การดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานของเครื่องฉีดพลาสติกเป็นแบบสวมถอดเร็ว

Modification of standard mold
Of plastic injection molding machine in quick change system

กีรติ ลิ่มกุลพงษ์

ขจรวรรธน์ ทองเทพ

คงศักดิ์ คล่องวาจา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานของเครื่องฉีดพลาสติกเป็นแบบสวมถอดเร็ว

Modification of standard mold

of plastic injection molding machine in quick change system

กีรติ ลิ่มกุลพงษ์

ขจรวรรธน์ ทองเทพ

คงศักดิ์ คล่องวาจา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modification of standard mold of plastic injection molding machine in quick change system

Keerati Limkulphong
Kajohnwat Thongthape
Kongsak Klongwacha

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานของเครื่องฉีดพลาสติกเป็นแบบสวมถอดเร็ว

Modification of standard mold of plastic injection molding machine in quick change system

ผู้จัดทำ

1. นายกีรติ ลิ่มกุลพงษ์ รหัสประจำตัว 53010127
2. นายขจรวรรธน์ ทองเทพ รหัสประจำตัว 53010144
3. นายคงศักดิ์ คล่องวาจา รหัสประจำตัว 53010155

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานของเครื่องฉีดพลาสติกเป็นแบบสวมถอดเร็ว

นายกีรติ ลิ่มกุลพงษ์ 53010127
นายขจรวรรธน์ ทองเทพ 53010144
นายคงศักดิ์ คล่องวาจา 53010155
ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง สามารถออกแบบและผลิตชิ้นงานตามที่ต้องการได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา ค้นคว้า และทดลองเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก โดยมิได้มีวัตถุประสงค์หลักในด้านการผลิตที่ต้องการผลกำไร แต่เน้นให้นักศึกษาภายในสถาบันได้รู้ถึงขั้นตอนและกระบวนการฉีดพลาสติก อีกทั้งนักศึกษายังสามารถออกแบบแม่แบบของตนเองเพื่อนำมาทดลองฉีดได้

จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและออกแบบเพื่อดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐาน ให้มีระบบสวมถอดเร็วในเฉพาะส่วนของแม่แบบ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแม่แบบได้หลายชนิด โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแม่พิมพ์ทั้งตัว

จากการออกแบบและดัดแปลงดังกล่าว เมื่อทดลองใช้งานจริงพบว่า สามารถลดระยะเวลาการเปลี่ยนถอดแม่พิมพ์ได้ ส่งผลให้สามารถเปลี่ยนแม่แบบได้หลายชนิดโดยที่ยังใช้แม่พิมพ์ตัวเดิม อีกทั้งทางคณะผู้จัดทำ ยังได้ออกแบบให้เป็นสื่อการเรียนการสอน เพื่อนำไปใช้ในรายวิชา Manufacturing Process และ วิชา Mechanical Engineering Laboratory ในกับนักศึกษาภาควิชาเครื่องกล หรือ นักศึกษาที่สนใจอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modification of standard mold of plastic injection molding machine in quick mold change system

Keerati	Limkulphong	53010127
Kajohnwat	Thongthape	53010144
Kongsak	Klongwacha	53010155
Akapot	Tantrapiwat	Adviser

Abstract

Plastic injection industry has been widely popular because it can be designed and produced as required. This research is a study and experiment about the injection molding process. The main objective is to teach students about the process of injection molding. Moreover, students can also design their own of cavity mold for injection and experiment.

According to the main objective, a quick change system had been designed and modified from a standard mold. It allows users to change the mold block without changing the entire mold base. This modification can be used to reduce time and material when changing to a new product. Moreover, a laboratory instruction in the subjects Manufacturing Process and Mechanical Laboratory was created for Mechanical Engineering students who is participating in the subject relating injection molding process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับคำแนะนำ การช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในด้านต่างๆอย่าเสมอมาจาก ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านและเพื่อนทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในทุกๆด้าน และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมาก ณ ที่นี้

นายกีรติ ลิ่มกุลพงษ์
นายขจรวรรธน์ ทองเทพ
นายคงศักดิ์ คล่องวาจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญรูป.....VII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....1
1.4 ระบบที่ใช้ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์.....2
1.5 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....7
2.1 เครื่องฉีดพลาสติก.....7
2.2 กระบวนการฉีดพลาสติก.....10
2.3 ชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีด.....11
2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดพลาสติก.....13
2.5 Machining Process.....13
2.6 วิธีการทำ Taping.....16
2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....20
2.8 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ Clamping Force.....20
2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ Suck Back.....21
บทที่ 3 การดำเนินงาน.....22
3.1 ออกแบบ Quick Change System.....22
3.2 ออกแบบ Cooling System.....26
3.3 ออกแบบ Sprue Installation.....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 Machining Quick Change System....28
3.5 Machining Cooling System....30
3.6 Machining For Sprue Installation....31
บทที่ 4 วิธีการทดลอง....32
4.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการฉีดพลาสติก....32
4.2 กรณีศึกษา....33
4.3 การทดลองหาค่า Clamping Force ที่เหมาะสม....35
4.4 การทดลองหาค่า Suck Back ที่เหมาะสม....37
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....39
5.1 ผลการทดลอง....39
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง....39
5.3 ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา....40
ภาคผนวก ก วิธีการใช้เครื่อง Injection Molding รุ่น HXF-58....42
ภาคผนวก ข การใช้เครื่อง cnc เบื้องต้น....55
ภาคผนวก ค เอกสารประกอบการเรียนวิชา Mechanical Engineering Laboratory
การทดสอบกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HXF-58....58
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ความเค้นที่กระทำลงบน Insert Block โดยใช้โปรแกรม Solid Work....63
ภาคผนวก จ ออกแบบ Cavity สำหรับ Insert Block....69
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์การฉีดพลาสติกโดยใช้โปรแกรม
Autodesk Simulation Moldflow Insight....79
บรรณานุกรม....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงส่วนประกอบของ Injection Unit และหน้าที่การทำงาน....9

2.2 แสดงส่วนประกอบของ Clamping Unit และหน้าที่การทำงาน....9

2.3 แสดงค่ามาตรฐานในการเจาะรูเพื่อทำเกลียว....19

3.1 แสดงคุณสมบัติทางกลของ Aluminum 6061 T6....24

3.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของ Aluminum 6061 T6....24

5.1 แสดงค่า Clamping Force ที่ส่งผลต่อชิ้นงาน....39

5.2 แสดงค่า Suck Back ที่ส่งผลต่อชิ้นงาน....39

5.3 แสดงปัญหาที่เกิดจากการฉีดและวิธีการแก้ไข....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 Clamp Mold Change System....2
1.2 Hydraulic Mold Change System....2
1.3 Magnetic Mold Change System....3
1.4 แม่พิมพ์มาตรฐานชนิด 2 Plate....3
1.5 ส่วนของ Fixed Half ของแม่พิมพ์มาตรฐาน....4
1.6 แบบของ Impression ต่างๆ....4
1.7 แผ่นเบ้าและแผ่นคอร์....5
1.8 ปลอกรูฉีด และแกนรูฉีด....5
1.9 Runner และ Gate....6
1.10 Ejectot System....6
2.1 รูปแบบการฉีดของเครื่องฉีดพลาสติก....7
2.2 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก....8
2.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก....8
2.4 ส่วนประกอบของ Injection Unit....8
2.5 ส่วนประกอบของ Clamping Unit....9
2.6 ขั้นตอนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก....10
2.7 ขั้นตอนในการฉีดพลาสติก....10
2.8 ขั้นตอนในการหล่อเย็น และปลดชิ้นงาน....10
2.9 เม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ....11
2.10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดพลาสติก....13
2.11 Machining ชิ้นงาน....14
2.12 การกลึง....14
2.13 การเจาะ....14
2.14 การกัดขึ้นรูป....15
2.15 Machining Condition....15
2.16 ชุดของ tap....16

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.17 ด้ามจับ tap....17
2.18 การตั้งลำตัวแท๊ปให้ตั้งฉากกับชิ้นงาน....17
2.19 การเริ่มต้นตัดชิ้นงานด้วย Tap....18
2.20 การจับด้ามและจับ Tap หลังจากที่ได้เริ่มต้น....18
3.1 Quick Change System....22
3.2 Dimension Plate – B สำหรับ T – Shape....22
3.3 ผลการ simulate หาค่า Stress ที่กระทำบน insert block....23
3.4 ผลการ simulate หาค่า Stress ที่กระทำบน insert block....23
3.5 Dimension ของ Locker ที่ได้ทำการออกแบบ....25
3.6 ทางเดินน้ำที่ได้ทำการออกแบบ....26
3.7 Dimension ของ Sprue ที่เราเลือกใช้....26
3.8 แสดงการติดตั้ง Sprue บน Support Plate – A และ Plate – A....27
3.9 การออกแบบเพื่อดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานทั้งหมด....27
3.10 ชุด Camping Kit....28
3.11 Tools ที่ใช้สำหรับขึ้นรูป Molde Base – B เป็น T Shape....28
3.12 Base – B ที่ Machining เสร็จแล้ว....29
3.13 Locker ที่ทำการ Machining เสร็จแล้ว....29
3.14 Tools ที่ใช้ในการเจาะทางเดินน้ำ....30
3.15 Tools รูสำหรับทางเดินน้ำหล่อเย็น....30
3.16 รูสำหรับทางเข้าออกน้ำหล่อเย็น....31
3.17 Machining เพื่อติดตั้ง Sprue....31
4.1 cavity ที่ใช้ในการทดลอง....33
4.2 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดตามค่าที่คำนวณ....34
4.3 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 122.3$ kN, $L = 27.2$ mm....35
4.4 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 112.3$kN, $L = 27.2$ mm....35
4.5 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 142.3$ kN, $L = 27.2$ mm....36

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด[illegible]ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 152.3kN,\ L = 27.2\ mm$ 36
4.7 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 22.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$ 37
4.8 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 17.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$ 37
4.9 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 32.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$ 38
4.10 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 37.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปพลาสติกนั้นได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถออกแบบชิ้นงานได้หลายรูปแบบตามความต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปในกระบวนการผลิตจะใช้แม่พิมพ์หนึ่งตัวต่อการผลิตชิ้นงานหนึ่งแบบ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการคุ้มทุนจึงจำเป็นต้องผลิตชิ้นงานในจำนวนมากต่อการใช้แม่พิมพ์หนึ่งตัวอีกทั้งการเปลี่ยนแม่พิมพ์ในแต่ละครั้งจะมีความยุ่งยาก ซับซ้อน และเสียเวลาเป็นอย่างมาก จึงไม่เหมาะกับการศึกษาและทดลองในสถานศึกษาที่มีข้อจำกัดในหลายๆด้าน

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและทดลองกระบวนการฉีดพลาสติกซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการให้นักศึกษาภายในหรือภายนอกภาควิชาได้มาศึกษาและทดลองกระบวนการขึ้นรูปโดยการฉีดพลาสติก โดยไม่ได้เน้นในส่วนของจำนวนการผลิต จากปัญหาดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและออกแบบ เพื่อดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานให้มีระบบสวมถอดเฉพาะในส่วนของแม่แบบ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแม่พิมพ์ทั้งหมด ซึ่งจะสามารถอำนวยความสะดวกในการศึกษาและทดลองของนักศึกษาภายใต้ข้อจำกัดในหลายๆด้าน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการฉีดพลาสติก พร้อมทั้งวิธีตั้งค่าเบื้องต้น

1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างระบบสวมถอดเร็วให้กับแม่พิมพ์มาตรฐาน

1.2.4 เพื่อสร้างเป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนในการใช้เครื่องฉีดพลาสติกให้แก่นักศึกษาภาคเครื่องกล ในวิชา Manufacturing Process และวิชา Mechanical Laboratory

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาหลักการทำงานและส่วนประกอบ ของเครื่องฉีดพลาสติก พร้อมทั้งการตั้งค่าตัวแปรต่างๆในเบื้องต้นให้กับเครื่องฉีดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

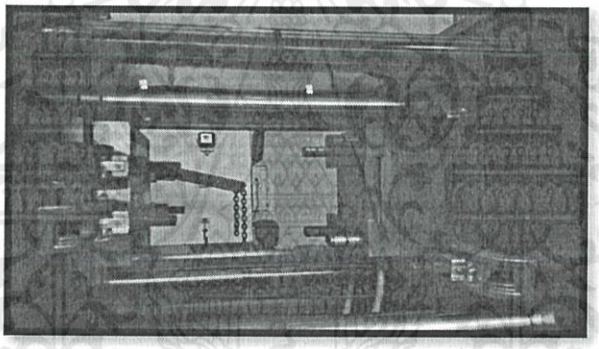
1.3.2 ศึกษาและออกแบบการดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานให้มีระบบสวมถอดเร็วในส่วนของแม่แบบ

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาสร้างเอกสารประกอบการเรียนการสอนในการใช้เครื่องฉีดพลาสติก ให้แก่นักศึกษาภาคเครื่องกล ในวิชา Manufacturing Process และวิชา Mechanical Laboratory

1.4 ระบบที่ใช้ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ (Mold Change System)

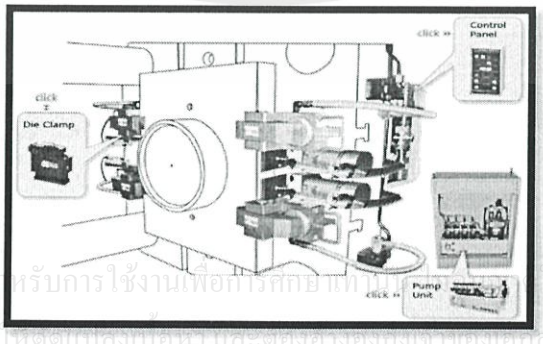
จากการศึกษาระบบที่ใช้ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ที่มีอยู่ในสายงานการผลิตเป็นระบบที่เปลี่ยนทั้งตัวแม่พิมพ์ทั้งสิ้น

1.4.1 ระบบเปลี่ยนแม่พิมพ์โดยใช้แรง Clamp อาศัยแรงทางกลในการยึดแม่พิมพ์



รูปที่ 1.1 Clamp Mold Change System

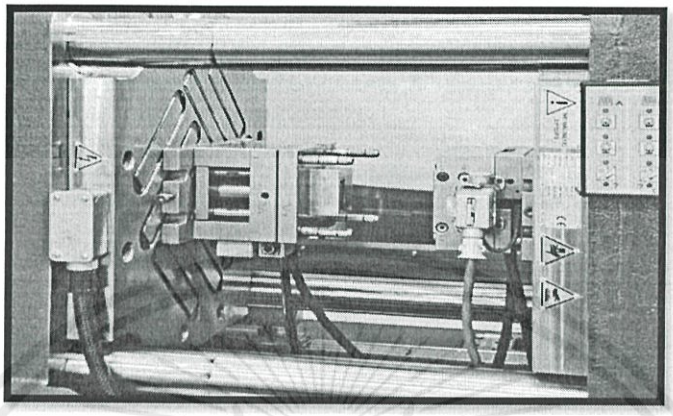
1.4.2 ระบบเปลี่ยนแม่พิมพ์โดยใช้แรง hydraulic อาศัยแรงดันจาก pump unit ในการยึดแม่พิมพ์ โดยมีระบบ Control Panel เป็นตัวควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.2 Hydraulic Mold Change System

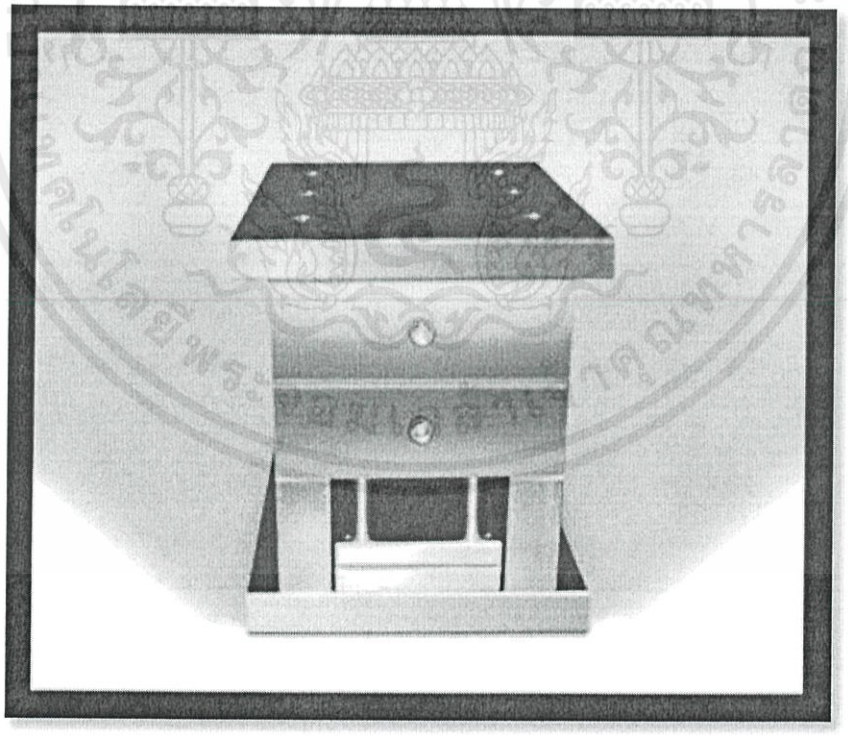
1.4.3 ระบบเปลี่ยนแม่พิมพ์โดยใช้แรง Magnetic อาศัยแรงแม่เหล็กในการยึดแม่พิมพ์ควบคุมผ่านระบบ Control Panel



รูปที่ 1.3 Magnetic Mold Change System

1.5 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์มาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิด 2 Plate มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

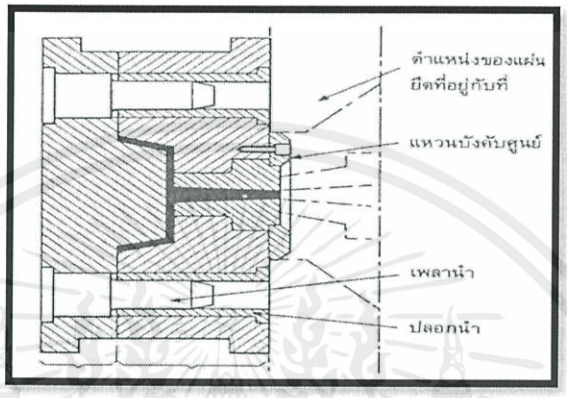


รูปที่ 1.4 แม่พิมพ์มาตรฐานชนิด 2 Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1 ส่วนที่อยู่กับที่และส่วนเคลื่อนที่

ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Fixed half) เป็นส่วนที่ยึดติดกับแม่พิมพ์โดยยึดอยู่กับส่วนที่อยู่กับที่ของเครื่องฉีดพลาสติก และส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving half) เป็นส่วนที่ยึดอยู่กับส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องฉีดพลาสติก



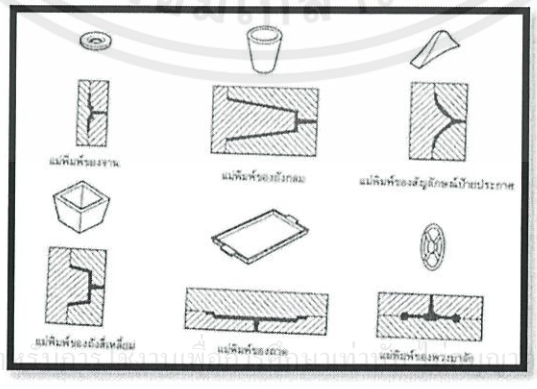
รูปที่ 1.5 ส่วนของ Fixed Half ของแม่พิมพ์มาตรฐาน

1.5.2 อิมเพรสชั่น (Impression)

แม่พิมพ์ฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่าง ๆ หลายชิ้นเกิดเป็นโพรงภายในที่เรียกว่า อิมเพรสชั่น ที่ซึ่งเนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าไปและเมื่อเย็นตัวลงจะได้ชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่างเหมือนกับอิมเพรสชั่น โดยอิมเพรสชั่นที่เกิดจากการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ 2 ชิ้นคือ

เบ้า (Cavity) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายนอกของชิ้นงาน

คอร์ (Core) เป็นส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ที่ทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายในของชิ้นงาน

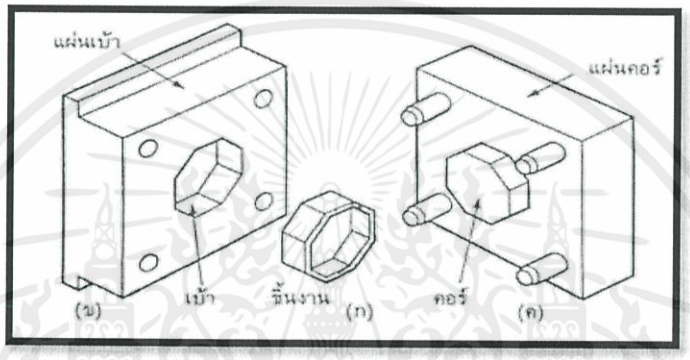


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.6 แบบของ Impression ต่างๆ

1.5.3 แผ่นเบ้าและแผ่นคอร์

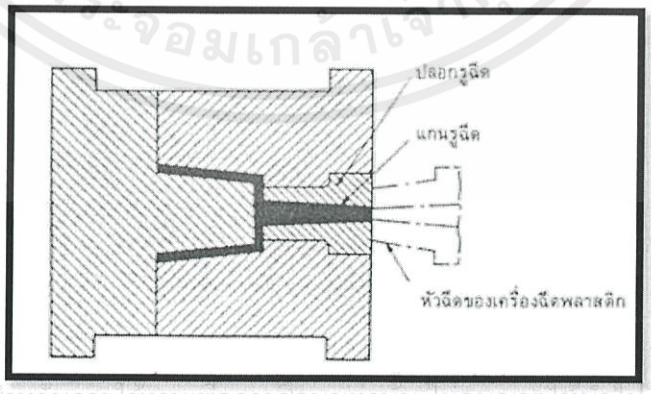
จากรูปแสดงให้เห็นถึงแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ของภาชนะบรรจุสิ่งของทรงแปดเหลี่ยม แม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ในกรณี ประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์สองแผ่น แผ่นหนึ่งขุดลึกเป็นโพรงเข้าไปซึ่งเป็นส่วนขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงานและเรียกว่า “แผ่นเบ้า” และอีกแผ่นหนึ่งจะยืดออกมาและเป็นส่วนขึ้นรูปภายในของชิ้นงานส่วนนี้เรียกว่า “แผ่นคอร์” เมื่อแม่พิมพ์ปิดแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์จะเลื่อนเข้าประกบกัน ทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่า อิมเพรสชั่น



รูปที่ 1.7 แผ่นเบ้าและแผ่นคอร์

1.5.4 ปลอกรูฉีด

ในระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติกเนื้อพลาสติกจะถูกส่งจากหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลวและเข้าแม่พิมพ์ทางรูฉีดผ่านเข้าไปในอิมเพรสชั่นโดยรูฉีดเข้าแบบง่าย ๆ จะเป็นรูเรียวที่อยู่ภายในปลอกรูฉีด ดังแสดงในรูป เนื้อพลาสติกที่อยู่ในรูฉีดเข้านี้เรียกว่า แกนรูฉีด

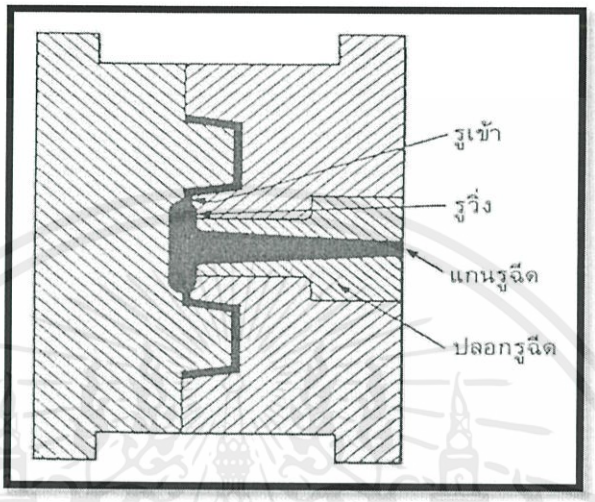


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.8 ปลอกรูฉีด และแกนรูฉีด

1.5.5 รูวิ่งและรูเข้า (Runner and Gate)

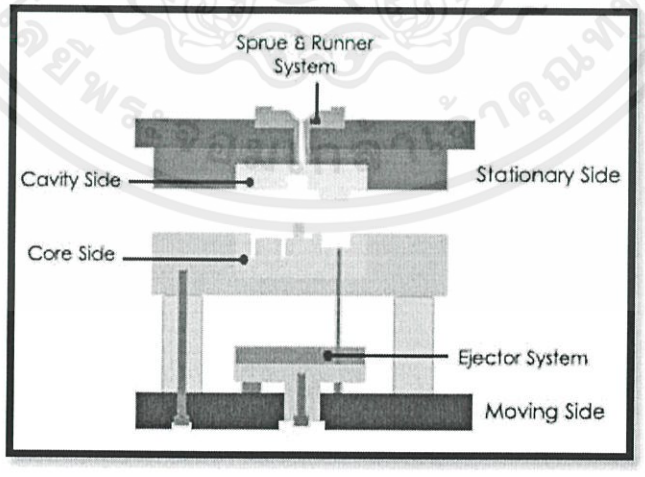
เนื้อพลาสติกอาจถูกฉีดเข้าไปในอิมเพรสชั่นผ่านปลอกรูฉีด โดยตรง หรือสำหรับแม่พิมพ์หลายอิมเพรสชั่น (multi-impression moulds) เนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้ารูของปลอกรูฉีดและวิ่งไปตามระบบรูวิ่งและรูเข้า ก่อนที่จะเข้าไปในอิมเพรสชั่น



รูปที่ 1.9 Runner และ Gate

1.5.6 ระบบปลดชิ้นงาน

ระบบปลดชิ้นงานเป็น Plate ที่อยู่บนฝั่ง Moving half โดยมีเข็ม Ejector Pin สำหรับกระทุ้งชิ้นงานให้ออกจากอิมเพรสชั่น



รูปที่ 1.10 Ejectot System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เครื่องฉีดพลาสติก

ในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์โมพลาสติกนั้น มีบริษัทที่ผลิตเครื่องฉีดออกมาจำนวนมากมายหลายแบบ ซึ่งไม่สามารถนำเอาแต่ละแบบมาแสดงในที่นี้ได้หมด โดยหลักการแล้วเครื่องฉีดพลาสติกจะแตกต่างกันเฉพาะรูปแบบ วัสดุที่ใช้ ระบบส่งกำลัง ส่วนจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้งานนั้นจะคล้ายคลึงกันมากโดยเครื่องฉีดพลาสติกสามารถแบ่งตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 4 รูปแบบ คือ

รูปที่ 2.1 รูปแบบการฉีดของเครื่องฉีดพลาสติก

แบบ 1 เป็นแบบทำงานตามแนวนอนพลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอน ตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์โดยชุดฉีดและหน่วยเปิด-ปิดแบบ อยู่ในทิศทางเดียวกัน แบบนี้จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด

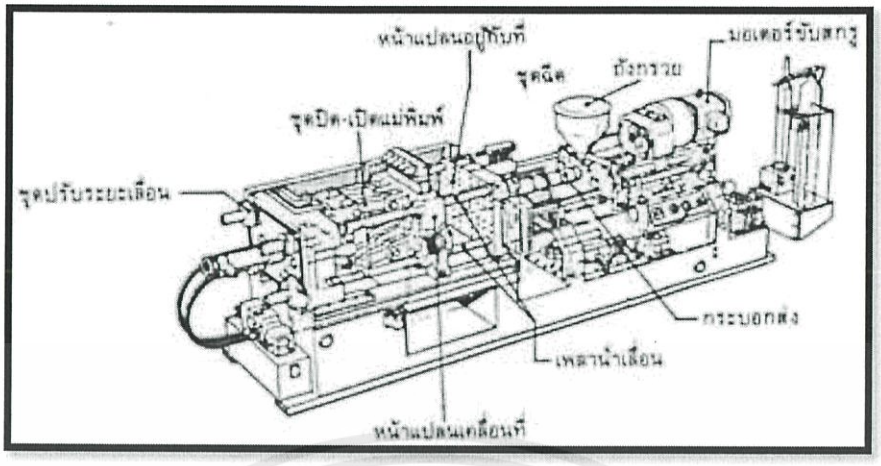
แบบ 2 เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้งแต่พลาสติกไหลเข้าแม่พิมพ์ในแนวนอน โดยพลาสติกเหลวที่ออกจากกระบอกสูบในแนว ดิ่ง แล้วจะเปลี่ยนทิศทางไป 90 องศา ไปอยู่ในแนวนอนและไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบเช่นเดียวกับแบบที่ 1 ส่วนแบบที่ 2 นั้นเป็นการออกแบบพิเศษในกรณีที่การทำงานสภาพปกติไม่สะดวกหรือเหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด

แบบ 3 เป็นแบบทำงานในแนวดิ่ง โดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งเข้าในแม่แบบในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิด-ปิดแบบ

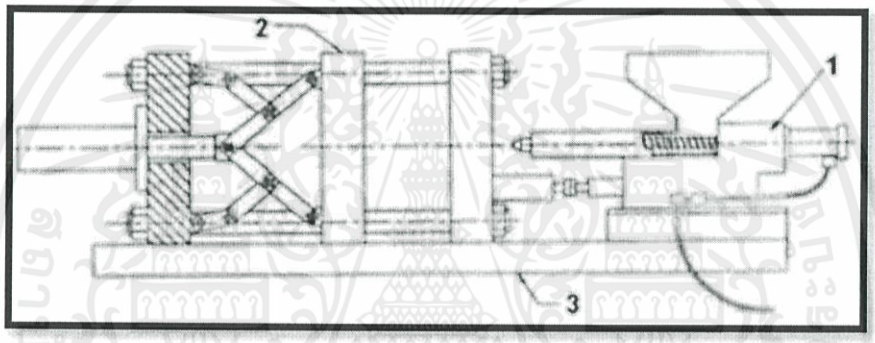
แบบ 4 เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่ง พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิด-ปิดแบบหรืออยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่แบบ เครื่องฉีดแนวดิ่งแบบที่ 3 และแบบที่ 4 โดยปกติจะออกแบบไว้สำหรับการฉีดหุ้มชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เช่น ด้ามมีด ด้ามไขควง ฯลฯ เป็นต้น

เครื่องฉีดพลาสติกแบบต่าง ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ ชุดฉีด ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ และฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



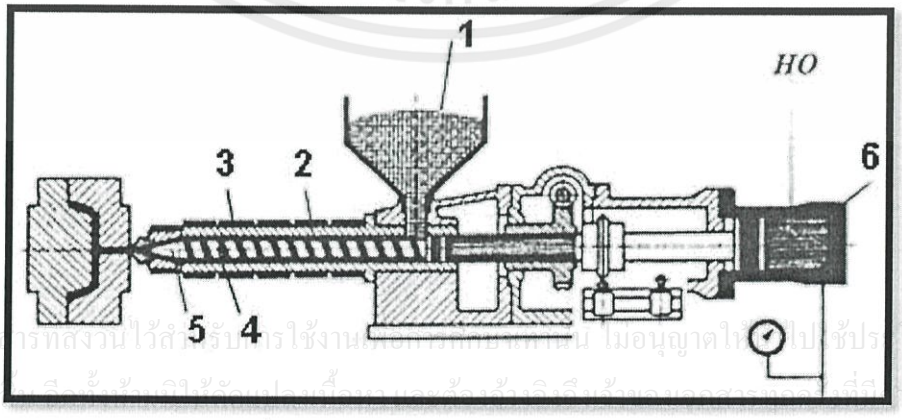
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก

2.1.1 ชุดฉีด (Injection Unit)

การทำงานของชุดหัวฉีด เม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวยเติมจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อสกรูหมุนพาเม็ดพลาสติกออกไปที่กระบอกสูบ และเม็ดพลาสติกก็จะหลอมละลายในกระบอกสูบด้วยความร้อนจากฮีทเตอร์ (Heater) สกรูจะทำหน้าที่คลุกเคล้าเม็ดพลาสติกที่ละลายแล้วให้เป็นเนื้อเดียวกัน พร้อมกับขับดันให้พลาสติกพุ่งออกจากหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของ Injection Unit

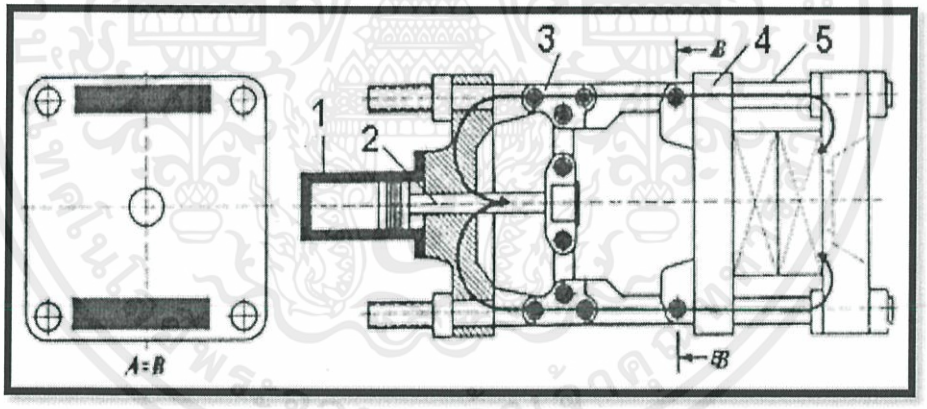
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ Injection Unit และหน้าที่การทำงาน

ชื่อ	หน้าที่การทำงาน
1. กรวยเติม (Hopper)	รับเม็ดพลาสติกเพื่อเติมเข้ากระบอกสูบ
2. กระบอกสูบ (Barrel)	เป็นห้องที่เก็บพลาสติกซึ่งมี Heater ฝังอยู่
3. ฮีทเตอร์ (Heater)	สร้างความร้อนให้ฮีทเตอร์หลอมละลาย
4. สกรู (Screw)	หมุนพาให้พลาสติกเคลื่อนที่ และคลุกเคล้าพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน
5. หัวฉีด (Nozzle)	ฉีดพลาสติกที่ออกจากกระบอกสูบเข้าแม่พิมพ์
6. ชุดไฮดรอลิค (Hydraulic)	ให้ชุดเคลื่อนที่เข้าออก – แม่พิมพ์

2.1.2 ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ทำหน้าที่เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก โดยปกติแม่พิมพ์จะมีสองด้านประกบกัน โดยด้านที่พลาสติกเข้าจะเป็นด้านที่อยู่กับที่ และอีกด้านจะเป็นด้านเคลื่อนที่ ชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบจะทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้แน่นเพื่อต้านความดันภายในขณะฉีด



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของ Clamping Unit

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของ Clamping Unit และหน้าที่การทำงาน

ชื่อ	หน้าที่การทำงาน
1. กระบอกสูบ	ดันให้ก้านสูบเคลื่อนไป – กลับ
2. ก้านสูบ	รับแรงจากกระบอกสูบ ดันกลไกให้เคลื่อนที่
3. ชุดกลไก	ส่งแรงไปยังแผ่นหน้าแปลนเครื่องฉีดให้เคลื่อนที่
4. หน้าแปลนเครื่องฉีด	ยึดแม่พิมพ์ให้สามารถเคลื่อนที่ปิด – เปิดได้
5. เพลานำ	รองรับการเคลื่อนที่ของหน้าแปลนเครื่องฉีดพลาสติก

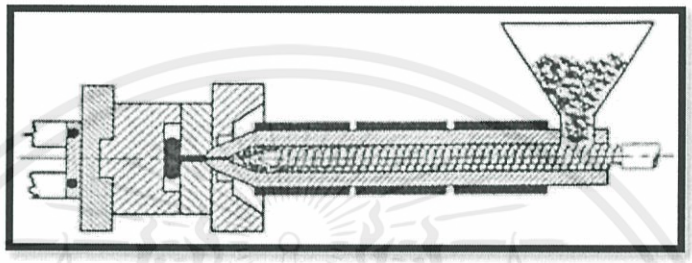
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติก คือ การผลิตชิ้นงานโดยที่ใช้เม็ดพลาสติกป้อนเข้าเครื่องที่เครื่องฉีด โดยเครื่องฉีดจะหลอมละลายเม็ดพลาสติกแล้วฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ ทำให้ได้ชิ้นงานรูปร่างตามแม่พิมพ์ จากนั้นก็จะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

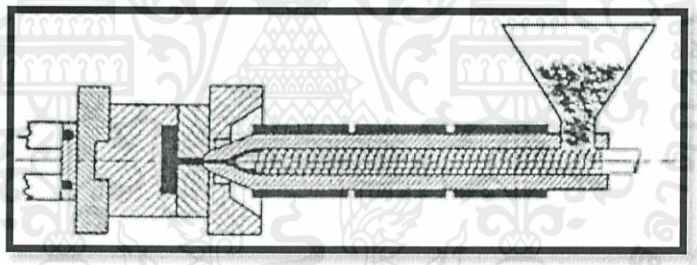
หลักการทำงานในการฉีดพลาสติก

2.2.1 เม็ดพลาสติกถูกหลอมเหลวโดย Heater



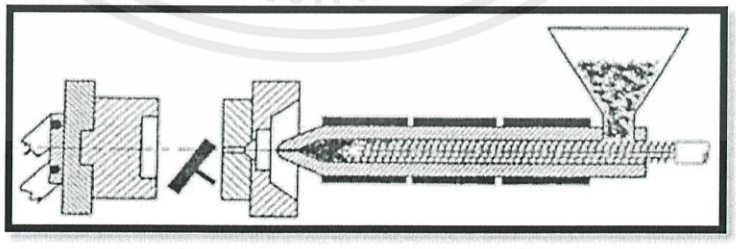
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก

2.2.2 พลาสติกที่หลอมแล้วจะถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการฉีดพลาสติก

2.2.3 คงความดัน และอัดพลาสติกเข้าเต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานจะถูกหล่อเย็นด้วยขณะฉีด

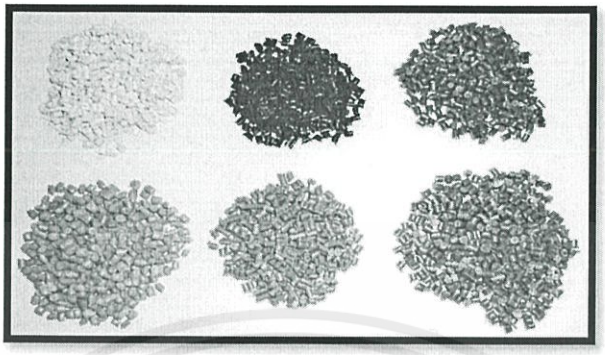


รูปที่ 2.8 ขั้นตอนในการหล่อเย็น และปลดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ชิ้นงานที่แข็งแล้ว ถูกปลดโดย Ejector Pin

2.3 ชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีด



รูปที่ 2.9 เม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ

2.3.1 เซลลูโลสอะซีเตท Celluloseacetate (CA) ใช้ทำกระดุม หวี เครื่องประดับ กรอบแว่นตา ด้ามมีด ด้ามช้อน ส้อม ส่วนประกอบของเฟอร์นิเจอร์ ของเด็กเล่น ส้นรองเท้าสตรี อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องเขียน เครื่องใช้ในบ้านเช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องซักผ้า วิทยุ โทรทัศน์ และโทรศัพท์ ฯลฯ

2.3.2 เซลลูโลสอะซีโตบิวทีเรท Celluloseacetobytyrate (CAB) ใช้ทำพวงมาลัยรถยนต์ หรือหุ้มพวงมาลัยรถยนต์ ชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ มือถือของกระเป๋า จอโทรทัศน์ มือถือของเครื่องมือ เครื่องใช้ไฟฟ้า แผงสวิทช์ไฟฟ้า

2.3.3 อีธิลเซลลูโลส Ethylcellulose (EC) ใช้ทำหลอดปั่นด้าย หุ้มพวงมาลัยรถยนต์ หูโทรศัพท์ ฯลฯ

2.3.4 โพลีสไตรีน แบบธรรมดา Polystyrene (PS1) ใช้ทำชิ้นส่วนก่อสร้าง ฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและโทรคมนาคมที่ไม่ได้รับการกระทบกระแทกมาก เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องเขียน ชิ้นส่วนสำหรับการโฆษณา เครื่องประดับ ขวดโหล และภาชนะขนาดเล็ก

2.3.5 โพลีสไตรีน ชนิดทนความร้อน Polystyrene (PS2) ใช้ทำเครื่องมือในครัวที่ต้องถูกกับความร้อนบ้าง เช่น ช้อนส้อม มีด หลอดดูด ช้อนสลัด กล่องเก็บของในตู้เย็น ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า สินค้าเสริมสวย

2.3.6 โพลีสไตรีน ชนิดทนแรงกระแทก Polystyrene (PS3) ใช้ทำเรือนโทรทัศน์ วิทยุ โทรทัศน์ ประตูตู้เย็น ใช้เป็นสวิทช์ไฟ เครื่องใช้ในครัว ของเด็กเล่น

2.3.7 สไตรีน-อะคริไนตริว โคโพลีเมอรไรเซท Styrene – Acrylonitrile Copolymerisate (SAN) ใช้ทำเรือนและส่วนประกอบเครื่องใช้สำหรับรักษาความสะอาดบ้านเรือนและสำนักงาน วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องใช้ในบ้านและเครื่องครัวที่มีคุณภาพสูง

เอกสารนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

2.3.8 อะคริลไนตริว-บิวทาเดียน สไตรีน Acrylonitrile – Butadien - Styrene (ABS) ใช้ทำส่วนประกอบภายในรถยนต์ เรือนและส่วนประกอบของเครื่องใช้ในสำนักงาน โทรศัพท์ เครื่องใช้

ในบ้านและในครัว ถังสำหรับขนส่งของเหลว เรือนและส่วนประกอบที่สำคัญของวิทยุ โทรทัศน์ เทปอัดเสียง และของเด็กเล่น

2.3.9 โพลีเมธิลเมทอะคริเลท Polymethymethacrylate (PMMA) ใช้ทำชิ้นส่วนของแว่นตา และเทคนิคการส่องสว่าง (เช่น เลนส์ โคมไฟต่าง ๆ) ปากกา ชิ้นส่วนทางเทคนิคและเสริมสวย หน้าปัดนาฬิกา ปุ่มจับหมุนของเครื่องพิมพ์ดีดและเครื่องดนตรี ฝาครอบเครื่องบิน หน้าปัดเครื่องมือวัดต่าง ๆ

2.3.10 โพลีไวนีลคาบาโซล Polyvinylcarbazol (PVZ) ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า ตำแหน่งที่มีความร้อนสูง ในงานใช้ไฟแรงสูง

2.3.11 โพลีคาบอนเนท Polycabonate (PC) ใช้ทำฝาครอบและฉนวนดวงไฟสว่างที่ต้องการความแข็งแรงในช่วงอุณหภูมิสูง ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและรถยนต์ ใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อน (ทางการแพทย์) หมวกกันน็อก อุปกรณ์ในครัวที่ต้องรับการกระทบกระแทกมา ใช้ทำเลนส์ เรือนเครื่องมือ ฝาครอบกล่องสวิทช์ไฟฟ้า ฯลฯ

2.3.12 โพลีไวนีลคลอไรด์ Polyvinylchloride PVC (uPVC) ใช้ทำอุปกรณ์ท่อ (Fittings) ชิ้นส่วนปั๊ม แผ่นเสียง ปะเก็น ฉนวนไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องใช้ในบ้านและในสำนักงาน

2.3.13 โพลีไวนีลคลอไรด์ Polyvinylchloride PVC (Flexible PVC) ใช้ทำปะเก็นต่าง ๆ ของเด็กเล่น รองเท้ากันน้ำ รองเท้าหนังเทียม ส่วนที่ได้รับแรงกระแทกของวิทยุ โทรศัพท์ ส่วนขาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ส้นรองเท้า ปุ่มและมือจับต่าง ๆ ภายในรถยนต์

2.3.14 โพลีอะไมด์ Polyamide (PA) ใช้ทำชิ้นส่วนทางเทคนิคทุกชนิด (เรือนเครื่อง ใบพัดเรือ ใบพัดลม ชิ้นส่วนงานท่อ ถังขนส่งของเหลว มือจับเปิด-ปิดประตู) เฟือง เรือนแบริ่ง กรอบบังคับลูกปืนแบริ่ง ชิ้นส่วนข้อต่อ (coupling) หมวกกันน็อค เครื่องมือแพทย์

2.3.15 โพลียูเทน Polyurethane (PUR) ใช้ทำชิ้นส่วนใช้งานทั่วไปและชิ้นส่วนทางเทคนิคที่ต้องการความแข็งแรงและการคงรูปสูง ชิ้นส่วนเครื่องซักล้าง ฉนวนไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องดูดฝุ่น ชิ้นส่วนแบริ่งที่ทนการเสียดสีสูง เฟือง ของเด็กเล่น และปะเก็นต่าง ๆ

2.3.16 โพลีเอททีลีน ชนิด Low Pressure Polyehyleme; high density (HDPE) ใช้ทำเครื่องใช้ในบ้าน (เช่น กระจาด ถัง อ่าง ตะกร้า) ของเด็กเล่น ถังขนส่งของเหลว ขวด ชิ้นส่วนใช้กับไฟแรงสูง เครื่องมือแพทย์ ชิ้นส่วนทางเทคนิค เรือนเครื่องและกล่องต่าง ๆ

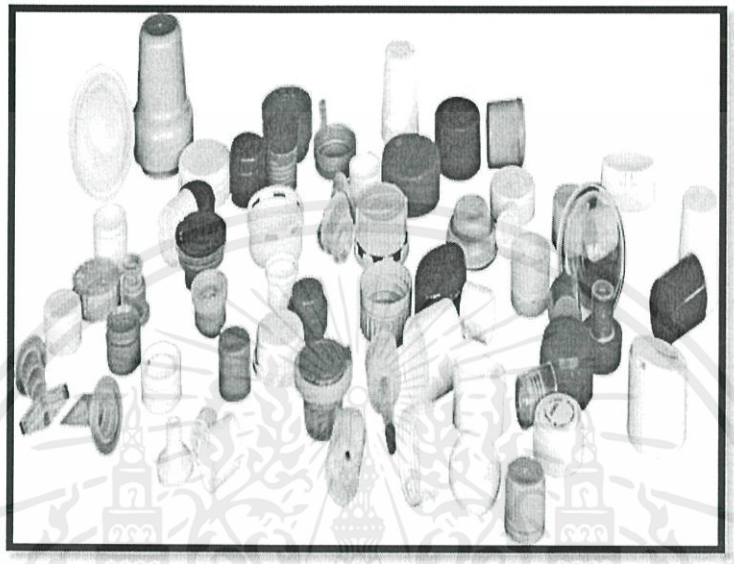
2.3.17 โพลีเอททีลีน ชนิดHigh Pressure Polyehyleme; low density (LDPE) ใช้ทำใช้ทำเครื่องใช้ในบ้าน (เช่น กระจาด ถัง เป็นต้น) ของเด็กเล่น ดอกไม้เทียม หีบห่อของ ขวด เครื่องมือแพทย์ ชิ้นส่วนใช้กับไฟแรงสูง

2.3.18 โพลีโปรพิลีน Polypropylene (PP) ใช้ทำเครื่องใช้ในบ้าน (เช่น ถัง กระจาด อ่าง ตะกร้า และขวด ฯลฯ) ของเด็กเล่น ชิ้นส่วนงานละเอียดและชิ้นส่วนทางไฟฟ้า หมวกกันน็อก ส้นรองเท้าสตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากงานฉีดพลาสติก ได้แก่ กล่องบรรจุอาหาร ขันน้ำ กะละมังพลาสติก โครงหรือชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดพลาสติก

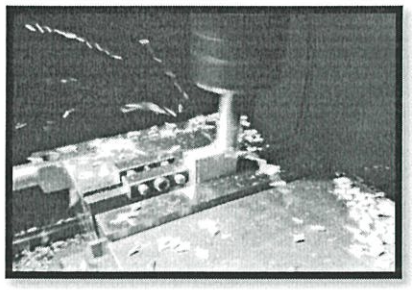
2.5 Machining Process

Machining ซึ่งหมายถึงกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting tool) ในการกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกินออกจากชิ้นงานและวัสดุส่วนที่เหลือจะมีรูปร่างตามที่ต้องการ

ขั้นตอนหลักในกระบวนการMachiningเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปโดยการเฉือน (Shear deformation) ทำให้เกิดเศษตัด (Chip) เมื่อเศษตัดถูกกัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่ กระบวนการMachiningนี้ใช้ ในการผลิตชิ้นงานโลหะให้มีรูปร่างต่างๆ และถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง

กระบวนการMachiningไม่ได้มีเพียงหนึ่งกระบวนการ แต่ประกอบด้วยหลายกระบวนการย่อย ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการใช้เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting tool) ในการกำจัดเนื้อโลหะออกจากชิ้นงานโดย อาศัยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์(Relative motion) ระหว่างเครื่องมือตัดและชิ้นงานการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ประกอบด้วย Primary motion ที่เรียกว่า ความเร็ว (Speed) และ Secondary motion ที่เรียกว่า การป้อน (Feed) รูปร่างของเครื่องมือตัด และลักษณะการกัดผิวชิ้นงานประกอบกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่กล่าวถึงทำให้ได้ชิ้นงานตามรูปร่างและผิวงานที่ต้องการ

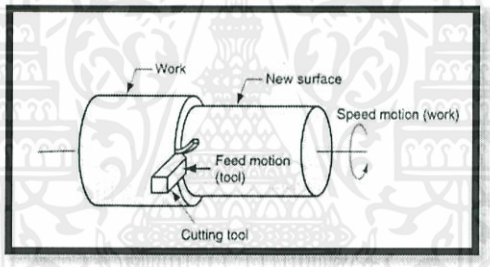
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Machining ชิ้นงาน

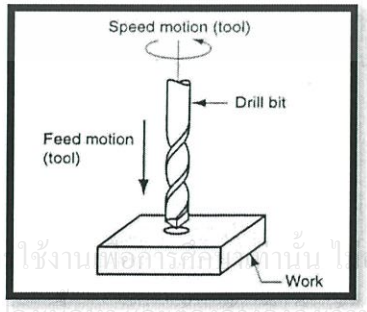
ประเภทของการ Machining

2.5.1 การกลึง ใช้เครื่องมือตัดที่มีคมตัดเดียว (Single cutting edge) ในการปอกเนื้อวัสดุจากชิ้นงานที่กำลังหมุนและทำให้เกิดชิ้นงานรูปทรงกระบอก (Cylindrical shape) ความเร็วในการกลึงถูกกำหนดโดยความเร็วของการหมุนชิ้นงาน ส่วนการป้อนคือการเคลื่อนที่ช้าๆของมีดตัดในทิศทางขนานกับแกนหมุน (Axis of rotation) ของชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 การกลึง

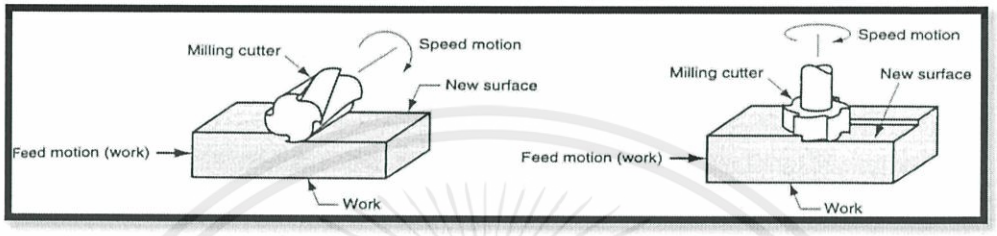
2.5.2 การเจาะ ใช้ในการผลิตรูกลม (Round hole) ซึ่งทำได้โดยการใช้เครื่องมือตัดที่มีสองคมตัด (Two cutting edges) เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ในทิศทางที่ขนานกับแกนการหมุน (Rotation of axis)ของชิ้นงานและเจาะลงไปในชิ้นงานทำให้เกิดรูกลวง



รูปที่ 2.13 การเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การกัดขึ้นรูป จะใช้เครื่องมือตัดที่มีหลายคมตัด (Multiple cutting edges) มีดตัดจะหมุนและเคลื่อนที่ช้าๆสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของชิ้นงานทำให้เกิดระนาบของผิวงานใหม่ ทิศทางการป้อน(Feed direction) ของชิ้นงานจะตั้งฉากกับแกนการหมุนของเครื่องมือตัด ในขณะที่การหมุนของใบมีดตัดถูกกำหนดด้วยความเร็ว (Speed) การกัดขึ้นรูปมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี2วิธี ได้แก่Peripheral milling, และ Face milling



รูปที่ 2.14 การกัดขึ้นรูป

ในกระบวนการMachiningอาศัยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Relative movement) ระหว่างเครื่องมือกัดและชิ้นงานอันประกอบด้วย Primary motion เรียกว่า ความเร็วการตัด (Cutting speed v), Secondary motion เรียกว่า การป้อน (Feed, f) และขนาดการตัดเรียกว่า ความลึกในการตัด (Depth of cut, d) ทั้งสามองค์ประกอบนี้ถูกเรียกว่า ภาวการณ์Machining (Machining Conditions) ในกระบวนการMachiningแต่ละวิธีจะมีการกำหนดภาวะการMachiningแตกต่างกัน โดยทั่วไปในวิธีการMachiningด้วยมีดตัดคมเดียว สามารถคำนวณอัตราการกำจัดวัสดุ (Materialremoval rate) ได้จาก

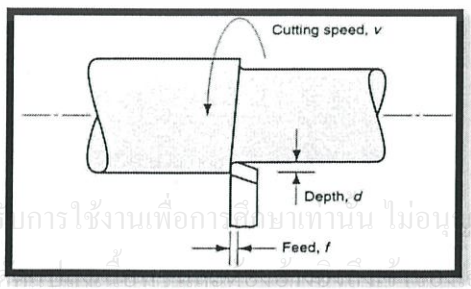
$$MRR = vfd \quad (1)$$

MRR = อัตราการกำจัดวัสดุ, in^3/min (mm^3/s);

v = ความเร็วตัด, ft/min (m/s);

f = ระยะป้อน, in (mm);

d = ความลึกของการตัด, in (mm)



รูปที่ 2.15 Machining Condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิธีการทำ Tapping

Tap เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำเกลียวใน เกลียวที่ทำด้วยเครื่องมือชนิดนี้จะเป็นเกลียวมาตรฐานสำเร็จรูป มีลักษณะของเกลียวที่ถูกต้องแน่นอน ดอก Tap จะมีลักษณะเหมือนกับเกลียวภายนอกที่ทำบนสลักเกลียว แตกต่างกันที่มีร่องอยู่สี่ร่องตัดผ่านเกลียวตลอด รูปร่างของฟันเกลียวที่มีร่องผ่านนั้นทำให้เกิดเป็นคมตัดของเกลียวเกิดขึ้น ที่ปลายด้านหนึ่งของดอก Tap จะตัดให้เป็นแท่งสี่เหลี่ยมเพื่อเอาไว้จับยึดด้วยด้าม Tap

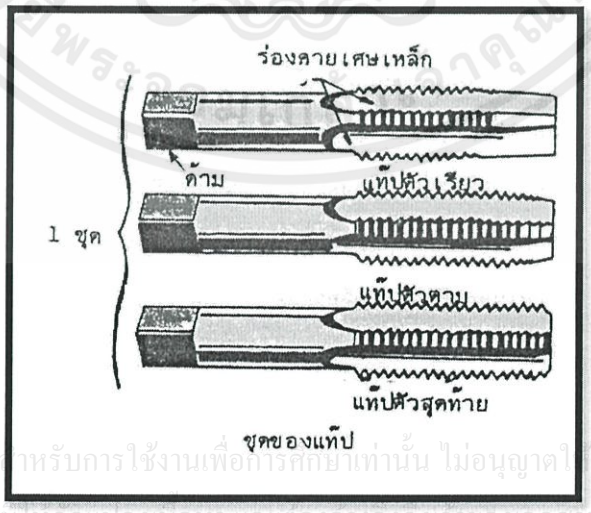
วัสดุที่ใช้ทำ Tap จะทำจากเหล็กกล้าผสมคาร์บอน (carbon steel) หรือเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง (high speed steel) และจะผ่านกระบวนการทำให้แข็ง และอบคืนตัว ดังนั้น Tap จะมีความแข็งมากแต่จะหักง่าย

2.6.1 เครื่องมือทำเกลียวหนึ่งชุดมี 3 ตัว ประกอบด้วย

(1) ตัวเรียว (Taper Tap) แท็ปตัวนี้จะทำฟันเกลียวให้เรียวตอนปลายประมาณ 6 – 7 ฟัน แล้วจึงถึงฟันเต็ม เพื่อจะใช้กับงานที่ต้องการทำเกลียวในระยะเริ่มแรกทั้งนี้เพื่อต้องการทำให้ตัวเกลียวในทำงานตัดเบาๆ เป็นเกลียวนำในระยะเริ่มแรกและทำงานได้เที่ยงตรง ถ้างานที่มีขนาดบาง การทำเกลียวก็จะสิ้นสุดที่ตัวที่หนึ่งนี้

(2) ตัวตาม (Plug Tap) แท็ปตัวนี้จะทำฟันเรียวที่ตอนปลายประมาณ 3 – 4 ฟัน ใช้ในการทำเกลียวงานที่มีขนาดหนาๆ ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ทำเกลียวในระยะขั้นสองหลังจากเกลียวที่ทำนั้นได้ผ่านการใช้ตัวเรียวมาแล้ว ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการทำเกลียวในระยะนี้ให้ดีขึ้น และเพื่อป้องกันการหักชำรุดของเครื่องมือทำเกลียวใน ในบางครั้งอาจใช้ตัวที่สองนี้ทำเกลียวในระยะเริ่มแรกได้ แต่ต้องใช้ความระมัดระวังให้มาก

(3) ตัวสุดท้าย (Bottoming Tap) แท็ปตัวนี้ที่ปลายของฟันเกลียวจะไม่มีเรียวเป็นตัวที่ใช้งานทำเกลียวในขั้นสุดท้าย หลังจากที่ได้ทำเกลียวโดยใช้ตัวสุดท้ายนี้ไปแล้วจะได้สันเกลียวถูกต้องสมบูรณ์ถึงก้นรู



รูปที่ 2.16 ชุดของ tap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

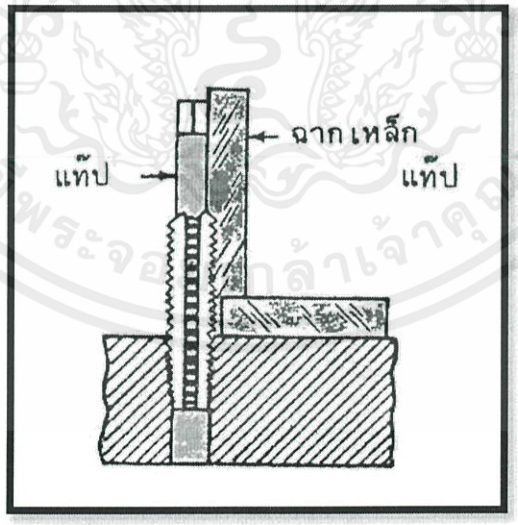
ด้ามจับแท๊ป (Tap Wrench) เครื่องมือที่ใช้จับแท๊ป เพื่อหมุนทำเกลียวในนั้นเราเรียกว่าด้ามจับแท๊ป

รูปที่ 2.17 ด้ามจับ tap

2.6.2 ลำดับขั้นตอนปฏิบัติการทำเกลียวในโดยการใช้แท๊ป สำหรับวิธีการตัดเกลียวด้วยแท๊ป มีลำดับขั้นการทำงานดังต่อไปนี้

(1) จับชิ้นงานด้วยปากกา (Clamp) ให้มั่นคง และพยายามจับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่ทำงานได้สะดวก

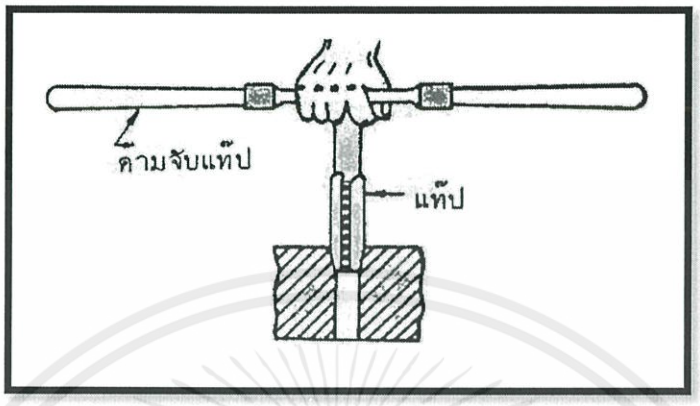
(2) สวมแท๊ปชนิดตัวเรียว (Taper Tap) ลงในรูให้ได้แนวดิ่ง ควรใช้ฉากขนาดเล็กช่วยตรวจสอบ เพื่อให้แท๊ปตั้งตรง



รูปที่ 2.18 การตั้งลำตัวแท๊ปให้ตั้งฉากกับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

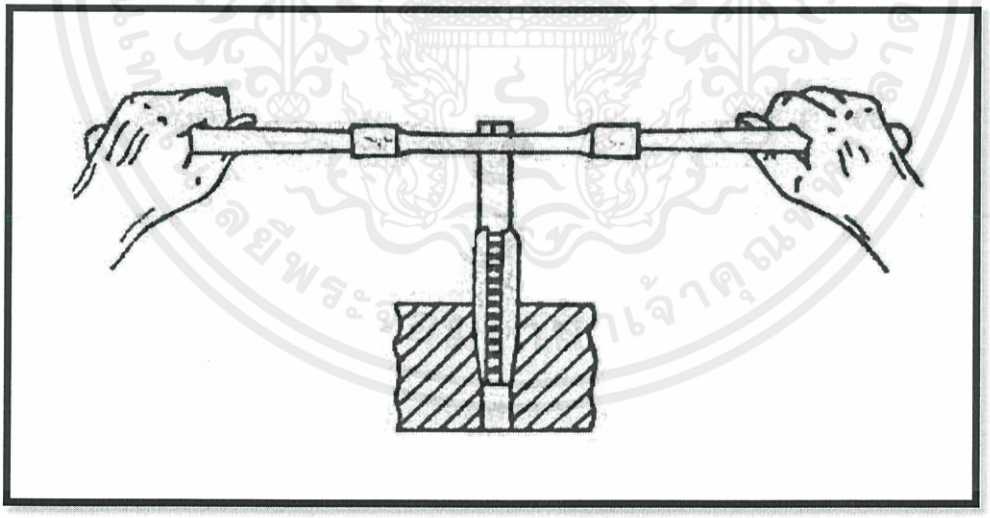
(3) ใช้มือจับด้ามแท๊ปให้ใกล้แท๊ปมากที่สุด และเริ่มต้นหมุนแท๊ป หมุนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้กำลังกดพอเหมาะอย่าให้เอียง



รูปที่ 2.19 การเริ่มต้นตัดชิ้นงานด้วย Tap

(4) ให้เปลี่ยนตำแหน่งของมือที่ใช้จับด้ามแท๊ปใหม่และให้หมุนไปข้างหน้าประมาณ 1/4 รอบ แล้วหมุนกลับจนเศษโลหะหลุดลงไป แล้วหยอดน้ำมันระบายความร้อน

(5) หมุนข้างหน้าประมาณ 1/4 รอบ หมุนกลับ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนสุดระยะของแท๊ป หรือสุดระยะของงานที่ต้องการทำเกลียว



รูปที่ 2.20 การจับด้ามและจับ Tap หลังจากที่ได้เริ่มต้น

(6) เปลี่ยนตัวทำเกลียวตัวที่สองและตัวที่สาม ตามลำดับ

(7) ทำเกลียวตัวสุดท้ายเสร็จ เมื่อเลิกใช้ต้องเช็ดให้สะอาดและเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ามาตรฐานในการเจาะรูเพื่อทำเกลียว

ความโตเกลียว	ระยะพิทช์	ขนาดรูเจาะ
M1		0.75
M1.1	0.25	0.85
M1.2		0.95
M1.4	0.3	1.1
M1.6	0.35	1.3
M1.8	0.35	1.5
M2	0.4	1.6
M2.2	0.45	1.8
M2.5	0.45	2.1
M3	0.5	2.5
M3.5	0.6	2.9
M4	0.7	3.3
M5	0.8	4.2
M6	1	5
M8	1.25	6.8
M10	1.5	8.5
M12	1.75	10.2
M14	2	12
M16	2	14
M18	2.5	15.5
M20	2.5	17.5
M22	2.5	19.5
M24	3	21
M27	3	24
M30	3.5	26.5
M36	4	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบจำเป็นต้องคำนวณหา Stress ที่กระทำกับส่วนที่เราต้องการออกแบบ เพื่อเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม และคำนวณหาค่า Safety Factor เพื่อตรวจสอบการออกแบบว่าได้หรือไม่ และมีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด

2.7.1 Stress Equation

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma =$ ความเค้น (Pa)

$F =$ แรงที่กระทำ (N)

$A =$ พื้นที่ที่แรงกระทำ (m^2)

2.7.2 Safety Factor Equation

$$N_s = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}}$$

$N_s =$ ค่า $Safety\ Factor$

$\sigma_{yield} = Yield\ Stress\ (Pa)$

$\sigma_{actual} = Actual\ Stress\ (Pa)$

2.8 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ Clamping Force

เป็นแรงที่ต้องใช้ในการปิดล็อกแม่พิมพ์ เพื่อกันไม่ให้แม่พิมพ์เผยอและเปิดอ้าออกเนื่องจากแรงที่เกิดในแม่พิมพ์ โดยความดันเหล่านั้นมากจากความดันของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ที่กระทำกับพื้นที่ของงานที่ออกแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเปิดปิดของแม่พิมพ์

$$F_c = 1.2 \times \frac{P_i}{2} \times A$$

$$P_i = P_F + 200\ bar$$

$$P_F = K_F \times K_S \times f_w$$

P_f = *injection pressure in gate (bar)*

K_F = *factor of plastic flow*

K_S = *factor about the thickness of workpiece*

f_w = *length of flow (mm)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ Suck Back

เป็นค่าของระยะตั้งเนื้อพลาสติกเหลว ความสำคัญของการตั้งระยะที่ถูกต้องคือ หากเราตั้งค่าของระยะถอยสกรูที่ถูกต้องแล้ว จะทำให้เราสามารถฉีดพลาสติกเพียง shot เดียว ก็จะได้ชิ้นงานที่เต็มพอดี โดยไม่ต้องทำการฉีดซ้ำเป็นรอบที่สอง

$$L = \frac{4m}{\pi D^2 \rho_m}$$

L = *distance of suck back (cm)*

m = *weight of workpiece,*
runner and gate (g)

D = *diameter of screw (cm)*

ρ_m = *density of melting plastic*

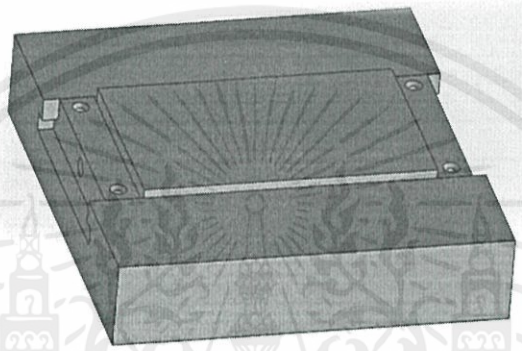
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 ออกแบบ Quick Change System

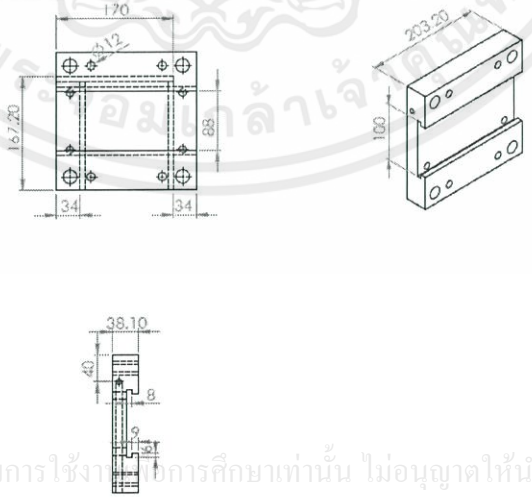
จากการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อแม่พิมพ์ และชนิดของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการดัดแปลงแล้ว จึงได้ทำการออกแบบ Quick Change System โดยทำบนฝั่ง Plate – B



รูปที่ 3.1 Quick Change System

3.1.1 Base - B

ทำการกัดบริเวณ Plate B ให้เป็นร่องลักษณะ T-Shape เพื่อเป็นร่องสำหรับสวมใส่ Insert Block ที่มี cavity ต่างๆกัน โดยออกแบบ Plate – B ดังรูปที่ 3.2

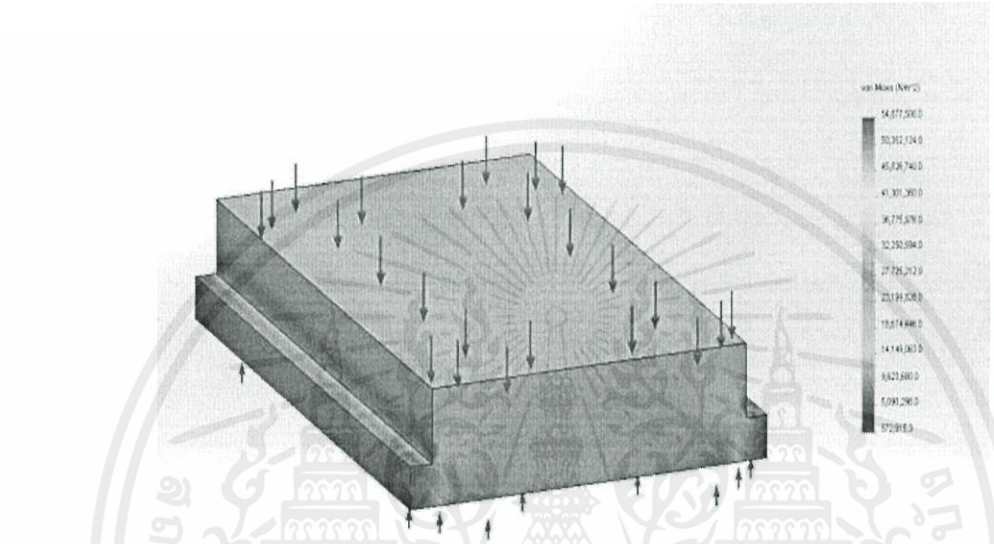


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 Dimension Plate – B สำหรับ T – Shape

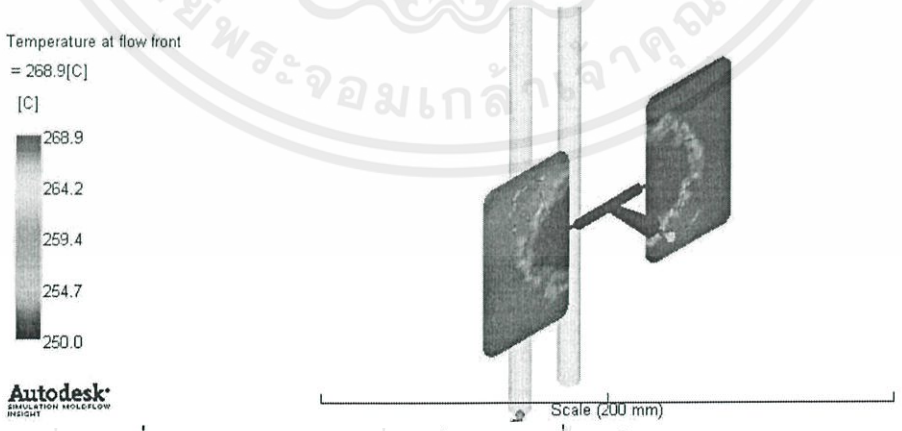
3.1.2 Insert Block

จากการออกแบบ Quick Change System นี้ จะเห็นได้ว่า Insert Block เป็นส่วนที่รับ Clamping Force และพลาสติกไหลเข้า cavity ของ insert block เพราะฉะนั้นจึงต้องหาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อนำมาขึ้นรูปทำเป็น Insert Block โดยทำการ Simulate เพื่อหาค่า Stress ที่กระทำบน Insert Block โดยใช้ค่า Load = 568.98 kN (ค่า maximum ของเครื่องฉีดรุ่น HXF-58 ซึ่งใช้ในการศึกษาและทดลอง) ผลที่ได้รับค่า stress max = 54.878 Mpa ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลการ simulate หาค่า Stress ที่กระทำบน insert block

จากนั้นทำการ simulate หาค่าของอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ไหลเข้าสู่ Insert Block โดยใช้เม็ดพลาสติกชนิด Polystyrene เป็นค่าตั้งต้น ผลที่ได้รับค่าอุณหภูมิสูงสุดของการไหล = $268.9°C$



รูปที่ 3.4 ผลการ simulate หาค่า Stress ที่กระทำบน insert block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากการ Simulate มาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับวัสดุชนิดต่างๆ จึงเลือกใช้ Aluminum 6061 T6 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางกลของ Aluminum 6061 T6

Mechanical Properties	Value
Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Tensile Yield Strength	276 MPa
Elongation at Break	12%
Modulus of Elasticity	68.9 GPa
Ultimate Bearing Strength	607 MPa

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติทางอุณหภูมิของ Aluminum 6061 T6

Thermal Properties	Value
CTE, linear 68°F	23.6 µm/m-°C
CTE, linear 250°C	25.2 µm/m-°C
Specific Heat Capacity	0.869 J/g-°C
Thermal Conductivity	167 W/m-K
Melting Point	582 - 652 °C

คำนวณหาค่า Safety Factor ของ Stress และ อุณหภูมิการไหลเทียบกับค่าคุณสมบัติของ Aluminum 6061 T6 ได้ดังนี้

$$\sigma_s = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}}$$

$$\sigma_s = \frac{276}{53.878} = 5.029$$

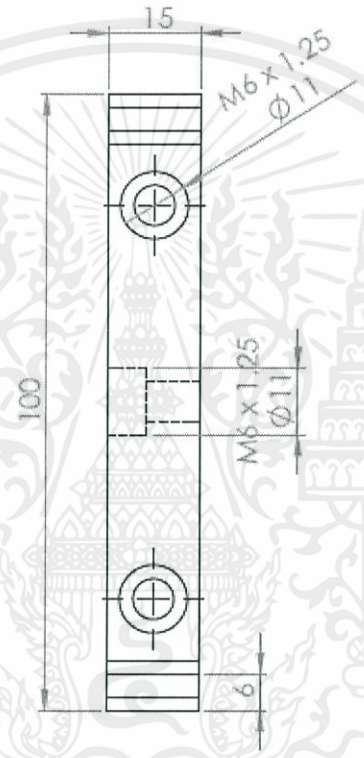
$$T_{flow} < T_{melt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่า Safety Factor ที่คำนวณได้นั้นสามารถนำ Aluminium 6061 T6 มาทำเป็น Insert Block โดยมีค่าความปลอดภัยที่สามารถนำไปใช้ในการฉีดได้จริง

3.1.3 Locker

ตัว Lock ซึ่งจะยึดอยู่กับ Plate – B นั้นมีหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนที่ในแนวนอนของ Insert Block โดยมีการออกแบบดังรูปที่ 3.5

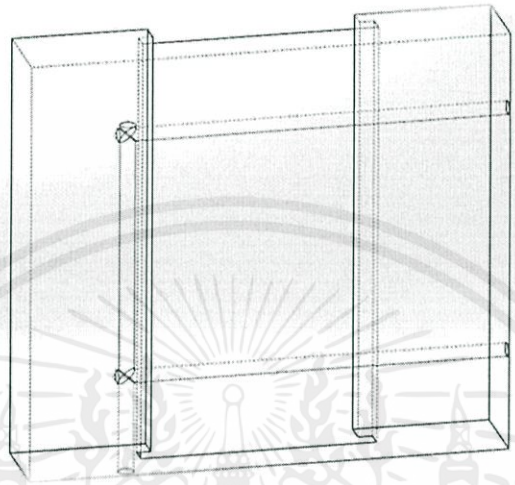


รูปที่ 3.5 Dimension ของ Locker ที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออกแบบ Cooling System

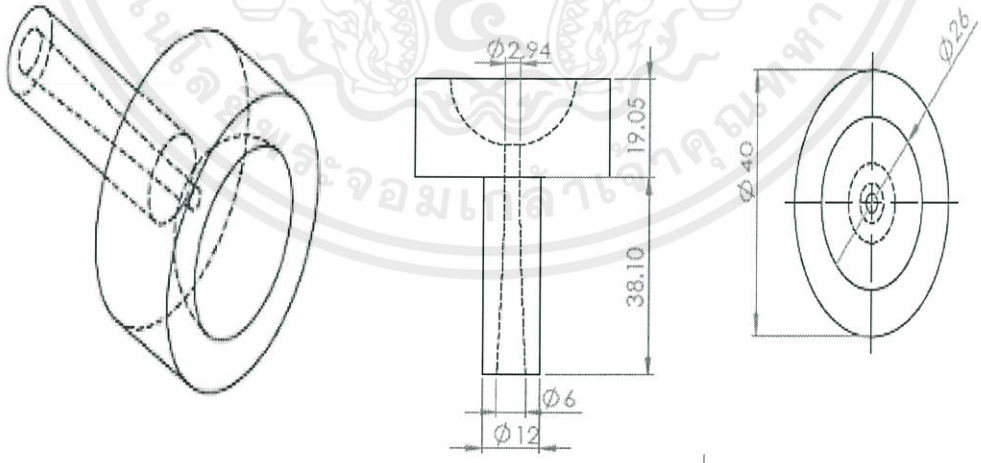
Cooling System เป็นระบบทางเดินน้ำเพื่อทำความเย็น ซึ่งจากการศึกษาเป็นระบบที่มีความซับซ้อนสูงอีกทั้งยังสามารถออกแบบและสร้างได้หลายรูปแบบ ในการดัดแปลงนี้เราดัดแปลงบน Plate – B ในพื้นที่ที่จำกัด ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ทางเดินน้ำที่ได้ทำการออกแบบ

3.3 ออกแบบ Sprue Installation

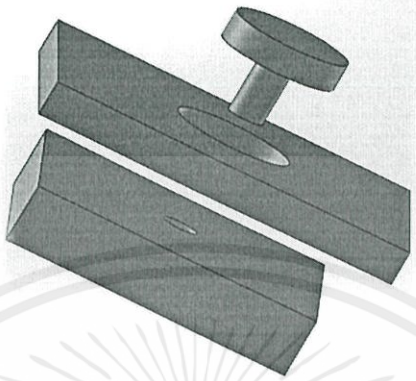
Sprue ที่ใช้ในการดัดแปลงนี้ จำเป็นต้องสั่งซื้อจากผู้ขายโดยตรงเนื่องจากด้วยลักษณะของ Sprue มีลักษณะพิเศษ ไม่สามารถกลึงคว้านขึ้นเองได้ ลักษณะของ Sprue แสดงดังรูปที่ 3.7



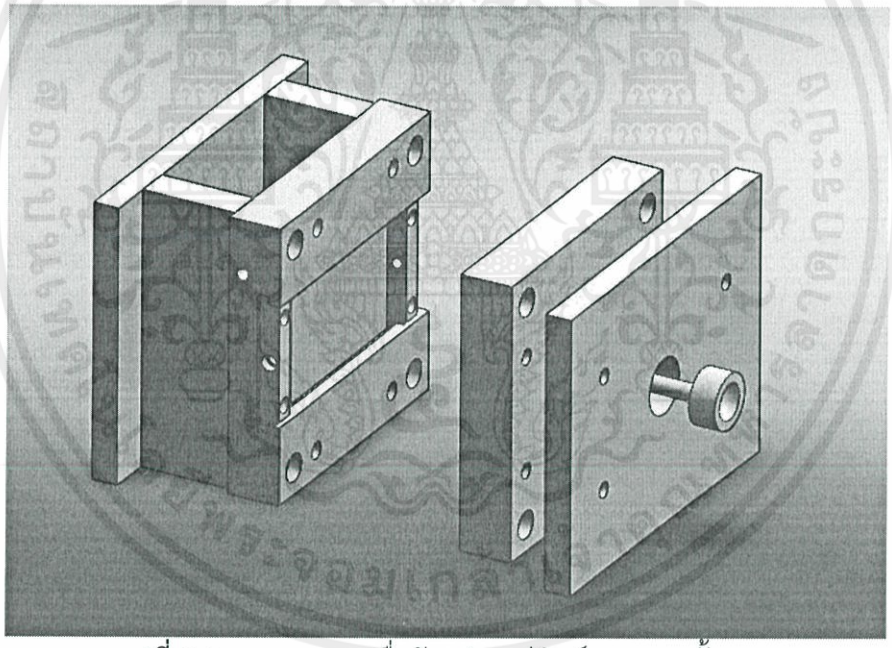
รูปที่ 3.7 Dimension ของ Sprue ที่เราเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบจะทำการยึด Sprue ให้ติดกับ Plate – A และ Support Plate – A ดังรูป



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้ง Sprue บน Support Plate – A และ Plate – A

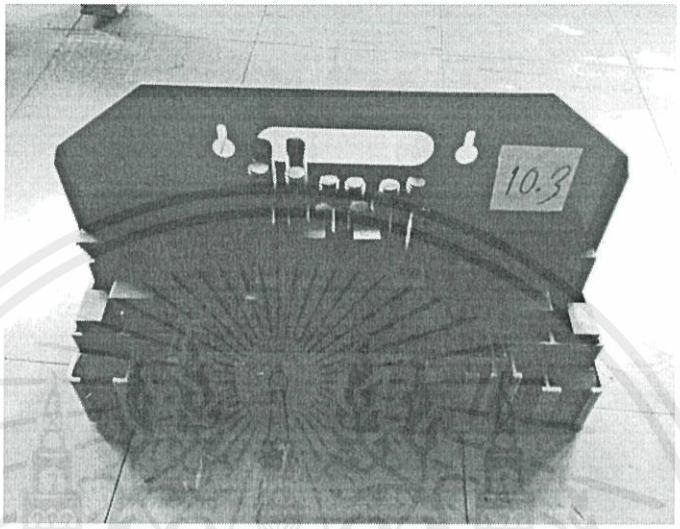


รูปที่ 3.9 การออกแบบเพื่อดัดแปลงแม่พิมพ์มาตรฐานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Machinining Quick Change System

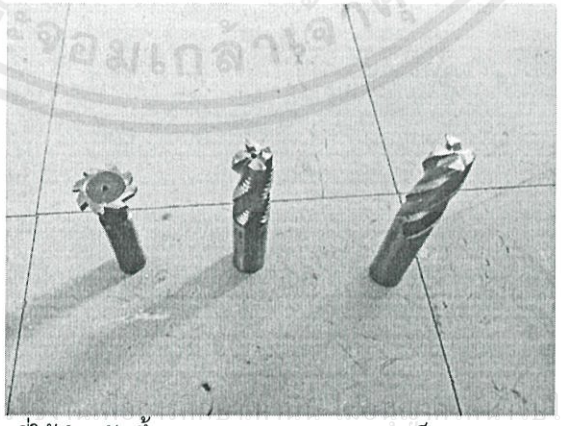
เนื่องจากงานนี้เป็นงานที่ต้องการความแม่นยำสูง และชิ้นงานมีลักษณะใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้ชุด Clamping Kit ในการจับชิ้นงานและใช้ Dial Test เพื่อวางชิ้นงานให้ตั้งฉากก่อนทำการ Machining



รูปที่ 3.10 ชุด Camping Kit

3.3.1 Plate – B สำหรับการดัดแปลง Plate – B ให้มีลักษณะดังรูปตัว T นั้นจำเป็นต้องเลือก Tools ที่มีลักษณะเหมาะสมกับชิ้นงาน ซึ่งมีรายละเอียดการเลือก Tools ดังต่อไปนี้

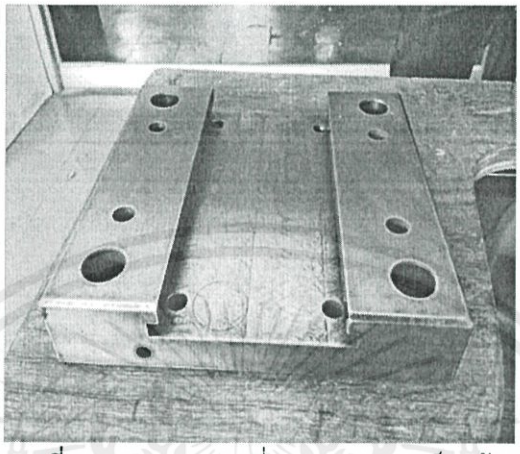
- End Mill (HSS) ดอกหยาบ Diamter 20 mm
- End Mill (HSS) ดอกละเอียด Diameter 20 mm
- T Cutter (Carbide) หนา 4 mm Diamter 8 mm



รูปที่ 3.11 Tools ที่ใช้สำหรับขึ้นรูป Molde Base – B เป็น T Shape

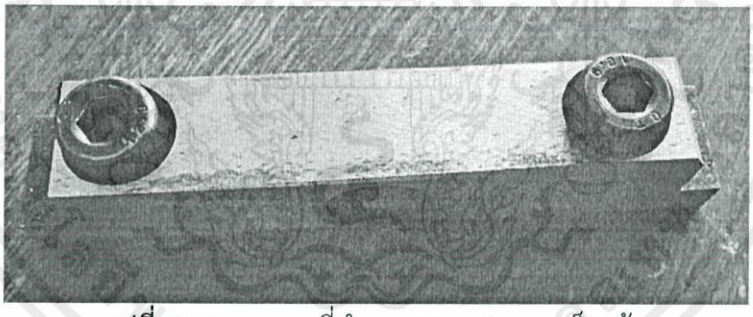
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดัดแปลง Plate – B เริ่มต้นจากการใช้ดอก End Mill หยาบทำการกัดชิ้นงาน โดยกัดให้ได้ระยะก่อนงานที่ออกแบบไว้ 1 mm จากนั้นใช้ดอก End Mill ละเอียด ทำการกัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบ และสุดท้ายใช้ T – Cutter กัดให้มีลักษณะเป็นรูปตัว T ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 Base – B ที่ Machining เสร็จแล้ว

3.3.2 สำหรับการขึ้นรูป Locker จะใช้ดอก End Mill ในการกัดขึ้นรูป ให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.13 และได้ทำการเจาะรูเพื่อทำเกลียว โดยใช้สกรูขนาด M6 x 1.25



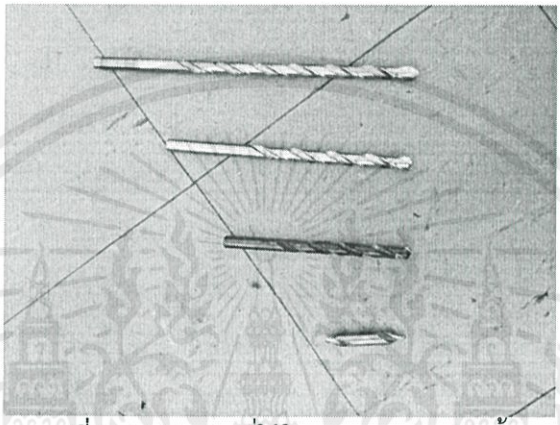
รูปที่ 3.13 Locker ที่ทำการ Machining เสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Machining Cooling System

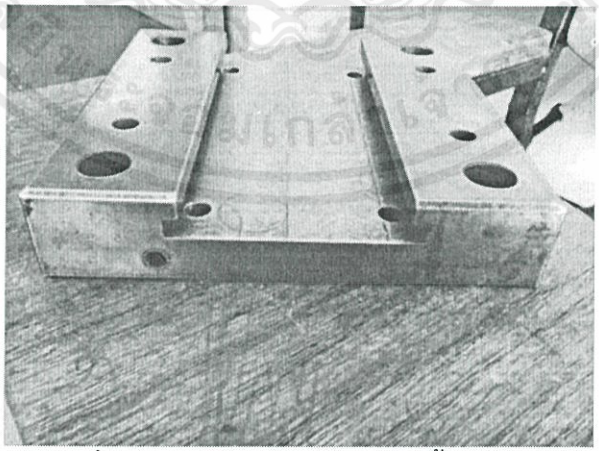
ในที่นี้จะใช้ดอกเจาะขนาด 8 mm ดังรูป

- Twist Drill ตัวเล็กเจาะนำ
- Twist Drill (Carbide) ยาว 6 cm
- Twist Drill (HSS) ยาว 10 cm
- Twist Drill Extra Long (HSS) ยาว 25 cm



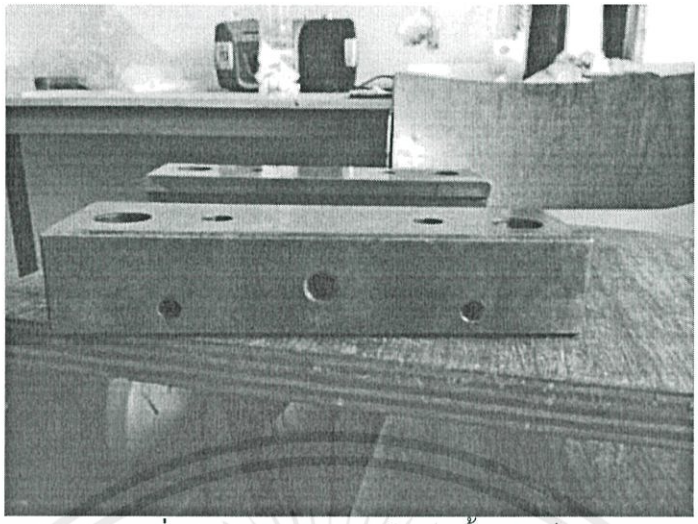
รูปที่ 3.14 Tools ที่ใช้ในการเจาะทางเดินน้ำ

ขั้นตอนในการเจาะขั้นตอนแรกคือใช้ Twist Drill ตัวเล็กเจาะนำไปก่อน และเปลี่ยนไปใช้ขนาดที่ยาวขึ้นเจาะจนไปจนสุดคมมีด แล้วเปลี่ยน จนได้ความยาวตามที่ต้องการ เนื่องจากเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์คือเหล็กเกรด C50 ซึ่งมีลักษณะที่แข็งและเจาะยากหากใช้ดอกยาวเจาะในตอนแรกอาจทำให้ดอกหักติดรูด้านในได้



รูปที่ 3.15 Tools รูสำหรับทางเดินน้ำหล่อเย็น

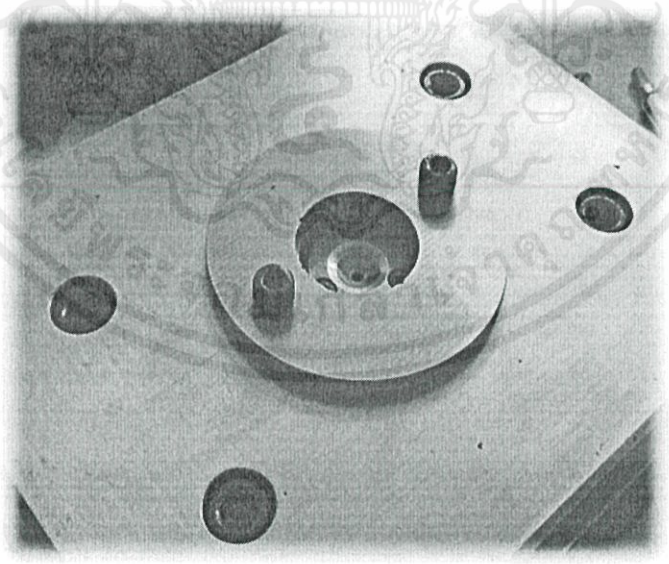
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 รูสำหรับทางเข้าออกน้ำหล่อเย็น

3.6 Machining For Sprue Installation

จากการออกแบบนั้นทำการกลึงคว้าน Support Plate – A และเจาะ Plate – A เพื่อให้สวม Sprue ได้พอดี จากนั้นทำเกลียวใส่น๊อตเพื่อยึด Sprue กับ Plate – A อีกทั้งยังทำวงแหวนเพิ่มเข้ามาติดกับ Support Plate – A เพื่อเป็นตัวนำให้ง่ายต่อการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีด



รูปที่ 3.17 Machining เพื่อติดตั้ง Sprue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลอง

4.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการฉีดพลาสติก

จากการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกเราพบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนการฉีดดังนี้

4.1.1 ขั้นตอนการปิดแม่พิมพ์ ในขั้นตอนนี้แม่พิมพ์ส่วนของ Plate B (Movable Plate) จะถูกดันเข้ามาติดกับ Plate A (Fixed Plate) โดยแรงดันไฮดรอลิกส์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง : Clamping Force

4.1.2 ขั้นตอนการฉีด เม็ดพลาสติกจะถูกหลอมเหลวโดยความร้อน แล้วสกรูจะหมุนดันเม็ดพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวแล้วนี้ผ่านหัวฉีดเข้าไปยัง Cavity ในส่วนของ Plate B

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง : อุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติก, แรงดันฉีด, ความเร็วฉีด

4.1.3 ขั้นตอนการ Cooling เมื่อเม็ดพลาสติกเหลวไหลเข้ามาใน Cavity แล้ว จะมีน้ำไหลเข้าออก Plate B อยู่ตลอดเวลาเพื่อลดอุณหภูมิของพลาสติกเหลวจะได้ชิ้นงานที่เป็นของแข็ง และสกรูที่หมุนดันเม็ดพลาสติกเหลวในขั้นตอนที่ 2 จะหมุนถอยกลับไปที่เดิม (เพื่อดูดพลาสติกเหลวสำหรับฉีดในรอบต่อไป)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง : Cooling Time, Suck Back

4.1.4 ขั้นตอนการปลดชิ้นงาน หลังจากรอเวลา Cooling Time แล้วแม่พิมพ์จะเปิดออก ชิ้นงานที่คาอยู่ตรง cavity จะถูกกระทุ้งออกโดยเข็มกระทุ้ง

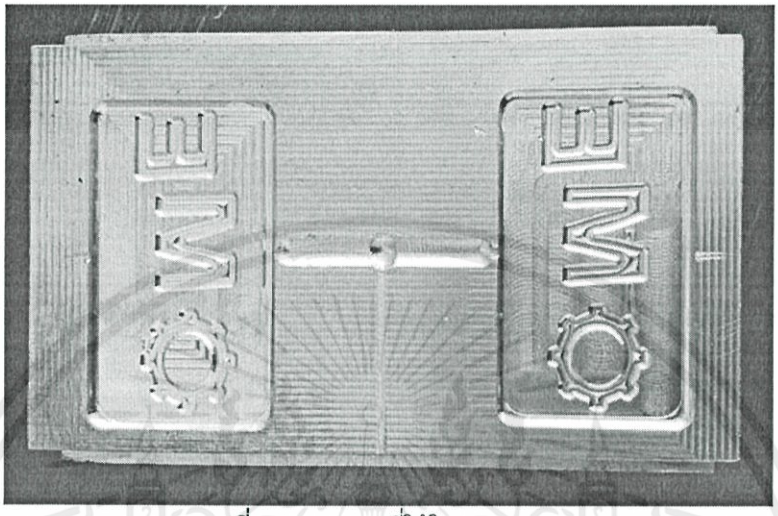
ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง : แรงดันกระทุ้ง, ความเร็วกระทุ้ง

จากข้อมูลข้างต้น พบว่ามีตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติก แต่ตัวแปรที่มีความสำคัญนั้นได้แก่ Clamping Force และ Suck Back เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลต่อการฉีดเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กรณีศึกษา

ในกรณีศึกษานี้ ใช้ cavity ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40 x 70 mm ลึก 3.5 mm ใช้เม็ดฉีดพลาสติกคือ PS



รูปที่ 4.1 cavity ที่ใช้ในการทดลอง

ทำการคำนวณหา Clamping Force จากสูตร

$$F_c = 1.2 \times \frac{P_i}{2} \times A$$
$$P_i = P_F + 200 \text{ bar}$$
$$P_F = K_F \times K_S \times f_w$$

$$P_F = 1.2 \times 1 \times 2\sqrt{40^2 + 70^2} = 193.49 \text{ bar}$$
$$P_i = 193.49 + 200 = 393.49$$
$$F_c = 1.2 \times \frac{393.49}{2} \times 2(4 \times 7) \times 1.02 = 13485.69 \text{ kgf} = 13.48 \text{ ton}$$
$$= 132.3 \text{ kN}$$

จากการคำนวณได้ $F_c = 132.3\ kN$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Suck Back จากสูตร

$$L = \frac{4m}{\pi D^2 \rho_m}$$

$$L = \frac{4x1.05x(4x7x0.35x2+1.5x0.2x0.3)}{\pi(3.3)^2 0.89} = 2.72 \text{ cm} = 27.2 \text{ mm}$$

จากการคำนวณได้ $L = 27.2\ mm$

นำค่าที่คำนวณ $F_c = 132.3\ kN, L = 27.2\ mm$ มาทดลองฉีดได้ชิ้นงานดังรูป

รูปที่ 4.2 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดตามค่าที่คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองหาค่า Clamping Force ที่เหมาะสม

ทดลองฉีดโดยให้ค่า Suck Back เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณคงที่ $L = 27.2\ mm$ และเปลี่ยนค่า Clamping Force ดังต่อไปนี้

$F_c = 122.3\ kN$

รูปที่ 4.3 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 122.3\ kN, L = 27.2\ mm$

$F_c = 112.3\ kN$

รูปที่ 4.4 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 112.3kN,\ L = 27.2\ mm$

เอกสารนี้เป็นเอ... ...น์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ...ไปใช้

$F_c = 142.3\ kN$

รูปที่ 4.5 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 142.3\ kN,\ L = 27.2\ mm$

$F_c = 152.3\ kN$

รูปที่ 4.6 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $F_c = 152.3kN,\ L = 27.2\ mm$

จากผลการฉีดจะเห็นว่า Clamping Force มีผลต่อชิ้นงานคือ ถ้าค่า Clamping Force น้อยเกินไปชิ้นงานจะเกิด Flash ถ้ามากเกินจะไม่ส่งผลต่อชิ้นงานคือชิ้นงานออกมาดี แต่จะส่งผลต่อ Insert Block เพราะเป็นการเพิ่มแรงที่กระทำ ทำให้อายุในการใช้งานน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองหาค่า Suck Back ที่เหมาะสม

ทดลองฉีดโดยให้ค่า Clamping Force เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณคงที่ $F_c = 132.3\ kN$ และเปลี่ยนค่า Suck Back ดังต่อไปนี้

$L = 22.2\ mm$

รูปที่ 4.7 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 22.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$

$L = 17.2\ mm$

รูปที่ 4.8 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 17.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้ การนำไปใช้

$L = 32.2\ mm$

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 32.2\ mm,\ F_c = 132.3\ kN$

$L = 37.2mm$

รูปที่ 4.10 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด $L = 37.2mm,\ F_c = 132.3\ kN$

จากผลการฉีดจะเห็นว่า Suck Back มีผลต่อชิ้นงานคือ ถ้าค่า Suck Back น้อยเกินไป จะได้ชิ้นงานที่ออกมาไม่เต็ม Cavity ถ้า Suck Back มากเกินไปชิ้นงานที่ออกมาจะเกิด Flash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า ค่า Clamping Force และ Suck Back ที่คำนวณจากสูตรสามารถนำมาใช้ในการฉีดได้จริงมีความเหมาะสม และส่งผลต่อชิ้นงานดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Clamping Force ที่ส่งผลต่อชิ้นงาน

ค่า Clamping Force	% ของชิ้นงานต่อพื้นที่ Cavity
$F_c = 132.3$ kN L = 30.5 mm	100
$F_c = 112.2$ kN	126.02
$F_c = 122.2$ kN	103.90
$F_c = 142.2$ kN	100
$F_c = 152.2$ kN	100

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า Suck Back ที่ส่งผลต่อชิ้นงาน

ค่า Suck Back	% ของชิ้นงานต่อพื้นที่ Cavity
L = 30.5 mm $F_c = 132.3$ kN	100
L = 20.5 mm	65.06
L = 24.5 mm	87.03
L = 34.5 mm	131.18
L = 40.5mm	159.65

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองชิ้นงานที่ออกมา มีทั้งชิ้นงานที่ออกมาดีคือเต็ม cavity พอดี และที่ออกมาไม่ดีคือไม่เต็มหรือล้น cavity ในการที่จะฉีดชิ้นงานให้ออกมาดีนั้นจำเป็นต้องตั้งค่า ค่า Clamping Force และ Suck Back ให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่นมาเกี่ยวข้องในกระบวนการฉีด เช่น ความดันฉีด ความเร็วฉีด ระยะเวลา Cooling Time เพราะฉะนั้นในการที่จะฉีดชิ้นงานชิ้นนึงให้ออกมาดี มีคุณภาพนั้นต้องอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญเป็นอย่างมาก

การใช้ค่าที่เหมาะสมในการฉีดนั้น นอกจากจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์แล้ว ยังส่งผลต่อความประหยัดในการใช้เม็ดพลาสติกอีกด้วย เนื่องจาก หากการฉีดไม่สมบูรณ์แล้วนั้น ชิ้นงานนั้นก็จะใช้ไม่ได้ และต้องทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงเป็นการสิ้นเปลืองวัตถุดิบเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3ปัญหาและวิธีการแก้ไข

ตารางที่ 5.3 แสดงปัญหาที่เกิดจากการฉีดและวิธีการแก้ไข

ปัญหา	วิธีการแก้ไข
ชิ้นงานที่ได้ ติดแม่พิมพ์ฝั่ง plate-A	ปัญหาดังกล่าวเกิดจาก ระยะความลึกของ runner ไม่เพียงพอ โดยสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการเพิ่มระยะความลึกของ runner ให้มากขึ้น
เกิด flash กับชิ้นงานเพียงด้านเดียว	ปัญหาดังกล่าวเกิดจาก ผิวของแม่แบบไม่ได้ระนาบ อาจเอียงฝั่งใดหรือฝั่งหนึ่ง ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยออกแบบและสร้างแม่แบบให้ได้ระนาบ
เกิดความร้อนด้าน plate-A	ปัญหาดังกล่าวเกิดจาก การฉีดเป็นระยะเวลาที่นาน เนื่องจากด้าน plate-A ไม่มีระบบทำความเย็น ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการออกแบบระบบทำความเย็นให้ plate-A หรือหยุดพักการใช้งานเครื่อง

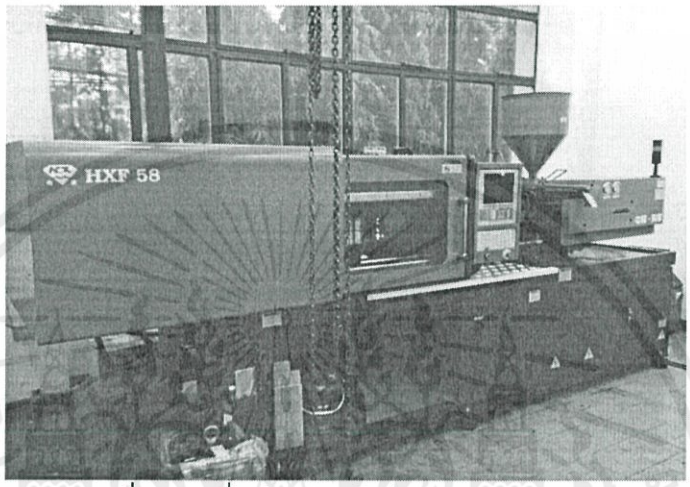
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการใช้เครื่อง Injection Molding รุ่น HXF-58

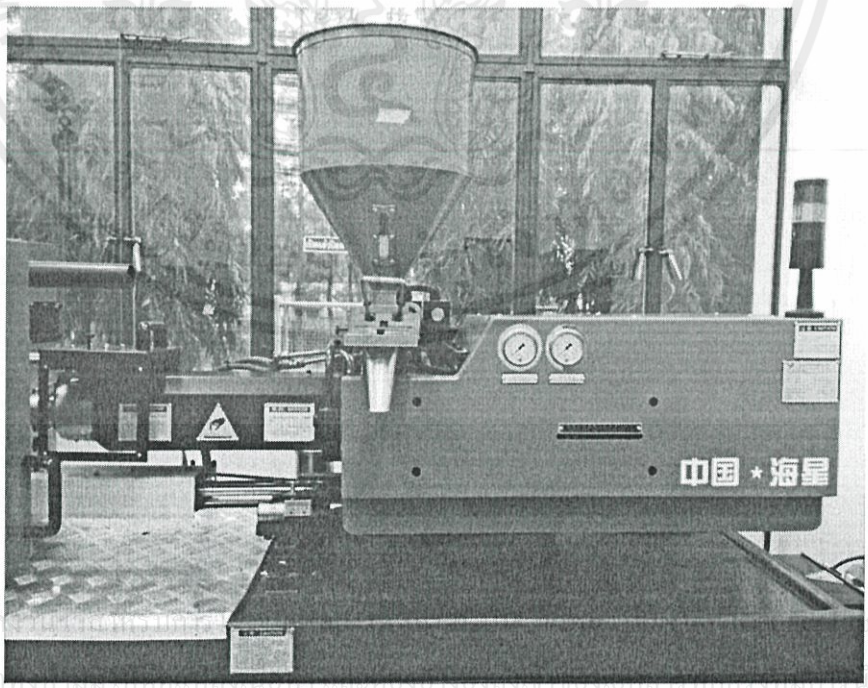
เครื่องฉีดที่เราใช้ในการทดลองก็คือ HXF-58



รูปที่ ก-1 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HXF-58

2.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HXF 58

2.1.1 ชุดฉีด (Injection Unit)

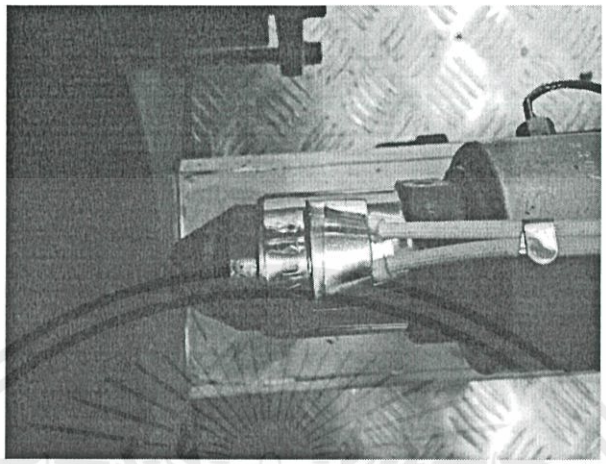


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-2 Injection Unit

ชุดฉีดมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. หัวฉีด (Nozzle) เป็นตัวที่ใช้สำหรับฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในส่วนของแม่พิมพ์

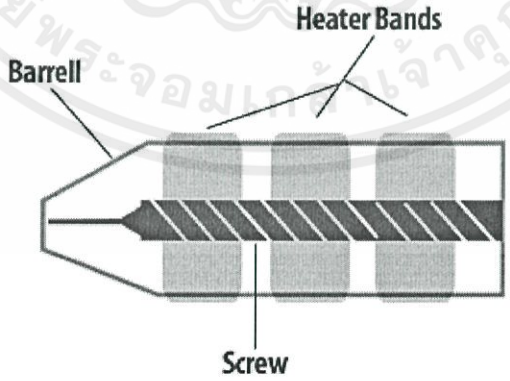


รูปที่ ก-3 หัวฉีด Nozzle

2. สกรู (Screw) เป็นตัวที่ใช้ป้อนเม็ดพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด เพื่อให้ความร้อนก่อนและให้เม็ดพลาสติกหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนที่จะฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์พลาสติก

3. กระบอกฉีด (Barrel) มีลักษณะคล้ายกับทรงกระบอก ภายในบรรจุเนื้อพลาสติกและสกรูหัวฉีด ภายนอกถูกหุ้มด้วยแผงความร้อน (Heater) เพื่อให้ความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกเป็นเนื้อเดียวกัน

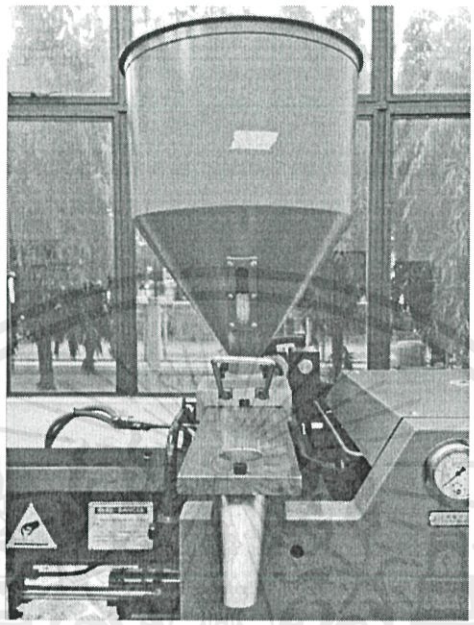
4. แผ่นความร้อน (Heater) มีหน้าที่ให้ความร้อนกับกระบอกฉีด เพื่อหลอมเหลวเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ ก-4 สกรู (Screw) , กระบอกฉีด (Barrel) , แผ่นความร้อน (Heater)

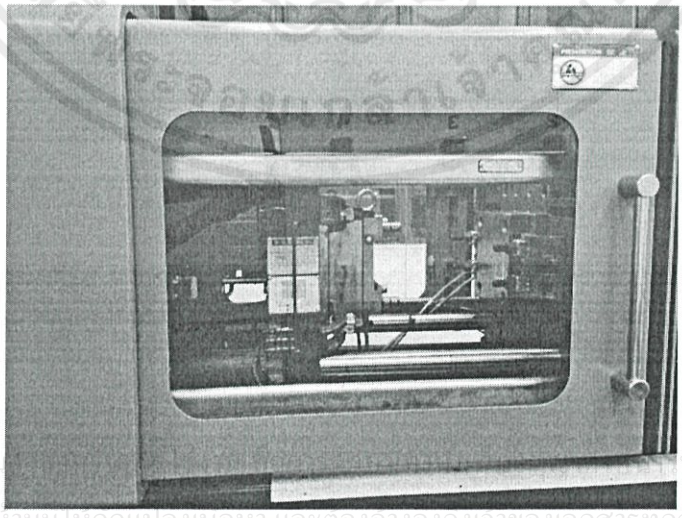
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กรวยเติมพลาสติก (Hopper) มีหน้าที่รองรับเม็ดพลาสติก เพื่อรอเข้าสู่กระบอกฉีด



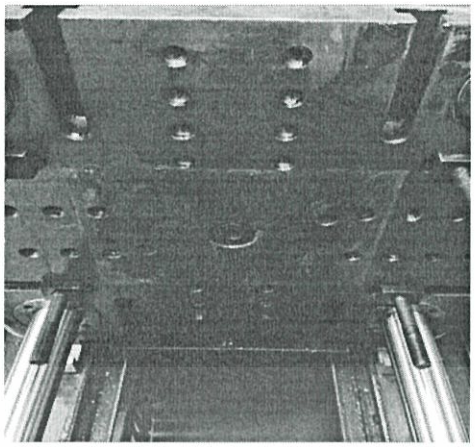
รูปที่ ก-5 กรวยเติมพลาสติก (Hopper)

2.1.2 ชุดเปิด – ปิด และจับยึดแม่พิมพ์พลาสติก (Clamping Unit) มีหน้าที่ในการจับยึดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดพลาสติก และ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ ตามแรงที่ได้กำหนดไว้ในการทำงาน โดยจะมีแผ่นที่ใช้จับยึดแม่พิมพ์ ซึ่งจะมีสองด้าน คือด้านที่เคลื่อนที่ และด้านที่อยู่กับที่ โดยที่ด้านที่มีการเคลื่อนที่ จะมีกลไลของระบบปลดชิ้นงานติดตั้งอยู่ด้วย



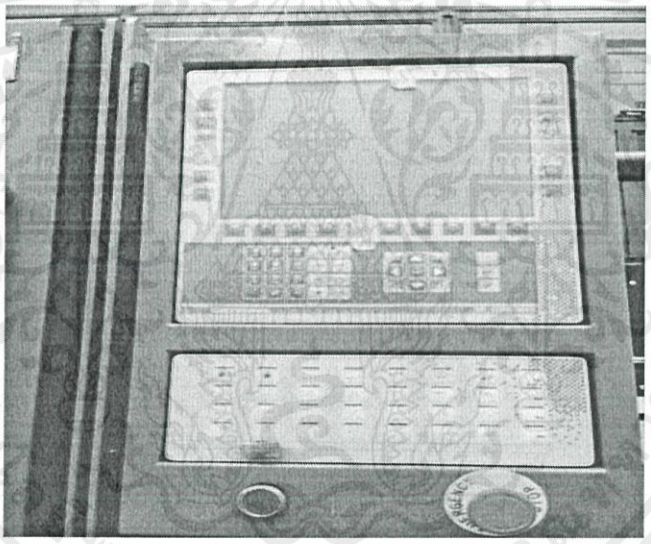
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-6 ชุดเปิด-ปิดและจับยึดแม่พิมพ์พลาสติก (Clamping Unit)



รูปที่ ก-7 แผ่นจับยึดแม่พิมพ์

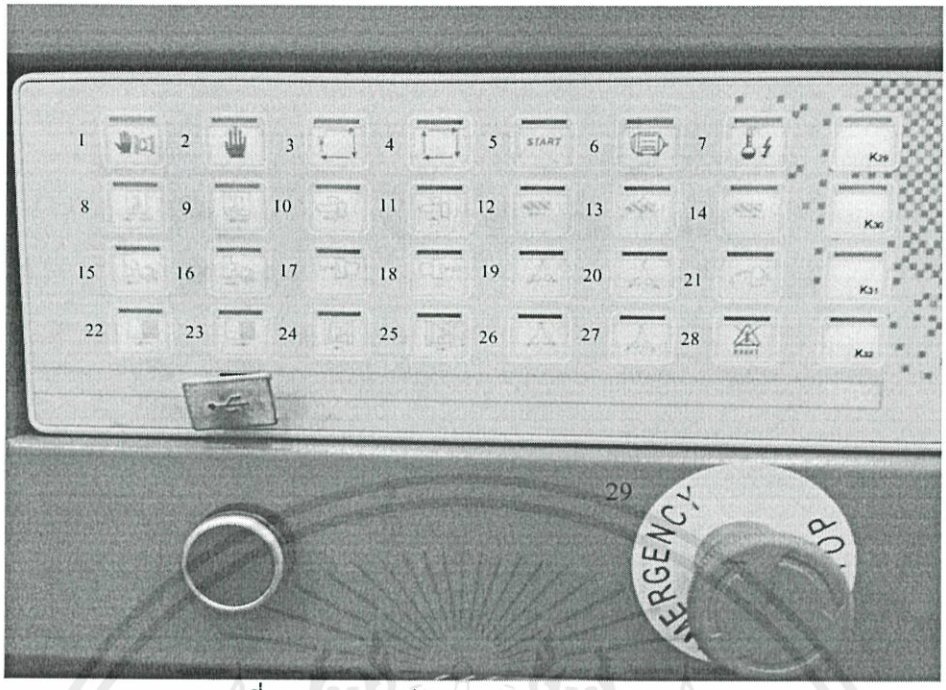
2.1.3 แผงควบคุม (Control Unit) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานและการตั้งค่าต่างๆของเครื่องฉีดพลาสติก ให้ทำงานและมีค่าการฉีดตามที่ต้องการ



รูปที่ ก-8 แผงควบคุม (Control Unit)

โดยภายในแผงควบคุม จะมีปุ่มต่างๆ เพื่อควบคุมและตั้งค่าการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งแผงควบคุมเครื่องจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



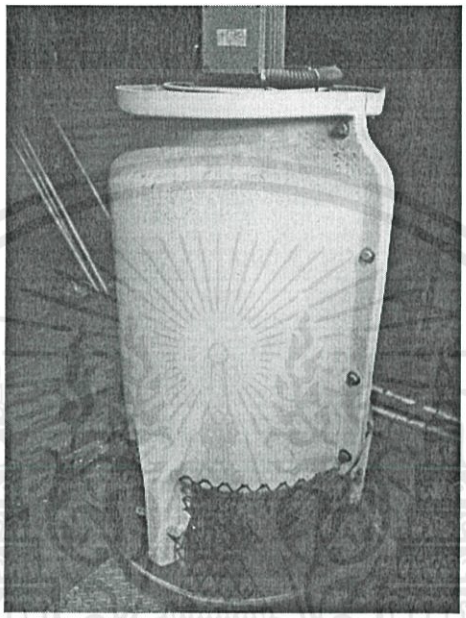
รูปที่ ก-9 รายละเอียดแผงควบคุม (Control Unit)

(1) Mold adjust
(2) Manual mode
(3) Semi auto mode
(4) Full auto mode
(5) Cycle start
(6) Motor on
(7) Heat on
(8) Mold open
(9) Mold close
(10) Carriage forward
(11) Carriage backward
(12) Injection
(13) Charge on
(14) Suck back
(15) Eject forward
(16) Eject backward
(17) Core 1 in
(18) Core 2 in
(19) Air 1
(20) Air 2
(21) Lubrication
(22) Door backward
(23) Door forward
(24) Core 1 out
(25) Core 2 out
(26) Mold height backward
(27) Mold height forward
(28) Alarm reset
(29) Emergency bottom

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิธีการใช้เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HXF 58 เบื้องต้น

1. ตรวจเช็คระดับน้ำที่ cooling tower โดยระดับน้ำควรสูงกว่าตะแกรงที่ใช้กรองฝุ่นละออง หากระดับน้ำต่ำกว่าตะแกรง ควรเติมน้ำให้ระดับน้ำสูงขึ้นก่อนการใช้งาน เนื่องจากหากไม่มีน้ำใน cooling tower จะทำให้ระบบมีความร้อนสูงเกินไป



รูปที่ ก-10 Cooling Tower

2. นำเม็ดพลาสติกที่ต้องการทำการฉีด ใส่ลงไปในกรวยเติมพลาสติก

3. ใส่แม่แบบที่ได้ออกแบบมาตรง plate b โดยจัดให้กลางแม่แบบตรงกับกลางของแม่พิมพ์ จากนั้นล็อกแม่พิมพ์เข้ากับแม่แบบให้แน่นติดกัน

4. เปิดเครื่องฉีดพลาสติก

5. ปรับค่าต่างๆในการฉีดที่แผงควบคุม (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อถัดไป)

6. เปิดปั๊มเพื่อควบคุมระบบไฮโดรลิค และเปิด heat เพื่อให้ความร้อนกับกระบอกฉีด รอจนกว่าจะได้ความร้อนที่ใช้ในการฉีด

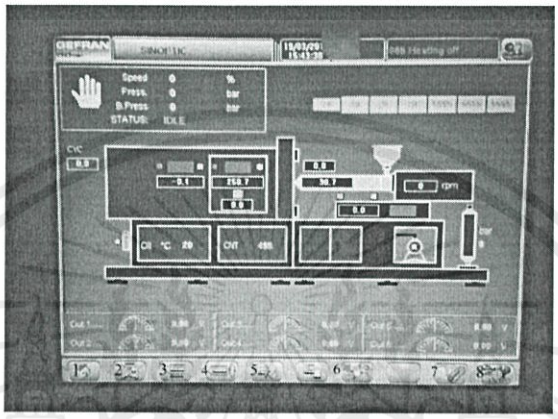
7. เมื่อความร้อนถึงระดับที่สามารถฉีดได้ จึงทำการฉีด ซึ่งสามารถฉีดได้ 3 แบบ คือ แบบควบคุมเอง แบบกึ่งอัตโนมัติ และ แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปรับค่าต่างๆในเบื้องต้นของการฉีดพลาสติก

ในทฤษฎีการคำนวณหน่วยที่ได้จะเป็น kN แต่เมื่อนำค่ามาปรับที่เครื่องหน่วยจะเป็น Bar โดยที่ 58 kN มีค่าเท่ากับ 140 bar

1. เมื่อเปิดเครื่องฉีดพลาสติก ที่แผงคอนโทรลจะขึ้นหน้าจอหลัก โดยหากหน้าจอไม่ได้แสดงผลดังรูปด้านล่าง ให้กดที่ปุ่มหมายเลข 1 เพื่อกลับสู่หน้าหลักของแผงคอนโทรล ดังรูป



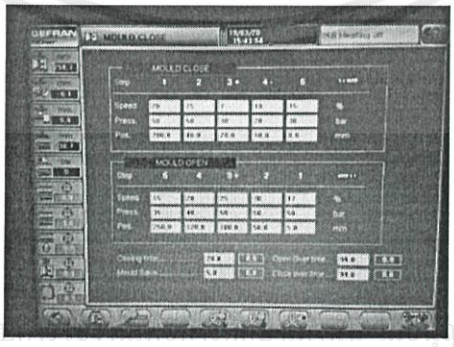
รูปที่ ก-11 หน้าหลักของแผงคอนโทรล

2. การตั้งค่าการเปิด-ปิดของแม่พิมพ์ สามารถเข้าปรับค่าได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 2 โดยเครื่องฉีดรุ่นนี้ จะแบ่งการเคลื่อนที่ของการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งเราสามารถนำค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณมาใส่ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การตั้งค่าการเปิด-ปิดของแม่พิมพ์ สามารถเข้าปรับค่าได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 2 โดยเครื่องฉีดรุ่นนี้ จะแบ่งการเคลื่อนที่ของการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งเราสามารถนำค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณมาใส่ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2 Press. เป็นการปรับค่าความดันของการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ โดยมีหน่วยเป็น บาร์

2.3 Pos. เป็นการปรับค่าตำแหน่งของการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ ก-12 หน้าหลักของแผงคอนโทรล

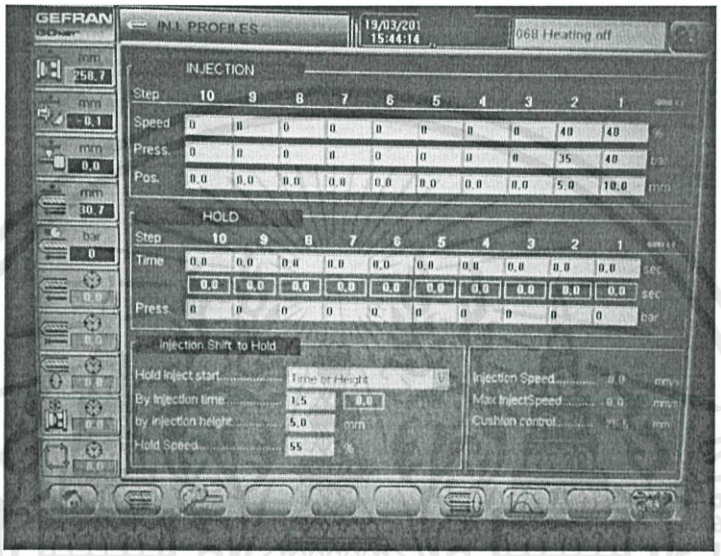
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตั้งค่าการฉีดของเครื่องฉีด สามารถเข้าปรับค่าได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 3 การตั้งค่าในส่วนนี้จะพิจารณาในหัวข้อ Injection โดยเครื่องฉีดพลาสติกรุ่นนี้สามารถแบ่งการฉีดออกได้เป็น 10 ขั้นตอน ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาจากการคำนวณมาใส่ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 Speed เป็นการปรับค่าความเร็วของการฉีด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

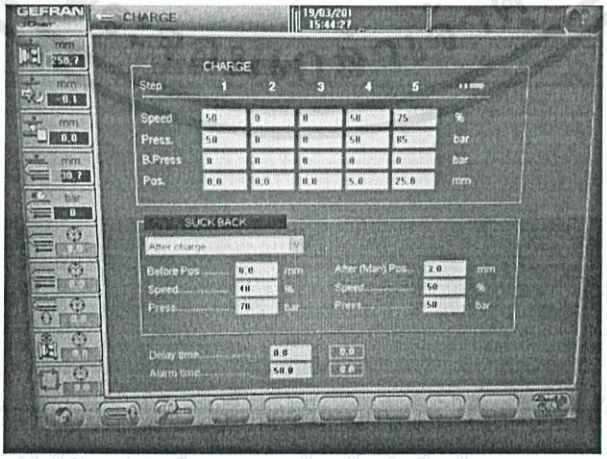
3.2 Press. เป็นการปรับค่าความดันของการฉีด โดยมีหน่วยเป็น บาร์

3.3 Pos. เป็นการปรับค่าตำแหน่งของการฉีด โดยมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร



รูปที่ ก-13 แผงคอนโทรลของความดันฉีด

4. การตั้งค่า Suck back สามารถเข้ามาปรับค่าได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 4 ในส่วนนี้จะพิจารณาเพียงค่าเดียวคือ ในหัวข้อ charge ที่ช่องของ Pos. โดยจะปรับค่าของระยะ suck back ที่ช่องของหมายเลข 4 และ 5 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

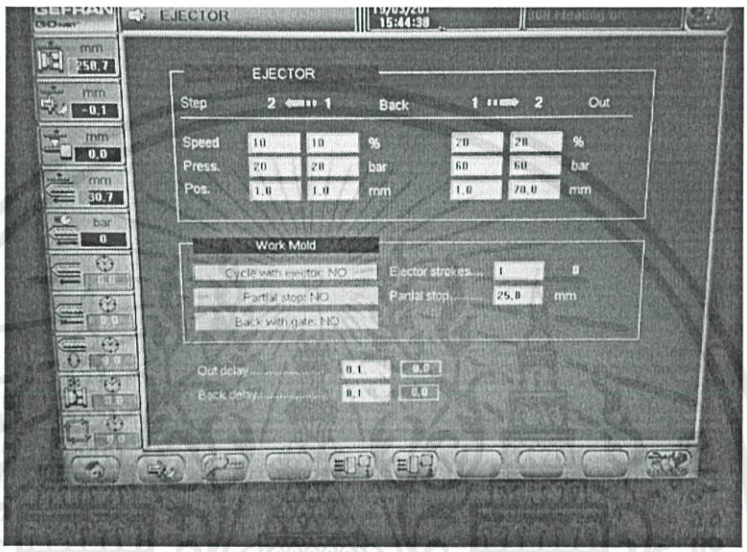
รูปที่ ก-14 แผงคอนโทรลของระยะ suck back

5. การตั้งค่า Ejector สามารถเข้ามาปรับค่าได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 5 โดยเครื่องฉีดรุ่นนี้สามารถแบ่งการปลดงานออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 Speed เป็นการปรับค่าความเร็วของแผ่นปลด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (out คือแผ่นปลดทำงาน , back คือแผ่นปลดกลับสู่ตำแหน่งเดิม)

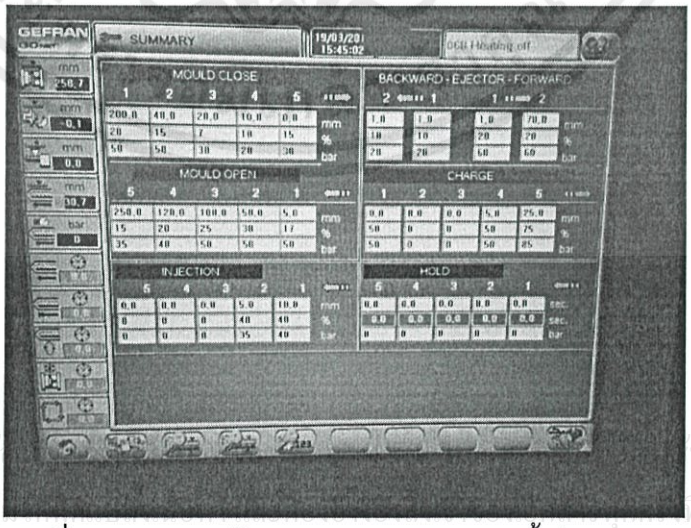
5.2 Press. เป็นการปรับค่าความดันของแผ่นปลด โดยมีหน่วยเป็น บาร์

5.3 Pos. เป็นการปรับค่าตำแหน่งของแผ่นปลด โดยมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร



รูปที่ ก-15 แผงคอนโทรลของแผ่นปลด

6. เมื่อทำการปรับค่าต่างๆแล้ว สามารถเข้าดูการปรับค่าทั้งหมดแบบสรุปรวมได้ อีกทั้งยังสามารถปรับค่าที่หน้านี้ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-16 แผงคอนโทรล แสดงผลสรุปของการตั้งค่า

7. ในการฉีดพลาดติกนั้น ต้องทำการฉีดเมื่อมีความร้อนที่ถึงระดับแล้วเท่านั้น มิฉะนั้นเม็ดพลาดติกจะยังไม่หลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยความร้อนจะแบ่งเป็นตำแหน่งๆ ซึ่งสามารถเข้าไปปรับค่าความร้อนและตรวจสอบความร้อนได้โดยการกดที่ปุ่มหมายเลข 7 โดยมีรายละเอียดดังนี้

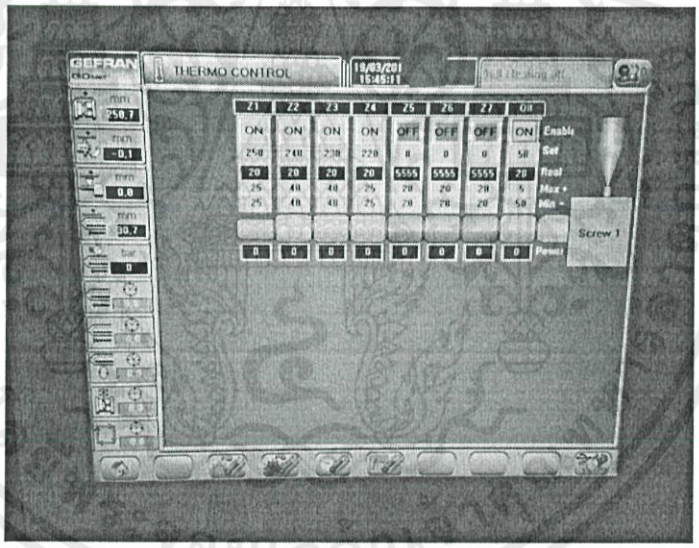
7.1 Enable ตรวจสอบว่าในแต่ละตำแหน่งของกระบอกฉีดทำงานหรือไม่ โดยหากทำงานจะขึ้นว่า “on”

7.2 Set เป็นการตั้งค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของกระบอกฉีด โดยอุณหภูมิที่ตั้งนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดพลาสติก

7.3 Real เป็นการแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของกระบอกฉีดในขณะนั้น ว่ามีอุณหภูมิเท่าใด

7.4 Max+ เป็นการตั้งค่าของอุณหภูมิที่สามารถเพิ่มได้สูงสุด ซึ่งหากเกิดนี้ เครื่องฉีดจะหยุดการจ่ายไฟเพื่อให้ความร้อน

7.5 Min- เป็นการตั้งค่าของอุณหภูมิที่สามารถลดได้ต่ำสุด ซึ่งหากต่ำกว่านี้ เครื่องฉีดจะจ่ายไฟเพื่อให้ความร้อน



รูปที่ ก-17 แผงคอนโทรลของอุณหภูมิ

โดยความร้อนที่จะปรับค่านั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดพลาสติก ซึ่งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิการทำงานที่ต่างกัน ดังนั้นก่อนตั้งค่าอุณหภูมิจะต้องศึกษาก่อนว่า จะใช้เม็ดพลาสติกชนิดใดและมีอุณหภูมิใช้งานเท่าใด

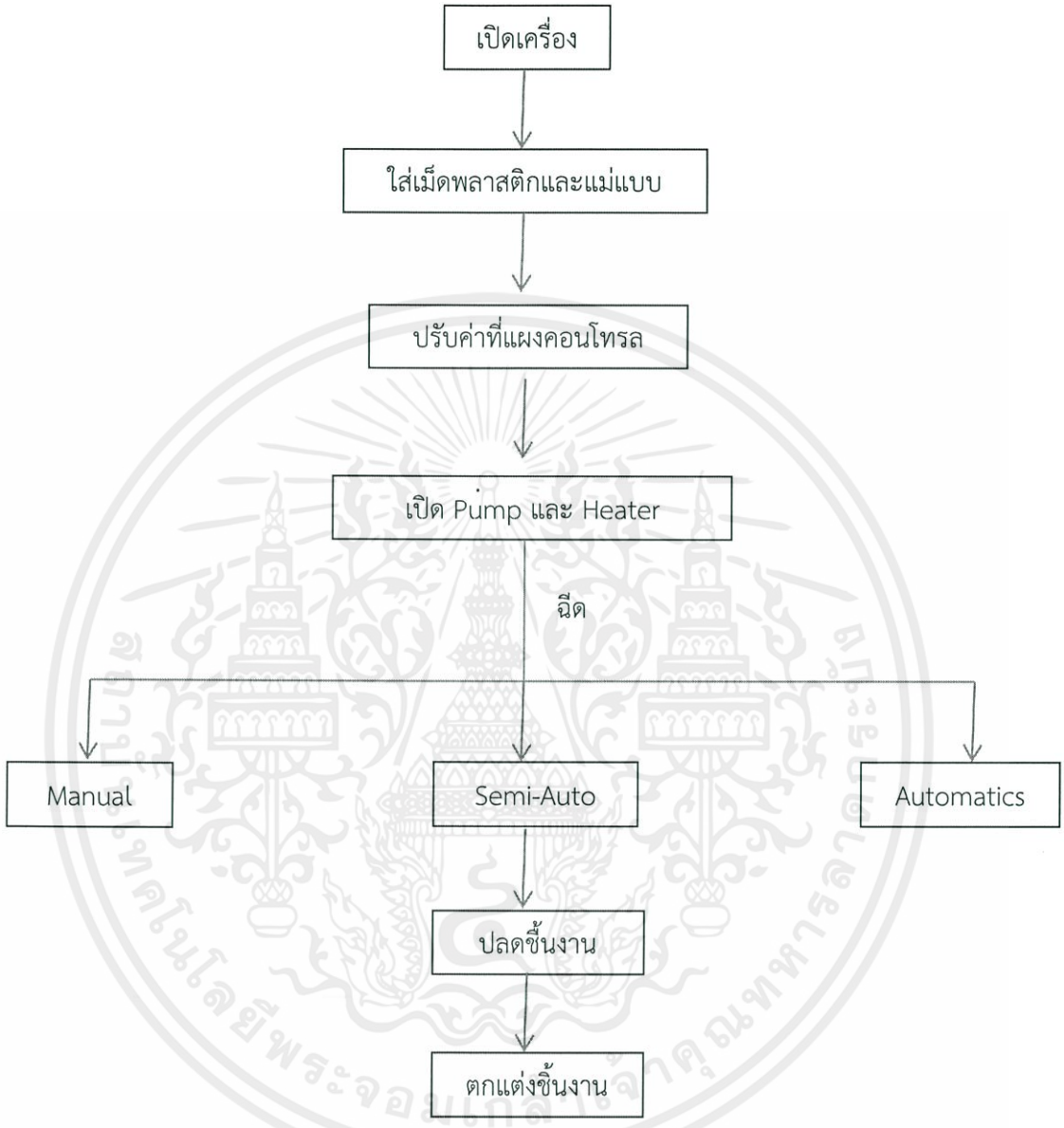
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงอุณหภูมิของเม็ดพลาสติกแต่ละชนิด

พลาสติก	ค่า α (mm^2/s)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	อุณหภูมิพลาสติกเหลว (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ใช้ (°C)
PC	0.110	20-120	90-140	260-320	80-120
PA66	0.090	20-110	70-140	250-320	40-120
ABS	0.085-0.080	20-80	60-100	200-280	40-80
PBT	0.090-0.075	20-80	70-130	250-270	80-100
PMMA	0.080-0.070	10-80	110	200-280	40-80
SAN	0.085	20-80	60-110	180-260	40-80
PS	0.090-0.075	20-100	60-100	180-250	10-50
POM	0.080-0.040	20-120	90-150	170-210	60-120
PP	0.070-0.060	10-100	60-100	190-270	20-60
HDPE	0.110-0.040	10-100	60-100	240-290	10-50
LDPE	0.100-0.070	10-70	50-90	180-240	10-50
PVC	0.075	20-40	60-100	180-210	20-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Flow chart แสดงการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การใช้เครื่อง CNC เบื้องต้น

CNC เป็นคำย่อของ Computer Numerical Control ซึ่งแปลว่าการควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งสามารถทำให้สามารถผลิตชิ้นส่วนออกมาได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ

ในตอนแรกเริ่มการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร CNC ใช้รหัสจีเป็นชุดคำสั่งในการทำงาน โดยที่ไม่สามารถแยกรหัสจีออกจาก CNC ได้ ดังนั้น หากต้องการใช้เครื่องจักร CNC จำเป็นต้องศึกษารหัสจีเพื่อเข้าใจและสามารถทำงานกับเครื่องจักร CNC ได้ ต่อมาภายหลังได้มีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องจักร CNC จึงช่วยให้เข้าใจและทำงานได้ง่ายขึ้น

ระบบเครื่องจักร CNC เป็นระบบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงและควบคุมสภาพการทำงานของเครื่องจักรที่เดิมต้องใช้แรงงานคนในการทำงานร่วมกับเครื่องจักร โดยให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ด้วยตัวของเครื่องจักรเอง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อน รวดเร็ว และต้องการความแม่นยำสูง ซึ่งเกินระดับที่คนสามารถทำได้หลายเท่าตัว

ตัวอย่างประเภทของเครื่องจักร CNC

1. เครื่องกลึง (Machine Lathe) ใช้กลึงงานทรงกระบอก 2 มิติ
2. Machining center ใช้สำหรับการกัดชิ้นงาน 3 มิติ
3. เครื่องตัดโลหะด้วยลวด (Wire cutting Machine) ใช้ตัดโลหะด้วยลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้วัสดุที่ต้องการตัดหลอมเหลวและหลุดออกไป
4. Electrical Discharge Machine หรือ EDM ใช้กัดชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโทรด เพื่อขึ้นรูปตามแบบ
5. เครื่องคว้าน (Boring Machine) ใช้คว้านรูกลม ที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่

CNC Machining Center

ในการขึ้นรูปงานที่ได้ทำการศึกษานั้น ได้ศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้ CNC ประเภท Machining Center ซึ่งเป็นเครื่องจักร CNC ที่ใช้สำหรับกัดชิ้นงาน 3 มิติ

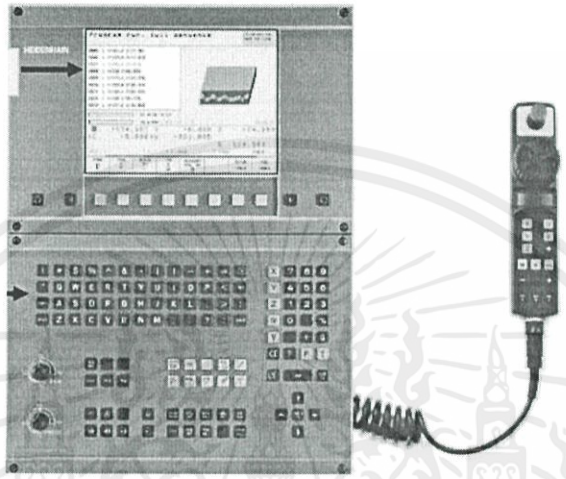
ส่วนประกอบหลักของเครื่อง Machining Center สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)
2. ระบบกลไลการเคลื่อนที่ (Drive mechanisms)
3. ตัวเครื่องจักร (Machine Body)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)

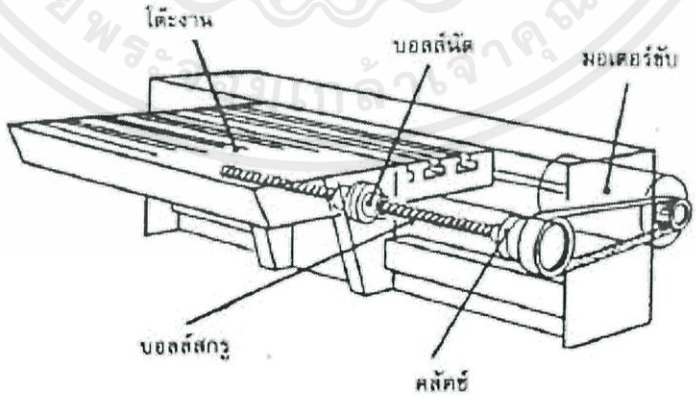
เป็นระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถจัดเก็บ แก้ไข ดัดแปลงตัวโปรแกรมได้ โดยคอมพิวเตอร์จะทำตามคำสั่งโปรแกรมที่ป้อนเข้ามา โดยจะประกอบด้วยส่วนหลักๆ ได้แก่ แผงควบคุม จอภาพ แป้นพิมพ์ และปุ่มต่างๆเป็นต้น



รูปที่ ข-1 ชุดควบคุมการทำงาน

2. กลไลการเคลื่อนที่ (Drive mechanisms)

เป็นส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ โดยใช้ ball screw เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุม เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น ซึ่งตำแหน่งและระยะทางในการเคลื่อนที่ควบคุมด้วยแผงควบคุมการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-2 กลไกการเคลื่อนที่

3. ตัวเครื่องจักร (Machine Body)

ส่วนประกอบหลักของตัวเครื่องจักร มีดังนี้

1. แท่นเครื่อง เป็นโครงสร้างหลักของตัวเครื่องจักร สำหรับรองรับอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร

2. หมอนรอง เคลื่อนที่ได้ 1 แกนบทแท่นเครื่อง เช่น แกน x หรือ แกน y

3. โต๊ะ สำหรับวางชิ้นงาน โดยมีร่องรูปตัว T ใช้สำหรับจับยึดชิ้นงาน

4. เสา เป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้ง สปินเดิล ในรุ่นหลังๆนิยมเสาคู่เพราะมีความแม่นยำสูง

5. สปินเดิล สำหรับจับทูล โดยใช้สายพานหรือเกียร์ในการขับเคลื่อน

ขั้นตอนการผลิตงานด้วยเครื่องจักร CNC Machining Center

1. การออกแบบ โดยส่วนใหญ่แล้วไม่ว่างานลักษณะใดก็ตาม การออกแบบจะใช้การออกแบบใน CAD ก่อนทั้งสิ้น แต่หากงานไม่ซับซ้อนมากก็ไม่จำเป็น

2. การกำหนดขั้นตอนการกัดและเลือกเครื่องมือตัด เป็นขั้นตอนของการกำหนดลักษณะของการกัด และเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับงานที่ออกแบบ

3. จัดเตรียมโปรแกรมที่จะนำมาใช้งาน โดยเมื่อได้รหัสที่ใช้กับเครื่องจักรแล้ว ควรตรวจสอบรหัสว่ามีความผิดพลาดหรือไม่ โดยตรวจรหัสกับการออกแบบว่าสอดคล้องกันหรือไม่

4. ป้อนโปรแกรมเข้าเครื่อง เมื่อได้ทำการตรวจสอบรหัสอย่างถี่ถ้วนแล้ว ก็ทำการป้อนรหัสเข้าเครื่องจักร โดยอาจเป็นระบบส่งผ่านทาง wireless

5. จับยึดชิ้นงานกับโต๊ะงาน

6. ทดสอบการกัด เมื่อทำการเดินเครื่องจักรแล้ว ควรสังเกตลักษณะการกัดก่อนว่ามีความผิดปกติหรือไม่ หากพบความผิดปกติควรหยุดการเดินเครื่องแล้วตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ข้อดีของเครื่องจักร CNC

1. มีความเที่ยงตรงสูง
2. มีคุณภาพสม่ำเสมอ
3. โอกาสเสียหาย หรือ การแก้ไขชิ้นงานน้อย
4. สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง
5. มีความรวดเร็วในการผลิตสูง
6. สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำ
7. สามารถเปลี่ยนชิ้นงาน ได้หลายรูปทรง สะดวกและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อน สามารถขึ้นรูปที่เครื่องจักร CNC เพียงเครื่องเดียว ไม่ต้องทำการเปลี่ยนเครื่องจักร ซึ่งทำให้เสียเวลา

9. ลดปริมาณการตรวจสอบคุณภาพ

10. ลดแรงงานในสายการผลิต

ข้อเสียของเครื่องจักรกล CNC

1. มีราคาค่อนข้างสูง
2. มีค่าซ่อมแซม ซ่อมบำรุงสูง เพราะมีความซับซ้อน
3. อุปกรณ์เสริมต่างๆราคาค่อนข้างสูง
4. ต้องมีความรู้พื้นฐานในการเขียนโปรแกรมมากพอสมควร
5. ต้องหางานป้อนเข้าเครื่องให้ทำงานอยู่เสมอ มิเช่นนั้นจะไม่คุ้มทุน
6. ไม่เหมาะกับสายงานผลิตที่มีจำนวณน้อย
7. ชิ้นส่วนบางอย่าง ต้องสั่งและนำเข้าจากต่างประเทศ
8. แผงควบคุมเป็นภาษาอังกฤษ จึงต้องมีการจัดการสอนและอบรมก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผาคผนวก ค
เอกสารประกอบการเรียนวิชา Mechanical Engineering Laboratory การทดสอบกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HXF 58

1. วัตถุประสงค์

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบแม่พิมพ์และนำมาฉีดขึ้นรูปได้ โดยแม่พิมพ์ที่ใช้เป็นอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปโดยเครื่อง CNC

2. ทฤษฎี

ในการฉีดพลาสติกด้วยเครื่องฉีดพลาสติก มีตัวแปรที่สำคัญหลักๆอยู่ 2 ตัวแปรที่ต้องคำนวณหา คือค่า Clamping force และ ค่า Suck back distance

2.1 Clamping force คือ แรงที่ต้องใช้ในการปิดล็อกแม่พิมพ์ เพื่อกันไม่ให้แม่พิมพ์เผยอและเปิดอ้าออกเนื่องจากแรงที่เกิดในแม่พิมพ์ โดยความดันเหล่านั้นมากจากความดันของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ที่กระทำกับพื้นที่ของงานที่ออกแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเปิดปิดของแม่พิมพ์

วิธีการคำนวณแรงปิดล็อกแม่พิมพ์

หาได้จากสูตร

แรงปิดล็อกแม่พิมพ์ $F = 1.2 \times \frac{P_2}{2} \times A_{ภาพฉาย}$

โดยที่ $P_2 = (K_F K_S f_W) + 200$ bar

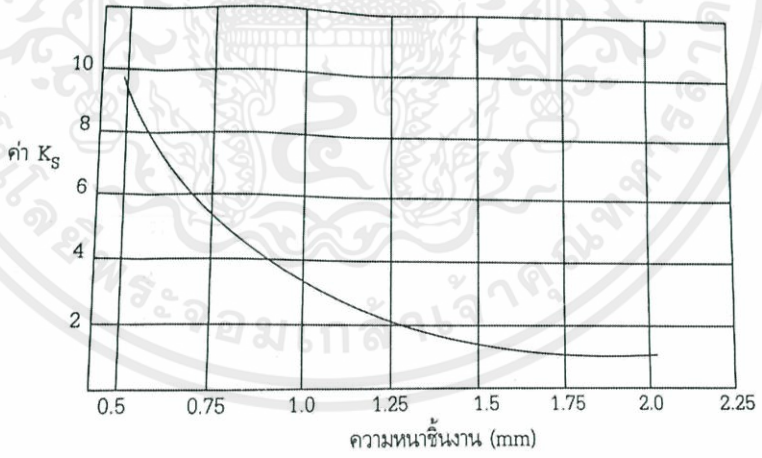
โดยค่า K_F จะขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แฟกเตอร์การไหลของพลาสติก (K_F)

ชนิดของพลาสติก	K_F (bar/mm)	ชนิดของพลาสติก	K_F (bar/mm)
LDPE	1.2	PES	3.7
HDPE	1.8	PMMA	1.8
PA6, 6.6	2.0	POM	2.4
PA6, 6,6 + GF	2.4	PP	1.2
PBTP	2.0	PPO	1.9
PBTP + GF	2.3	PPO + GF	3.2
PC	3.3	PS	1.2
PC + GF	3.7	SAN	1.8
PC/PBTP	3.8	HIPS	1.4
PPS	3.6	ABS	2.0
PSU	2.9	ABS/PC	2.6
PEI	4.4	LCP	1.6

และค่า K_S ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ ค-1 กราฟค่า K_S เทียบกับความหน้าชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ตารางค่าประมาณความดันในแม่พิมพ์ของพลาสติกแต่ละชนิด

ชนิดพลาสติก	ความดันในแม่พิมพ์ (*bar*)	ชนิดพลาสติก	ความดันในแม่พิมพ์ (*bar*)
ABS	300-500	PA6	350-600
PS	250-450	PA6.6	400-650
SAN	300-500	PMMA	350-600
HIPS	250-450	PP	250-450
PC	400-700	LDPE	250-450
CAB	250-500	HDPE	250-500
POM	350-650	PVC อ่อน	250-450
PPO	400-600	PVC แข็ง	300-500
PPS	400-700	PES	400-700
PAI	400-700	PEI	400-700
PEEK	400-700	TPU	250-500
PC + ABS	300-600	PET	400-700
ABS + PA	300-600	PBT	350-650

การใช้ตารางข้างต้น หากฉีดงานทั่วไป เนื้อไม่แน่นมาก จะใช้ค่าต่ำสุด แต่ถ้าเป็นงานที่มีความแข็งแรงมากขึ้น จะใช้ค่ากลาง แต่หากต้องการความเที่ยงตรงสูงจะใช้ค่าสูงสุดในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาแบบง่ายๆจากตาราง โดยคิดพื้นที่ภาพฉายเป็นตารางนิ้ว แล้วคูณด้วยตัวเลขใสตาราง ตามชนิดของพลาสติก ผลคูณที่ได้คือแรงปิดล็อกแม่พิมพ์ มีหน่วยเป็นตัน

ตารางที่ ก.3 ตารางการคำนวณหาแรงปิดล็อกแม่พิมพ์แบบง่าย

ชนิดพลาสติก	แรงปิดล็อกแม่พิมพ์ (ton/in^2) ของพื้นที่ภาพฉาย
PE	1-1.5
PP	1.5-2.5
PS	1.5-2.5
ABS	2.0-3.0
PA	2.0-2.5
พลาสติกวิศวกรรมอื่นๆ	2.0-3.0
พลาสติกผสมใยแก้ว	2.0-3.5

2.2 Suck back distance คือ ค่าของระยะตั้งเนื้อพลาสติกเหลว ความสำคัญของการตั้งระยะที่ถูกต้องคือ หากเราตั้งค่าของระยะถอยสกรูที่ถูกต้องแล้ว จะทำให้เราสามารถฉีดพลาสติกเพียง shot เดียว ก็จะได้ชิ้นงานที่เต็มพอดี โดยไม่ต้องทำการฉีดซ้ำเป็นรอบที่สอง

สูตรการคำนวณ

$$L = \frac{4m}{\pi D^2 \rho_m}$$

โดยที่

L = ระยะถอยสกรู (cm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (cm)

ρ_m = ความหนานแน่นพลาสติกเหลว (Melt Density, g/cm^2)

ρ_s = ความหนาแน่นเม็ดพลาสติก (Solid Density, g/cm^2)

m = มวล,น้ำหนักพลาสติกในแต่ละครั้งการฉีด (g)

V_m = ปริมาตรพลาสติกเหลวในแต่ละครั้งการฉีด

การตั้งระยะถอยสกรูที่ถูกต้อง ทำให้การฉีดพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกออกมาเป็นชิ้นงานจนหมดพอดี ซึ่งจะก่อให้เกิดความคุ้มค่า ทั้งวัตถุดิบและเวลาในการผลิต เพราะหากไม่มีการคำนวณที่ดีแล้วนั้น หากต้องการเปลี่ยนวัตถุดิบ ก็จะตั้งไล่พลาสติกเหลวเก่าออกมาให้หมด ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งวัตถุดิบและเวลา และส่งผลต่อค่าใช้จ่ายอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องฉีดพลาสติก

3.1.2 แม่แบบอลูมิเนียม

3.1.3 เม็ดพลาสติก

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 คำนวณค่า Clamping force กับ Suck back distance

3.2.2 ใส่แบบแบบอลูมิเนียมที่แม่พิมพ์ plate b

3.2.3 ใส่เม็ดพลาสติก

3.2.4 เปิดเครื่องและตั้งค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการฉีด

3.2.5 ทำการฉีดพลาสติก (แนะนำให้ใช้ระบบ manual หรือ semi-auto)

3.2.6 นำชิ้นงานออกจากแม่แบบ

3.2.7 สังเกตลักษณะชิ้นงาน

3.2.8 สรุปและวิจารณ์ผล

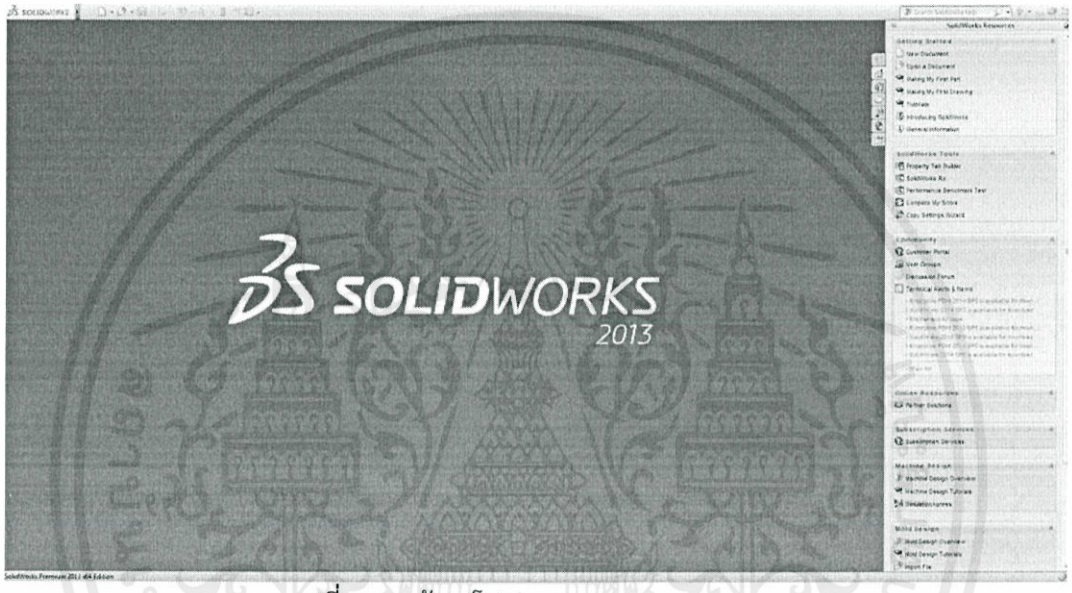
สรุปและวิจารณ์ผล

เมื่อทำการฉีดชิ้นงานแล้ว ให้สังเกตชิ้นงาน ว่ามีลักษณะอย่างไร ถ้าชิ้นงานมีลักษณะที่เนื้องานขาดไป หรือ ชิ้นงานไม่เต็มแม่แบบ แสดงว่าระยะ suck back มีค่าน้อยเกินไป จึงทำให้เนื้อพลาสติกไม่เต็มแม่แบบ แต่หากชิ้นงานเกินออกมาจากแม่แบบ แสดงว่าระยะ suck back มีค่ามากเกินไป จึงทำให้เนื้อพลาสติกล้นออกจากแม่แบบ (หรือแรง clamping force น้อยเกินไป ส่งผลให้มีแรงในการปิดแม่พิมพ์น้อยเกินไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ความเค้นที่กระทำลงบน Insert Block

ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการวิเคราะห์ โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบเขียนแบบทางวิศกรรม นอกเหนือจากนี้แล้วยังสามารถ Simulation ได้อีกด้วย โดยต่อไปนี้จะเป็นวิธีการสอน Simulation อย่างง่ายๆ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks

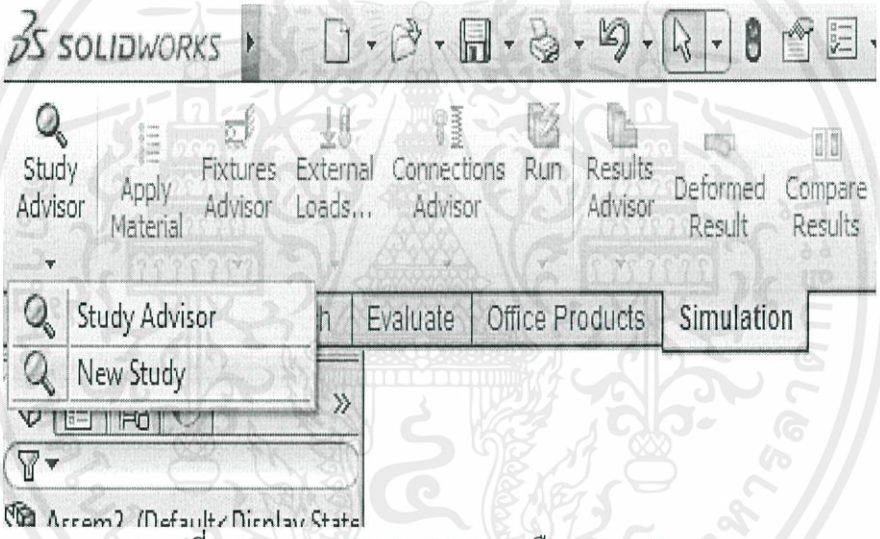


รูปที่ ง-1 หน้าตาโปรแกรม SolidWorks2013

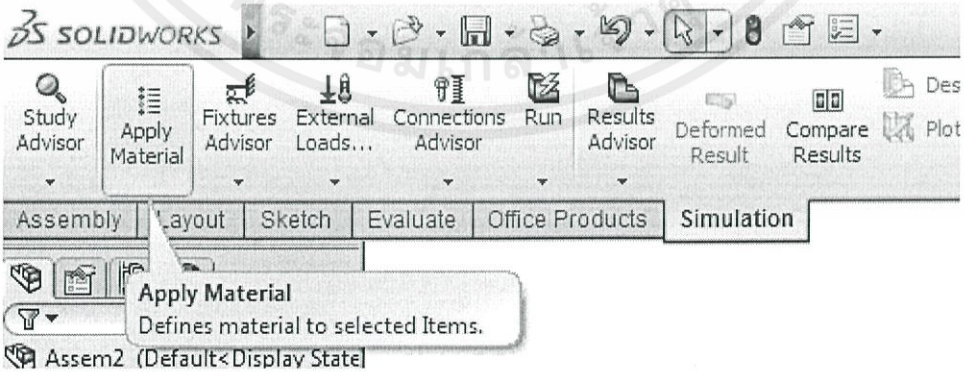
รูปที่ ง-2 งานที่จะทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง-3 กดตรง tab SolidWorks Simulation

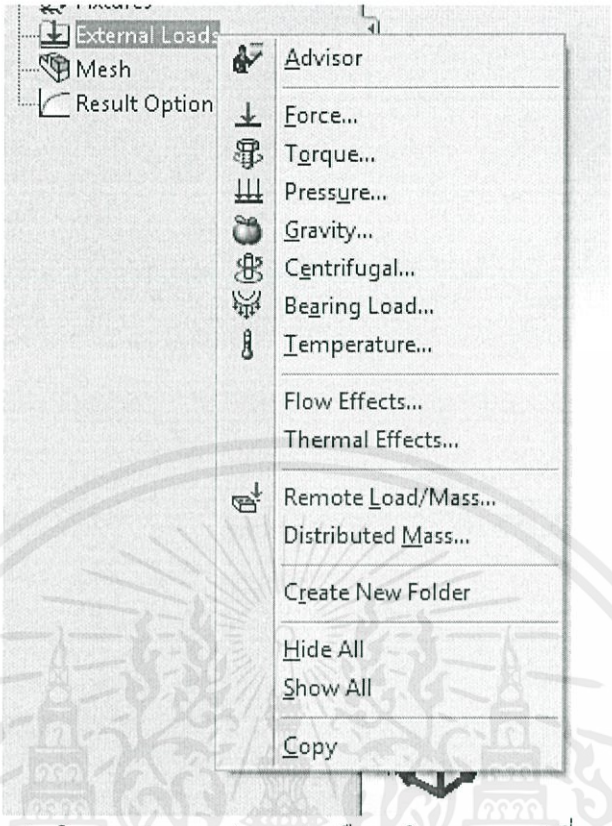


รูปที่ ง-4 กดตรง Study Advisor เลือก New Study

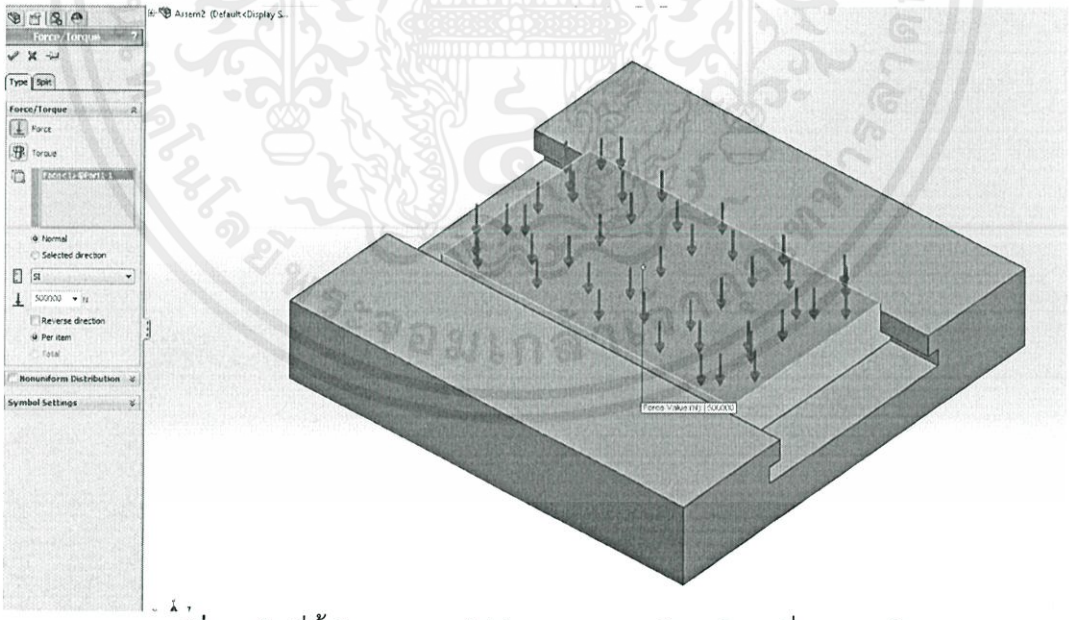


รูปที่ ง-5 กด Apply Material เพื่อเลือกชนิดวัสดุของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

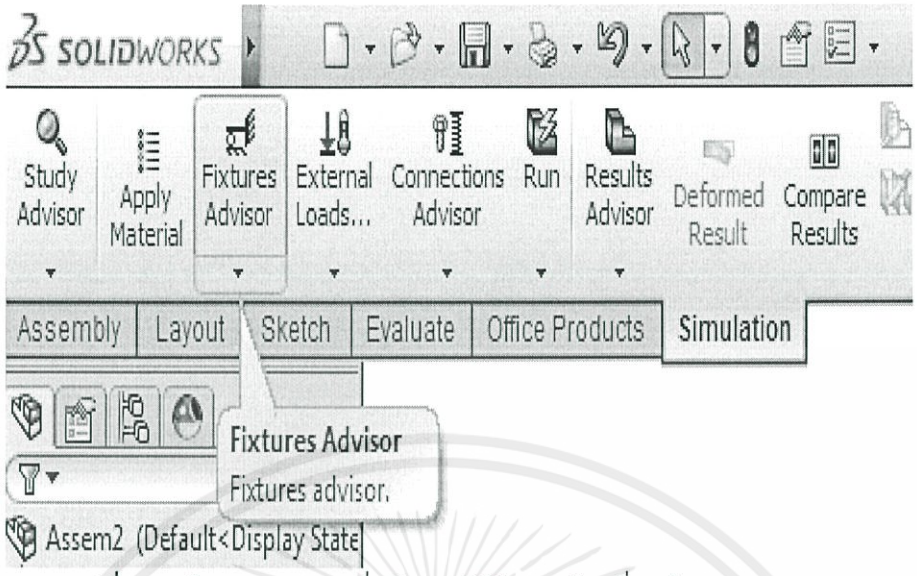


รูปที่ ง-6 คลิกขวา Externel Loads เลือกชนิดของ Load ที่จะกระทำ

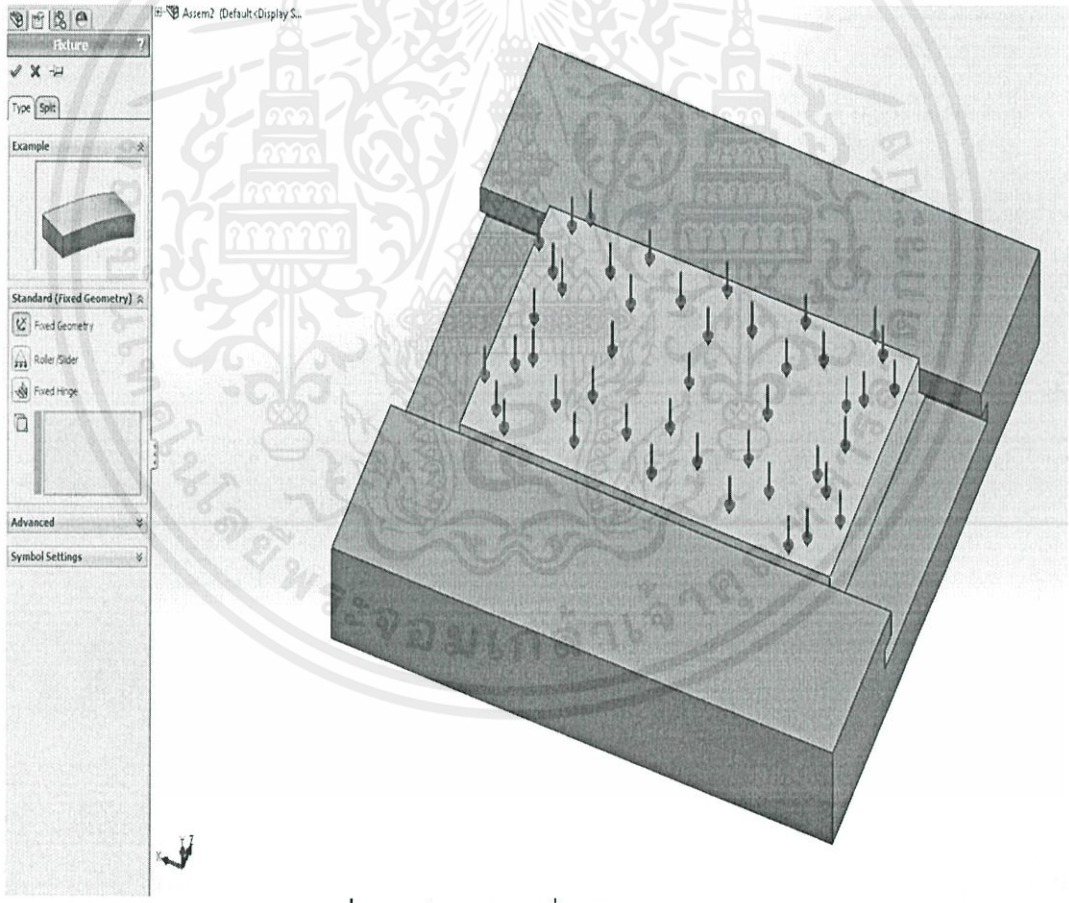


รูปที่ ง-7 ในที่นี้เลือก Force ใส่ค่าแรง และกดเลือกบริเวณที่แรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

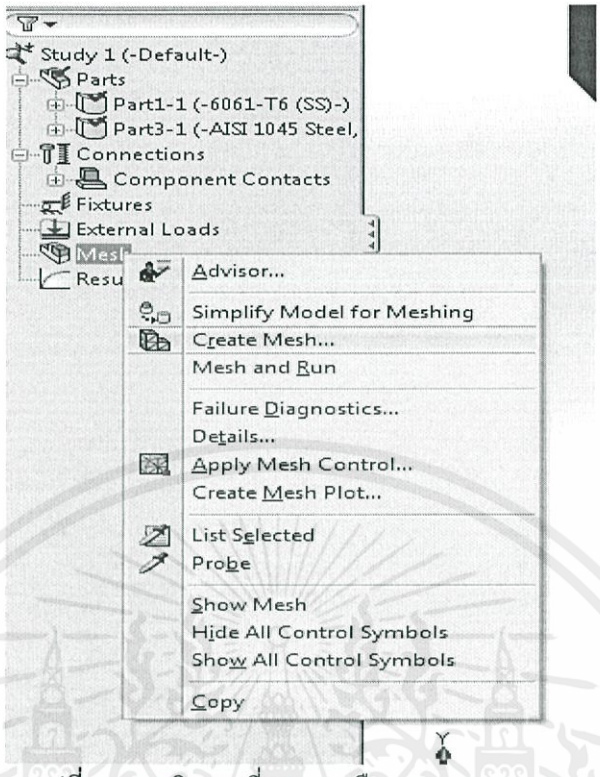


รูปที่ ง-8 เลือก Fixtures เพื่อกำหนดวิธียึดของวัสดุที่จะทำการ simulate



รูปที่ ง-9 เลือกบริเวณที่จะทำการ Fixtures

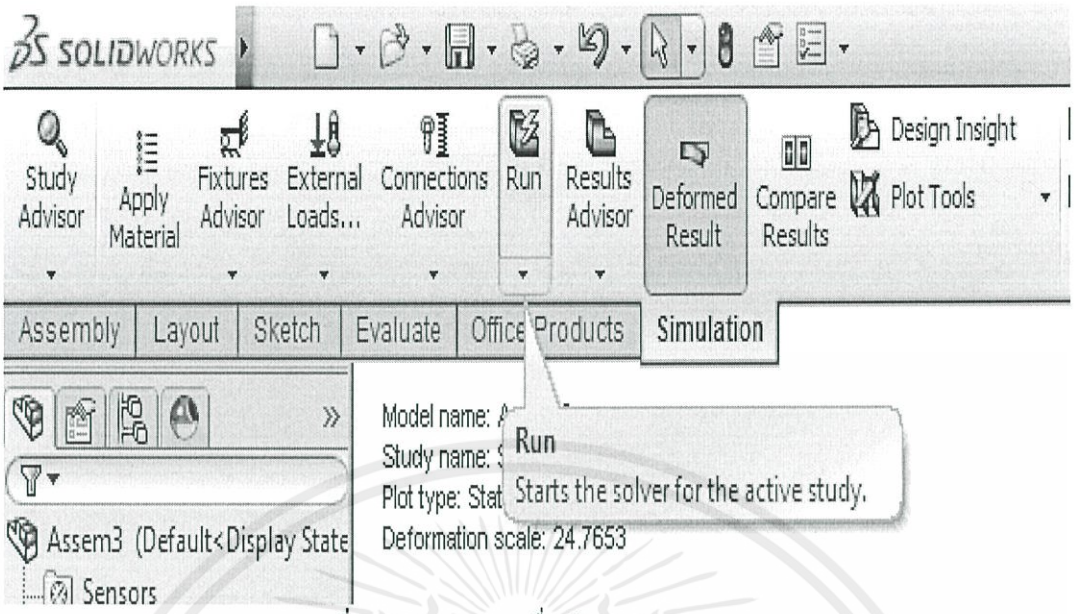
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



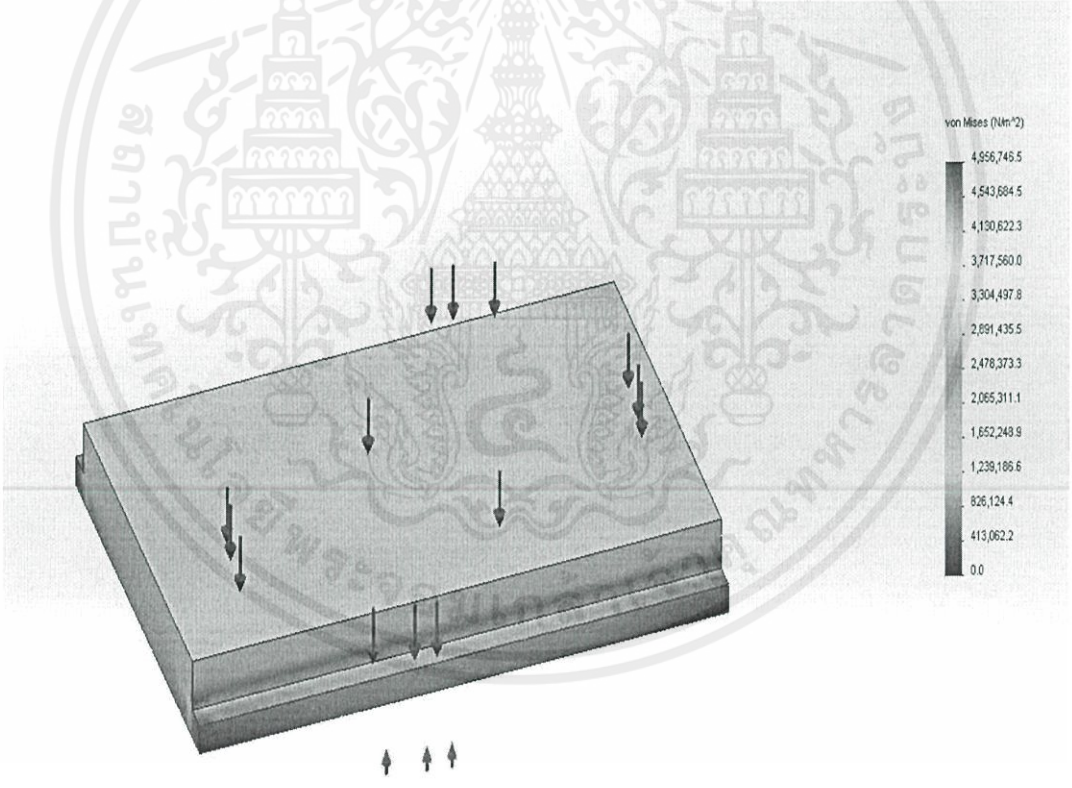
รูปที่ ง-10 คลิกขวาที่ Mesh เลือก Create Mesh

รูปที่ ง-11 ใส่ความละเอียดของ Mesh และเลือกชิ้นงานที่จะทำการ Mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-12 กด Run เพื่อทำการ Simulation



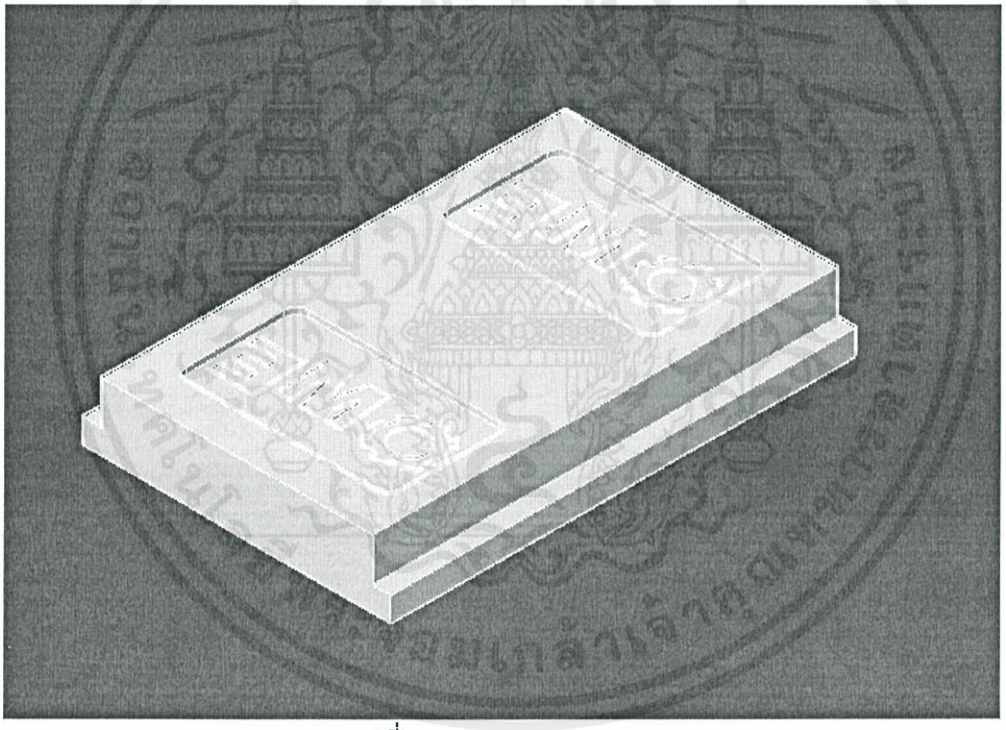
รูปที่ ง-13 ผลที่ได้จากการ Simulation แรงที่กระทำบนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ออกแบบ Cavity สำหรับ Insert Block

ในการออกแบบเพื่อจะสร้าง insert block นั้น เรามีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ และต้องคำนึงถึงความง่ายของการปลดชิ้นงาน ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของ insert block และ การสร้าง insert block โดยใช้เครื่อง CNC Machining center โดยโปรแกรม Unigraphic NX

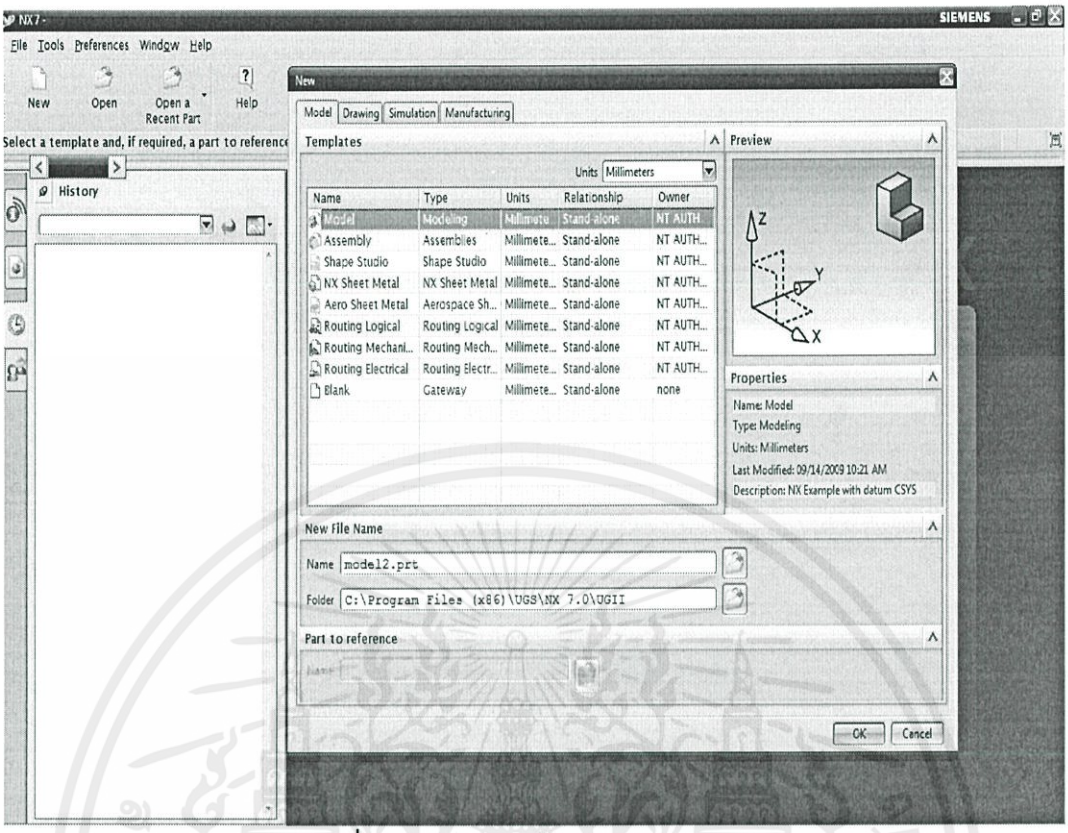
รายละเอียดของ insert block ที่เราได้ออกแบบคือ จะมี 2 cavity ซึ่งแต่ละ cavity มีขนาด 40mm x 70mm x 3.5mm โดยรายละเอียดของ cavity คือ จะมีแผ่นรองตัวอักษรลึกลงไป 2mm และตัวอักษรหนา 1.5mm รวมเป็น 3.5mm และมี Runner ลึก 3.5 mm รวมไปถึงมีรูปร่างเป็นรูปตัว T เพื่อให้สวมเข้ากับ Quick change system ได้ ดังรูปที่ จ-1



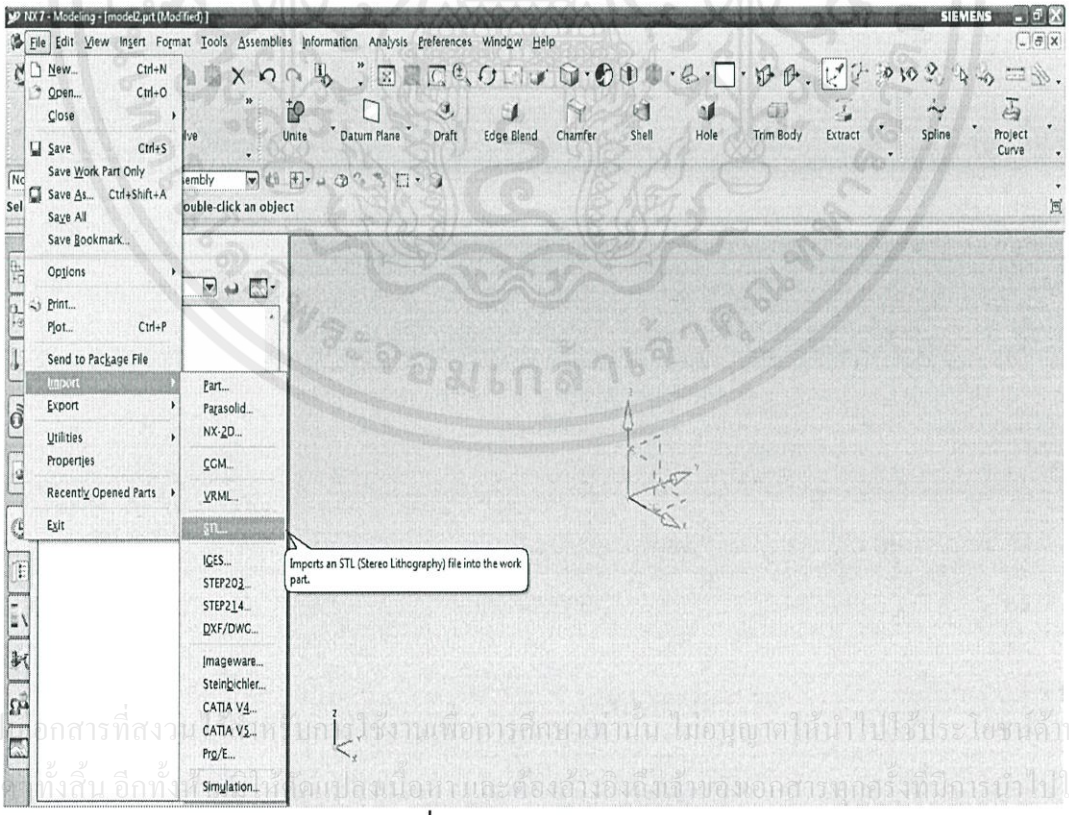
รูปที่ จ-1 แสดงแบบ insert block

ต่อมาจะเป็นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานโดยจะเริ่มจากการใช้โปรแกรม UnigraphicNX ก่อน โดยจะทำการ export ไฟล์จาก Autocad เป็น ไฟล์นามสกุล .stl ก่อน โดยวิธีการอยู่ในภาคผนวก เกี่ยวกับการใช้โปรแกรม Autodest moldflow insight จากนั้นเมื่อได้ไฟล์ .stl แล้วจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ เริ่มทำการ Import เข้าสู่ โปรแกรม UnigraphicNX โดยแบบที่จะใช้งานในโปรแกรมแรกคือขั้นตอนการทำ T-SHAPE ก่อนโดยเราจะทำการสร้าง New Modeling และ import

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

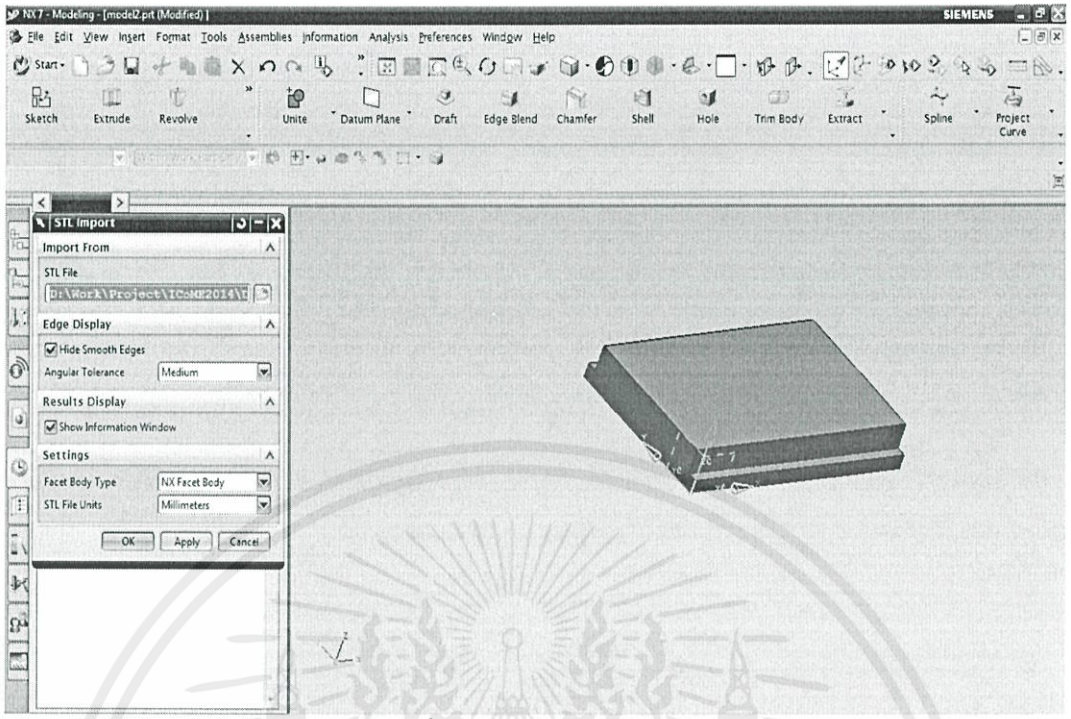


รูปที่ จ-2 แสดงการสร้าง New Modeling



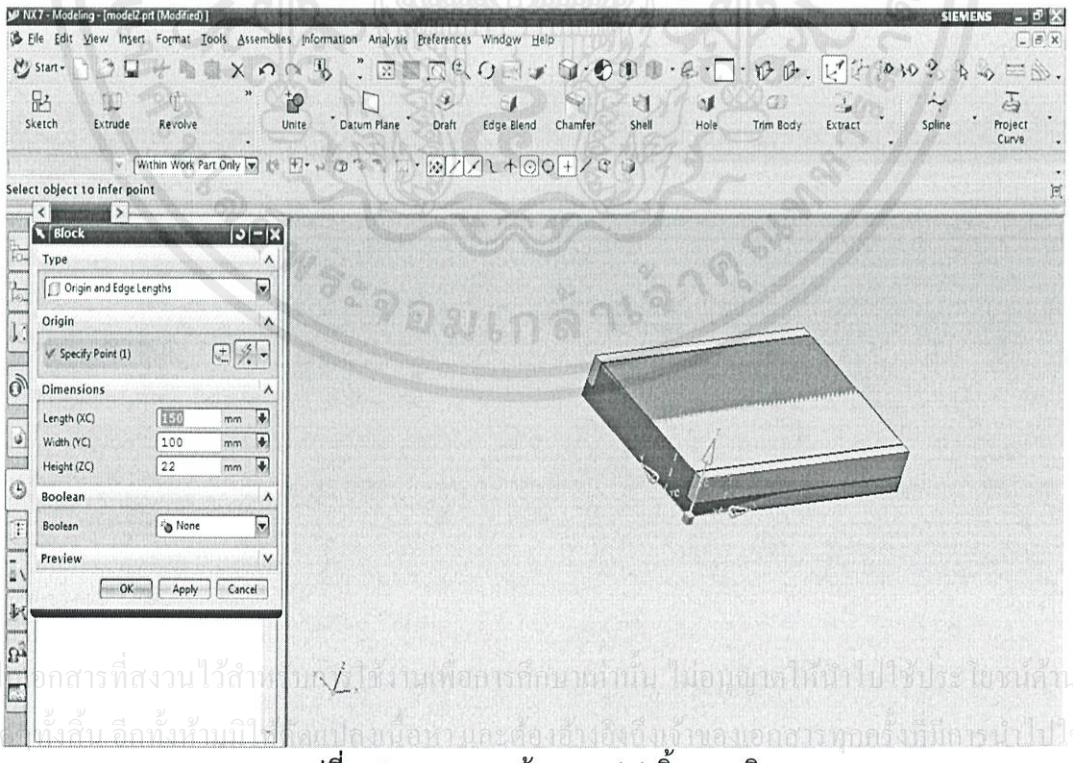
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ-3 แสดงการ Import



รูปที่ จ-4 แสดงการ Import

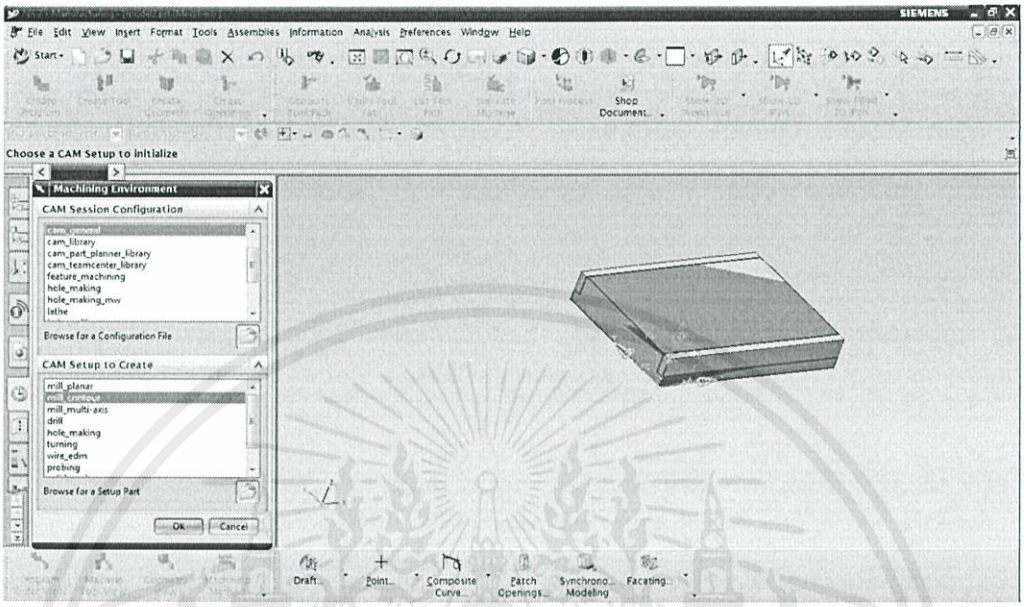
เมื่อทำการ Import ได้แล้ว ต้องสร้าง model ขึ้นมาขนาดเท่ากับชิ้นงานจริงที่ยังไม่ได้ผ่านการ Machining ซ้อนทับไปกับชิ้นงานที่ Import มา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

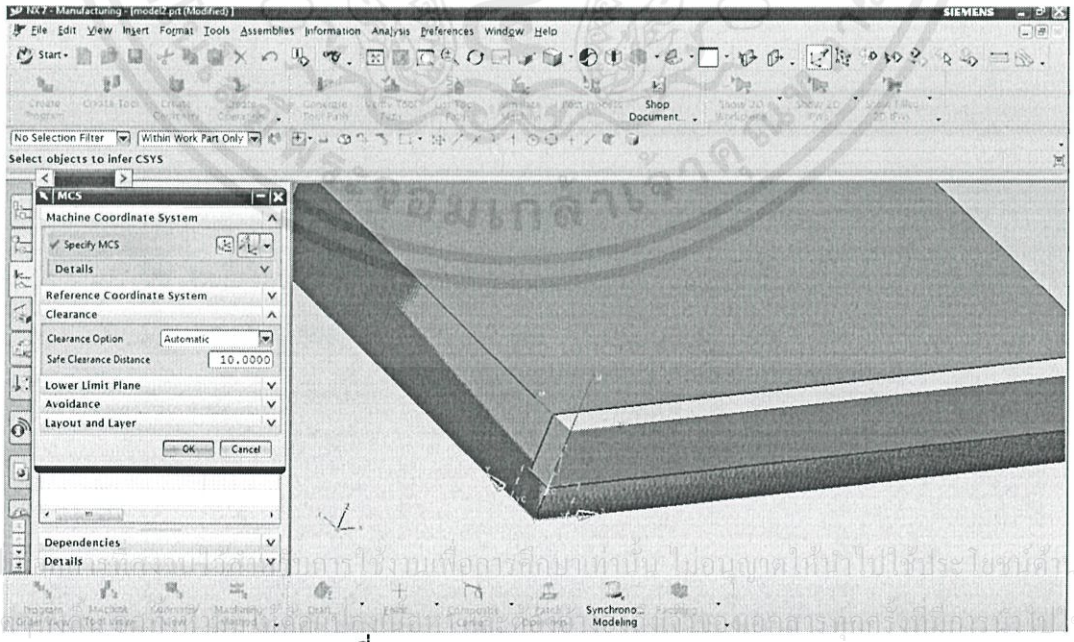
รูปที่ จ-5 แสดงการสร้าง model ชิ้นงานจริง

จากนั้นจะเข้าสู่โหมด Manufacturing โดยการกดปุ่ม Alt + Ctrl + M ทำการเลือก CAM Session Configuration เป็น Cam_General และ CAM Setup to Create เป็น Mill_contour



รูปที่ จ-6 แสดงการใช้งานโหมด Manufacturing

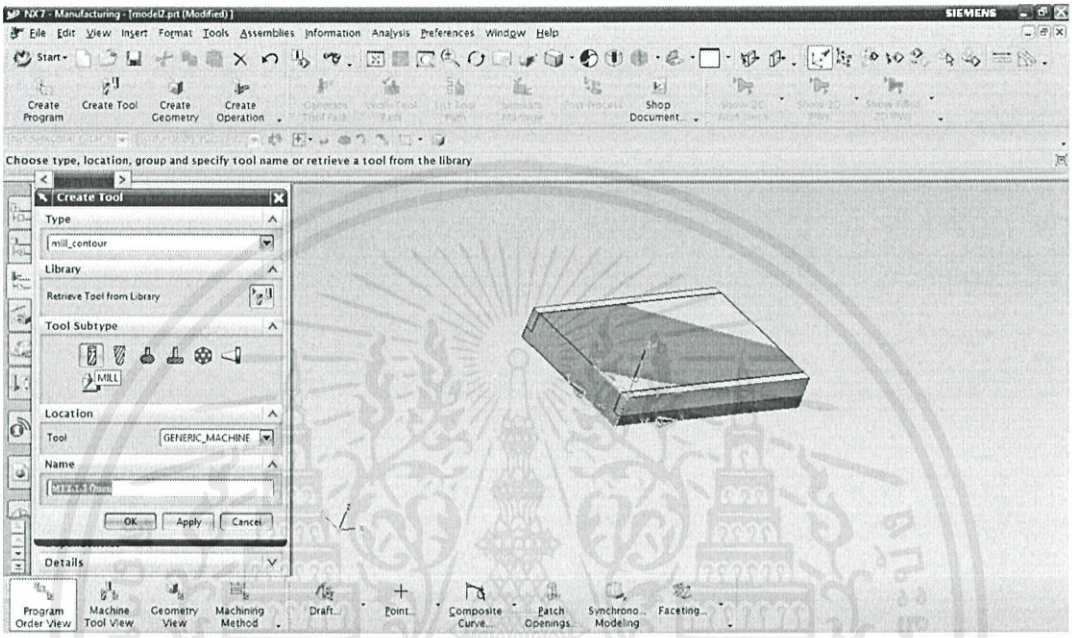
เลือกที่ Create geometry แล้วคลิ้ก OK จากนั้น เลือกที่ แล้วกำหนด Z ให้สูงเท่ากับความสูงของชิ้นงาน จากนั้นกด OK จะเห็นว่ามีแกน Xm Ym และ Zm มีจุด origin อยู่ด้านบนชิ้นงาน จากนั้นกด OK อีกครั้ง



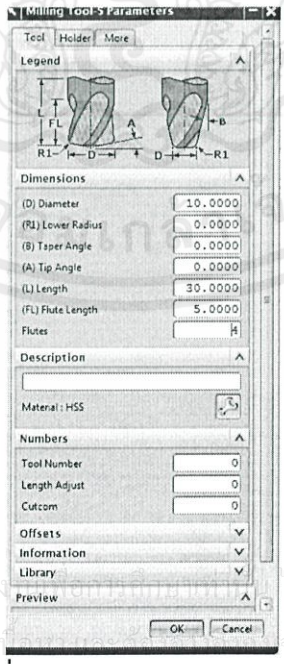
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ-7 แสดงการ Create Geometry

หลังจากได้ Geometry แล้ว เราจะทำการ Create tool โดยเลือกที่ แล้วตั้งชื่อ ในช่อง Name เลือกที่ End mill แล้ว กด OK จากนั้นทำการตั้งค่า parameter tool โดยค่าที่จำเป็นคือ Diameter คือ ขนาดของ tool และ Length คือ ความยาวของ tool และ Flute Length คือ ค่าความยาวคมกัดของ tool ทำการใส่ค่าต่างๆ แล้วกด OK ดังรูป จ-9



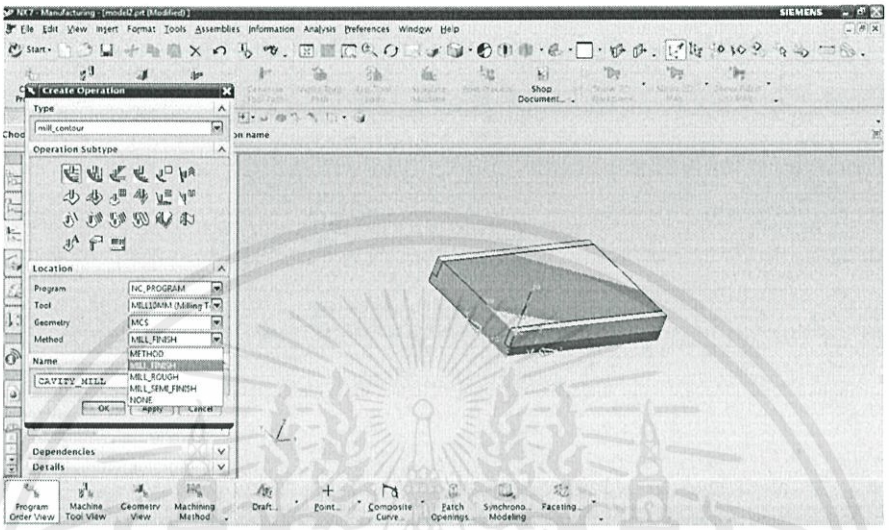
รูปที่ จ-8 แสดงการ Create tool



รูปที่ จ-9 แสดงการ Create tool

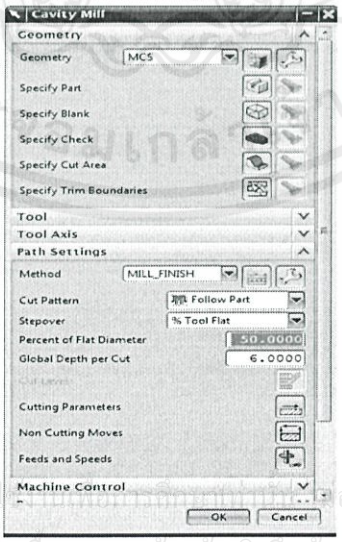
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจาก Create Geometry และ Create tool แล้วจะทำการ Create Operation โดยเลือกที่ จะมีหน้าต่างเด้งขึ้นมาให้เลือกค่าต่างๆ tool และ Geometry ให้ชื่อตรงกับที่เคยสร้างไว้ และในหัวข้อ method ให้เลือกเป็น Mill_Finish จากนั้นกด OK



รูปที่ จ-10 แสดงการ Create Operation

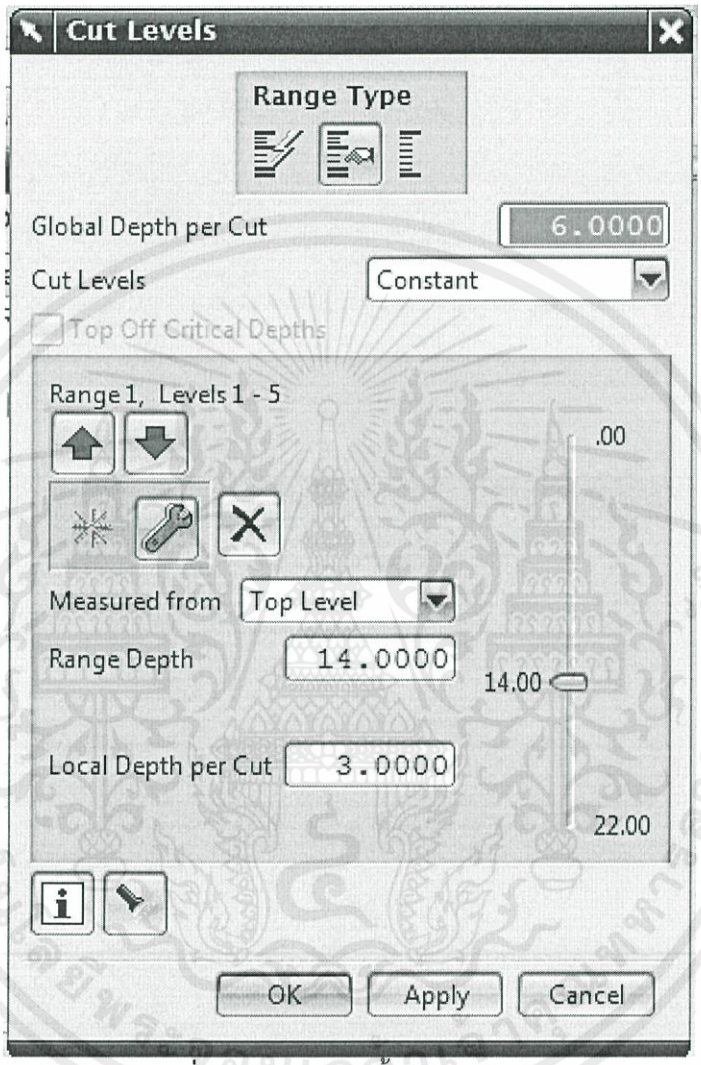
หลังจากตั้งค่าในหน้าต่าง Create operation เรียบร้อยแล้ว จะมีหน้าต่าง Cavity mill ซึ่งเป็นชื่อของ operation เด้งขึ้นมาทันที เริ่มทำการ specific part โดยคลิ้กที่ จากนั้นจะมีหน้าต่างเด้งขึ้นมา ให้เลือกที่ Facts แล้วคลิ้กที่ชิ้นงาน จากนั้นกด OK และการ specific blank ก็ทำเช่นเดียวกันโดยคลิ้กที่ ให้เลือกที่ Geometry แล้วคลิ้กที่ชิ้นงาน จากนั้นกด OK



รูปที่ จ-11 แสดงการ Create Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ[illegible]อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัด[illegible]เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

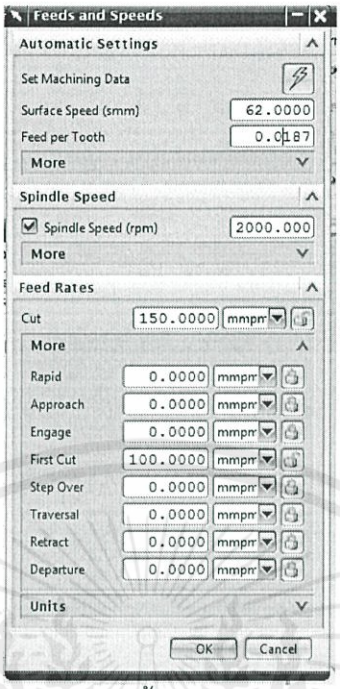
เมื่อทำการตั้งค่าในส่วนของ specific part และ specific blank แล้ว จะมาทำการตั้งค่า Cut Level โดยเลือกที่ ทำการตั้งที่ Local Depth per Cut ซึ่งเป็นค่าความลึกในการกัดชิ้นงานแต่ละครั้ง ซึ่งควรตั้งตามความเหมาะสมของ tool ด้วย เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กด OK



รูปที่ จ-12 แสดงการตั้งค่า Cut level

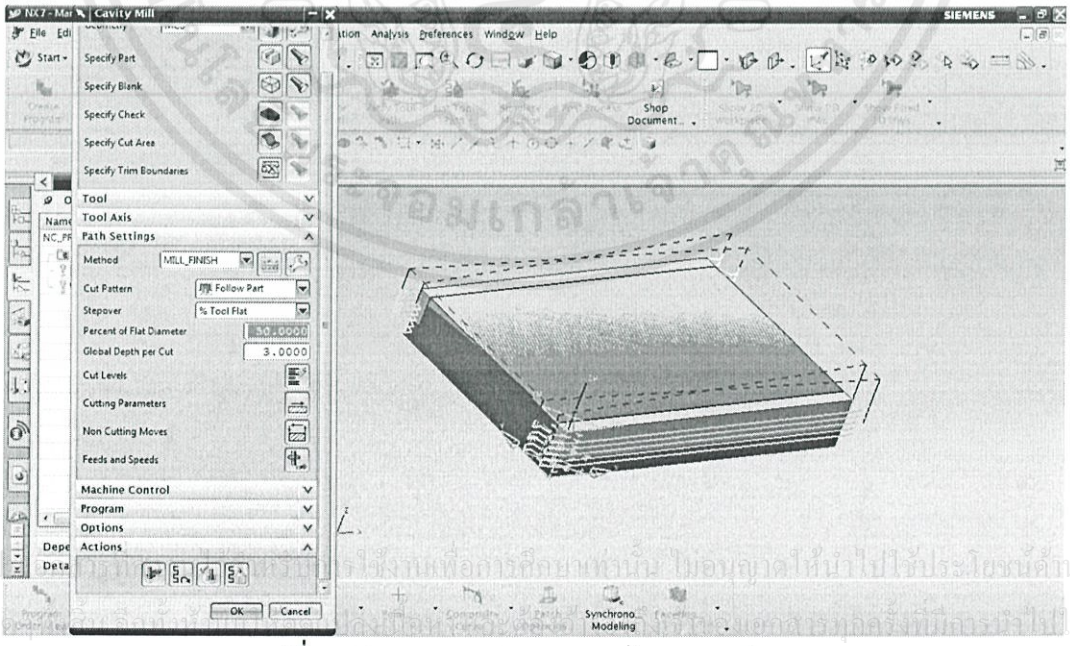
เมื่อตั้งค่า Cut Level แล้ว ต่อมาจะตั้งค่าในส่วนของ Feeds and Speeds โดยการคลิ้กที่ จากนั้นใส่ ค่า Spindle speed คือความเร็วการหมุนของ tool ต่อมาในหมวดของ Feeds rate ให้กำหนดค่า Cut ตามความเหมาะสมของ Tool และ First cut ให้น้อยกว่า Cut เพื่อถนอม tool ให้ใช้งานได้นานขึ้นลดการกระแทกจังหวะที่เริ่มกัดชิ้นงาน จากนั้นกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



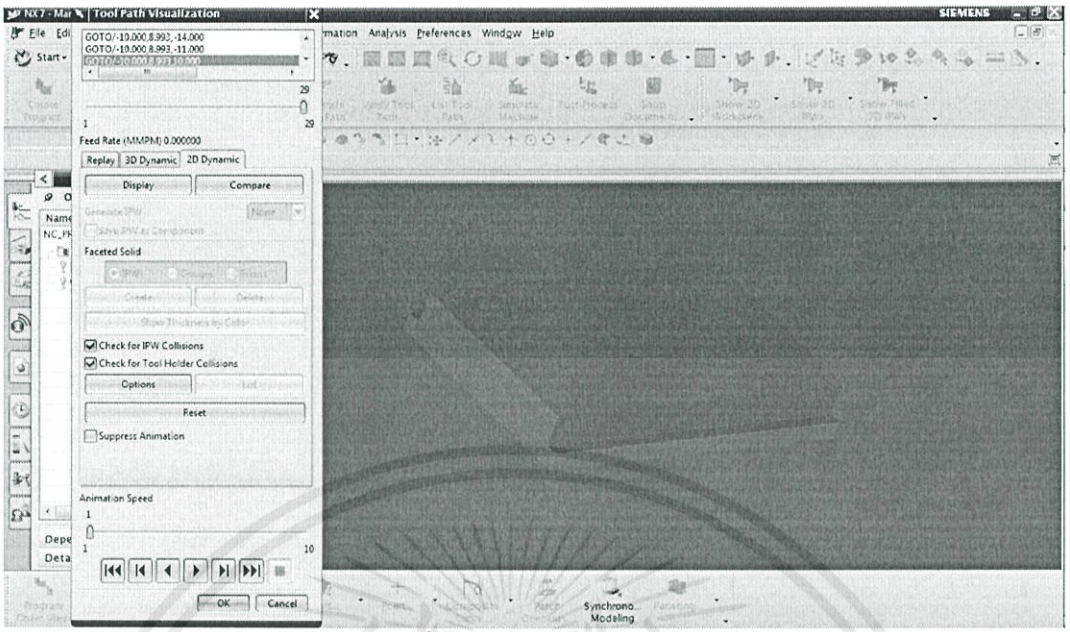
รูปที่ จ-13 แสดงการตั้งค่า Feeds and Speeds

การตั้งค่าเสร็จสิ้นทั้งหมด แล้วจึงกดปุ่ม เพื่อ generate เส้นทางการกัดชิ้นงาน เมื่อโปรแกรมวิเคราะห์เสร็จ จะได้เส้นทางการกัดออกมาดังรูป จ-14 จากนั้นเราสามารถจำลองการกัดชิ้นงานโดยคลิ๊กที่ Verify จากนั้นเลือกที่แถบ 2D Dynamic จากนั้นกด โปรแกรมจะแสดง Animation การทำงานจนถึงสิ้นสุด และจะเห็นชิ้นงานจริงที่จะได้รับ จากนั้นกด OK



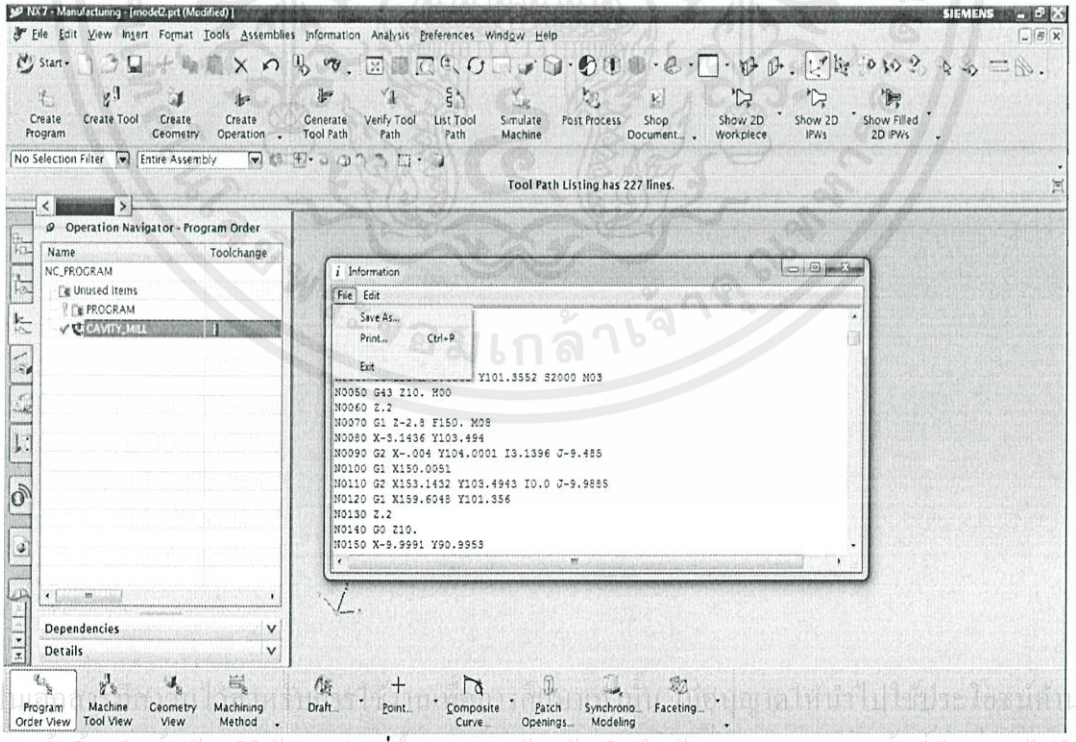
รูปที่ จ-14 แสดงการ Generate เส้นทางการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ต่อ



รูปที่ จ-15 แสดงการ Verify

จากนั้นทำการเลือกที่ Post Process เพื่อให้ได้เป็นโปรแกรม G-code ออกมาเพื่อใช้กับเครื่อง CNC โดยให้เลือกเป็น Mill_3_AXIS และ Unit เลือกเป็น Metric/PART จากนั้นกด OK จะมีหน้าต่าง code โปรแกรมเด้งขึ้นมา ให้ทำการ save as เป็นไฟล์นามสกุล .txt แล้วไปทำการแก้ไข code ที่ไฟล์ txt

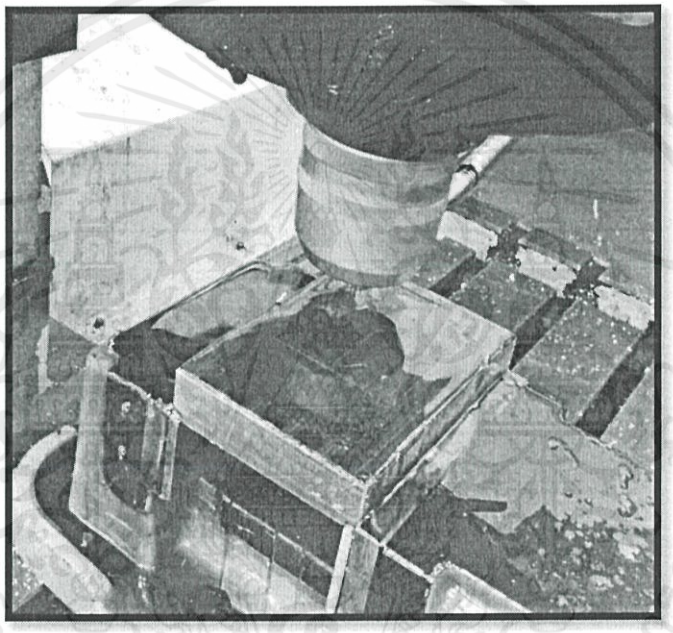


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ-16 แสดงการ Post Process

เมื่อทำการแก้ code จากไฟล์ .txt แล้วโดยการแก้ไขนั้น จะแก้บางบรรทัดที่จำเป็นเช่น ลำดับของ Tool ซึ่งบางเครื่องไม่จำเป็นต้องใช้ หรือบางเครื่องจะใช้รหัสการรันโปรแกรมเฉพาะเช่น เครื่องที่ใช้ทำชิ้นงานนี้ ใช้รหัส G54 ในการอ่านโปรแกรม ก็ต้องตั้งบรรทัดแรกให้เป็น G54 ด้วย เช่นกัน เมื่อแก้เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการส่งโปรแกรมเข้าสู่เครื่อง CNC และทำการใช้งานตาม ขั้นตอนปกติ

ใน process ต่อไปคือการกัด ผิวหน้าที่มีรายละเอียดเยอะ จำเป็นต้องเปลี่ยน tool ใหม่ ที่ เหมาะสม แต่ไม่ต้องจับชิ้นงานใหม่ ให้ทำตามขั้นตอนเดิมที่กล่าวมาข้างต้น ก็จะได้ Insert Block ที่ เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ จ-18 Machining Insert Block โดยใช้เครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
การวิเคราะห์การฉีดพลาสติกโดยใช้โปรแกรม Autodesk Simulation Moldflow Insight

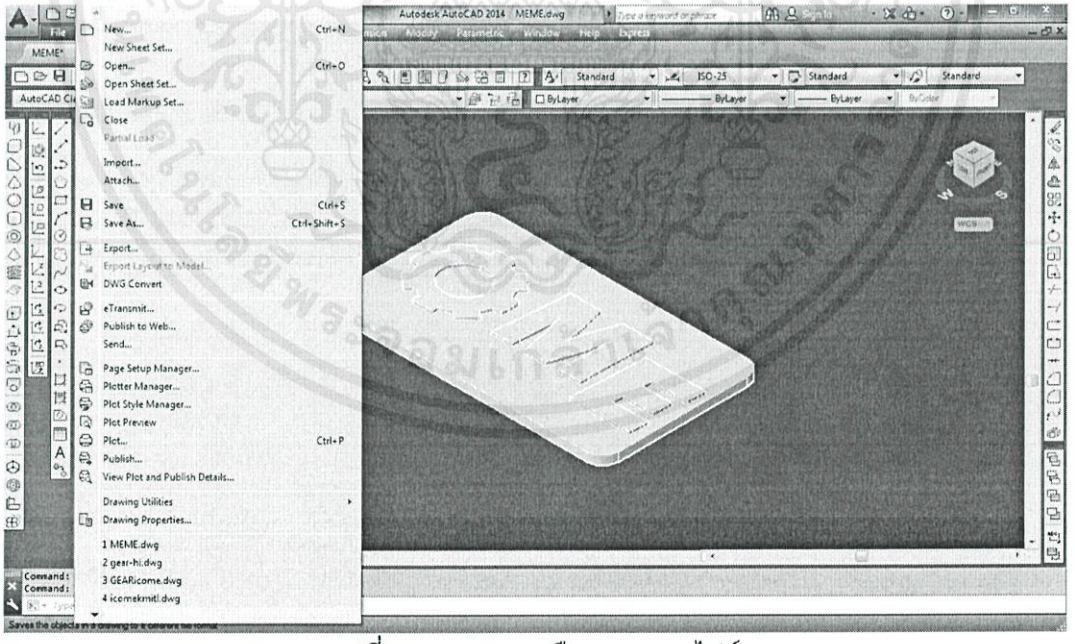
สำหรับในส่วนของโปรแกรม Autodesk Simulation Moldflow Insight จะใช้ในการทดลองฉีดพลาสติก โดยมีการกำหนดตัวแปรต่างๆมากมายเพื่อทำการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ค่าต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้ฉีดชิ้นงานจริง จึงสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ถึงความบกพร่องของชิ้นงาน และทำการแก้ไขให้มีประสิทธิภาพการฉีดสูงสุดได้อีกด้วย

โดยในหมวดนี้ จะอธิบายการใช้งานเท่าที่จำเป็น การกำหนดตัวแปรต่างๆที่จำเป็นต่อการฉีดอย่างละเอียดดังนี้

ในขั้นตอนแรก การใช้งานโปรแกรม Autodesk Simulation Moldflow Insight ก่อนอื่นเราต้องมีไฟล์ของชิ้นงาน ที่สามารถ Import เข้าสู่โปรแกรมได้ ซึ่งในที่นี้จะใช้ไฟล์ชิ้นงานเป็นชนิดของ Stereolithography(.stl) ซึ่งสามารถ export ออกมาได้จากโปรแกรม cad ทุกชนิด

1. การ export ไฟล์ชิ้นงานแบบ Stereolithography(.stl)

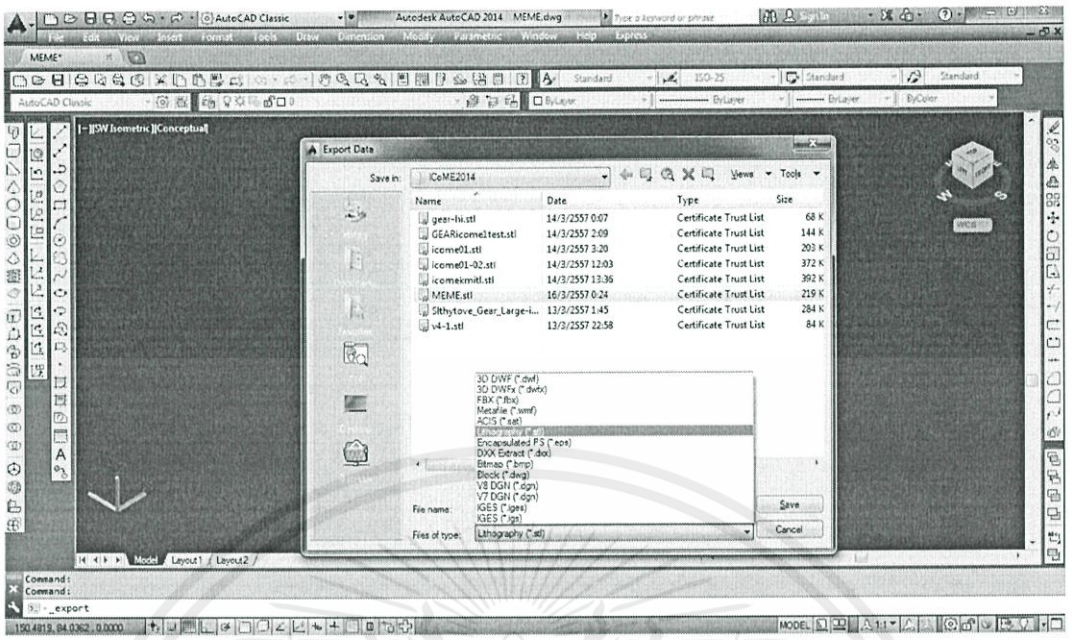
จะยกตัวอย่างจากโปรแกรม Autocad โดยเริ่มจากเลือกแทบ file>export



รูปที่ ฉ-1 แสดงการเลือก export ไฟล์

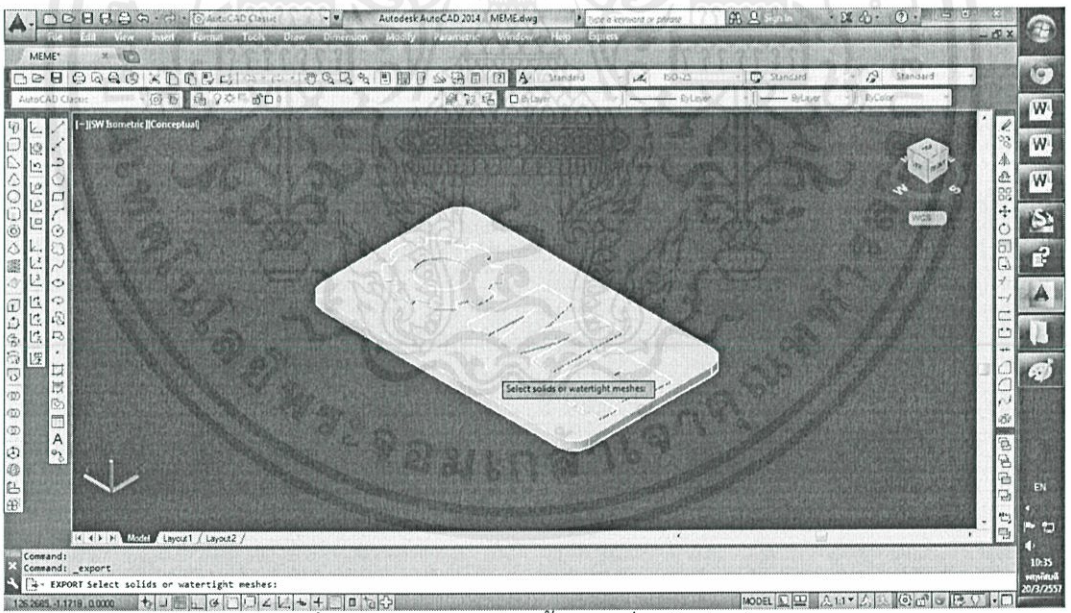
จากนั้นทำการตั้งชื่อในช่อง File name และเปลี่ยน File of type เป็น Lithography

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-2 แสดงการเลือก File of type

จากนั้นทำการคลิกเลือกชิ้นงานในแบบที่ต้องการ export ก็จะได้ไฟล์ชิ้นงานชนิด .stl ขึ้นมา



รูปที่ ฉ-3 แสดงการเลือกชิ้นงานเพื่อสร้างไฟล์ .stl

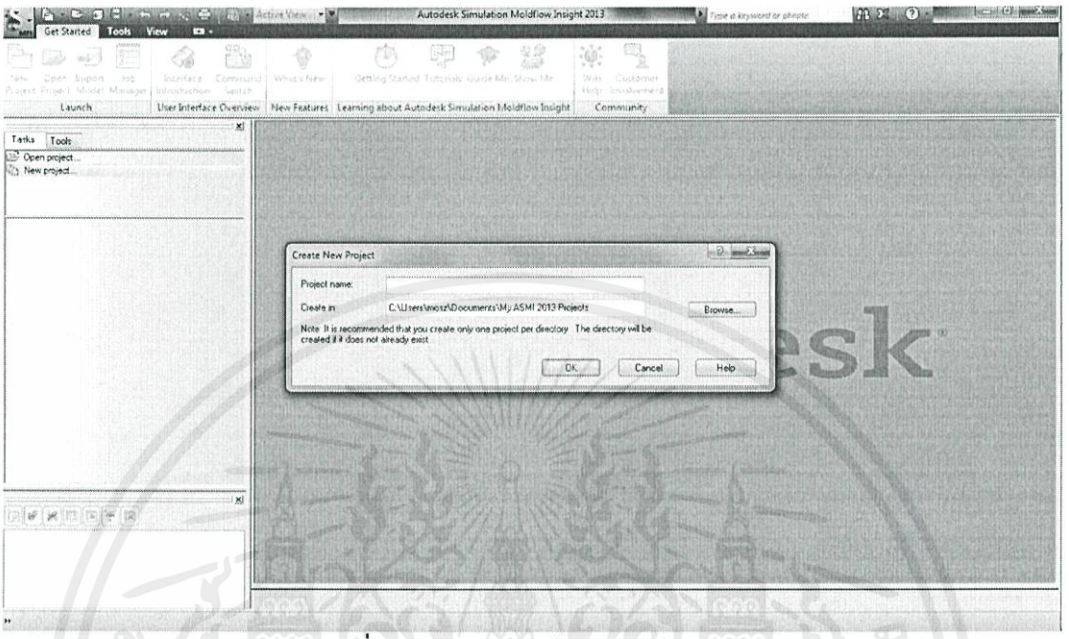
สิ้นสุดขั้นตอนแรกเราจะได้ไฟล์ .stl ที่จำเป็นมาแล้ว ต่อไปเราจะมาเริ่มที่โปรแกรม Autodesk Simulation Moldflow Insight กันเลย

ก่อนอื่นเราต้องทำการสร้าง Project ใหม่ และทำการ Import ชิ้นงานซึ่งเป็นไฟล์ .stl เข้าสู่โปรแกรมเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

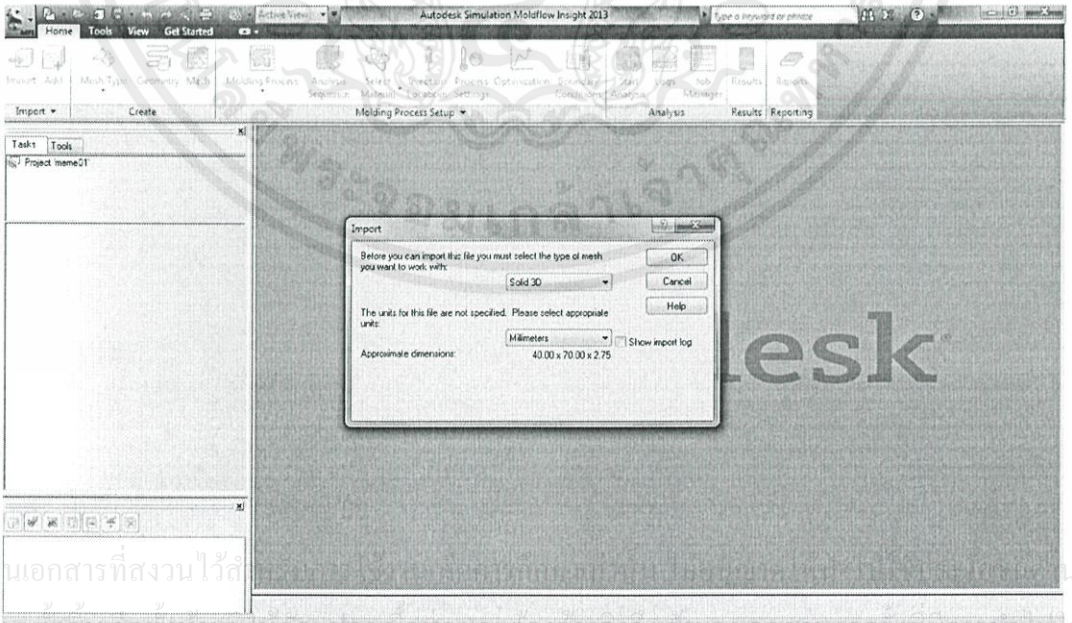
2. การสร้าง New Project และ Import ชิ้นงาน

เลือก File > New Project ใส่ชื่อ Project Name แล้วเลือก OK.



รูปที่ ฉ-4 แสดงการสร้าง New project

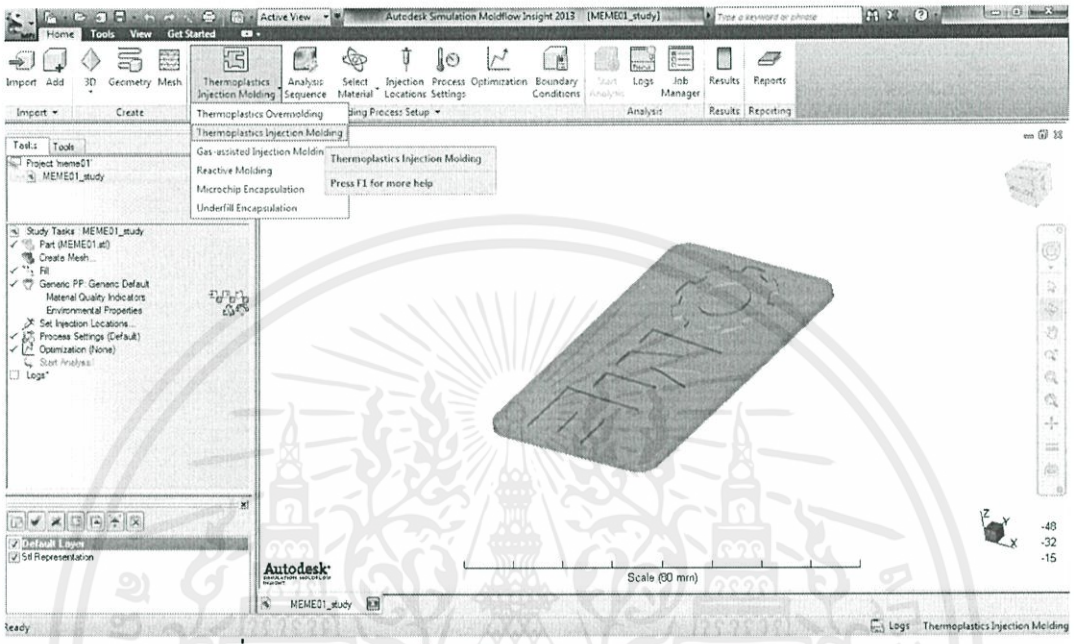
เลือก (Home tab > Import panel > Import) จากนั้นเลือกไฟล์ที่เราต้องการ ทำการเลือก solid3D และหน่วยเป็น millimeters แล้วกด OK



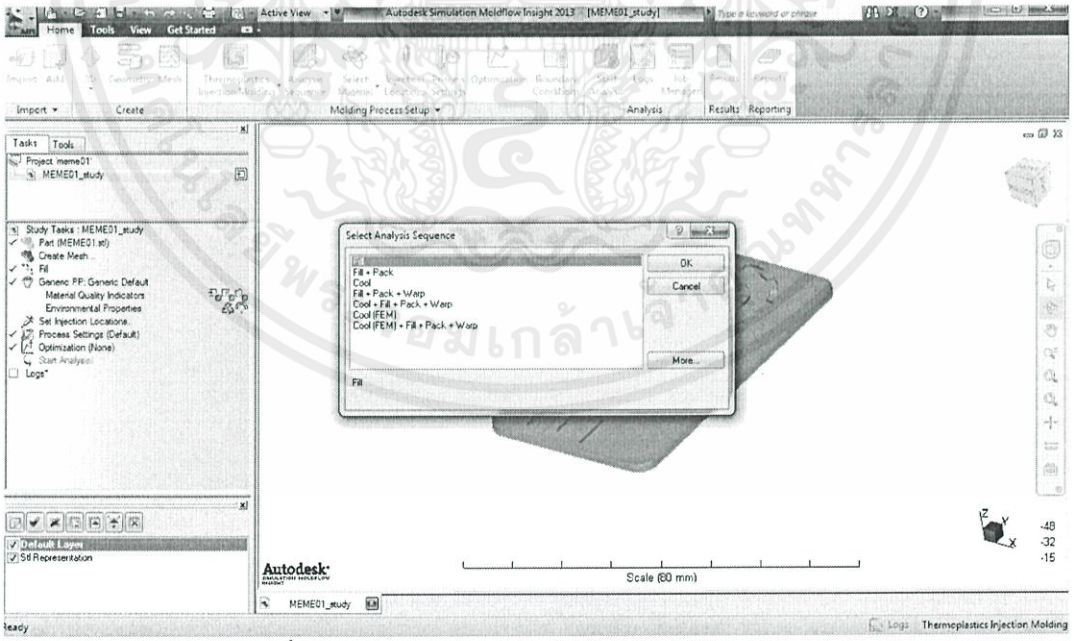
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ... ...การค้า
ไม่ว่ากรณีใด... ...ใช้

รูปที่ ฉ-5 แสดงการ Import

เลือก (Home tab > Molding Process Setup panel > Thermoplastics Injection Molding) และเลือก (Home tab > Molding Process Setup panel > Analysis Sequence).เลือก Fill กด OK



รูปที่ ฉ-6 แสดงการเลือก Thermoplastics Injection Molding

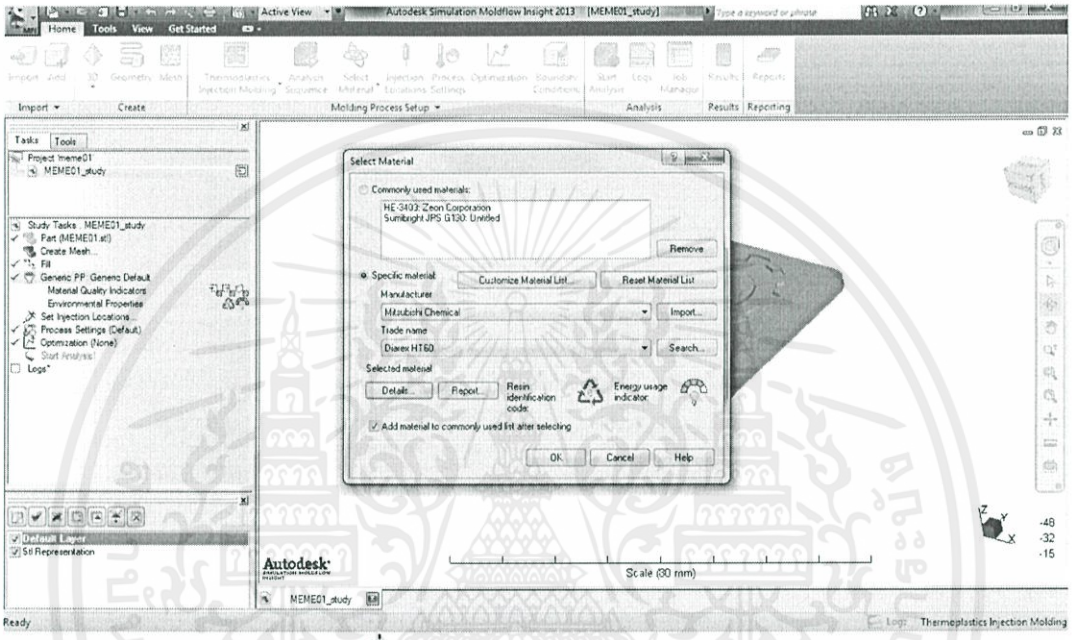


รูปที่ ฉ-7 แสดงการเลือก Fill ใน Analysis Sequence

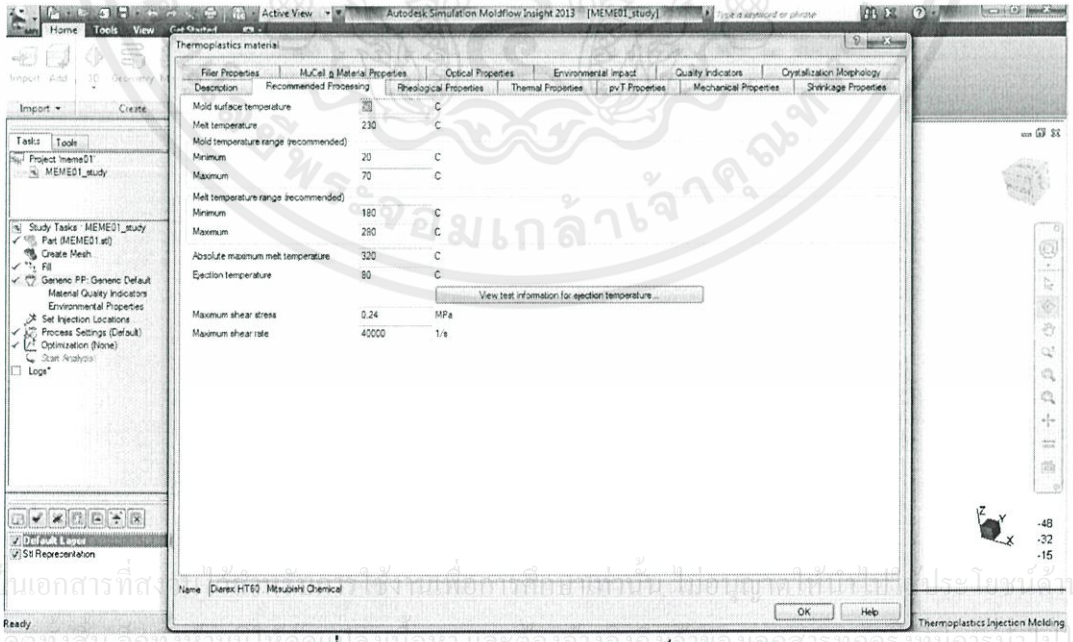
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเลือกเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีด

เลือก (Home tab > Molding Process Setup panel > Select Material) ในที่นี้เราจะเลือก Manufacturer เป็น Mitsubishi Chemical และ trade name เป็น Diarex HT60 ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกชนิด PS มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับที่ใช้ฉีดจริงในโครงงานนี้มากที่สุด ซึ่งสามารถเลือกได้หลายแบบมากมาย และสามารถดู รายละเอียดของเม็ดชนิดนี้ได้อีกด้วย โดยการกดที่ Detail



รูปที่ ฉ-8 แสดงการ Select material



รูปที่ ฉ-9 แสดงการดู Detail ของเม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตั้งค่า process setting

ในการตั้งค่า Process setting เราจะกำหนดค่า Boundary condition ต่างๆ ซึ่งในโครงงานนี้ เราคำนวณค่า Clamping force และ Suck back ซึ่งจะแสดงการตั้งค่าในโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การฉีดดังนี้

เลือก (Home tab > Molding Process Setup panel > Process Settings) ค่าต่างๆจะต้องใส่ตามที่เราจะกำหนดไว้ที่เครื่องฉีดจริงด้วย โดย

- mold surface temperature คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์

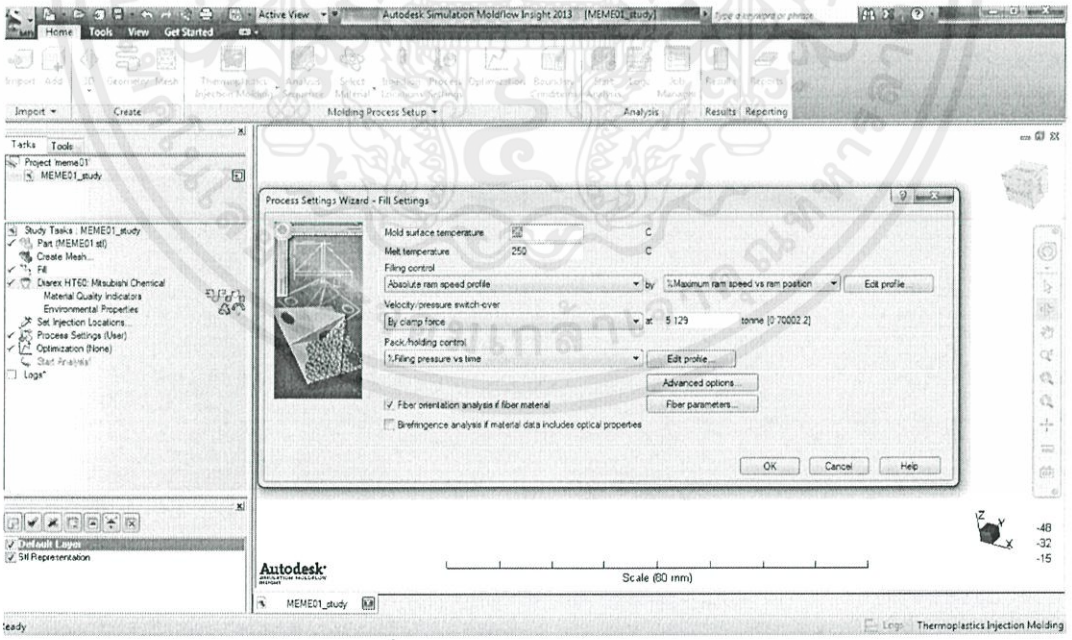
- melt temperature คืออุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติก

- Filling Control คือการควบคุมการฉีดพลาสติก ซึ่งในหมวดนี้ เราจะใช้ค่า Suck back ที่คำนวณได้ มาใช้งาน โดยการเลือกเป็น Absolute ram speed profile by %Maximum ram speed vs position จากนั้นเลือก Edit profile แล้วใส่ค่าต่างๆดังรูป ฉ-11

- Velocity/Pressure Switch-Over เป็นการตั้งค่าการอ้างอิงเกี่ยวกับความเร็วฉีดและแรงดันฉีด แต่ในที่นี้ เราจะใช้ค่า Clamping force จากการคำนวณมาใช้งาน โดยการเลือก by Clamping force จากนั้นใส่ค่าลงในช่องว่างหน่วยเป็นตัน

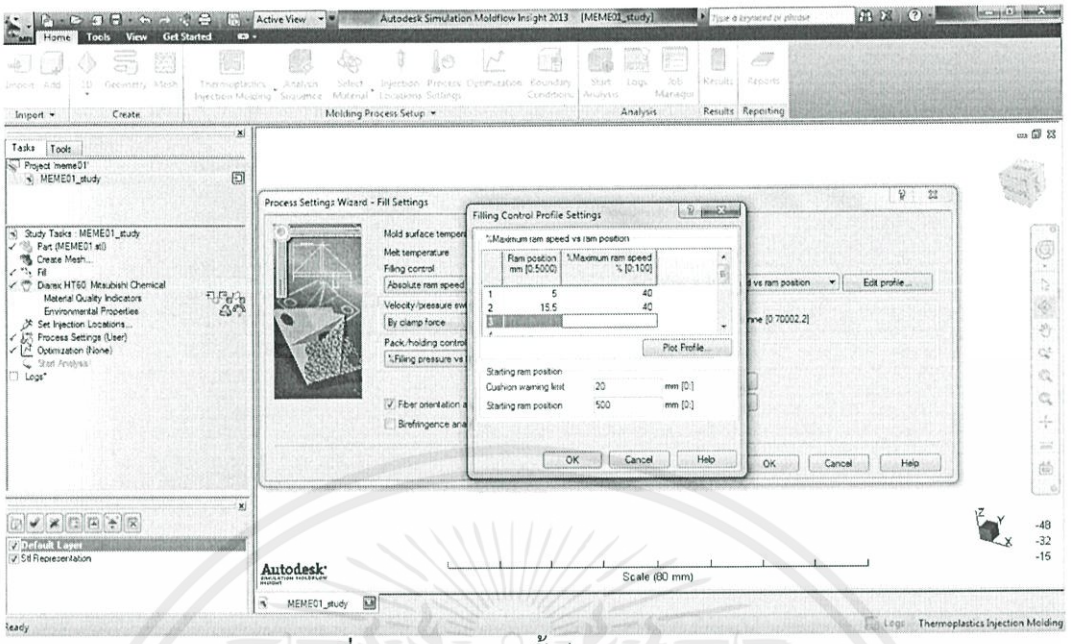
- Advanced options จะใช้ในการเลือกวัสดุที่เป็น Mold ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ วัสดุ Aluminum 6061 T6 จึงทำการใส่ค่าต่างๆดังรูป ฉ-12

เมื่อตั้งค่าทุกอย่างครบก็จะเสร็จขั้นตอนของ Process setting

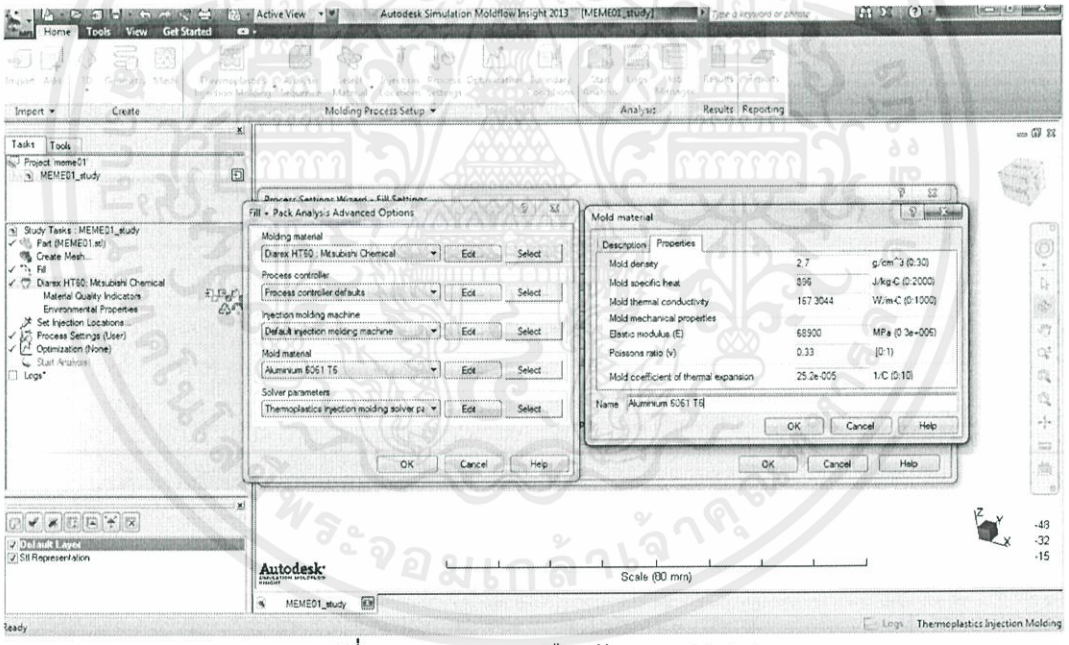


รูปที่ ฉ-10 แสดง Process setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-11 แสดงการตั้งค่า Filling control



รูปที่ ฉ-12 แสดงการเลือกวัสดุของ Mold

5. การสร้างชิ้นงานหลาย cavity และการสร้าง gate spure และ runner system

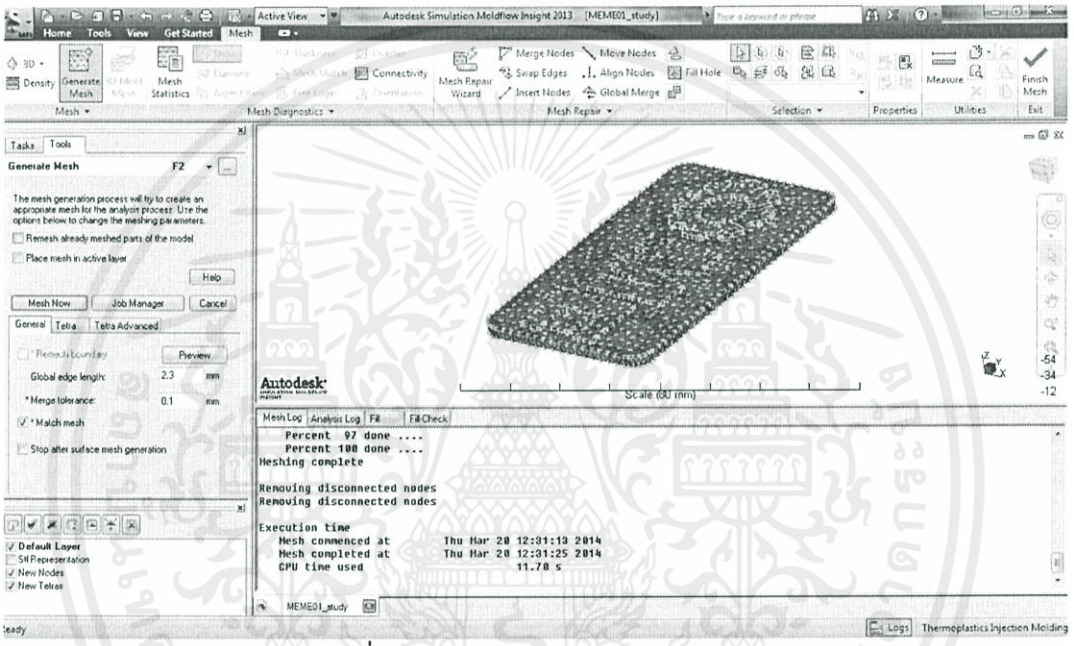
- ต้องทำการเลือก mesh ในหน้า Home ก่อน แล้วทำการ Generate mesh ดังรูป ฉ-13

-เลือก (Home tab > Create panel > Geometry) ซึ่งในที่นี้ insert block จริงของเรามี 2 cavity จึงเริ่มทำการสร้าง โดยเลือกที่ Cavity duplication แล้วกำหนด column เป็น 2 จากนั้นกด Finish ดังรูปที่ ฉ-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

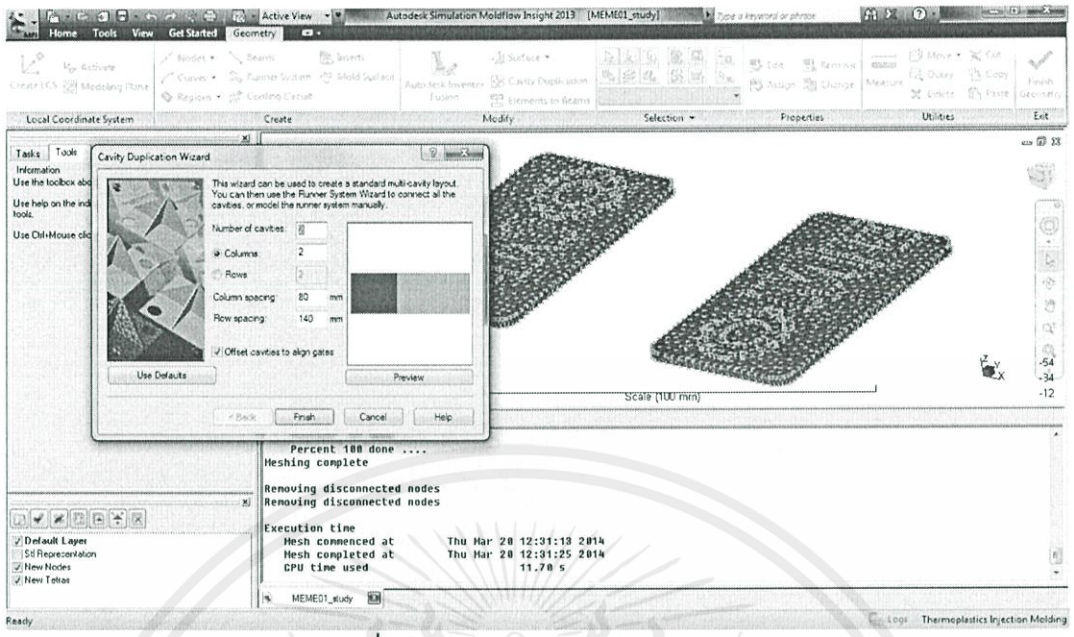
- เมื่อได้ชิ้นงาน 2 cavity แล้ว ก็ทำการสร้าง runner gate และ spure โดยใช้คำสั่งในหมวด create เลือกที่ create line แล้วกำหนดที่ตำแหน่ง ของ runner gate และ spure เมื่อสร้างเส้นเสร็จแล้ว จึง ทำการเลือกเส้นที่สร้าง แล้ว edit properties เพื่อกำหนดว่าเส้นตรงนี้คือ gate หรือ runner โดยเลือกเป็น cold gate, cold runner และ cold spure เมื่อเสร็จแล้วทำการ mesh generate ตามขั้นตอนแรกอีกครั้ง

- จากนั้น ทางด้านซ้าย ให้เลือก set injection location แล้วคลิ้กด้านบนของ spure แล้วจะได้ดังรูป ฉ-17

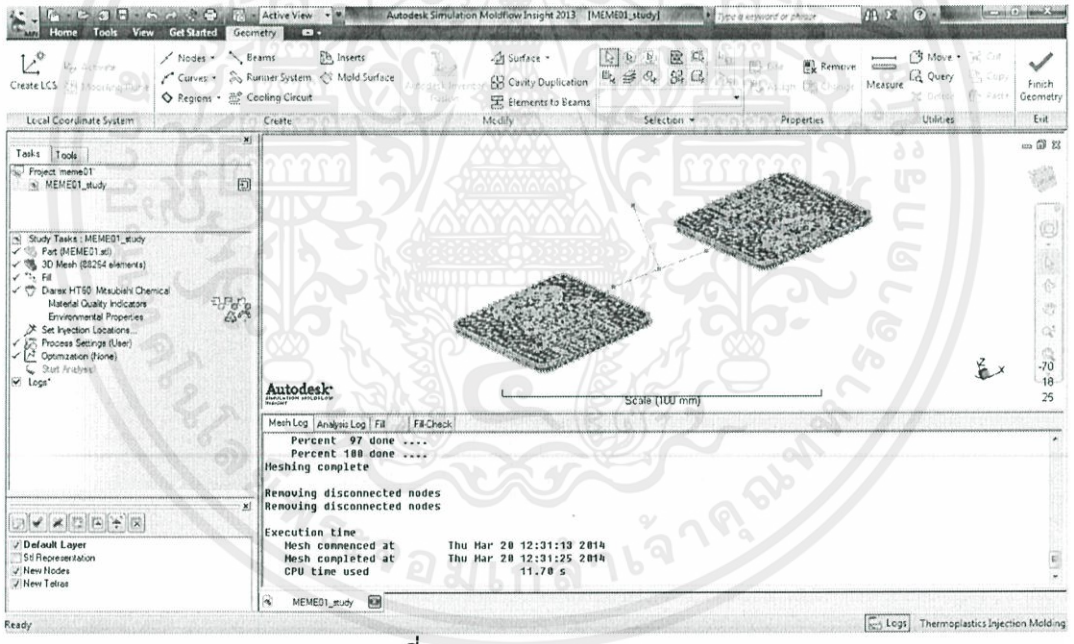


รูปที่ ฉ-13 แสดงการ Mesh Generate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

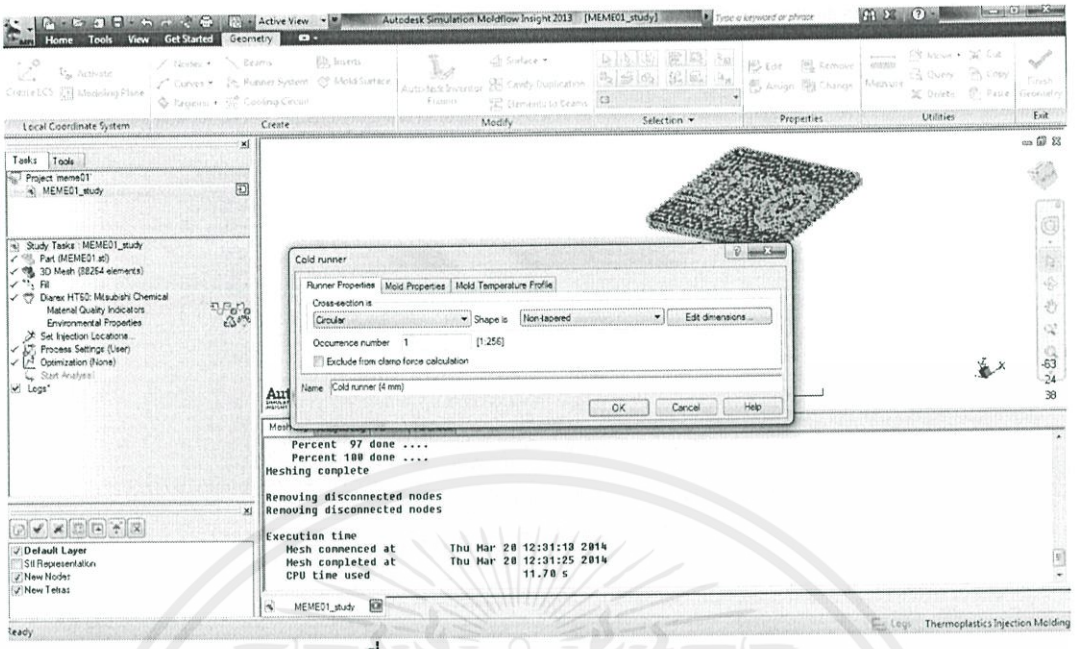


รูปที่ ฉ-14 แสดง Cavity duplication

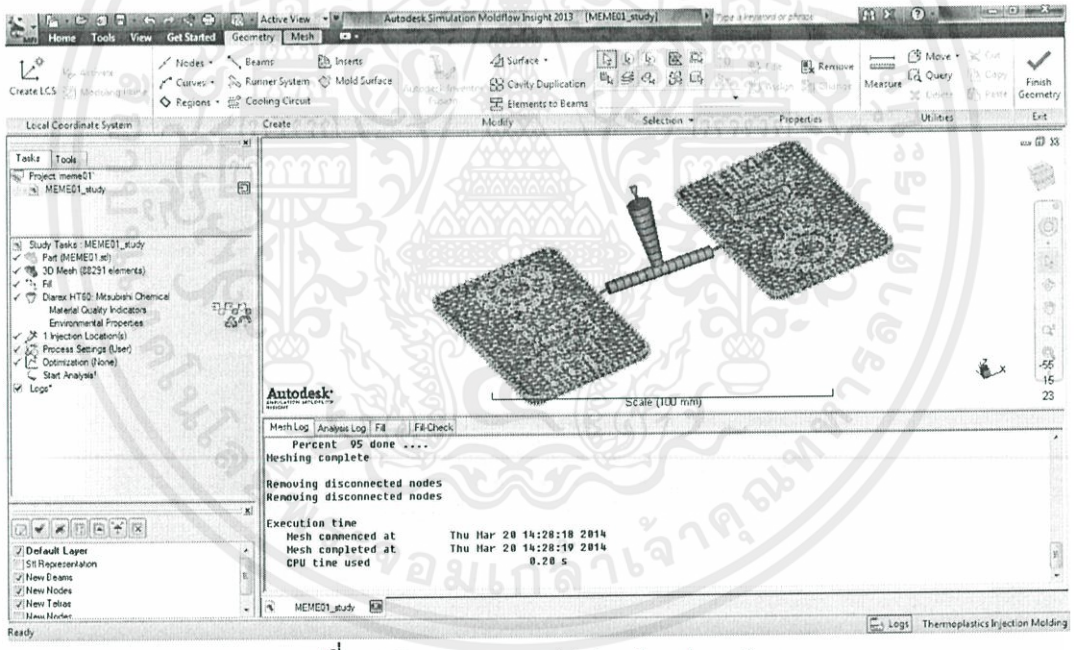


รูปที่ ฉ-15 แสดง Create Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-16 แสดงการ edit properties



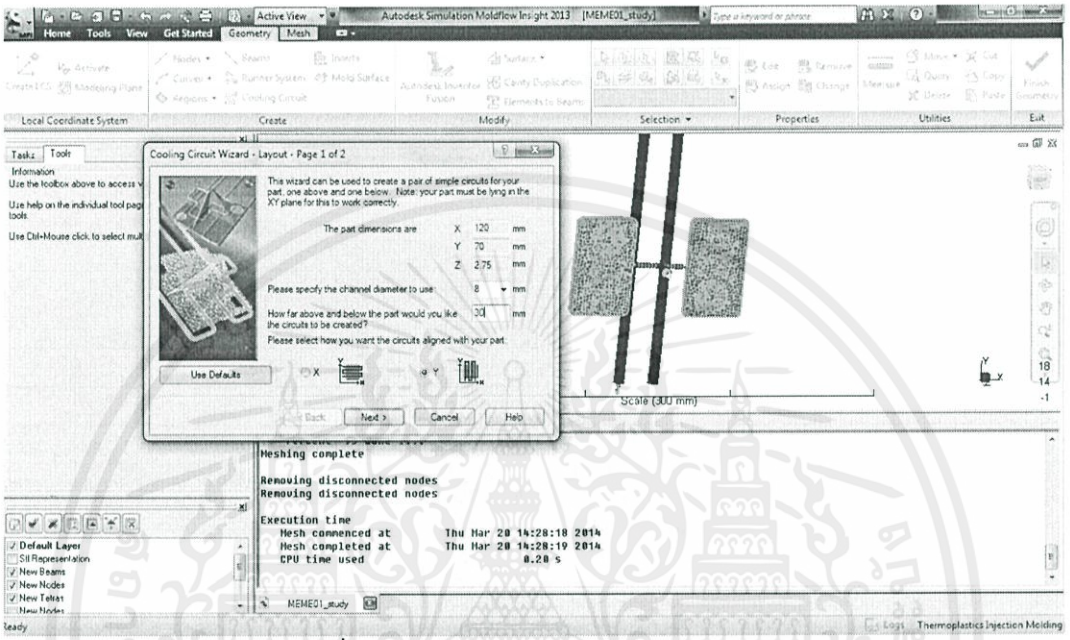
รูปที่ ฉ-17 แสดงการ set injection location

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สร้าง cooling system

- ในหมวด create ใน geometry จะมีคำสั่ง cooling circuit

- จากนั้น กำหนดขนาดของรูน้ำหล่อเย็นที่ channel diameter และระยะห่างจากชิ้นงานที่ How far above and below...? จากนั้นกด Next และ Finish



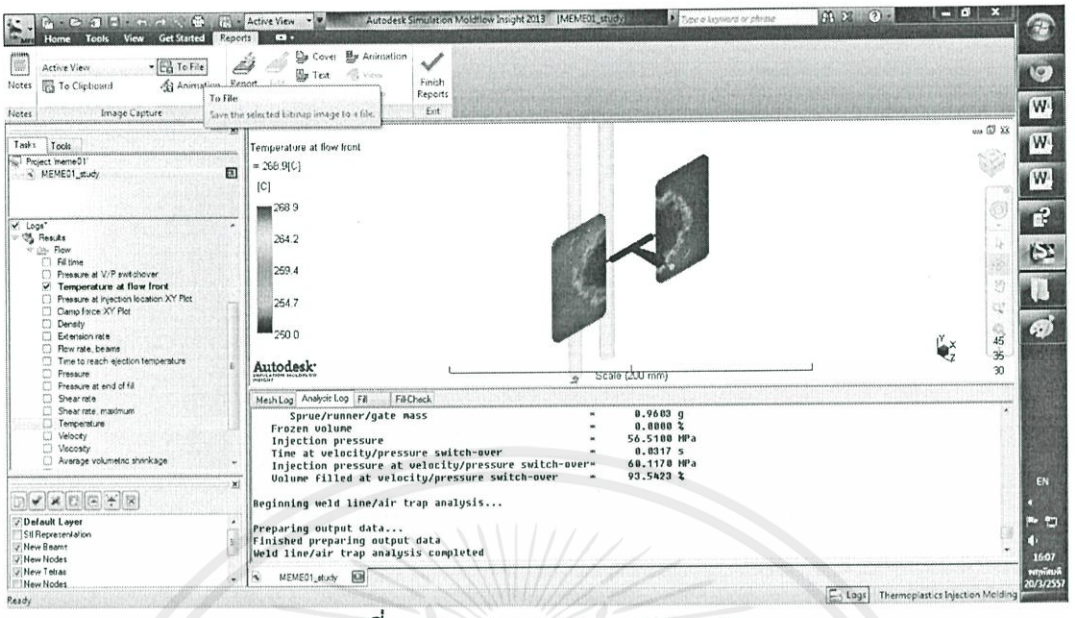
รูปที่ ฉ-18 แสดงการสร้าง cooling system

7. ขั้นตอนการ Analysis และการนำค่าต่างๆมาใช้งาน

- ทำการ Analysis โดนการคลิ้กขวาที่ Start Analysis ทางด้านซ้าย แล้วกด Start Analysis อีกครั้ง

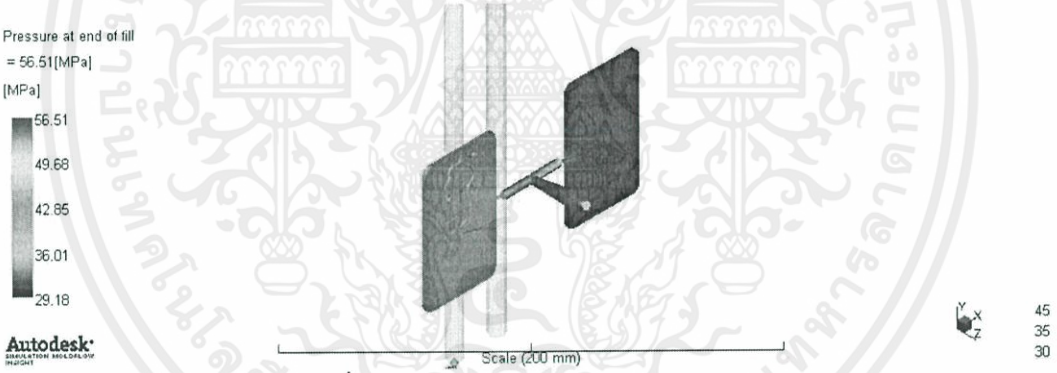
- บริเวณ task ทางด้านซ้าย จะมีแถบใหม่ขึ้นมาคือ result ซึ่งสามารถ เลือกว่าจะแสดงผลสิ่งใดบ้าง และสามารถ save เป็นไฟล์รูปภาพได้โดยการ เลือก Reports แล้วเลือก to file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

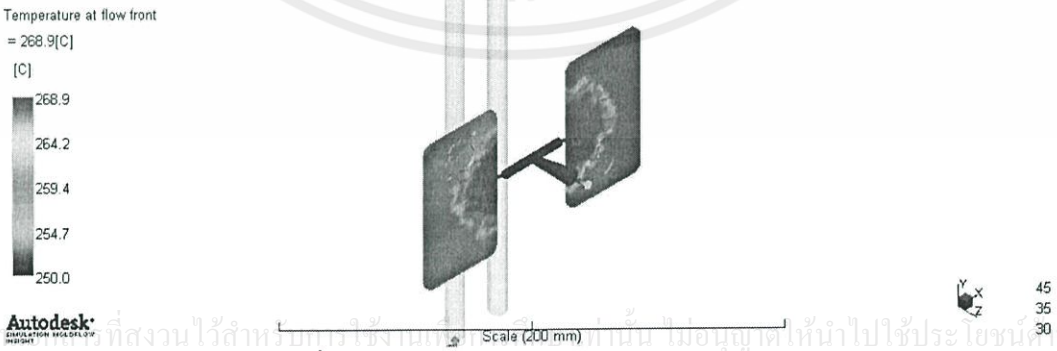


รูปที่ ฉ-19 แสดงการ Report Result

8. ตัวอย่างผลการ analysis

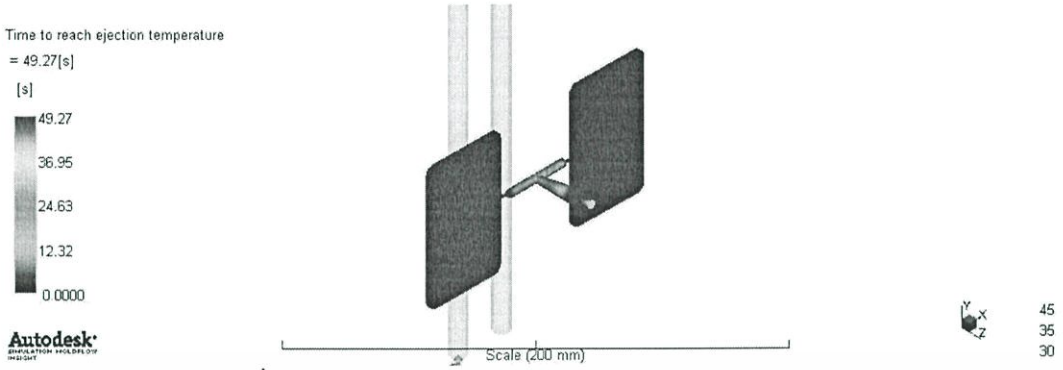


รูปที่ ฉ-20 แสดง Pressure at end of fill



รูปที่ ฉ-21 แสดง Temperature at flow front

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-22 แสดง Time to reach ejection temperature

ซึ่งยังมีค่าอื่นอีกมาก แต่ในโครงงานนี้ จะใช้ Temperature ไปใช้ในการออกแบบเท่านั้น จากการอธิบายข้างต้น โปรแกรมนี้มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก ทั้งทางด้านการออกแบบแม่พิมพ์ ชิ้นงาน และด้านประสิทธิภาพของงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. **งานฉีดพลาสติก**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.

[2] Mannesmann Demag Kunstsofftechnik. **Injection Moulding Procketbook**. Germany , 1997.

[3] Bayer Engineering Thermoplastics. **Processing Data for the Injection Moulder**. Germany , 1998.

[4] Glanvill, A. B. **The Plastics Engineering's Data Book**. American Edition, Brighton : Machinery Publishing Co., 1974

[5] Glanvill, A.B. and E. N. Denton. **Injection Mould Design Fundamentals**. London : Machinery Publishing Co., 1963

[6] Postsch, G and Michaeli, W. **Injection Molding : An Introduction**. Munich : Hanser Gardner Publications, 1995.

[7] Crawford, R.J. **Plastic Engineering**. Oxford : Linacre House, Jordan Hill, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้