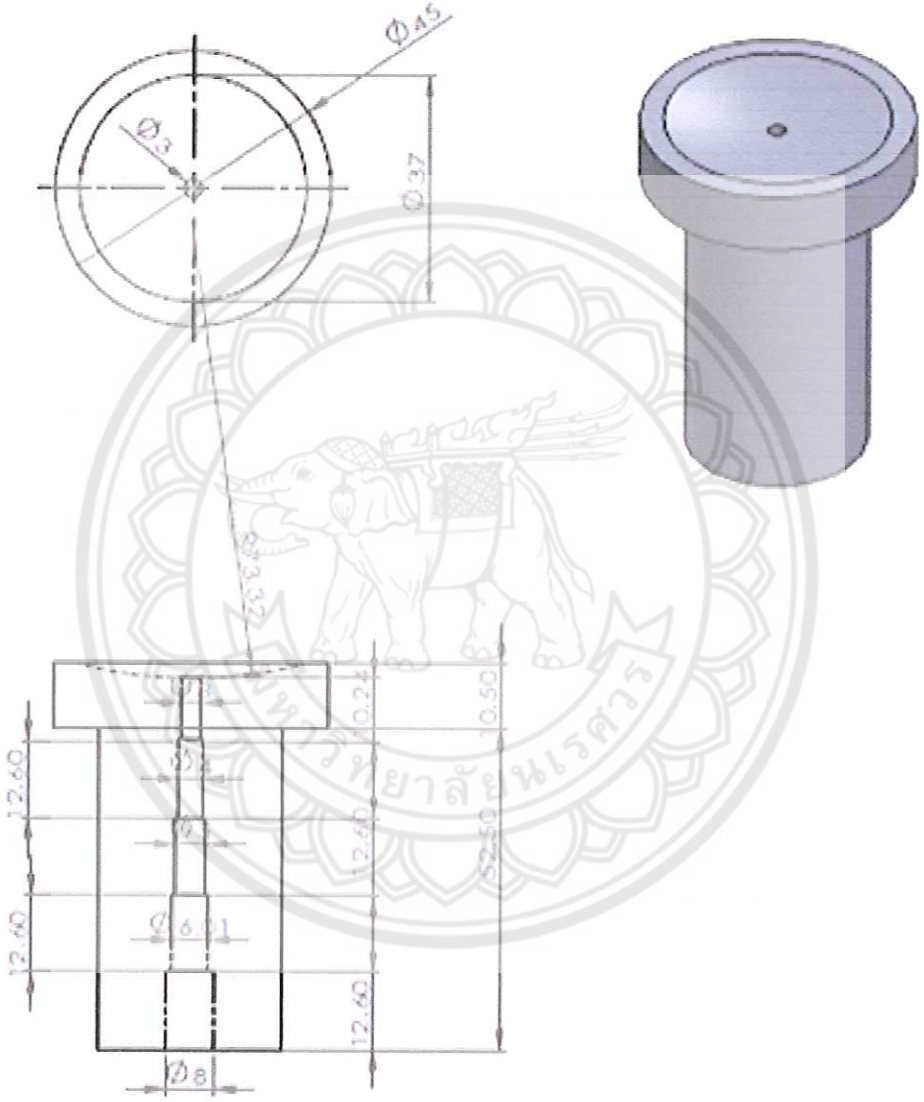
รูปที่ ข.11 ตัวกระทุ้งชิ้นงาน

12. ตัวประคอง



รูปที่ ข.12 ตัวประคอง

13. ปลอกนำฉีด



รูปที่ ข.13 ปลอกนำฉีด

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายดำรงค์เกียรติ สุขพงษ์

ภูมิลำเนา 67/1 หมู่ 8 ต.ไผ่ขวาง อ.เมือง จ. พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม จ.พิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตาสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: bm_fibershop@hotmail.com

ชื่อ นายเอกรัตน์ สายคำ

ภูมิลำเนา 1/21198 ม.1 ต.บ้านคลอง อ.เมือง จ. พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: eakarat.mix@gmail.com