



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การทดสอบหาดัชนีการไหล Spiral Test ตามมาตรฐาน ASTM : D 3123-94

Test Melt Flow Index Spiral Test Standard ASTM : D 3123-94

ผศ. ประสงค์ ก้านแก้ว

Asst. Prof. Prasong Kankaew

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงานของ แผนกวิจัยและฝึกอบรม
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับการอุดหนุนงบประมาณในการดำเนินการ

ปี พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ การทดสอบหาดัชนีการไหลSpiral Test ตามมาตรฐาน ASTM : D 3123-94

ค่าดัชนีการไหล Spiral Test ของ HDPE, PP และABS ที่กำหนดจากผู้ผลิตเปรียบเทียบกับค่าการไหลตัวของชั้นทดสอบ มีดังนี้

1. ชั้นทดสอบ HDPE ขนาดความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 ม.ม. มีความกว้าง 6 ม.ม. มีผลการทดลอง ดังนี้

การไหลตัวของชั้นทดสอบHDPEขนาดความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ชั้นทดสอบPPขนาดความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ2ม.ม. มีความกว้าง 6 ม.ม. มีผลการทดลอง ดังนี้

การไหลตัวของชั้นทดสอบPPขนาดความหนา0.5, 1.0, 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ชั้นทดสอบPPขนาดความหนา2 ม.ม. มีความยาวมากกว่าเครื่องมือวัด

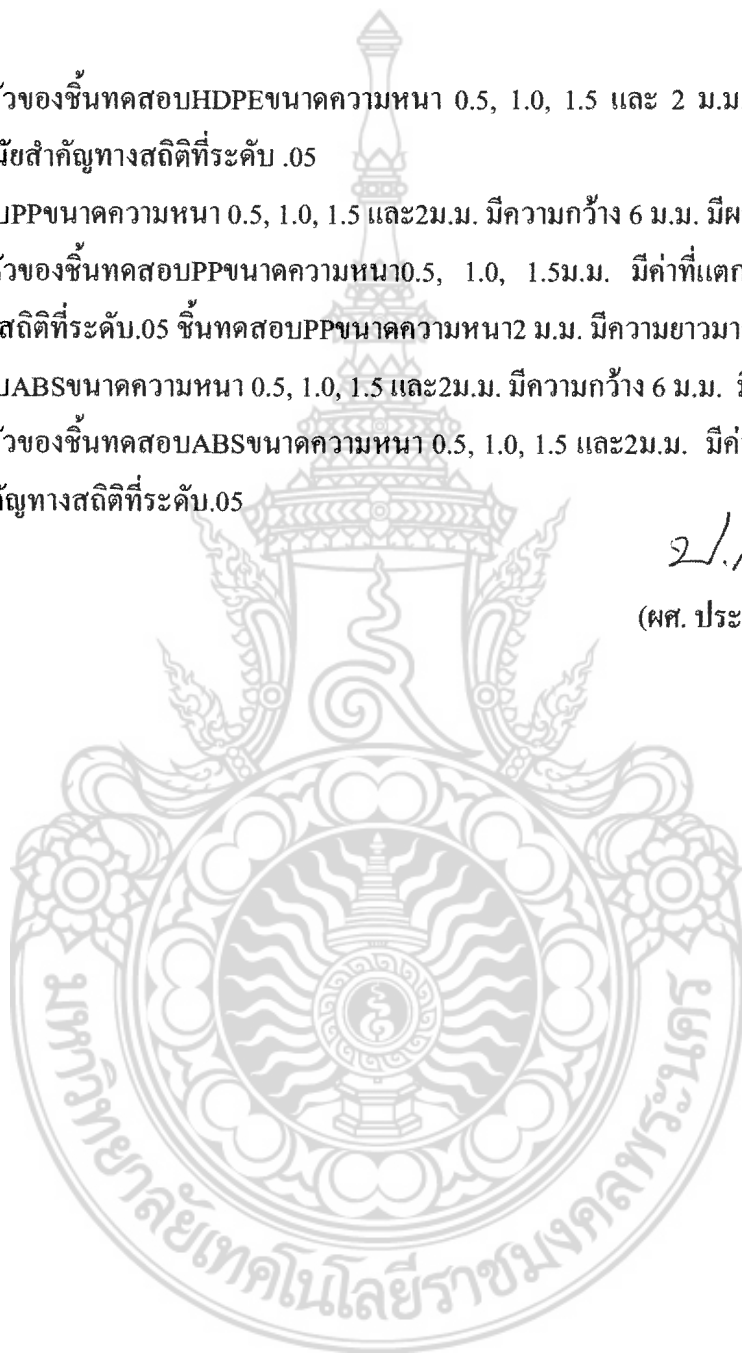
3. ชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ2ม.ม. มีความกว้าง 6 ม.ม. มีผลการทดลอง ดังนี้

การไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ2ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

ป.กัททิ

(ผศ. ประสงค์ ก้านแก้ว)

ผู้วิจัย



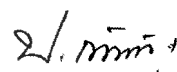
Abstract

This research aims to Test Melt Flow Index Spiral Test according to Standard ASTM : D 3123-94 . To compare with this Standard the Melt Flow Index Spiral Test of HDPE, PP and ABS which determined by the manufacturer was tested in various sizes. The test and the results were as follow:

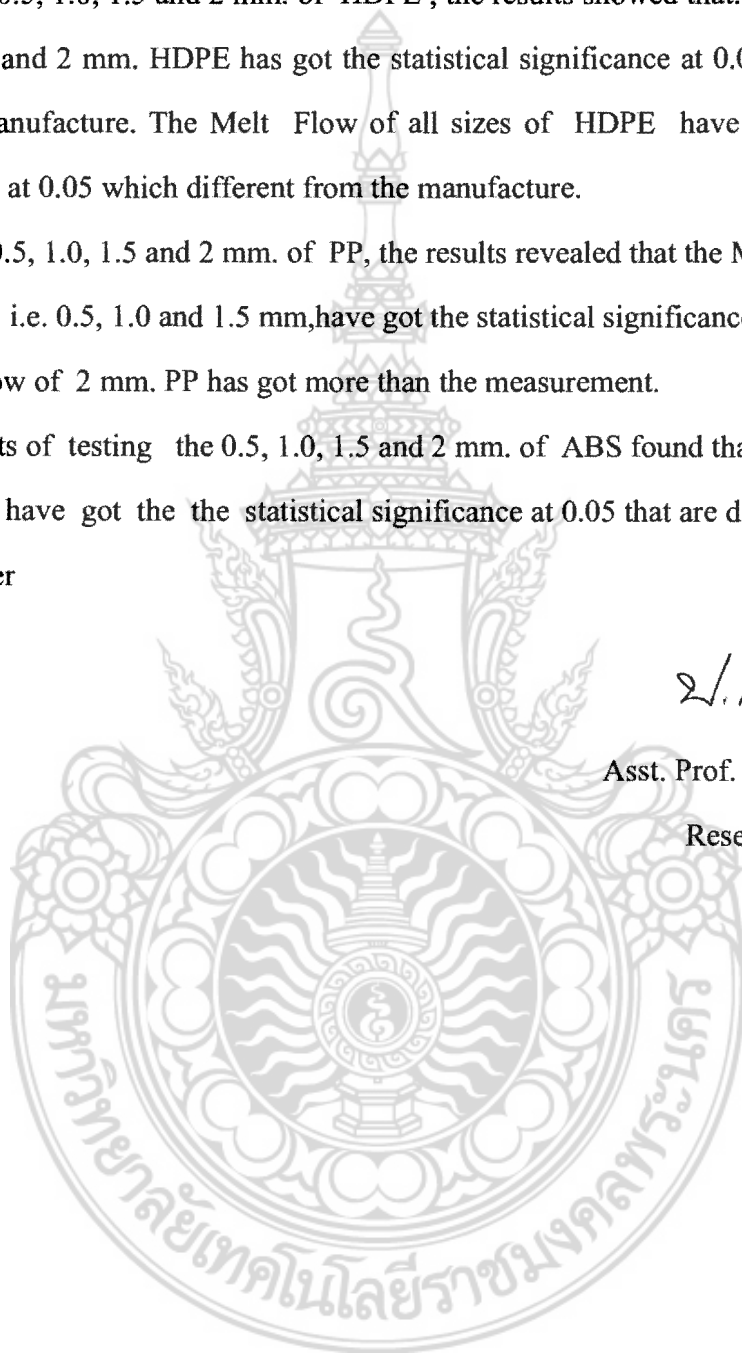
1. Test the 0.5, 1.0, 1.5 and 2 mm. of HDPE , the results showed that. The Melt Flow of 0.5,1.0, 1.5 and 2 mm. HDPE has got the statistical significance at 0.05 which different from the manufacture. The Melt Flow of all sizes of HDPE have got the statistical significance at 0.05 which different from the manufacture.

2. Test the 0.5, 1.0, 1.5 and 2 mm. of PP, the results revealed that the Melt Flow of three sizes of PP i.e. 0.5, 1.0 and 1.5 mm, have got the statistical significance at 0.05 However the Melt Flow of 2 mm. PP has got more than the measurement.

3. The results of testing the 0.5, 1.0, 1.5 and 2 mm. of ABS found that the Melt Flow of all sizes have got the the statistical significance at 0.05 that are different from the manufacturer



Asst. Prof. Prasong Kankaew
Researcher



สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทนำ	1
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
- สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย	3
- คำจำกัดความ (KEY WORD)	3
- ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	3
- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	5
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
- ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	5
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และ หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
- แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	6
- วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	6
- งบประมาณของโครงการวิจัย	10
- ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	10
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
- ความสำคัญของดัชนีการไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)	11
- ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)	11
- การออกแบบผลิตภัณฑ์	15
- หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก	17
- สมบัติของพลาสติก	17
- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก	20
- เครื่องฉีดพลาสติก	21
- หลักเกณฑ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	22
- การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม (CAD/CAE/CAM)	30

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
วิธีการวิจัย	31
- ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	31
- การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ	35
- การวิเคราะห์การฉีดโดยใช้โปรแกรมCAD Mould	41
- ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ	42
- ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ	42
ผลการทดลอง	47
- ผลการทดลอง	47
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	58
- สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	58
- ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก	61
- ข้อมูลในการทดลอง	62
ภาคผนวก ข	63
- แบบแม่พิมพ์	
ภาคผนวก ค	
- ผลการทดลอง	



บทที่ 1

บทนำ

1 ความเป็นมาและปัญหาของโครงการ

นาโนเทคโนโลยีพลาสติกที่มีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการใช้งานอย่างคุ้มค่า รวมถึงการฉีดขึ้นงานขนาดเล็กแต่มีคุณภาพการใช้งานสูง (Micro Injection Technology) อีกทั้งในการออกแบบชิ้นงาน(Parts Design) และออกแบบแม่พิมพ์เพื่อฉีดขึ้นงานให้ได้ขนาดตรงตามแบบที่กำหนด การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความเที่ยงตรงสูง (Height Precision) โดยใช้เทคโนโลยี CAD/CAM/CAE สำหรับผู้สร้างแม่พิมพ์อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อสร้างภูมิคุ้มกันจากการผลิตด้วยตนเองภายในประเทศ ทดแทนการนำเข้าและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับประเทศไทยในอนาคต

อุตสาหกรรมเป้าหมาย

อุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์พลาสติก อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

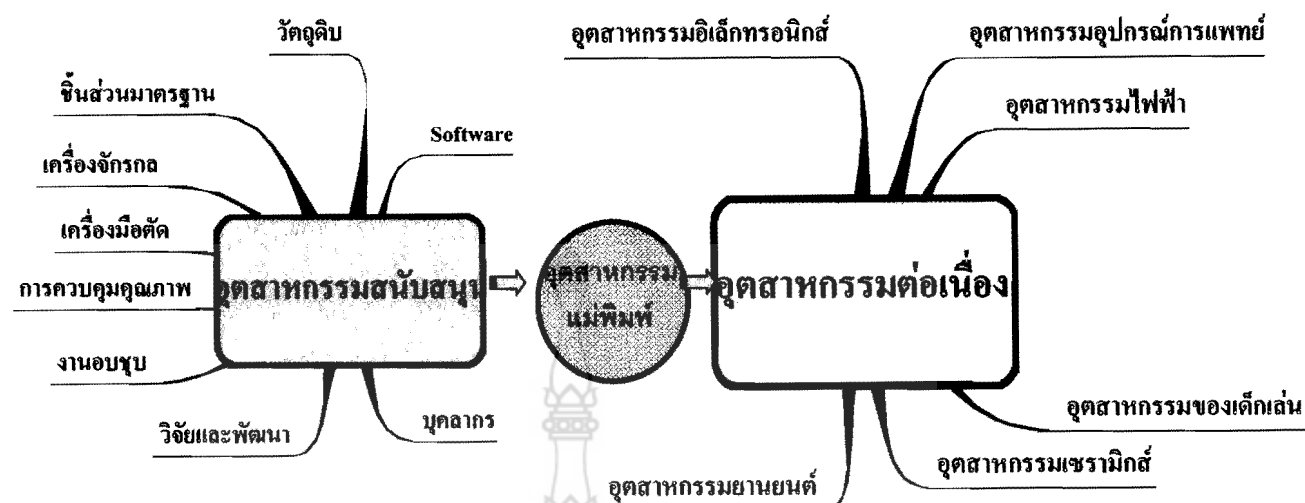
ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (นาโนเทค) กล่าวว่า อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาทิ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างต้องการวัสดุชนิดใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าและขีดความสามารถในการแข่งขันและนาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยี คลื่นลูกใหม่ที่ช่วยภาคอุตสาหกรรมพัฒนาวัสดุที่มีคุณสมบัติตามที่ตลาดต้องการได้

ผลสำรวจตลาดทั่วโลกพบแนวโน้มการเติบโตของผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าตัว คิดเป็นมูลค่า 75 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2551 หรือราว 250 ล้านบาท โดยเฉพาะพลาสติกที่ใช้กับอุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ จากยอดการลงทุนวิจัยนาโนเทคโนโลยีทั่วโลกอยู่ที่ 4.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศในปัจจุบัน ได้ให้ความสำคัญกับการกำหนดยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมอย่างเป็นขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงกติกาด้านการค้าใหม่ของโลก ดังนั้นอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ต้องแข่งขันในตลาดโลก เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้เกิดความเข้มแข็งเพื่อรองรับตลาดที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว

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

ประกอบด้วย ผู้ป้อนวัตถุดิบ ผู้ดำเนินการผลิต ผู้นำสินค้าไปใช้ เมื่อนำรูปแบบการผลิตมาใช้กับการดำเนินงานในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์แล้วจะได้กระบวนการดังในรูปที่ 1



ภาพที่ 1-1 การเชื่อมโยงในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

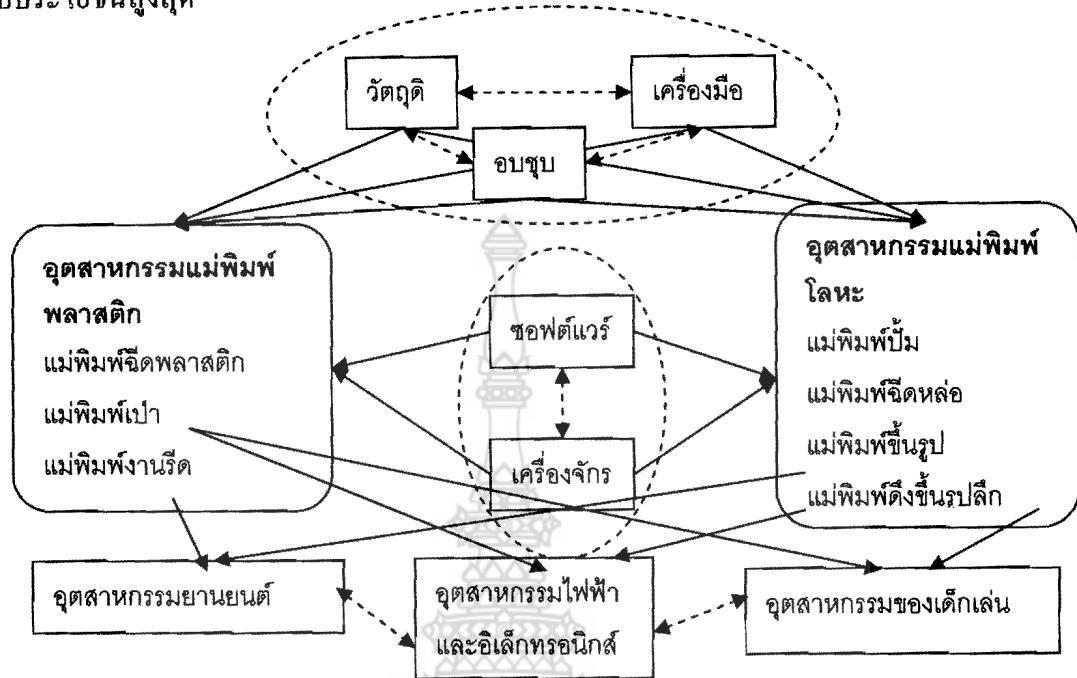
จากภาพที่ 1-1 เห็นว่าอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสร้างผลผลิตออกสู่ตลาดต่อไป

กลุ่มเครือข่ายของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster)

ในช่วงระยะเวลา 10-15 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีการดำเนินธุรกิจตามลำพัง ขึ้นอยู่กับการทำธุรกิจกับกลุ่มลูกค้าเดิมๆ ยังขาดการเชื่อมโยงที่เข้มแข็งทั้งด้านการผลิต การส่งมอบ การให้บริการ หลังการขายและการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดการดำเนินธุรกิจรูปแบบใหม่อย่างเช่น การจัดการโซ่อุปทาน ที่สามารถทำให้การกระจายตัวและการเป็นเอกเทศของสถานประกอบการแม่พิมพ์ได้เกิดการรวมตัวอย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ซึ่งการรวมกลุ่มเพื่อให้เกิดเอกภาพของโซ่อุปทานได้นั้น สถานประกอบการที่เข้าร่วมต้องมีแนวคิดในการบริหารจัดการองค์การที่พร้อมจะให้เกิดการแลกเปลี่ยนทรัพยากรที่มีอยู่ ทั้งนี้การจัดการโซ่อุปทานมีเป้าหมายในการให้เกิดความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสมาชิกที่เข้าร่วมโครงข่าย มีการแลกเปลี่ยนข่าวสาร ข้อมูลระหว่างกัน เพื่อให้การตอบสนองของผู้นำแม่พิมพ์ไปใช้ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้น

จากภาพที่ 1-2 เป็นการดำเนินธุรกิจของกลุ่มอุตสาหกรรมสนับสนุนที่มีต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับการประสานเครือข่ายให้เกิดความเข้มแข็งในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์นี้จะอยู่ที่การรวมกลุ่มของอุตสาหกรรมสนับสนุนที่ต้องสร้างเครือข่ายภายในของตนเองให้มีเสถียรภาพเป็นอันดับแรก จะเห็นว่าการรวมกลุ่มเครือข่ายของ วัตถุดิบ การอบชุบและเครื่องมือตัดสามารถรวมตัวกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ตนเองมีอยู่ในกับสมาชิกในกลุ่ม ข้อมูลดังกล่าวนี้อาจเป็นข้อมูลทางด้านเทคโนโลยีหรือสิ่งที่ลูกค้าต้องการให้ทำการศึกษา เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกันทั้งด้านการค้นคว้า

ศึกษาหรือวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดการสร้างสิ่งใหม่หรือเหมาะสมกับงานที่ถูกค้าต้องการ ทางด้าน เครื่องจักรและซอฟต์แวร์เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่สามารถรวมเป็นเครือข่ายได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากในปัจจุบันการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญ เฉพาะด้านมาใช้ในการปฏิบัติงาน ดังนั้นเมื่อนำทั้งสองกลุ่มมารวมกันจะทำให้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ได้รับประโยชน์สูงสุด



ภาพที่ 1-2 กลุ่มเครือข่ายของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ (Mould and Die Cluster)

2. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

3. คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

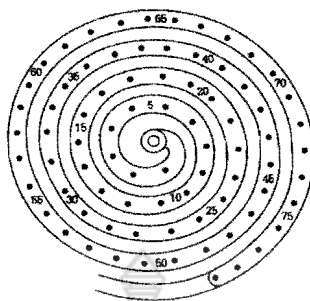
ทดสอบค่าดัชนีการไหล(Melt Flow Index) ที่กำหนดจากผู้ผลิตพลาสติก กับกรณีฉีดขึ้น ทดลองแบบ Spiral Test ASTM D3123-94 เพื่อหาค่าดัชนีการไหลที่แท้จริงเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม วิเคราะห์(CAE)และใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์จะได้ไม่ต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error)และประหยัดงบประมาณในการทำแม่พิมพ์

4. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อัตราดัชนีการไหลของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้นได้จากผลของ ชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเพราะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิต ดัชนี การไหลที่เกิดขึ้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของ เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นดัชนีการไหลที่กำหนดไว้ในตารางการไหลกับค่าการไหล ที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน การทดสอบจะต้องมีแม่พิมพ์ที่มีร่องเกลียว(Spiral)ที่แบ่งระยะไว้เป็น ช่วงๆละ 5 เซนติเมตร ต่อจากกรูตีด(Sprue)ประกอบเข้ากับเครื่องฉีดใช้ในการพิสูจน์ว่าพลาสติกสามารถ

ฉีดได้ไกลเป็นระยะเท่าไรถ้าความหนืดของพลาสติกเหลวน้อยก็จะไปได้ไกลกว่าพลาสติกที่มีความหนืดสูง

อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบนี้ไม่ได้บอกค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่แน่นอน ส่วนใหญ่จะใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ



ภาพที่ 1-3 ชิ้นงานฉีดการทดสอบ Spiral Test

วัสดุ	ความหนา							
	2.0	1.5	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
ABS	170	96	43	27	21	15	11	7
CA	150	84	38	24	18	14	9	6
EVA	175	98	44	28	21	16	11	7
SAN	120	68	30	19	15	11	8	5
PA	150	84	38	24	18	14	9	6
PC	100	56	25	16	12	9	6	4
HDPE	225	127	54	34	28	20	14	9
LDPE	275	155	69	44	34	25	17	11
PMMA	130	73	33	21	16	12	8	5
POH	160	84	38	24	18	14	9	4
PP	250	141	63	40	31	23	16	10
UPVC	100	54	25	16	12	9	6	4

ตาราง 1-1 แสดงค่าดัชนีการไหลของพลาสติก/ความหนามม.

4.1 ความสำคัญของดัชนีการไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)

ดัชนีการไหลของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 4 ข้อ ได้แก่

1. ความดันการฉีด
2. เวลาในการฉีด
3. อุณหภูมิในการฉีด
4. ความหนืดของพลาสติก

5. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 5.1 เพื่อหาค่าความแตกต่างดัชนีการไหลของพลาสติก (Melt Flow Index) ที่กำหนดจากผู้ผลิตกับการฉีดขึ้นททดสอบมาตรฐานแบบ Spiral Test ASTM D3123-94
- 5.2 เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก
- 5.3 เพื่อรองรับสมบัติพลาสติกด้วยนาโนเทคโนโลยี
- 5.4 เพื่อใช้ฉีดขึ้นงานเล็กๆ(Micro Injection Machine)

6. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 6.1 ขึ้นทดลองเป็นแบบ Spiral Test ASTM D3123-94
- 6.2 ขึ้นทดสอบ Spiral Test อยู่ในแม่พิมพ์ชุดเดียวกันโดยเปลี่ยนชุดเบ้าเป็นแบบInsert
- 6.4 ใช้ทดสอบกับพลาสติกอะมอร์ฟัส และพาร์เซิลคริสตัลไลน์
- 6.5 ทดสอบโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์

7. ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

สมมติฐาน

ค่าดัชนีไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)ที่ได้จากการทดลองไม่แตกต่างจากค่าที่ผู้ผลิตกำหนด

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

8.1 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ ประกอบด้วย

- 1) มีบริษัทที่สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกความเที่ยงตรง(Precision) เพิ่มขึ้น
- 2) สามารถผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ความเที่ยงตรงได้(Precision)
- 3) มหาวิทยาลัยได้บุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง งานวิจัย
- 4) ลดการสูญเสียจากการลองผิดลองถูก(Trial and Error)ในการทำแม่พิมพ์
- 5) ยกระดับมาตรฐานในวงการอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น
- 6) ลดการนำเข้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกความเที่ยงตรง (Precision)จากต่างประเทศ
- 7) ดำเนินการขอจดสิทธิบัตรและเผยแพร่

8.2 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) มหาวิทยาลัยสามารถสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความเที่ยงตรง (Precision) ได้
- 2) เป็นต้นแบบให้นักศึกษาได้เรียนรู้และนำไปใช้ใน โรงงานสร้างแม่พิมพ์
- 3) บริษัทสร้างแม่พิมพ์สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ได้
- 4) ส่งเสริมสถาบันการศึกษาทำวิจัยด้านแม่พิมพ์

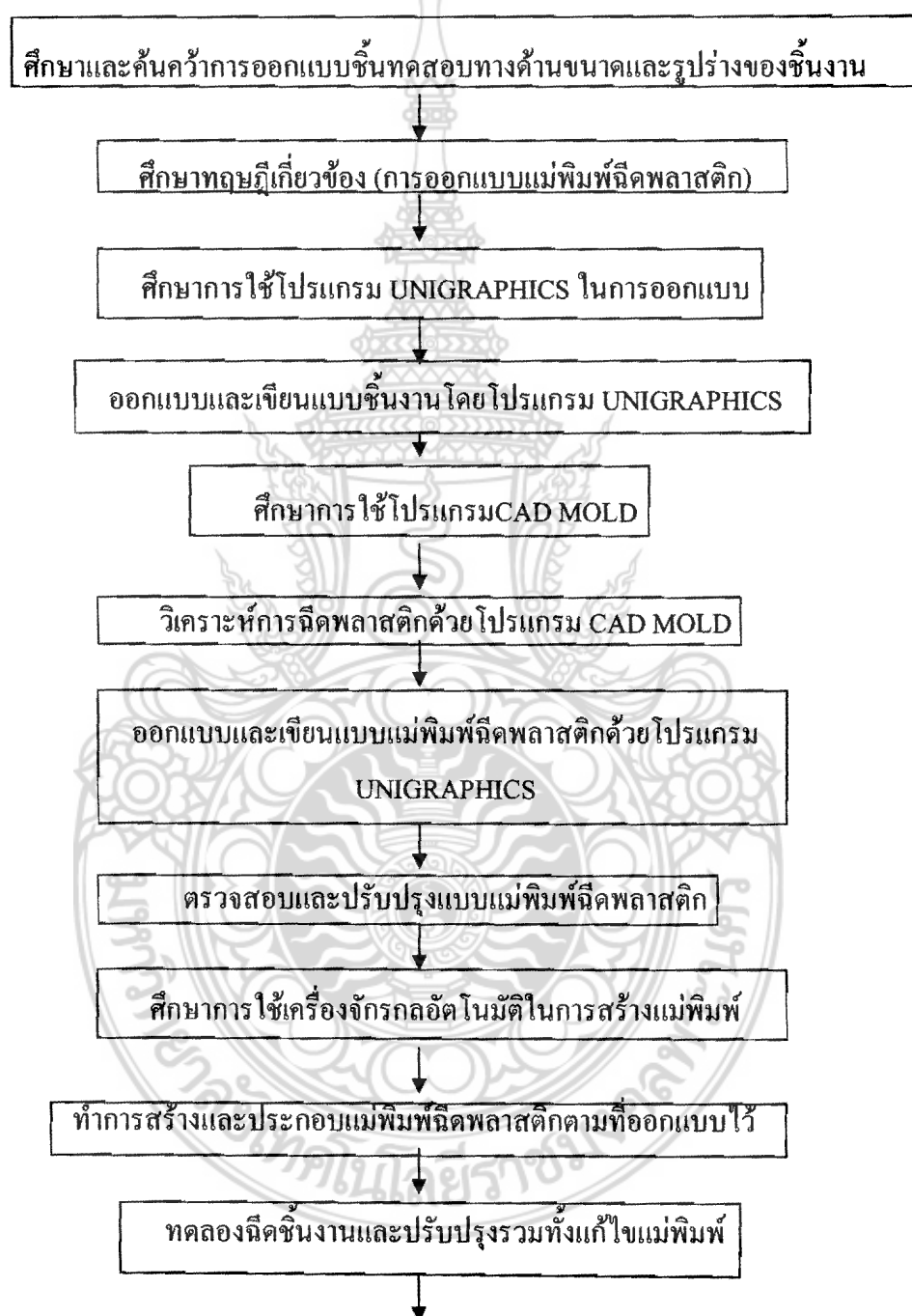
9. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

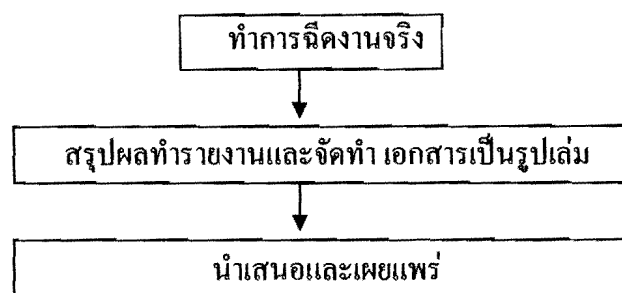
- 9.1 นำเสนอในสัมมนาวิชาการ
- 9.2 เผยแพร่ในวารสารสมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย
- 9.3 เผยแพร่ในWEB-SITE RUMTP
- 9.4 เผยแพร่ในวารสารของมหาวิทยาลัย
- 9.5 เผยแพร่ในวารสารพลาสติก

10. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

10.1 การเตรียมงานและการวิจัย

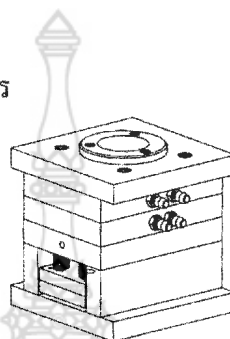
แผนภูมิแสดงขั้นตอน วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล





แผนภูมิที่ 1-1 แสดงขั้นตอนการทำวิจัย

10.2 กระบวนการและเวลาดำเนินการ



- | | |
|---|------------------------------|
| 1. ศึกษาข้อมูล การออกแบบชิ้นทดสอบทางด้านขนาดรูปร่างของชิ้นงาน | <u>ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน</u> |
| 1.1 ออกแบบและกำหนดรายละเอียด ชิ้นทดลอง | 5 วัน |
| 1.2 ศึกษาสมบัติของพลาสติกที่ทดลอง | 5 วัน |
| 1.3 เลือกบริษัทผู้ผลิต | 5 วัน |
| 1.4 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด | 15 วัน |
| 2. ศึกษาโปรแกรมการออกแบบและออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก | <u>ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน</u> |
| 2.1. ศึกษาโปรแกรมการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก | 15 วัน |
| 2.2 ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โปรแกรม Unigraphics | 15 วัน |
| 2.2.1 โครงสร้างแม่พิมพ์(<u>Mold Construction</u>) | |
| 2.2.2 เครื่องจักรที่ใช้ในการฉีด(<u>Injection Machine</u>) | |
| 2.2.3 จำนวนเบ้า(<u>Multi-Cavity molds</u>) | |
| 2.2.4 วัสดุทำแม่พิมพ์(<u>Type of Tool Steel</u>) | |
| 2.2.5 ออกแบบระบบทางวิ่ง (<u>Runner Systems</u>) | |
| 2.2.6 ระบบทางเข้า(<u>Gate Design</u>) | |
| 2.2.7 ระบบหล่อเย็น(<u>Mold Cooling</u>) | |
| 2.2.8 ระบบปลด(<u>Ejection System</u>) | |
| 2.2.9 ระบบระบายอากาศ(<u>Air Venting</u>) | |

3.ดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ฉีด	<u>ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน</u>
3.1.สั่งซื้อวัสดุและอุปกรณ์	20 วัน
3.2.ทำ การสร้างส่วน Core	15 วัน
3.3.ประกอบและตกแต่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	15 วัน
3.4.ทำการทดลองฉีดพลาสติกและ ทำการฉีดพลาสติกภายใต้สภาวะต่างๆ	10 วัน
3.5.แก้ไขปรับปรุงแม่พิมพ์ ต่างๆและเลือกจุดที่เหมาะสม	20 วัน
3.6.รวบรวมข้อมูลของระบบการฉีดแม่พิมพ์	10 วัน
4. ทดลองฉีดเก็บข้อมูล	<u>ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน</u>
4.1. ทดลองและปรับแก้	15 วัน
4.2. ทดลองเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลอง	15 วัน
5. รวบรวมข้อมูล และปรับแก้การทดลอง	<u>ใช้เวลาประมาณ 1.5 เดือน</u>
5.1. ปรับแก้การทดลอง	15 วัน
5.2. รวบรวมผลการทดลอง	15 วัน
5.3. วิเคราะห์ผลการทดลอง	15 วัน
6. จัดทำแผนเผยแพร่	<u>ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน</u>
6.1. จัดทำเอกสารเผยแพร่	30 วัน
7. สรุปผลการวิจัยและรายงาน	<u>ใช้เวลาประมาณ 15 วัน</u>
7.1. สรุปผลการทดลอง	10 วัน
7.2. รายงานผลการวิจัย	5 วัน
สถานที่ทดลองและเก็บข้อมูล	
1. สาขา เทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เพื่อออกแบบขึ้นทดลองและ การออกแบบวิเคราะห์จำลองสถานการณ์ และสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (CAD/CAM/) เครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน ได้แก่ Vernier Caliper และอื่น ๆ	

ตารางที่ 1-1

ระยะเวลาโครงการ ประมาณ 1 ปี (ตุลาคม 2553 – กันยายน 2554) (เสนอแผนงานระยะ 1 ปี)

ขั้นตอนการวิจัย	ระยะเวลา 1 ปี												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	←→												
2. ศึกษา การใช้โปรแกรมและออกแบบแม่พิมพ์		←→											
3. ดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ฉีด			←→										
4. ทดลองฉีดแก้ไขปรับแก้ เก็บข้อมูล							←→						
5. รวบรวมข้อมูล และปรับปรุงการทดลอง									←→				
6. จัดทำแผนเผยแพร่										←→			
7. สรุปผล ผลการวิจัย รายงาน											←→		

ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย, โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

1. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์และสำนักบริการวิชาการ-วิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้ความร่วมมือด้านเครื่องจักรเครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียรไนผิวเรียบ เครื่องมือวัดละเอียด และอื่น ๆ

2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมพลาสติก

3. สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์การวิจัย อุปกรณ์การวิจัยที่จำเป็นต้องใช้และมีพร้อมได้แก่

1. เครื่องกลึง (Lathe Machine) เครื่องกัด (Milling Machine) เครื่องเจาะ (Drilling) เครื่องเจียรไนกลมและเจียรไนราบ (Grinding Machine)
2. เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling machine) เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe)
3. เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM)
4. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine)
5. โปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก Unigraphics

11. งบประมาณของโครงการวิจัย

งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย	312,700 บาท
1. ค่าตอบแทน	94,790 บาท
1.1 ค่าตอบแทนนักวิจัย	31,270 บาท
1.2 ค่าผู้ช่วยวิจัย วุฒิปริญญาตรี (8 เดือน x 7,940 บาท x 1 คน)	63,520 บาท
2. งบดำเนินการ(ได้แก่ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ)	
1.ค่าใช้สอย	106,000 บาท
3.1 ค่าออกแบบเขียนแบบแม่พิมพ์	6,000 บาท
3.2 ค่าออกแบบขึ้นทดสอบ	5,000 บาท
3.3 ค่าขึ้นรูปแม่พิมพ์ และเครื่องมือตัด	70,000 บาท
3.4 ค่าทดสอบ	14,000 บาท
3.5 ค่าวิเคราะห์ผล	5,000 บาท
3.6 ค่าพิมพ์เอกสารและเข้าเล่ม	6,000 บาท
3. ค่าวัสดุ	96,275 บาท
3.1 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์(Mold Base)	87,275 บาท
3.4 วัสดุทดสอบ	5,000 บาท
3.5 ค่าวัสดุสำนักงาน	4,000 บาท
4. ค่าครุภัณฑ์	- บาท
- ไม่มี	
5. ค่าสาธารณูปโภค(ค่าน้ำประปา ค่าไฟฟ้า)	15,635 บาท
จ่ายให้แก่หน่วยงานในอัตรา5% ของวงเงินงบประมาณ	
รวมทั้งสิ้น	312,700 บาท

12. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

- 12.1 ส่งเสริมให้เกิดการคิดค้นและการนำผลที่ได้จากการทำงานวิจัยไปใช้งานในอุตสาหกรรม
- 12.2 สร้างทางเลือกในกระบวนการหาค่าดัชนีการไหลของพลาสติกที่เป็นจริง (Melt Flow Index)
- 12.3 กลุ่มเป้าหมาย เป็น ผู้ผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผู้ออกแบบ เป็นการพัฒนา ศักยภาพการผลิต
ผลิตภัณฑ์พลาสติก
- 12.4 ลดข้อผิดพลาดในการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกและการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 12.5 ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจ ในอุตสาหกรรมเป้าหมาย แข่งขันกับต่างประเทศได้
- 12.6 ได้แม่พิมพ์ที่ใช้ในการหาค่าดัชนีการไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)

บทที่ 2

เนื้อหาเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญ

เนื้อหาเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญของโครงการวิจัย

- 2.1 ความสำคัญของดัชนีการไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)
- 2.2 ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)
- 2.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์
- 2.4 หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก
- 2.5 สมบัติของพลาสติก
- 2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก
- 2.7 เครื่องฉีดพลาสติก
- 2.8 หลักในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 2.9 การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม

2.1 ความสำคัญของดัชนีการไหลของพลาสติก(Melt Flow Index)

ดัชนีการไหลของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 4 ข้อ ได้แก่

1. ความดันการฉีด
2. เวลาในการฉีด
3. อุณหภูมิในการฉีด
4. ความหนืดของพลาสติก

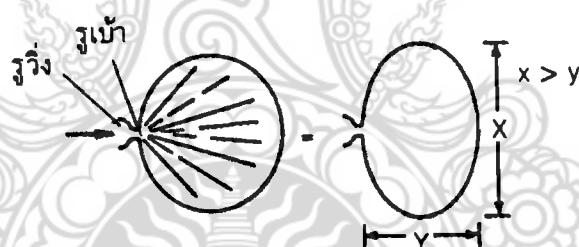
2.2 ความสำคัญของการหดตัวของพลาสติก(Shrinkage)

การหดตัวของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 3 ข้อ ได้แก่

1. ความดันการฉีดแซ่ ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดแซ่ให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง
 2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัดคือ เมื่อน้ำพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก
 3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวย ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด Post Shrinkage ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนา ดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้
- การหดตัว – มุมเรียวและพิคัดความเผื่อของแม่พิมพ์ (Mold shrinkage – Taper and Tolerances)

การคำนวณเกี่ยวกับการหดตัว (Shrinkage Calculations) พลาสติกหลอมที่ถูกฉีดเข้าไปในอิมเพรสชันเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและหดตัว ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ทำไว้ ดังนั้นเมื่อออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้ จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวของวัสดุชิ้นงานไว้ด้วยเพื่อแก้ไขให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ต้องการ พลาสติกชนิดต่างกันจะมีอัตราการหดตัวที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสอบถามหรือหารายละเอียดได้จากบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ค่าอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางนี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองของบริษัทผู้ผลิตพลาสติกภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่กำหนดแต่อัตราการหดตัวของพลาสติกเมื่อนำไปใช้ในโรงงานที่มีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างออกไปค่าอัตราการหดตัวก็จะแตกต่างกันไปด้วย เงื่อนไขเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์จึงควรจะบันทึกค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกหลอมที่ได้จากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดในโรงงานทุกครั้งที่มีโอกาส และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตารางที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตพลาสติก ค่าอัตราการหดตัวที่บันทึกในโรงงานจะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าและสามารถนำไปใช้ออกแบบในครั้งต่อไปได้

ภายในชิ้นงานเดียวกันที่ทำจากพลาสติกชนิดเดียวกันอาจจะเกิดการหดตัวในแต่ละจุดไม่เท่ากันทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวในแนวขนานกับทิศทางการไหลของพลาสติกจะแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก กล่าวคือการหดตัวในทิศทางการไหลจะมีการหดตัวมากกว่าในทิศทางที่ตั้งฉากกับการไหลของพลาสติก (ดังภาพที่ 2.1) และการหดตัวของชิ้นงานส่วนที่หนาจะมากกว่าส่วนที่บาง ทั้งนี้เพราะอัตราการหดตัวของพลาสติกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความหนาของชิ้นงาน



X = การหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับการไหล

Y = การหดตัวในทิศทางการไหล

ภาพที่ 2-1 การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม

การหดตัวของชิ้นงานเป็นการหดตัวตามปริมาตรคือ เกิดการหดตัวทั้งขนาดด้านกว้าง ด้านยาวและด้านความหนาหรือความสูง ดังนั้นขนาดต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวไว้ทุกด้าน อัตราการหดตัวของพลาสติกจะกำหนดเป็น “มิลลิเมตร / มิลลิเมตร” (นิ้ว / นิ้ว) หรือ

กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ วิธีการคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์ที่เพิ่มค่าอัตราการหดตัวที่นิยมใช้กัน มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. คำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้เสียก่อนในขั้นแรก แล้วคำนวณหาอัตราการหดตัว จากนั้นจึงนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์

2. ในขั้นแรกจะคำนวณหาขนาดหดตัวจากขนาดที่กำหนดในแบบชิ้นงาน และเพิ่มขนาดหดตัวไว้ในแบบชิ้นงาน จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในภายหลัง

การคำนวณทั้งสองวิธีดังกล่าว ให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 2-1 ค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกชนิดต่างๆ

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

หมายเหตุ : อัตราการหดตัวค่าน้อยใช้สำหรับชิ้นงานที่มีความหนา=17.78มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า

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

(1) ความผันแปรของการหดตัว อัตราการหดตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้น ได้จากผลของชิ้นงานทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิตอัตราการหดตัวที่เกิดขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้ในตารางการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน

(2) มุมเอียงของแม่พิมพ์ มุมเอียงในที่นี้เป็นมุมที่จัดเตรียมไว้บนชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ เพื่อให้การปลดชิ้นงานกระทำได้ง่าย

(3) พิกัดความเผื่อของงานตัดเฉือน สิ่งที่ต้องระลึกถึงอีกประการหนึ่งก็คือ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะทำให้ได้ขนาดถูกต้องตามกำหนดนั้นกระทำได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดพิกัดความเผื่อสำหรับงานตัดเฉือนไว้ด้วย เพื่อให้ช่างทำแม่พิมพ์ผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น

เมื่อเป็นเช่นนี้หากชิ้นงานที่ต้องการผลิตที่พิกัดความเผื่อน้อยมาก แล้วยังต้องรวมขนาดเผื่อสำหรับแฟกเตอร์เหล่านี้เข้าไว้ด้วย วิธีหนึ่งทำกันคือ การเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้เหลือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยวิธีนี้เมื่อนำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นทดลองฉีด และตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแล้วจะสามารถแก้ไขและปรับแต่งให้ได้ขนาดพิกัดตามต้องการได้ และปรับแต่งโดยการลดขนาดเนื้อโลหะออกจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์จะกระทำได้ง่ายกว่าการพอกเติมเนื้อโลหะบนชิ้นส่วนแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นตัวผู้หรือส่วนคอร์จะทำให้มีขนาดโตที่สุดเท่าที่จะทำได้ และทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นตัวเมียหรือส่วนเบ้า ให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ภายในพิกัดที่ยอมให้ได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้กันในบางครั้งได้แก่การ เพิ่มอัตราการหดตัวที่มีค่ามากกับชิ้นส่วนตัวผู้และเพิ่มอัตราการหดตัวที่มีค่าน้อยกับชิ้นส่วนตัวเมียของแม่พิมพ์ ในกรณีที่ชิ้นงานทำด้วยวัสดุที่มีอัตราการหดตัวสูง เช่น โพลีทีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density Polythene) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีอัตราการหดตัวในแนวขนานกับทิศทางการไหลของพลาสติกแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก ซึ่งจำเป็นจะต้องเลือกใช้พิกัดความเผื่อที่พอเหมาะ หากชิ้นงานมีความเที่ยงขนาดสูงและโดยเฉพาะที่ทำด้วยวัสดุที่มีอัตราการหดตัวสูง เช่น ไนลอน จะต้องเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้มากที่สุดเพื่อให้สามารถปรับแต่งได้หลังจากการทดลองฉีด หรือทดลองฉีดโดยการทำเป็นแม่พิมพ์แบบอิมเพรสชันเคียวแบบง่าย ๆ เพื่อทดสอบหาค่าอัตราการหดตัวที่แท้จริง

พิกัดความเผื่อสำหรับงานตัดเฉือนเพื่อสร้างชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ของแต่ละบริษัทจะแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสำหรับชิ้นงานที่มีพิกัดความเผื่อ ± 0.150 มิลลิเมตร ($\pm 0.006''$) หรือมากกว่า จะเลือกใช้พิกัดความเผื่อสำหรับงานตัดเฉือนเท่ากับ ± 0.05 มิลลิเมตร ($\pm 0.002''$) ส่วน

ขนาดชิ้นงานที่มีพิถีพิถันความเผื่อแคบกว่านี้จะใช้พิถีพิถันความเผื่อของงานตัดเฉือนเท่ากับ ± 0.012 มิลลิเมตร ($+ 0.0005''$) ค่าพิถีพิถันความเผื่อที่กล่าวมานี้ส่วนมากนิยมใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดไม่เกิน 300 มิลลิเมตร ($12''$) สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดโตกว่านี้มีแฟกเตอร์อื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อขนาดของชิ้นงาน โดยเฉพาะเกี่ยวกับกรรมวิธีในการฉีดพลาสติก ทำให้การผลิตชิ้นงานที่มีพิถีพิถันความเผื่อทำได้ยาก ในแม่พิมพ์ขนาดใหญ่การขยายตัวของแม่พิมพ์เนื่องจาก ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิในขณะฉีดพลาสติก เป็นแฟกเตอร์หนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์ขนาดยาว 508 มิลลิเมตร ($20''$) ทำด้วยวัสดุเหล็กนิเกิล - โครเมียม ที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเท่ากับ $0.000012/^\circ\text{C}$ หากขณะตัดเฉือนขึ้นรูป อุณหภูมิห้องเท่ากับ 20°C และนำไปใช้ในงานฉีดพลาสติกที่อุณหภูมิของแม่พิมพ์เท่ากับ 70°C จะมีการขยายตัวของแม่พิมพ์เท่ากับ $508 \times (70-20) \times 0.000012 = 0.3048$ มิลลิเมตร ดังนั้นชิ้นงานที่ค่าพิถีพิถันความเผื่อแคบ ๆ การขยายตัวของแม่พิมพ์ในขณะใช้งาน ก็เป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญประการหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา

ดังนั้นในการทำชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานที่มีพิถีพิถันความเผื่อแคบหรือชิ้นงานทำด้วยพลาสติกที่ไม่ทราบค่าอัตราการหดตัว จึงควรเผื่อเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้เหลือมากที่สุดภายในขอบเขตของพิถีพิถันความเผื่อที่กำหนด เพื่อให้สามารถปรับแต่งได้หลังจากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดและตรวจสอบขนาดชิ้นงานแล้ว

ส่วนของแม่พิมพ์ที่เป็นตัวเมีย คือ ส่วนเบ้า จะกำหนดขนาดจากกันหรือด้านล่างของเบ้า และทำให้มีขนาดเล็กสุดของค่าพิถีพิถันความเผื่อที่กำหนด

ส่วนของแม่พิมพ์ที่เป็นตัวผู้คือ ส่วนคอร์ สลักคอร์ (Core pin) ที่ขึ้นรูปภายในของชิ้นงาน เช่น รูจะกำหนดขนาดจากตัวโคน หรือ ด้านที่อยู่ติดกับแผ่นยึด และทำให้มีขนาดโตสุดของค่าพิถีพิถันความเผื่อที่กำหนด

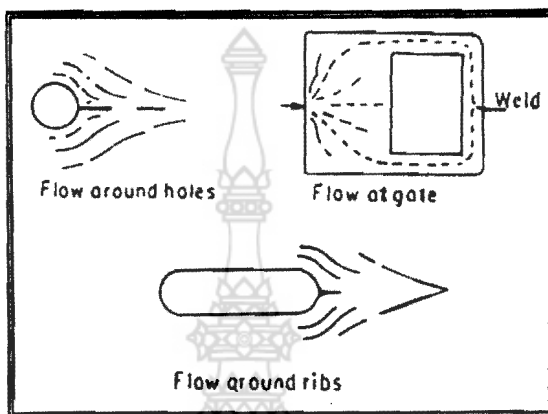
2.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์

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

ไปพร้อมกับเรซินเข้าไปในส่วนที่บางและซับซ้อนได้เท่านั้น เป็นผลให้ผนังชิ้นงานส่วนที่บางมีความแข็งแรงตามความหนาแน่นน้อยกว่าผนังส่วนที่หนามากกว่า

ข้อแนะนำที่สำคัญเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

2.3.1 ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลาสติกจะต้องคำนึงถึงรูปแบบการไหล (Flow patterns) ของพลาสติกหลอมไว้เสมอ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถลดรอยเส้นการไหล (Flow Patterns) ที่มักจะเกิดขึ้นเสมอในบริเวณรอบๆ รู, ครีป (Ribs) และบริเวณรูเข้าให้มนน้อยที่สุดได้



ภาพที่ 2-2 แสดงการไหลของพลาสติกเหลว

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



ภาพที่ 2-3 แสดงการหลีกเลี่ยงการออกแบบชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน

2.4 หลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก

การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการหดตัว ซึ่งจะมีการหดตัวเกิดขึ้น 2 ครั้งด้วยกัน

2.4.1 การหดตัวครั้งแรก เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่พลาสติกหลอมถูกทำให้เย็นตัวลง โดยระบบหล่อเย็นเรียกว่าการหดตัวในแม่พิมพ์ (Mold Shrinkage)

2.4.2 การหดตัวภายหลัง เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังที่ชิ้นงานถูกดันปลดจากแม่พิมพ์ ซึ่งมีช่วงเวลาเกิดการหดตัวได้นานถึง 24 ชั่วโมง

ดังนั้นในการออกแบบชิ้นงานควรกำหนดค่าพิสัยความเผื่อให้กว้างหรือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงรอยเชื่อม และรอยเส้นการไหลที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานด้วย ผนังชิ้นงานควรออกแบบให้หนา มีรัศมี และมุมเอียงที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงชิ้นงานที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอเพราะอาจจะทำให้เกิดการบิดงอ การบิดงอและการแตกร้าว การยุบหรือรอยบุ๋ม การเกิดความเครียด (Strain) ในชิ้นงานเนื่องจากความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันจะเป็นผลให้เกิดการหดตัว

2.5 สมบัติของพลาสติก

การเริ่มที่จะทำผลิตภัณฑ์ประการแรกที่จะต้องรู้คือ หน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้อง ก่อนที่จะตัดสินใจทำผลิตภัณฑ์ด้วยพลาสติกแทนโลหะควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของพลาสติกเสียก่อน

- พลาสติกทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะแล้วจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า
- คุณสมบัติของพลาสติกจะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พลาสติกโดยทั่วไปจะทนความร้อนได้ประมาณ 60-70 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความแข็งแรงของพลาสติกจะลดลง
- พลาสติกจะได้รับผลกระทบจากความชื้นซึ่งจะทำให้คุณสมบัติบางประการของ
- พลาสติกเปลี่ยนแปลงไป
- พลาสติกจะทำปฏิกิริยากับสารเคมี

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของพลาสติกที่ใช้

HDPE คุณสมบัติทั่วไป

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

ตารางที่ 2-2 แสดงปริมาณความร้อนของพลาสติกบางชนิด

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

ตารางที่ 2-3 แสดงความดันปิดของพลาสติกชนิดต่างๆ

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

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

จุดมุ่งหมายของงานฉีดพลาสติก Injection Molding (IM) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน และการผลิตจำนวนมากในการฉีดแต่ละครั้ง การขึ้นรูปพลาสติกโดยขบวนการฉีดนั้นจะใช้พลาสติกที่เป็นเม็ดหรือผง ซึ่งอาจจะเป็นเทอร์โมพลาสติก(Thermoplastic) เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) และ อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

2.6.1 กรรมวิธีฉีดพลาสติก

พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือผงในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลี่ยวहनอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอบสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลี่ยวहनอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์หล่อเย็นอย่างนี้จะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งขณะที่พลาสติกแข็งตัวก่อนเปิดแม่พิมพ์จะทำการหมุนเกลี่ยวहनอนพร้อมทั้งถอยหลังเพื่อหลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป

2.6.2 วัสดุสำหรับงานฉีดพลาสติก

วัสดุ 3 กลุ่มพื้นฐาน ที่สามารถนำมาฉีดงานพลาสติก

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

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

2.6.2.3 อีลาสโตเมอร์ (กลุ่มยางสังเคราะห์) เมื่อนำไปหลอมเหลวและทำให้แข็งตัวโดยกรรมวิธีวูลคาไนเซชัน (Vulcanisation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecular Crosslinking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น และไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้

2.6.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฉีดพลาสติก

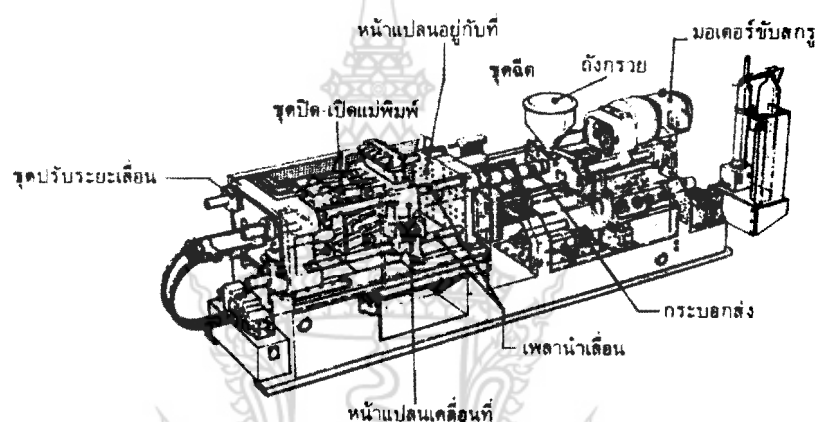
หลังจากที่เราทราบถึงหลักการทำงานของงานฉีดพลาสติกแล้ว เราก็ต้องมาทำความเข้าใจกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในงานฉีดพลาสติกด้วย เพื่อที่จะได้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมกับลักษณะงาน ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในงานฉีดพลาสติกและมีอิทธิพลต่อเวลาการทำงาน ตลอดจนคุณภาพของชิ้นงานนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 2.6.3.1 อุณหภูมิ (พลาสติกเหลว แม่พิมพ์)
- 2.6.3.2 เวลา (ฉีด ย้ำ หล่อเย็น และวงจรการทำงาน)
- 2.6.3.3 ความดัน (ฉีด ย้ำ ด้านการถอยของเกลียวหนอนและในแม่พิมพ์)
- 2.6.3.4 ความเร็ว (ฉีดปิด - เปิดแม่พิมพ์ชุด ฉีดเคลื่อนเข้า - ออกและรอบเกลียวหนอน)

2.7 เครื่องฉีดพลาสติก

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

ในกระบวนการฉีดพลาสติกจะประกอบด้วยเครื่องมือและเครื่องจักรที่สำคัญ คือ แม่พิมพ์ฉีด และเครื่องฉีดพลาสติกเม็ดพลาสติกจะถูกป้อนเข้าไปในกรวยสกรูส่ง หรือก้านส่งจะพาให้เม็ดพลาสติกเคลื่อนที่ผ่านกระบอกส่งไปยังแม่พิมพ์โดยผ่านตัวทำความร้อน ทำให้พลาสติกหลอมผ่านหัวฉีดและฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จากนั้นปล่อยให้เย็นและปลดออกจากแม่พิมพ์



ภาพที่ 2-4 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องฉีด

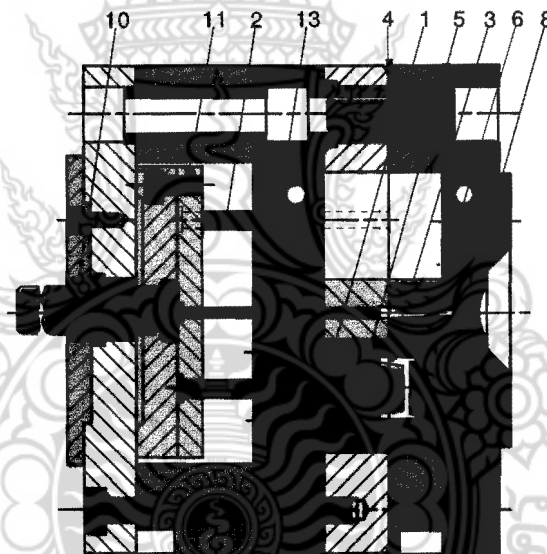
ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติกและขีดความสามารถในการผลิตของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ ซึ่งได้แก่ความสามารถในการผลิตพลาสติกหลอมในแต่ละครั้งและขนาดของแม่พิมพ์ฉีดที่สามารถจับยึดกับจุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ได้

ช่องเนื้อที่ที่ใช้จับยึดแม่พิมพ์จะอยู่ระหว่างแผ่นยึดแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ของ เครื่องฉีดพลาสติก และอยู่ระหว่างเฟล่านำเลื่อนทั้งในแนวระดับและแนวตั้งของเครื่องพลาสติกขนาดความกว้างและความยาวของแม่พิมพ์ โทสะจะถูกกำหนดด้วยระยะห่างของเฟล่านำเลื่อนในแนวระดับ (ระยะ a) และในแนวตั้ง (ระยะ b) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระยะห่างของสกรูและขนาดของสกรูที่ใช้ขันยึดแม่พิมพ์ฉีดเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกอีกด้วย ซึ่งในที่นี้คือระยะ c1 และ c2 ในส่วนของแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่จะอยู่ทางด้านจุดฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกจะมีรูบังคับศูนย์ของเครื่องฉีดพลาสติก (d) ซึ่งผู้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดจะต้องออกแบบให้แหวนบังคับศูนย์มีขนาดที่พอดีกับขนาดของรูบังคับศูนย์นี้ เพื่อความรวดเร็วในการจับยึดแม่พิมพ์

- a = ระยะห่างของเพลานำเลื่อนในแนวระดับ
 b = ระยะห่างของเพลานำเลื่อนในแนวตั้ง
 c_1 = ระยะห่างของรูสกรูในแนวระดับ
 c_2 = ระยะห่างของรูสกรูในแนวตั้ง
 d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูบังคับศูนย์
 E_1 = ระยะห่างของรูประกอบเพลาระหว่างในแนวระดับ
 E_2 = ระยะห่างของรูประกอบเพลาระหว่างในแนวตั้ง
 F_1 = ขนาดความกว้างของแผ่นแม่พิมพ์
 F_2 = ขนาดความยาวของแผ่นแม่พิมพ์

2.8 หลักเกณฑ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ฉีดแบบ 2 แผ่น (Two Plate Injection Mould) เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่ปราศจากร่องหรือบ่า ลักษณะของแม่พิมพ์แบบนี้จะมีเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์เพียงเส้นเดียว หรือมีช่องเปิดสำหรับปลดชิ้นงานแกนรูปร่างและแกนรูฉีดเพียงช่องเดียวเท่านั้น ดังแสดงดังรูป



ภาพที่ 2-5 แสดงภาพของแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น

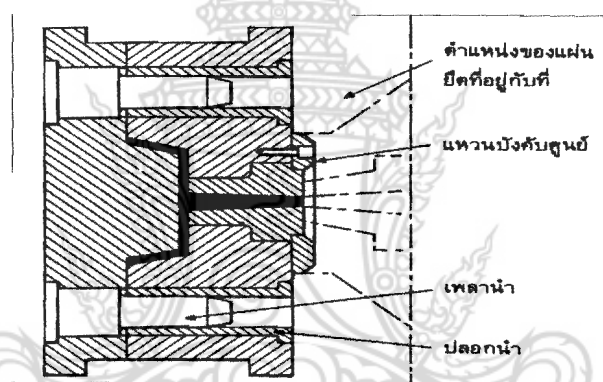
จากภาพที่ 2-5 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น ซึ่งออกแบบให้มีรูเขาแบบเข็ม (Pinpoint Gate) ที่จุด(3)เมื่อพลาสติกหลอมไหลเข้าเต็ม อิมเพอร์สชันแล้วก็เป็อันว่าสิ้นสุดขบวนการฉีดแม่พิมพ์จะเลื่อนเปิดออกตามแนวลูกศร (4) ส่วนของแม่พิมพ์ด้านขวาจะอยู่กลับที่และส่วนของแม่พิมพ์ด้านซ้ายจะเลื่อนเปิดออกชิ้นงานจะติดอยู่กับส่วนคอร์ (5) ในแม่พิมพ์ (7) จะ

ทำเป็นร่องวงแหวนเร็วไว้ตำแหน่งที่ตรงกันกับรูของปลอกกรณี (8) ทำให้แกนกรณี (6) ถูกดึงออกจากปลอกกรณี (8) เมื่อแม่พิมพ์เลื่อนเปิดออก เมื่อแม่พิมพ์เลื่อนต่อไป เพลาดันปลด (10) จะปะทะกับเพลาระวังของเครื่องฉีดพลาสติกทำให้แผ่นยึดตัวปลด (1) ดันออกและสลักคั่นกรณี (13) ก็ จะดันแกนกรณี (6) ให้หลุดออกจากร่องวงแหวนเร็วพร้อมกับชิ้นงาน ในจังหวะที่แม่พิมพ์เลื่อนปิด สลักคั่นกลับ (2) ซึ่งประกอบอยู่กับแผ่นยึดตัวปลด ปลายสลักคั่นกลับจะปะทะกับแผ่นแม่พิมพ์ ด้านที่อยู่กับที่และดันให้แผ่นยึดตัวปลด (11) สลักปลด (1) และสลักคั่นกรณี (13) กลับไปยังตำแหน่งเดิม

2.8.1 อิมเพรสชั่น (Impression)

แม่พิมพ์ฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่าง ๆ หลายชิ้นเกิดเป็นโพรงภายในที่ เรียกว่า “อิมเพรสชั่น” ที่ซึ่งเนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าไปและเย็นตัวลงได้ชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่าง เหมือนกับอิมเพรสชั่น อิมเพรสชั่นเกิดขึ้น จากการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ 2 ชิ้น คือ

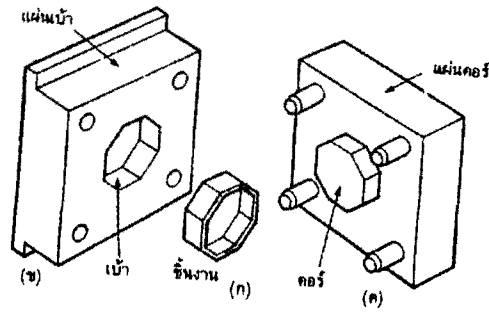
- (1) เบ้า (cavity) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายนอกชิ้น
- (2) คอรั (core) เป็นส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายในของชิ้นงาน



ภาพที่ 2-6 แสดงภาพของแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่ และแม่พิมพ์ส่วนเคลื่อนที่

2.8.2 แผ่นเบ้าและแผ่นคอรั (Cavity and Core Plates)

ภาพที่ 2-6 แสดงให้เห็นถึงแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ของภาชนะบรรจุสิ่งของทรงแปดเหลี่ยม แม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ในกรณีนี้ประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งจุดลึกเป็นโพรงเข้าไปซึ่ง เป็นส่วนขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงาน และเรียกว่า “แผ่นเบ้า” และอีกแผ่นหนึ่งจะทำเป็นแกนยื่น ออกมาและเป็นส่วนขึ้นรูปภายในของชิ้นงาน ส่วนนี้เรียกว่า “แผ่นคอรั” เมื่อแม่พิมพ์ปิดแผ่นเบ้า และแผ่นคอรัจะเลื่อนเข้าไปประกบกันทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นเบ้าและแผ่นคอรั ซึ่งก็ คือ ส่วนที่เรียกว่า อิมเพรสชั่น



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นน้ำและคอร์

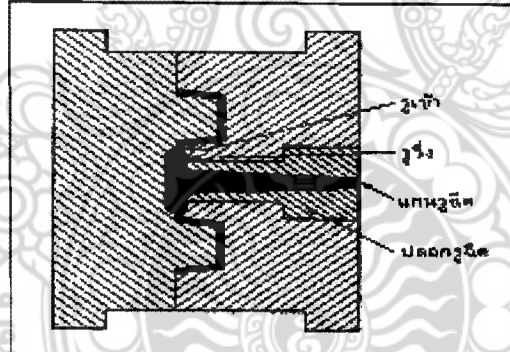
2.8.3 รูว้าง

รูว้างเป็นร่องที่ถูกตัดผิวบนแผ่นแม่พิมพ์ เพื่อให้พลาสติกหลอมที่ไหลมาจากปลอกกรุหนีคั้นวิ่งไปตามเบ้าต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง ไม่ว่าในกรณีมีหลายเบ้า หรือกรณีมีเบ้าเดียวแต่มีหลายทางเข้าก็ตาม รูว้างก็จะทำให้พลาสติกหลอมไหลไปตามทางอย่างถูกต้อง และไปเชื่อมต่อกับรูเข้าต่อไป

2.8.4 รูเข้า

เป็นรูที่เชื่อมต่อมาจากรูว้าง โดยจะมีขนาดเล็กลง และมีช่วงสั้นๆ ส่วนปลายอีกข้างของรูว้างก็จะเชื่อมต่อกับเบ้านั่นเอง เหตุที่ต้องทำให้มีขนาดเล็กๆ นั้นก็เพราะว่า

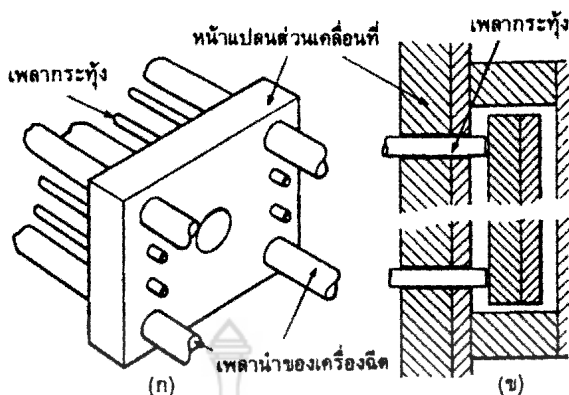
- ป้องกันการคุดกลับของเนื้อพลาสติกภายในอิมเพรสชัน
- เพื่อให้ปลดแกนรูเข้าได้ง่าย
- เกิดรอยตำหนิบนผิวงานน้อยที่สุด
- สามารถควบคุมการเติมเนื้อพลาสติกในกรณีที่มีหลายอิมเพรสชันได้



ภาพที่ 2.8 แสดงภาพรูว้าง และรูเข้า

2.8.5 ระบบปลด

ระบบปลดทำหน้าที่ในการปลดชิ้นงานพลาสติกออกจากอิมเพรสชันในตอนแม่พิมพ์เปิดออก ในระบบของการปลดก็สามารถเลือกใช้ได้หลายวิธีขึ้นกับความเหมาะสมของงาน เช่น ใช้แผ่นปลด ใช้สลักปลด และใช้ปลอกปลด เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 แสดงภาพระบบปลด

2.8.6 การเลือกใช้พลาสติก

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้วัสดุชนิดใดนั้นมีข้อสังเกตดังนี้ จะต้องแน่ใจและเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้อง บางครั้งจะต้องทำการทดสอบ หรือทำตัวอย่างเพื่อทดสอบ เพื่อหาข้อมูลที่แน่นอนต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุการใช้งาน คุณสมบัติที่ทนต่อสภาวะอากาศ ความทนต่ออุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความเป็นตัวนำไฟฟ้าความต้านทานเชื้อรา เปลวไฟ ปฏิกริยาทางเคมี จะต้องคำนึงถึงความแน่นอนและชนิดของพลาสติก

2.8.7 ผนังและพื้น (Wall and Base)

ความหนาผนังของชิ้นงานฉีดพลาสติก ไม่ได้อยู่ที่ว่าชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงตามต้องการหรือไม่แต่เพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับระยะทางในการไหล ซึ่งน้ำพลาสติกต้องไหลผ่านแม่พิมพ์ด้วย เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบเกือบทุกชนิด จะมีการหดตัวค่อนข้างมาก และขนาดของการหดตัว จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล และพลาสติกที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบมีการหดตัวน้อยกว่าและเท่ากันในทุกทิศทุกทาง ดังนั้นในการออกแบบผนังด้านข้างและพื้น จึงต้องพิจารณาแยกกันในแต่ละส่วน

2.8.8 การฝังอินเสิร์ต (Inserts)

ในชิ้นงานพลาสติกเราสามารถฝังโลหะไว้เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงในการจับยึดและทำให้รับแรงได้มากหรือพุงดง่ายๆ ว่าโลหะฝังจะช่วยให้การจับยึดเคลื่อนย้ายและการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันสะดวกยิ่งขึ้น โลหะฝังนี้จะทำให้มีลวดลาย หรือเพื่อให้เหมาะแก่การใช้งานจะต้องจำไว้เป็นหลักการว่าจะต้องไม่ทำให้วัฏจักรของการทำงาน (Moulding Cycle) ยาวขึ้นและทำให้ต้นทุนสูงขึ้น นั่นก็คือให้พยายามใช้อินเสิร์ตฝังให้น้อยที่สุด ถ้าจำเป็นจะต้องใช้ ห้ามใช้อินเสิร์ตฝังในชิ้นงานที่ทำด้วย Polycarbonate (PC) เพราะจะทำให้เกิดรอยแตกหรือร้าวรอบ ๆ โลหะฝัง

2.8.9 ระบบหล่อเย็น (Cooling System)

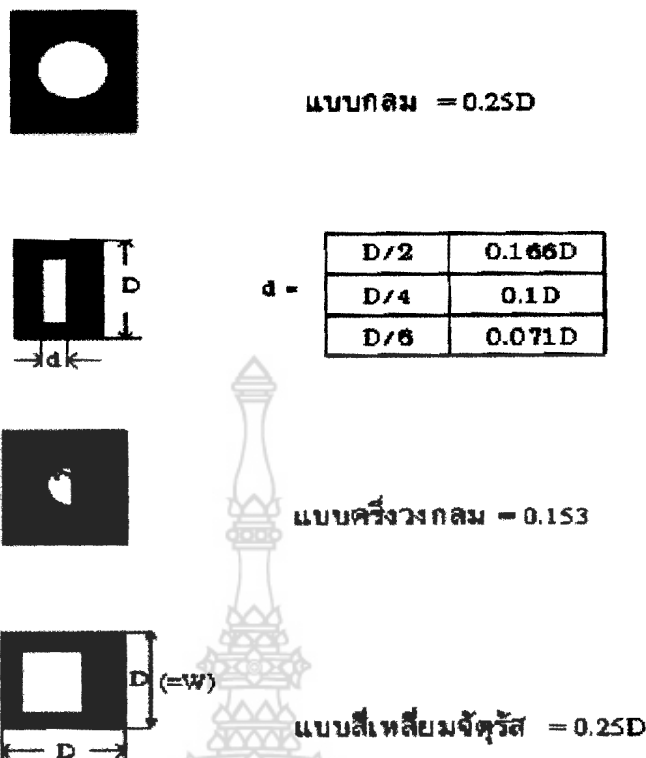
หลักการดำเนินงานเบื้องต้นของการฉีดพลาสติกก็คือ พลาสติกร้อนจะถูกฉีดเข้าไป และเย็นตัวอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่พลาสติกแข็งตัวอย่างเพียงพอที่จะคงรูปร่างอิมเพรสชันไว้ได้ ชิ้นงานก็ถูกดันปลดออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นอุณหภูมิของแม่พิมพ์จึงเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากมีการควบคุมวัฏจักรการฉีดพลาสติก พลาสติกหลอมจะไหลสะดวกในแม่พิมพ์ที่ร้อน แต่จะต้องใช้เวลาในการเย็นตัวของพลาสติกหลอมนานกว่าชิ้นงานจะแข็งตัวเพียงพอที่จะดันปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ ในทางตรงกันข้ามพลาสติกหลอมจะเย็นตัวได้เร็วในแม่พิมพ์ที่เย็น แต่พลาสติกหลอมจะไหลไปไม่ทั่วถึงส่วนต่างๆของอิมเพรสชัน ดังนั้นจะต้องหาจุดที่จะทำให้แม่พิมพ์สามารถทำงานได้ผลดีที่สุด ตารางที่ 2-4 แสดงการกำหนดขนาดของรูน้ำหล่อเย็น

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

2.8.10 รูปทรงหน้าตัดของรูฉีกรู

รูปทรงหน้าตัดของรูฉีกรูที่ใช้ในแม่พิมพ์ โดยปกติจะเลือกใช้ 1 ใน 4 แบบ คือ

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



ภาพที่ 2-11 แสดงประสิทธิภาพของรูวึ่งที่มีรูปร่างหน้าตัดต่างๆ กัน

แต่รูวึ่งแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมักไม่ค่อยนิยมใช้กัน ทั้งนี้เพราะการปลดแกนรูวึ่งกระทำได้ยาก และเพราะเหตุผลข้อนี้ในทางปฏิบัติจึงทำผนังของรูวึ่งให้เอียงเป็นมุม 10° ซึ่งเป็นการปรับปรุงรูวึ่งแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสไปเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ปริมาตรของรูวึ่งแบบสี่เหลี่ยมคางหมูจะมากกว่า ปริมาตรของรูวึ่งแบบกลมที่มีขนาดเท่ากัน ประมาณ 25% เพื่อลดค่าแตกต่างกันนี้และยังคงขนาดเดิมไว้ รูวึ่งแบบสี่เหลี่ยมคางหมูจึงถูกพัฒนาไปอีกขั้นหนึ่งเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมูแปร ซึ่งจะมี ปริมาตรมากกว่าแบบกลมประมาณ 14 % เท่านั้น สำหรับรูวึ่งแบบหกเหลี่ยมก็คือ รูวึ่งแบบ สี่เหลี่ยมคางหมูสองประอันประกบกันนั่นเอง ซึ่งรูวึ่งทั้งสองจะประกบกันตรงผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ สำหรับรูวึ่งแบบนี้จะมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 52 % ของรูวึ่งแบบกลมที่มีขนาดเดียวกัน ดังนั้นหาก ต้องการให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากันจะต้องเพิ่มค่า D ให้มากขึ้นอีก ช่างทำแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะ ทำการออกแบบโดยการทำรูวึ่งแบบสี่เหลี่ยมคางหมูให้ประกบกับรูวึ่งที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 3 mm เนื่องจากพลาสติกหลอมจะถูกฉีดไหลเข้าไปตามรูวึ่งและระบบป้อนของแม่พิมพ์พลาสติกที่อยู่ติดกับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็นอุณหภูมิของพลาสติกหลอมจะลดลงอย่างรวดเร็วและแข็งตัว พลาสติกหลอมที่ไหลตามมาไหลผ่านบริเวณศูนย์กลางของพลาสติกที่แข็งตัวนี้

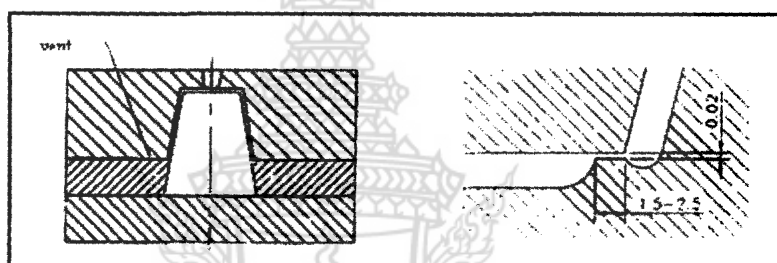
ข้อจำกัดประการหนึ่งของการใช้รูว้างแบบกลมก็คือรูว้างแบบกลมเกิดขึ้นจากการนำร่องครึ่งวงกลม 2 ร่องซึ่งตัดเชื่อมบนแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นและนำมาประกบเข้าด้วยกัน รอยต่อจะต้องประกบกันพอดีเมื่อนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของรูว้างลดลงและไม่สวย นอกจากนี้การเลือกใช้รูปทรงหน้าตัดของรูว้างจะต้องพิจารณาถึงวิธีการดันปลดแกนรูว้าง

2.8.11 การระบายอากาศในแม่พิมพ์ (Venting)

ในระหว่างที่น้ำพลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์จะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในคาวีดี ถ้าอากาศไม่สามารถออกได้จะทำให้เกิดการอัดตัวจะทำให้พลาสติกที่อยู่รอบๆเกิดการไหม้ โดยทั่วไปแม่พิมพ์ไม่ต้องมีการออกแบบร่องระบายอากาศพิเศษ เพราะอากาศสามารถออกทางเข็มกระทุ้งได้

PP,PA,PA - GRและHDPE ไม่เกิน 0.015 มม.

PET,ABS,PC และPMMA ไม่เกิน 0.03 มม.



ภาพที่ 2-12 แสดงการทำช่องระบายอากาศ

ถ้าชิ้นส่วนผนังแม่พิมพ์ที่มีผนังบาง ใช้อัตราการผลิตสูงควรทำร่องระบายอากาศไว้ใกล้กับทางเข้า การระบายอากาศไปได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการอัดตัว

ตารางที่ 2-5 แสดงค่าความลึกของช่องอากาศของพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ให้ใช้ได้ (ค่าโดยประมาณ)

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

2.9 การใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม (CAD/CAE/CAM)

ในทางวิศวกรรมได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆขึ้น โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์ ยังสามารถส่งข้อมูลไปสั่งงานเครื่องจักรเพื่อทำการผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ซึ่งระบบนี้คือระบบ CAD / CAE / CAM

2.9.1 Computer-Aided Design

วิวัฒนาการของระบบคอมพิวเตอร์ในงานออกแบบ (CAD) นี้อาจถือได้ว่าเริ่มมีมาตั้งแต่การพัฒนาระบบการสร้างภาพกราฟฟิคบนจอภาพได้ แต่ CAD ได้มีการวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีสูงกว่าระบบกราฟฟิคทั่วไปอย่างมาก ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ช่วยในงานออกแบบหรือ CAD นี้อาศัยเทคโนโลยีที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์กราฟฟิค ซึ่งเป็นการเขียนรูปบนจอภาพหลัก แต่สามารถจัดการกับภาพที่สร้างขึ้นนี้ให้อยู่ในตำแหน่งและลักษณะตามต้องการ โดยที่ผู้ใช้ซึ่งส่วนมากจะเป็นวิศวกรหรือสถาปนิก จะใส่ข้อมูลต่างๆตลอดจนคำสั่งเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์รับข้อมูลเข้า ส่วนคอมพิวเตอร์จะคิดต่อมายังผู้ใช้โดยผ่านทางจอภาพคำสั่งที่ใส่เข้าไปนี้จะเรียกชุดโปรแกรมโดยอาศัยซอฟต์แวร์เป็นตัวช่วยคำนวณ ส่วนวิธีการคำนวณเกี่ยวกับการหัดัวจะพิจารณาถึง

- ตำแหน่งของ Dimension เมื่อเทียบกับ GATE
- ทิศทางของ Dimension เมื่อเทียบกับการไหล
- แรงที่ใช้ในการปิดแม่พิมพ์

CAE สามารถให้ข้อมูลที่จำเป็นที่ผู้ออกแบบต้องการ เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนหรือแม่พิมพ์ที่ทำการผลิตนั้นเป็นที่พอใจ หรือมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

2.9.2 Computer - Aided Engineering (CAE)

คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) คือกระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์และ Software ที่เหมาะสมช่วยในการออกแบบในงานวิศวกรรม และการคำนวณประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้ CAE ในการออกแบบและช่วยในการคำนวณประกอบด้วย

- แก้ไขและเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติได้
- ช่วยให้ต้นทุนต่ำ พร้อมทั้งไม่จำกัดรูปร่าง, ลดขั้นตอนการทำงานและเวลาในกระบวนการผลิต

- แก้ไขการออกแบบผลิตภัณฑ์ ก่อนเริ่มต้นการผลิต
- ลดเวลาในการผลิตให้ต่ำลง

2.9.3 Computer - Aided Manufacturing (CAM)

ในสายงานการผลิต และการออกแบบมักจะต้องแยกจากกันอยู่เสมอ โดยปกติแล้ว ช่องว่างระหว่างการออกแบบ และการผลิตนั้นกว้างมาก ทางที่จะบรรลุดังกล่าวได้คือ การลดงานที่ต้องทำซ้ำซ้อน หรือไม่จำเป็นต้องทำจากการออกแบบที่จะต้องมาทำ ในการผลิตอีก ดังนั้นหลายบริษัทจึงหันมาใช้เทคนิคของคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตหรือที่เรียกกันทั่วๆ ไปว่า CAM (Computer - Aided Manufacturing) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเครื่องจักร ที่ควบคุมด้วยตัวเลข (NC ย่อมาจาก Numerical Control)

เทคโนโลยี NC นี้ ปัจจุบันได้ขยายตัวไปมากโดยครอบคลุมงานหลายลักษณะไม่ว่าจะเป็น งานวาดแบบงานประกอบชิ้นส่วนเช่นการตัด การเจาะ การกลึง ชิ้นงานที่เป็นโลหะเป็นหลัก ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ NC หรือระบบจัดการด้วยคำสั่งเชิงตัวเลขจะมีด้วยกัน 3 ส่วนคือ ชุดคำสั่ง หน่วยควบคุม หรือ Machine Control Unit (MCU) และส่วนสุดท้ายคือเครื่องมือกล หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ควบคุมการผลิต

ระบบ CNC (Computer Numerical Control) นี้เป็นการนำไมโคร โพรเซสเซอร์พัฒนาขึ้นมาให้สามารถควบคุมเครื่อง NC ได้โดยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กๆ 1 เครื่องจะควบคุมเครื่อง NC ได้ 1 เครื่องโดยตรง ทำให้การใช้งานเครื่อง NC ลดความยุ่งยากลงไปมาก ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่เราสามารถตรวจสอบ NC โปรแกรมได้โดยการดูทิศทางเดินของเครื่องมือซึ่งเป็นการจำลอง สถานการณ์จริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถตรวจสอบเวลาที่ใช้งานในการจำลอง สถานการณ์จริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และยังสามารถตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการทำงานจริงๆ ได้ จากเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบ CAM โดยที่ยังไม่ต้องทำการตัดเนื้อชิ้นงานจริง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานโครงการวิจัย

สามารถแบ่งขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

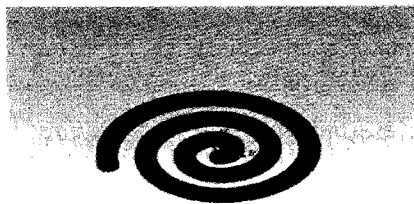
- 3.1 ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - 3.2 การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ
 - 3.3 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cad Mould
 - 3.4 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ
 - 3.5 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับใช้กับชิ้นทดสอบ
- 3.1 ขั้นตอนการศึกษาชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.1.1 นี้คือมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของชิ้นงานฉีดโดยเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ ข้อมูลการหดตัวใช้เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุ ค่าการหดตัวที่กำหนดมาให้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานมากที่สุด, ความไม่สลับซับซ้อนของแม่พิมพ์, และเงื่อนไขการปฏิบัติงาน

การหดตัวของวัสดุแต่ละชนิดแตกต่างกันทั้งทิศทางการไหลและขวางทิศทางการไหล ทิศทางการไหลถูกจัดวางขึ้น เช่นเดียวกับกับระบบขนส่งวัสดุที่หลอมเหลวแล้ว เมื่อทางออกมันคือ เกจ(gate)และเข้าแม่พิมพ์



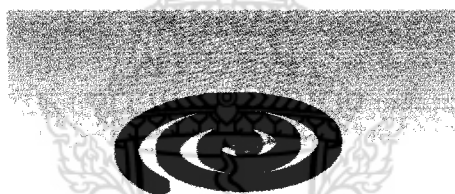
ภาพที่ 3-1 ขนาดความหนาของชิ้นทดสอบ 0.5 มม.



ภาพที่ 3-2 ขนาดความหนาของชั้นทดสอบ 0.1ม.ม.



ภาพที่ 3-3 ขนาดความหนาของชั้นทดสอบ 1.5 ม.ม.



ภาพที่ 3-4 ขนาดความหนาของชั้นทดสอบ 2 ม.ม.

ตารางที่ 3-1

วัสดุ	ความหนา			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ABS	170	96	43	11
HDPE	225	127	54	14
PP	250	141	63	16

ชั้นทดสอบทั้งสี่ชั้นแตกต่างที่ความหนาของชั้นงาน โดยเริ่มที่ความหนาที่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 ม.ม.ตามลำดับ

3.1.2 จากขอบเขตงานวิจัยที่กำหนดให้ขึ้นทดลองเป็นแบบ Spiral Test ASTM D3123-94 ขึ้นทดสอบ Spiral Test อยู่ในแม่พิมพ์ชุดเดียวกันโดยเปลี่ยนชุดเข้าเป็นแบบ Insert ใช้ทดสอบกับพลาสติกอะมอร์ฟัส และพาร์เซิลคริสตัลไลน์ ทดสอบโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์จึงต้องใช้โปรแกรม Cad Mould เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดของทางวิ่ง(runner) แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใช้โปรแกรม Mould Wizard ช่วยในออกทำการเขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Unigraphics การศึกษาเงื่อนไขและปัญหาในชิ้นงานขึ้นทดสอบการเลือกใช้อัตราการหดตัวที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ใช่แค่เพียงให้ได้สัดส่วนของชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการสวมประกอบชิ้นงานนั้นกับชิ้นส่วนอื่น ๆ และการนำไปใช้งานของชิ้นงานนั้นด้วย ชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรง(precision)สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือการหดตัวของพลาสติก(shrinkage) ก่อนการฉีดและหลังจากการฉีดเป็นอย่างดี มิฉะนั้นต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and error)และเกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์ส่งงานไม่ตรงตามกำหนดขนาดความเชื่อถือจากคู่ค้าเสียค่าแรงเสียโอกาสทางการค้า

อัตราการไหลตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตนั้นได้จากผลของชิ้นงานทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิตอัตราการไหลตัวที่เกิดขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย ดังนั้นอัตราการไหลตัวที่กำหนดไว้ในตารางการไหลตัวกับค่าการไหลตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน

3.1.3 ความสำคัญของการไหลตัวของพลาสติก(Flow Rat)

ดัชนีการไหลของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 4 ข้อ ได้แก่

- 1.ความดันการฉีด
- 2.เวลาในการฉีด
- 3.อุณหภูมิในการฉีด
- 4.ความหนืดของพลาสติก

1. ความดันการฉีดแซ่ ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดแซ่ให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง
2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัดคือ เมื่อเนื้อพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด Post Shrinkage ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนา ดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้การหดตัว – นุ่มเรียวและพิักัดความเผื่อของแม่พิมพ์ (Mold shrinkage – Taper and tolerances)

4. ความหนืดของพลาสติก

3.1.4 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เลือกใช้เป็นแบบสองแผ่น

หลักเกณฑ์ในการวางชิ้นงาน

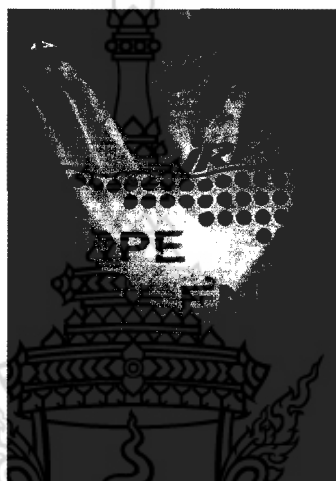
- ประหยัดพื้นที่
- ออกแบบลักษณะวางชิ้นงานให้มีความสมดุล
- พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก HDPEและPET

ได้ออกแบบและเขียนแบบให้อยู่ในรูป SURFACE เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cad Mould โดยการออกแบบได้ทำการเขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Unigraphics

3.2 การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ

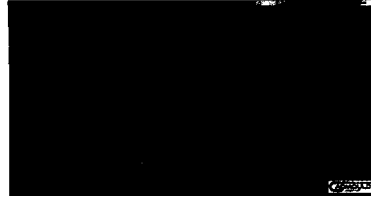
ข้อมูลของพลาสติกที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆมีดังนี้

พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก HDPE



ภาพที่ 3-5 พลาสติก HDPE

- ชนิดของพลาสติก : HDPE
- เกรด : V1160
- เลขที่ผลิต Lot : 0110306045
- การไหลตัว (Melt Flow Index190/2.16) : g/10min14.8(ASTM D1238)
- ความหนาแน่น(Density AT 23C) : g/cm³0.957 (ASTM D792)
- อัตราการหดตัว : 1.5-3.5 %
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : Min 20-Max 40°C
- อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก : Min 190-Max 280°C
- อุณหภูมิปลดชิ้นงาน : 75°C
- อุณหภูมิแตกต่างของอุณหภูมิสารหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออก : 4°C
- คำนวณความร้อนเฉลี่ยของพลาสติก : 0.092 mm²/s



ภาพที่ 3-6 การวิเคราะห์การฉีดจากโปรแกรมCAE

Description

Cadmould 3D-F Version 5.0f

Mold:

Name: "spiral-010"

Surface = 4559.99 mm²

Volume = 2304.02 mm³

Centroid = 5.697 , 0.471 , 2.248 mm

Mass = 2.19 g

พลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีด คือ พลาสติก ABS



ภาพที่ 3-7 พลาสติก ABS

- ชนิดของพลาสติก : ABS
- เกรด : GA800
- เลขที่ผลิต : 0110408109
- การไหลตัว (Melt Flow Index220/10) : g/10min17.0 (ASTM D1238)
- ความหนาแน่น(Density) : 1.05 g/cm³

- อัตราการหดตัว : .5%
- อุณหภูมิแม่พิมพ์ : Min 60-Max 80°C
- อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก : Min 220-Max 260°C
- อุณหภูมิปลดชิ้นงานสูงสุด : 118°C
- อุณหภูมิแตกต่างของอุณหภูมิสารหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออก : 2°C
- ค่านำความร้อนเฉลี่ย : 0.082 mm²/s

ข้อมูลเครื่องฉีดใช้ (Technical data) Boy 22 M

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูฉีด (Screw Diameter) : 18 mm
- ความเร็วรอบของสกรูฉีด : 185 rpm
- สกรู L/D ratio : 22:1
- ความดันฉีดจำเพาะ (Specific Injection Pressure) : 2587 bar
- ความเร็วในการฉีด : 1.5 g/s
- น้ำหนักของชิ้นงานที่สามารถฉีดได้ (Max. Shot Weight) : 18 g
- ระยะหัวฉีด (Nozzle Stroke) : 180 mm
- แรงกดที่หัวฉีด (Nozzle Contact Force) : 4.8 t
- ความจุความร้อนของกระบอกฉีด (Cylinder Heating Capacity) : 2.835 kW

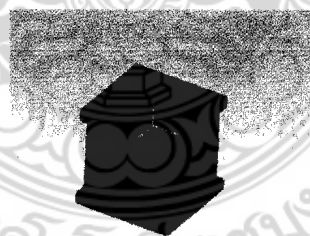
ระบบ Clamping

- แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ (Clamping Force) : 22T
- ระยะในการเปิดแม่พิมพ์ (Opening Stroke) : 400 mm
- แรงของชุดปลดชิ้นงาน (Ejector Force) : 1.8 t
- ระยะเลื่อนของชุดปลดชิ้นงาน (Ejector Stroke) : 80 mm

3.2.1 การคำนวณน้ำหนักของชิ้นงาน

สูตร หาน้ำหนัก ของชิ้นทดสอบ = ปริมาตรของชิ้นงาน x ความหนาแน่นของพลาสติก
 น้ำหนัก ของชิ้นงาน ได้จากการประมวลผลของ โปรแกรม Cad Mould HDPE 0.5 มม.

$$\text{Mass} = 1.86 \text{ g}$$



ภาพที่ 3-8 แบบแม่พิมพ์ฉีด

3.2.1.1 การคำนวณหาขนาดของรูวิ่ง RUNNER ของ HDPE

ใช้รูเข้าแบบรูฉีดขนาดทางเข้าด้านหัวฉีด โค3.5มม. ด้านชิ้นงาน โค6มม.

พลาสติกHDPEเป็นแบบAmorphousปริมาณการฉีด (Shot Weight) =10 g

พลาสติกABSเป็นแบบSemi Crystallineปริมาณการฉีด (Shot Weight) ตั้งแต่ 10g

3.2.2 การคำนวณหาขนาดของรูเข้า (Gate)

การคำนวณหาขนาดรูเข้าของชิ้นงานพิจารณา จากตารางโดยเทียบกับน้ำหนักของชิ้นงานที่เหมาะสมดังนี้ โดยเลือกรูเข้าแบบฉีด

ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงการเทียบน้ำหนักของชิ้นงานกับรูเข้าแบบต่างๆ

มวลของชิ้นงาน (g)	รูเข้าแบบฉีด(Ø mm)	รูเข้าแบบเข็ม(mm)	รูเข้าแบบเหลี่ยม (W x H) (mm)
		0.8	1.0 x 2.0-2.0 x 2.0
		0.8	1.5 x 2.5-2.5 x 3.5
21 ถึง 40	4.0 - 5.0	1.0 - 1.2	2.0 x 3.0-2.5 x 3.5
41 ถึง 150	4.5 - 6.0	1.5 - 2.5	2.5 x 3.0- 3.5 x 4.5
151 ถึง 300	4.5 - 7.5	1.5 - 2.8	2.5 x 3.5 - 3.5 x 4.5

จากตาราง เมื่อเทียบกับน้ำหนักของชิ้นงานของแต่ละชิ้น (อยู่ในช่วง0ถึง20g)

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

3.2.3 การคำนวณหาแรงปิดแม่พิมพ์

แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้จะต้องมากเพียงพอที่จะรักษาแม่พิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่งปิดสนิทในระหว่างขั้นตอนการไหลตัวของพลาสติกหลอมและอัดตัวของเนื้อพลาสติก ได้จึงต้องมีการคำนวณหาครั้งนี้แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้คำนวณได้จากค่าความดันของวัสดุ

ตารางแสดงค่าความดันในCacity

Name of resin	Ordinary molding	Outer part molding	Precision molding
PS	250	350	450
HIPS	250	350	450
SAN	300	400	500
ABS	300	400	500
Rigid PVC	300	400	500
Soft PVC	250	350	450
PP	250	350	450
PE	250	350	450
PA-6	350	450	600
PA-66	400	500	650
PC	400	550	700
PMMA	350	500	600
PPO	400	500	600
POM	350	500	650
PET	350	500	650
PBT	350	500	650
PPS	400	500	700
PES	400	500	700
TPX	350	450	650
PSF	400	500	700
PAI	400	500	700
PEI	400	500	700
PEEK	400	500	700
u polymer	400	500	700
Fluorine	500	600	800
UP	300	400	500
UF	400	500	600
MF	400	500	600
PF	300	400	500
Epoxy	400	500	600

ตารางที่ 3-3 ตารางแสดงค่าความดันในCacity

$$\text{สูตร } F = \frac{AxP}{1000} \quad (3.3)$$

เมื่อ F = แรงปิดแม่พิมพ์ (T)

A = พื้นที่ฉายของชิ้นงาน (cm²)P = ความดันภายในของเบ้าพิมพ์ (kg/cm²)

1000 = ค่าที่นำมาหารทำให้หน่วยเป็น T

ใช้วัสดุ HDPE กับ ได้ค่าแรงดันในCacityตามตาราง ค่าที่ได้ = 350 kg/cm²

น้ำหนักชิ้นงาน 1.86g + น้ำหนักของรันเนอร์ 0.337g = 2.197 g

$$\text{แรงปิดที่ต้องการ} = \frac{2.197 \times 350}{1000} = 0.7689$$

$$= 0.77 \text{ T}$$

แรงปิดแม่พิมพ์ควรเพิ่มค่าความปลอดภัยจากเดิมอีก 10 %

$$= 0.77 \times 1.1$$

$$= 0.85 \text{ T}$$

เครื่องที่ใช้ต้องมีแรงดันปิดแม่พิมพ์ 22 T

ใช้วัสดุ ABS ได้ค่าแรงดันในCacityตามตาราง ค่าที่ได้ = 400 kg/cm²

$$\text{แรงปิดที่ต้องการ} = \frac{2.197 \times 400}{1000}$$

$$= 0.8788 \text{ T}$$

แรงบิดแม่พิมพ์ควรเพิ่มค่าความปลอดภัยจากเดิมอีก 10 %

$$= 0.8788 \times 1.1$$

$$= 0.9666 \text{ T}$$

เครื่องที่ใช้ต้องมีแรงดันบิดแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า 1.00 T ขึ้นไปจึงจะใช้งานได้
ในการทดลองใช้เครื่อง 22T ที่มีอยู่

3.2.4 การคำนวณเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) HDPE

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

T_k = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time)

S = ความหนาของชิ้นงาน คัดส่วนที่หนาสุด = 2 mm

a_{eff} = ประสิทธิภาพการนำความร้อนเฉลี่ยพลาสติก HDPE = $0.092 \text{ mm}^2/\text{s}$

l_m = อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก = 190°C

l_z = อุณหภูมิในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ = 75°C

l_w = อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์ = 25°C

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

$$= 11.37 \ln 4.20$$

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

\therefore เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น HDPE $\approx 16\text{s}$

การคำนวณเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) ABS

T_k = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time)

S = ความหนาของชิ้นงาน คัดส่วนที่หนาสุด = 2 mm

a_{eff} = ประสิทธิภาพการนำความร้อนเฉลี่ยพลาสติก ABS = $0.08 \text{ mm}^2/\text{s}$

l_m = อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก = 240°C

l_z = อุณหภูมิในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ = 95°C

l_w = อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์ = 70°C

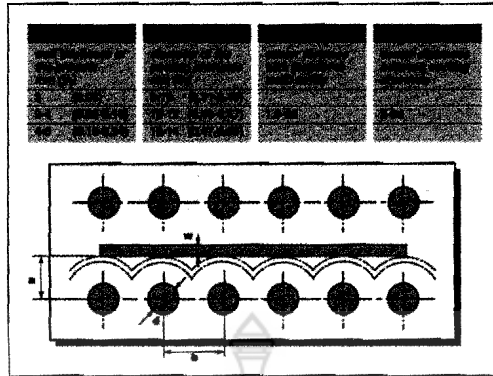
$$T_k = \frac{(2\text{mm})^2}{\pi^2 \times 0.08\text{mm}^2/\text{s}} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{240^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{95^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} \right) \right]$$

$$= 5.070 \ln 8.636$$

$$= 5.070 \times 2.15 = 10.93 \text{ s}$$

\therefore เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น ABS $\approx 11 \text{ s}$

3.2.5 การคำนวณหาจำนวนน้ำหล่อเย็น



ภาพที่ 3-9 การคำนวณหาจำนวนน้ำหล่อเย็น

ในการออกแบบใช้รูน้ำหล่อเย็น โต 8 ม.ม

3.3 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cad Mould

3.3.1 ค่าพารามิเตอร์แม่พิมพ์

1. ใส่ค่าพารามิเตอร์เม็ดพลาสติก HDPE

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



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



ภาพที่ 3-10 แสดงเลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีด HDPE

3.4 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก

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

3.5 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดสำหรับขึ้นทดสอบ

สามารถออกแบบสร้างแม่พิมพ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.5.1 ชุดแม่พิมพ์ฉีดสำหรับขึ้นทดสอบประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นมาเอง

- ก) แหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)
- ข) ปลอกรูฉีด (Spure Bush)
- ค) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (Front Plate)
- ง) แผ่น Cavity Plate
- จ) Insert Cavity HDPE
- ฉ) Insert Cavity PET
- ช) แผ่นรองคาวีตี้ (Cavity Plate)
- ซ) แผ่นยึดสลักปลด (Ejecter Plate)

- ฅ) แผ่นดันปลด (Ejecter Return Plate)
- ฉ) แผ่นยึดสลักปลด (Ejecter Plate)
- ค) แท่งรอง (Spacer Block)
- ฌ) แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านหลังเคลื่อนที่ (Back Plate)

3.5.2 ชั้นส่วนมาตรฐาน

- ก) เพลาน้ำ (Guide Pin)
- ข) ปลอกนำชนิด A (Guide Bush Type A)
- ค) สลักคืนกลับ (Return Pin)
- ง) สลักดันปลด (Ejector Pin)
- จ) สลักดึงแกนรูชนิด (Spure Puller)

3.5.3 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

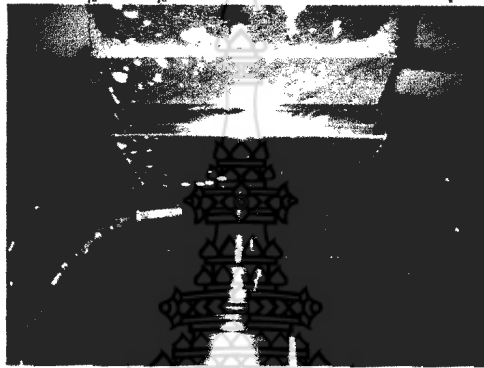
1. ทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นทดสอบ ด้วยโปรแกรม Unigraphics
 - เขียนภาพชิ้นงานและกำหนดขนาดจากโปรแกรม Unigraphics
 - นำชิ้นงานที่เขียนมากำหนดขนาด Mould Base ของ Futaba และวางลักษณะทิศทางการวางชิ้นงานลงในแม่พิมพ์
 - เขียนแบบแม่พิมพ์และกำหนดขนาดและตำแหน่งของส่วนประกอบแม่พิมพ์
2. สร้างโปรแกรม Cam เพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน
 - นำชุดคำสั่ง G-code ที่สร้างไว้ Save ลงแผ่น
 - นำชุดคำสั่ง มาเปลี่ยน Format ให้เข้ากับเครื่อง CNC พร้อมทั้งแก้ไข Code บางตัว เช่น จุดศูนย์กลางของงานความเร็วรอบ ความเร็วตัด
 - นำ G-code เข้าสู่เครื่อง CNC และเลือก File ที่เรา Save เข้ามา
 - ตั้งเครื่องให้พร้อมที่จะทำงาน โดยปรับค่าศูนย์กลางของงานและนำศูนย์กลางของเครื่องที่ตำแหน่งศูนย์กลางของงาน ไปใส่ในคำสั่งเริ่มจุดเริ่มต้นการกัดงานแล้วปฏิบัติตามวิธีการใช้เครื่องจนเสร็จ

การประกอบและทดสอบการทำงานของแม่พิมพ์

การประกอบแม่พิมพ์ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่ได้ขนาดตามที่กำหนดนำมาประกอบเข้าด้วยกัน นอกจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์ทั้ง 22 ชิ้นแล้วจะมีชิ้นส่วนมาตรฐานที่ต้องนำมาประกอบเพิ่มเติมอีกถึงจะได้ชุดแม่พิมพ์ฉีดขึ้นทดสอบที่สมบูรณ์

ในการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ แสดงภาพแม่พิมพ์ที่ทำการประกอบเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในการประกอบจะยึดด้วยสกรู M8 และ M12 เป็นตัวขันยึด

ภาพตัดหน้าประตูพระอุโบสถวัดป่าเลไลยก์ 3-13 กุมภาพันธ์



ภาพตัดหน้าประตูพระอุโบสถวัดป่าเลไลยก์ 3-12 กุมภาพันธ์

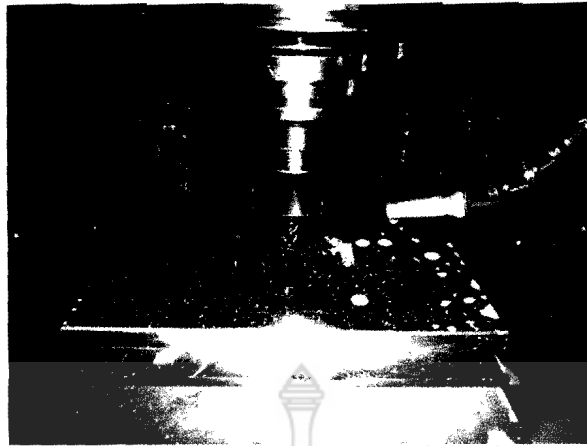


พระอุโบสถวัดป่าเลไลยก์ 3-11 กุมภาพันธ์



จะมีความสูง 230 มิลลิเมตร

- 1. ความสูงของแท่งพิมพ์ที่อยู่ที่ 55 มิลลิเมตร
 - 2. ความสูงของแท่งพิมพ์ที่อยู่ที่ 175 มิลลิเมตร
 - 3. ความสูงของแท่งพิมพ์ที่อยู่ที่ 230 มิลลิเมตร
- ขนาดของแท่งพิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้วจะมีขนาดดังนี้



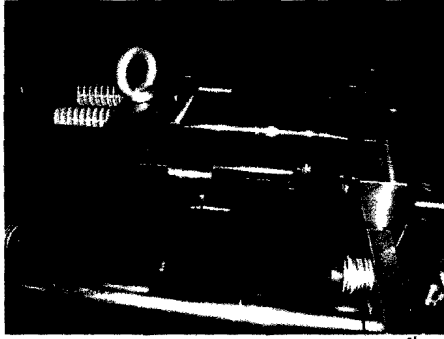
ภาพที่ 3-14 แสดงภาพแสดงภาพการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ



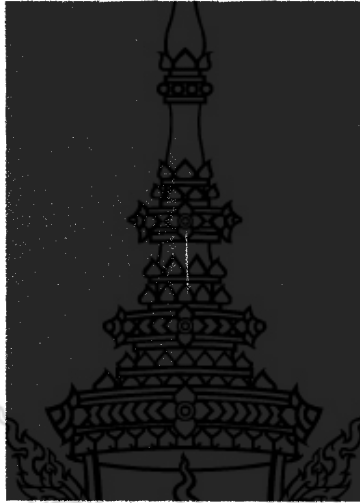
ภาพที่ 3-15 แสดงภาพ cavity ชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 3-16 แสดงภาพ แม่พิมพ์ฉีด HDPE หนา 0.5 มม. ติดตั้งอยู่บนเครื่องฉีด



ภาพที่ 3-17 แสดงภาพ แม่พิมพ์ฉีดHDPEหนา0.5มม.ติดตั้งอยู่บนเครื่องฉีดพร้อมฉีด



ภาพที่ 3-18 แสดงภาพ ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบพิมพ์ฉีด



ภาพที่ 3-19 แสดงภาพการวัดชิ้นงาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

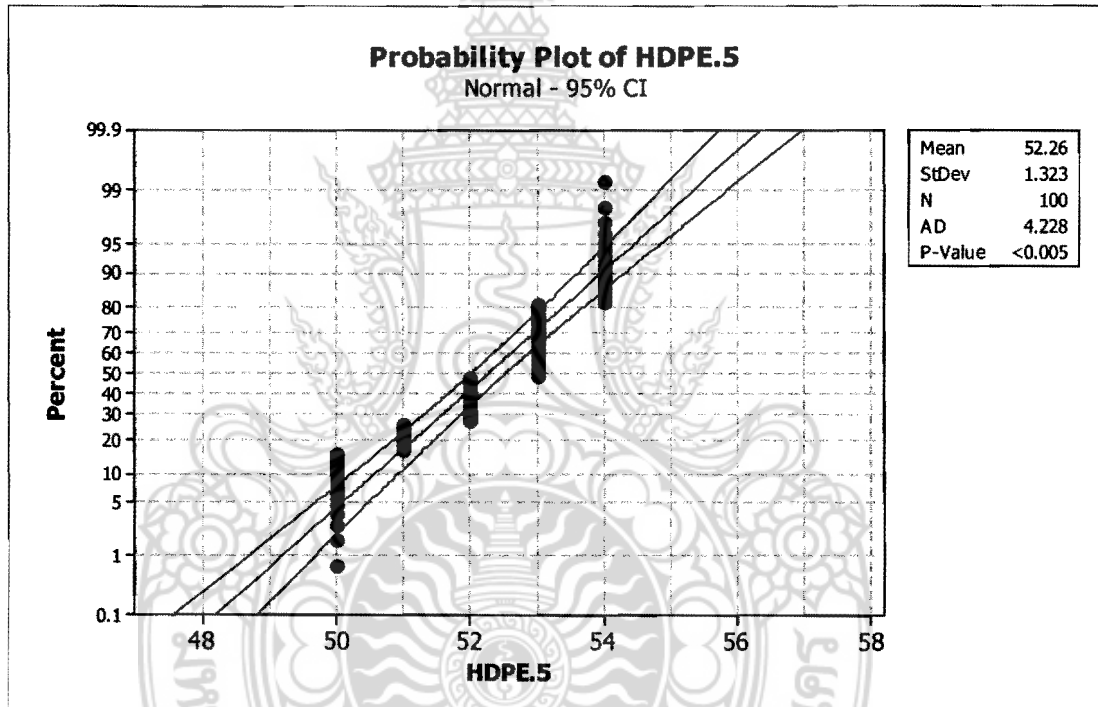
โครงการวิจัย

1. เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบชิ้นทดสอบ HDPE ที่ความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0ม.ม.

ตารางที่ 4-1

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	225	127	54	14
ค่าทดสอบ	299.32	238.39	116.85	52.26

- 1.1 เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบ HDPE ขนาดความหนา 0.5ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-1 ผลการทดลอง การไหลตัวของชิ้นทดสอบ HDPE ขนาดความหนา 0.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

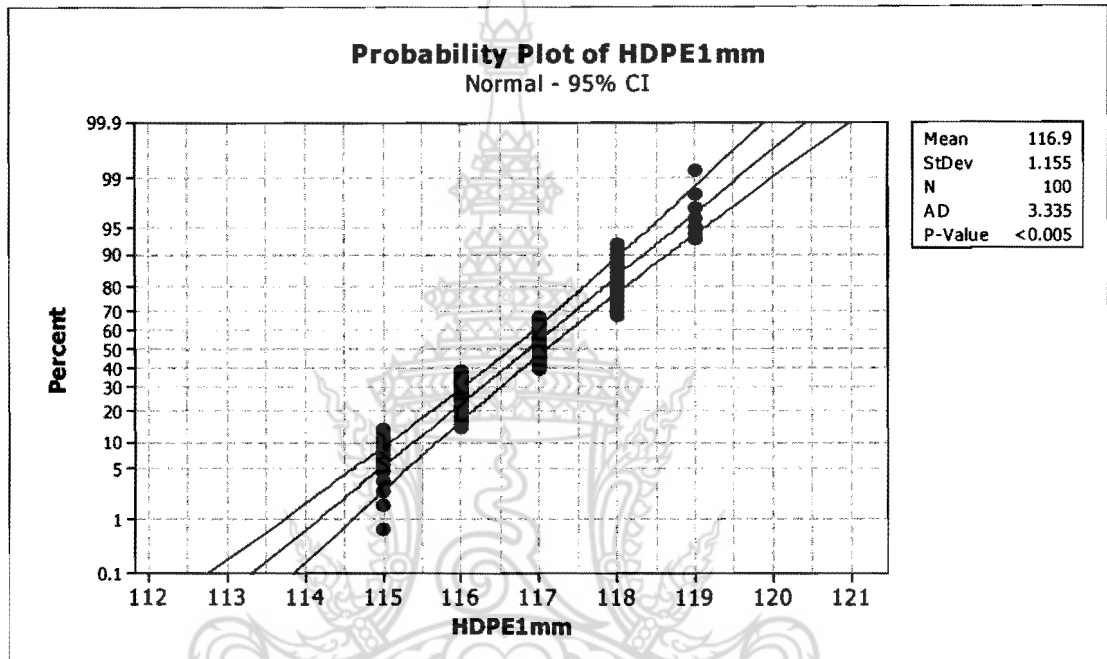
Descriptive Statistics: HDPE.5, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
HDPE.5	100	0	52.260	0.132	1.323	50.000	51.000	53.000
C2	100	0	14.000	0.000000000	0.000000000	14.000	14.000	14.000

Variable	Q3	Maximum
HDPE.5	53.000	54.000
C2	14.000	14.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 0.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

1.2 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 1.0ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-2 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 1ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

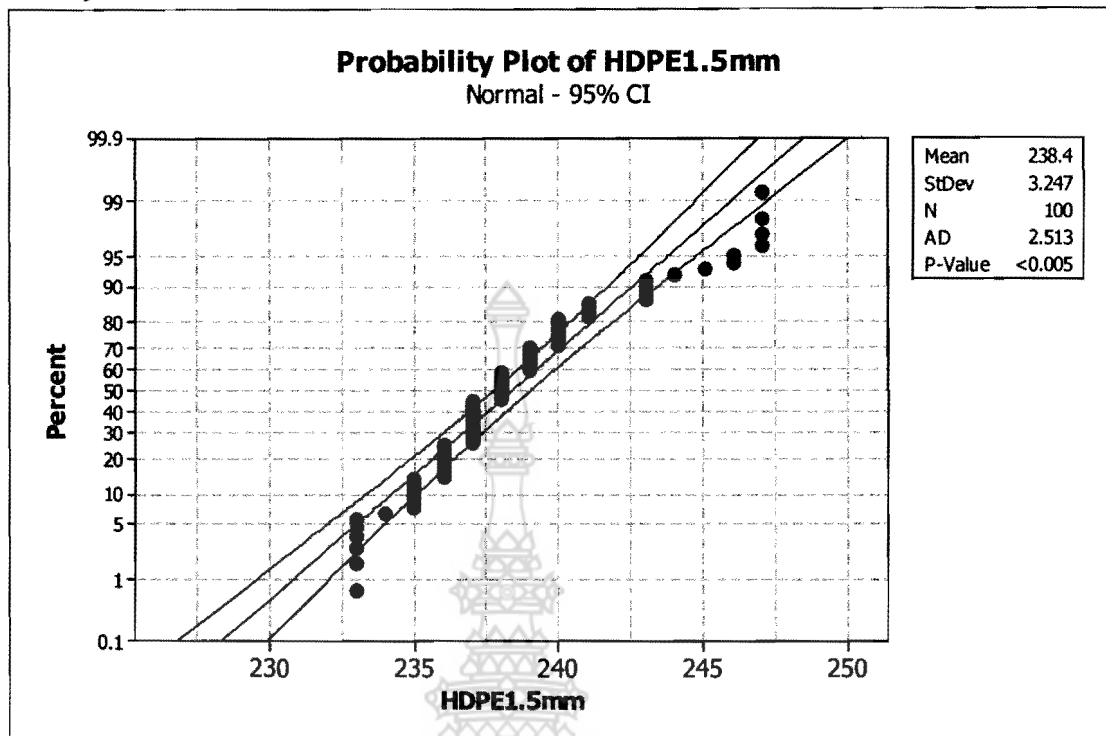
Descriptive Statistics: HDPE1mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
HDPE1mm	100	0	116.86	0.115	1.15	115.00	116.00	117.00
C2	100	0	54.000	0.000000000	0.000000000	54.000	54.000	54.000

Variable	Q3	Maximum
HDPE1mm	118.00	119.00
C2	54.000	54.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบ HDPE ขนาดความหนา 1ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

1.3 เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 1.5 ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



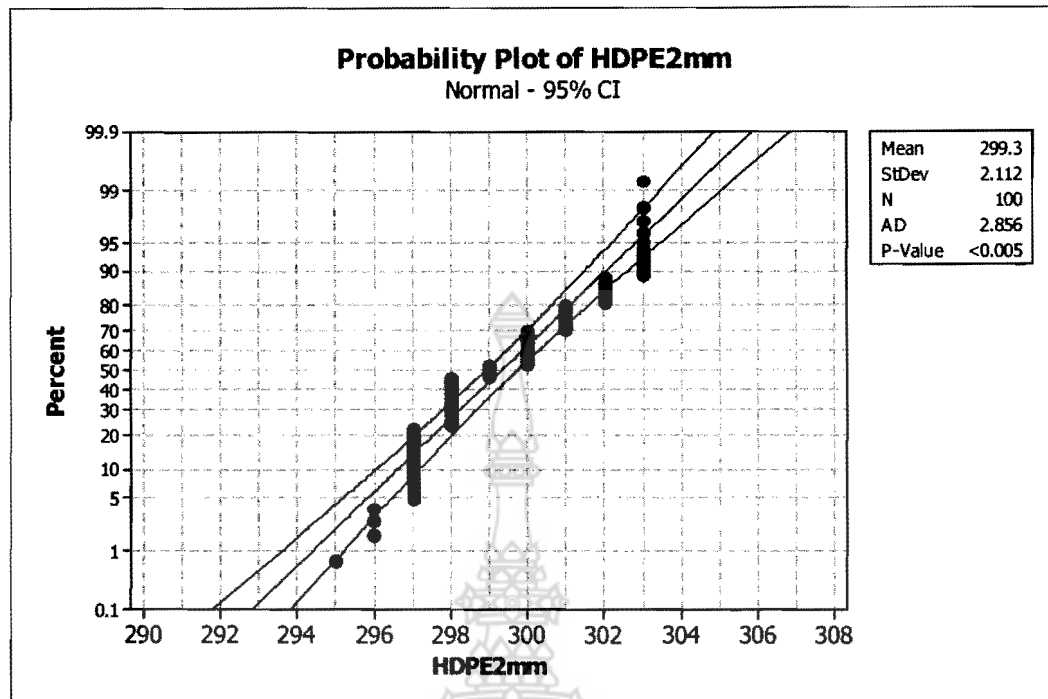
ภาพที่ 4-3 ผลการทดลอง การไหลตัวของชิ้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

Descriptive Statistics: HDPE1.5mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1
Median							
HDPE1.5mm	100	0	238.39	0.325	3.25	233.00	236.00
C2	100	0	127.00	0.000000000	0.000000000	127.00	127.00
Variable	Q3	Maximum					
HDPE1.5mm	240.00	247.00					
C2	127.00	127.00					

ผลการทดลอง การไหลตัวของชิ้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

1.4 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 2 ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-4 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 2ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

Descriptive Statistics: HDPE2mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
HDPE2mm	100	0	299.32	0.211	2.11	295.00	298.00	299.00
C2	100	0	225.00	0.000000000	0.000000000	225.00	225.00	225.00

Variable	Q3	Maximum
HDPE2mm	301.00	303.00
C2	225.00	225.00

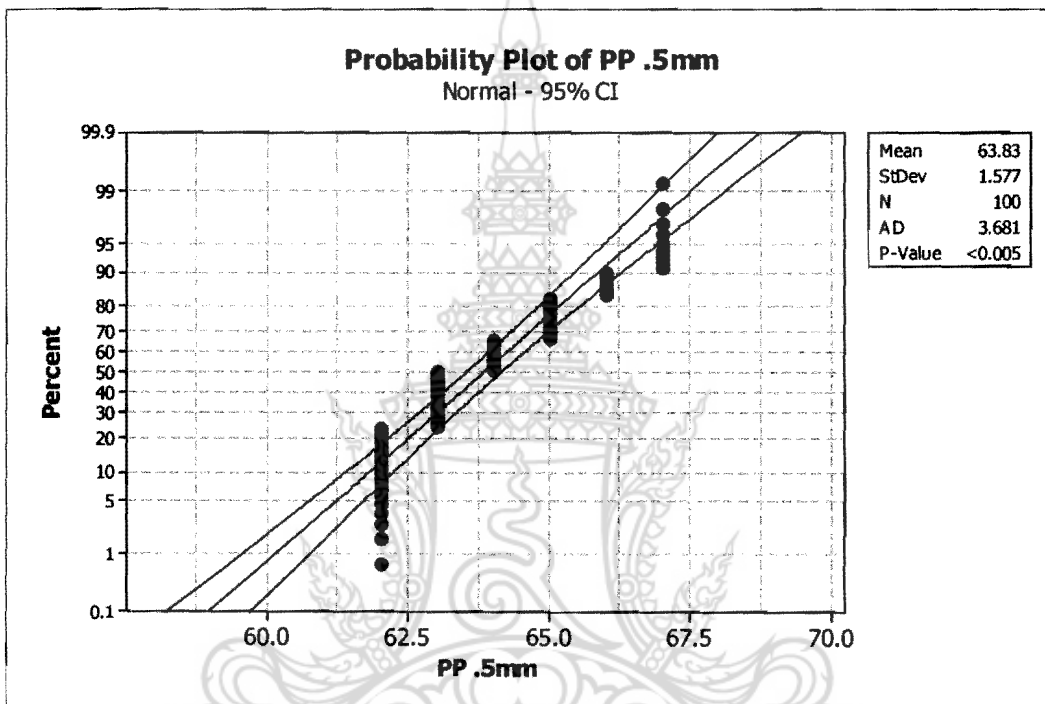
ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบHDPE ขนาดความหนา 2ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

2. เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบชั้นทดสอบ PP ที่ความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ม.ม.

ตารางที่ 4-2

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	250	141	63	16
ค่าทดสอบ	มากกว่า 310	245.7	185.1	68.83

2.1 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบ PP ขนาดความหนา 0.5 ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-5 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบ PP ขนาดความหนา 0.5 ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

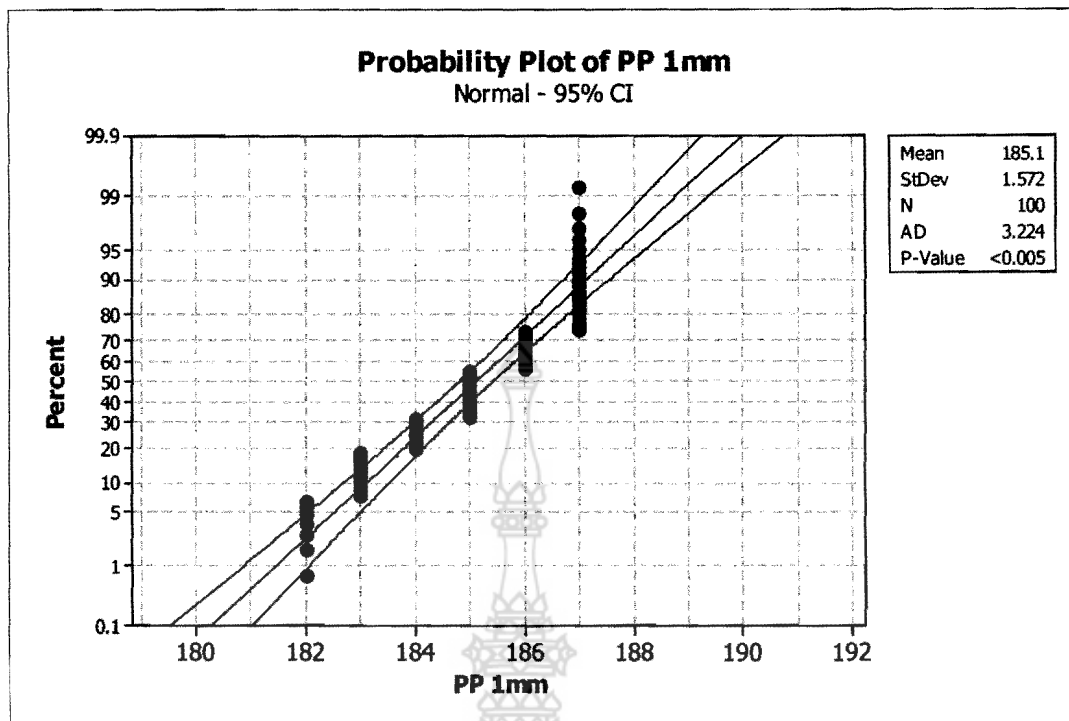
Descriptive Statistics: PP .5mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
PP .5mm	100	0	63.830	0.158	1.577	62.000	63.000	63.000
C2	100	0	16.000	0.000000000	0.000000000	16.000	16.000	16.000

Variable	Q3	Maximum
PP .5mm	65.000	67.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบ PP ขนาดความหนา 0.5 ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

2.2เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา 1.0 มม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-6 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา 1 มม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

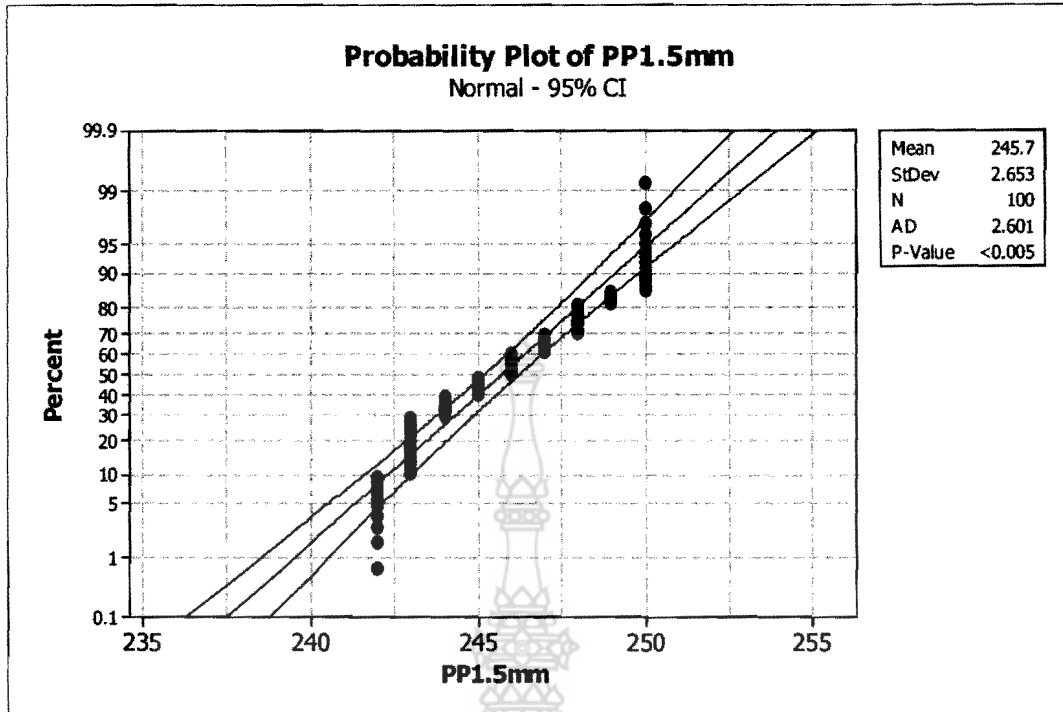
Descriptive Statistics: PP 1mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
PP 1mm	100	0	185.12	0.157	1.57	182.00	184.00	185.00
C2	100	0	63.000	0.000000000	0.000000000	63.000	63.000	63.000

Variable	Q3	Maximum
PP 1mm	187.00	187.00

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา 1 มม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

2.3 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา1.5ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-7 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

Descriptive Statistics: PP 1.5mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
PP1.5mm	100	0	245.70	0.265	2.65	242.00	243.00	245.50
C2	100	0	141.00	0.000000000	0.000000000	141.00	141.00	141.00

Variable	Q3	Maximum
PP1.5mm	248.00	250.00
C2	141.00	141.00

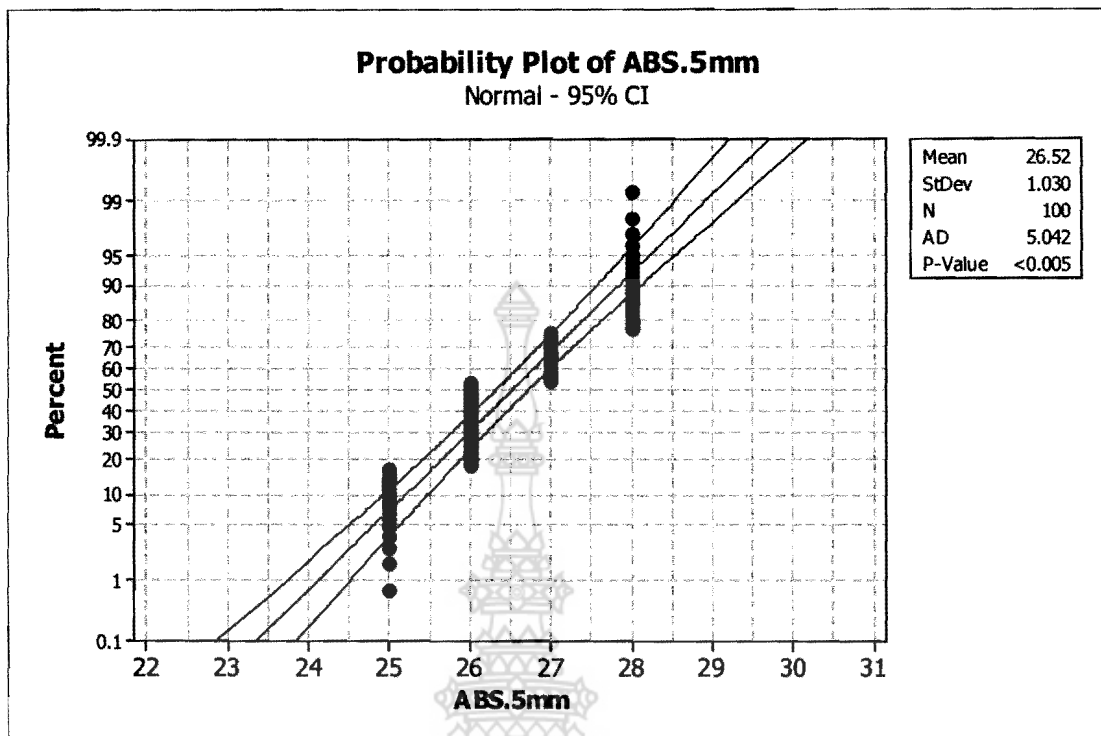
ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบPP ขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

3. เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบ ABS ที่ความหนา 0.5,1.0,1.5 และ 2.0ม.ม.

ตารางที่4-3

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	170	96	43	11
ค่าทดสอบ	213.03	193.31	102.36	26.40

3.1 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา0.5ม.ม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-8 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABS ขนาดความหนา 0.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

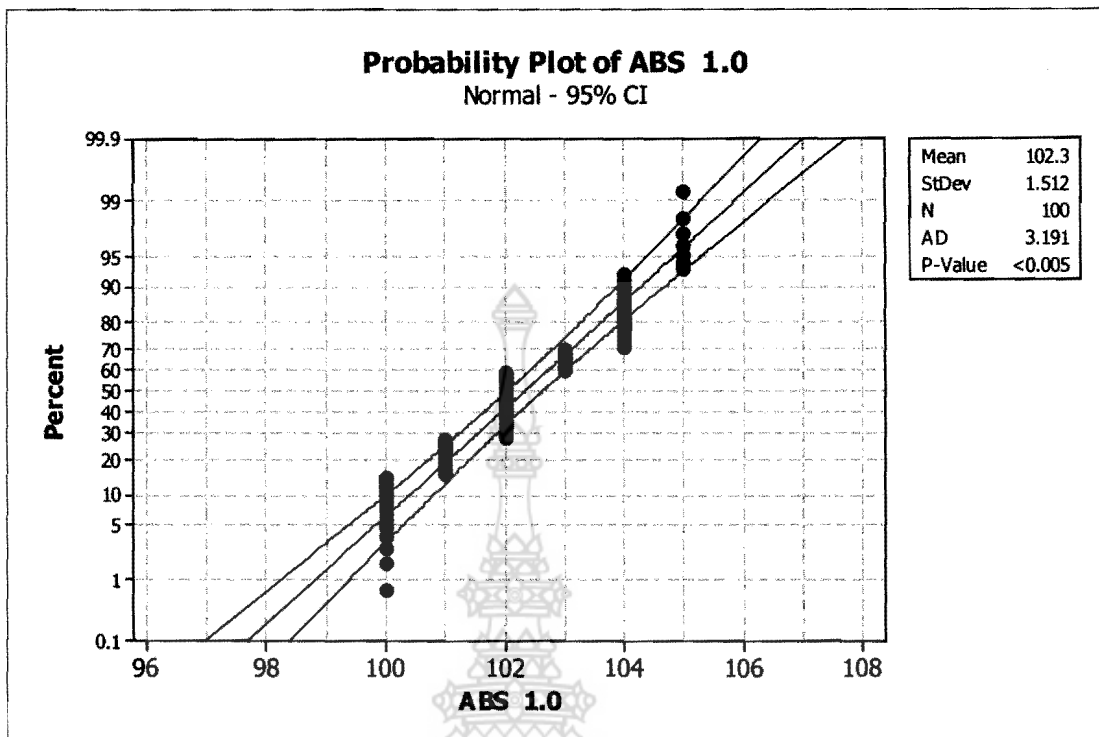
Descriptive Statistics: ABS.5mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ABS.5mm	100	0	26.520	0.103	1.030	25.000	26.000	26.000
C2	100	0	11.000	0.000000000	0.000000000	11.000	11.000	11.000

Variable	Q3	Maximum
ABS.5mm	27.000	28.000
C2	11.000	11.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 0.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

3.2 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบABS ขนาดความหนา 1.0 มม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-9 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 1ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

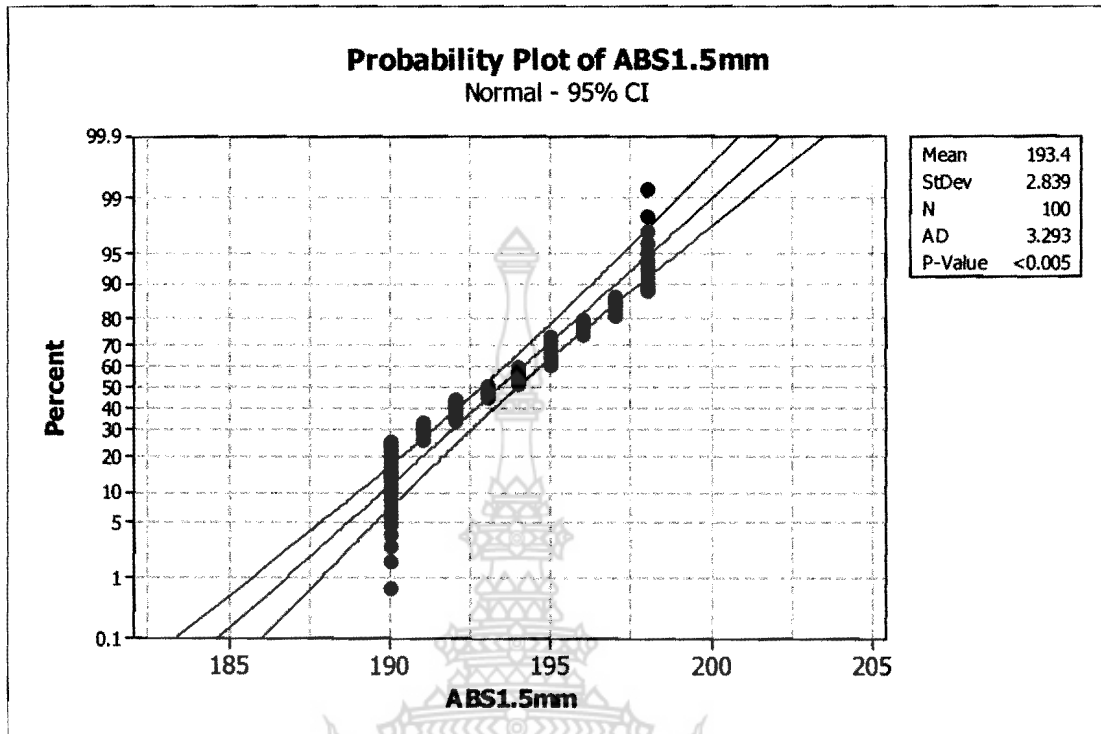
Descriptive Statistics: ABS 1.0, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ABS 1.0	100	0	102.34	0.151	1.51	100.00	101.00	102.00
C2	100	0	43.000	0.000000000	0.000000000	43.000	43.000	43.000

Variable	Q3	Maximum
ABS 1.0	104.00	105.00
C2	43.000	43.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABS ขนาดความหนา 1ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

3.3 เปรียบเทียบการไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา1.5 ม.ม.กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-10 ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

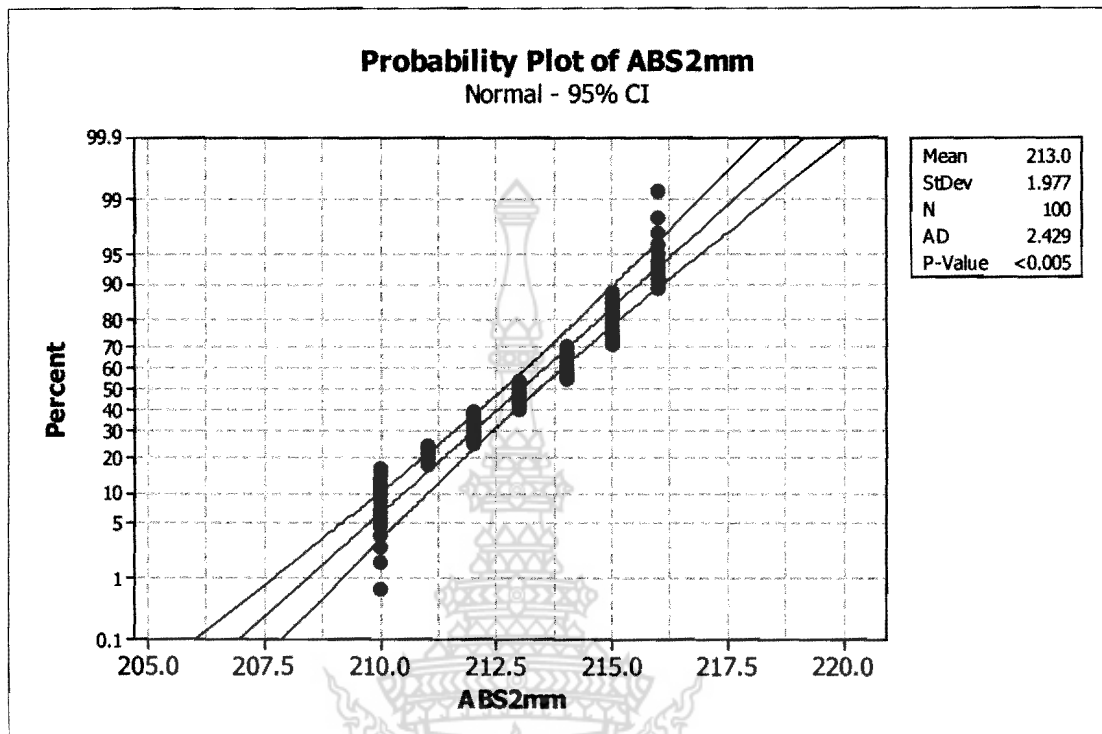
Descriptive Statistics: ABS1.5mm, C2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ABS1.5mm	100	0	193.40	0.284	2.84	190.00	190.00	193.00
C2	100	0	96.000	0.000000000	0.000000000	96.000	96.000	96.000

Variable	Q3	Maximum
ABS1.5mm	196.00	198.00
C2	96.000	96.000

ผลการทดลอง การไหลตัวของชั้นทดสอบABSขนาดความหนา 1.5ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

3.4 เปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นทดสอบABS ขนาดความหนา 2 ม.ม. กับค่าที่กำหนดจากผู้ผลิต



ภาพที่ 4-11 ผลการทดลอง การไหลตัวของชิ้นทดสอบABS ขนาดความหนา 2 ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

Descriptive Statistics: ABS2mm, C2

Variable	N	N*	Percent	Mean	SE Mean	StDev	Variance
ABS2mm	100	0	100	213.03	0.198	1.98	3.91
C2	100	0	100	170.00	0.000000000	0.000000000	0.000000000

Variable	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
ABS2mm	210.00	211.25	213.00	215.00	216.00
C2	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00

ผลการทดลอง การไหลตัวของชิ้นทดสอบABSขนาดความหนา 2 ม.ม. มีค่าที่แตกต่างจากผู้ผลิตที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)) การทดสอบหาค่าดัชนีการไหล Spiral Test ตามมาตรฐาน ASTM : D 3123-94

(ภาษาอังกฤษ) Test Melt Flow Index Spiral Test Standard ASTM : D 3123-94

ค่าดัชนีการไหล Spiral Test ของ HDPE, PP และ ABS ที่กำหนดจากผู้ผลิตเปรียบเทียบกับค่าการไหลตัวของชิ้นทดสอบ มีดังนี้

1. เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบ HDPE

ตารางที่ 5-1

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	225	127	54	14
ค่าทดสอบ	299.32	238.39	116.85	52.26

2. เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบ PP

ตารางที่ 5-2

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	250	141	63	16
ค่าทดสอบ	มากกว่า 310	245.7	185.1	68.83

3. เปรียบเทียบการไหลตัวของชิ้นทดสอบ ABS

ตารางที่ 5-3

วัสดุ	ความหนา/ม.ม.			
	2.0	1.5	1.0	0.5
ค่าที่กำหนด	170	96	43	11
ค่าทดสอบ	213.03	193.31	102.36	26.40

ข้อเสนอแนะ

1. ดัชนีการไหลของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 4 ข้อ ได้แก่
 - 1.1 ความดันการฉีด
 - 1.2 เวลาในการฉีด
 - 1.3 อุณหภูมิในการฉีด
 - 1.4 ความหนืดของพลาสติก
2. ในการฉีดต้องปรับค่าต่างๆ ให้คงที่มากที่สุด
3. เครื่องฉีดควรอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิ



บรรณานุกรม

ผศ.ชาติ ตระการกุล. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1 และการออกแบบแม่พิมพ์ 2.

พิมพ์ครั้งที่4,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2536.

ผศ.ชาติ ตระการกุล. เอกสารประกอบการเรียนวิชา ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก2.

ประจำ ภาคเรียนที่2,ปีการศึกษา 2544.

รศ.บรรเลง ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่9,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

(ไทย-ญี่ปุ่น),9 สิงหาคม 2537.

รศ.บรรเลง ศรีนิล,รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ตารางโลหะ. สำนักพิมพ์สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2549.

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. งานฉีดพลาสติก. กรุงเทพมหานคร , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2540

เอกสารคู่มือการใช้โปรแกรม.CAD MOLD

มาตรฐานจีนทดสอบของสหรัฐอเมริกา ตามมาตรฐาน ASTM : D 3123-94

นสพ. โพสท์ทูเดย์ประจำวันที่ 25 มกราคม 2551

สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย

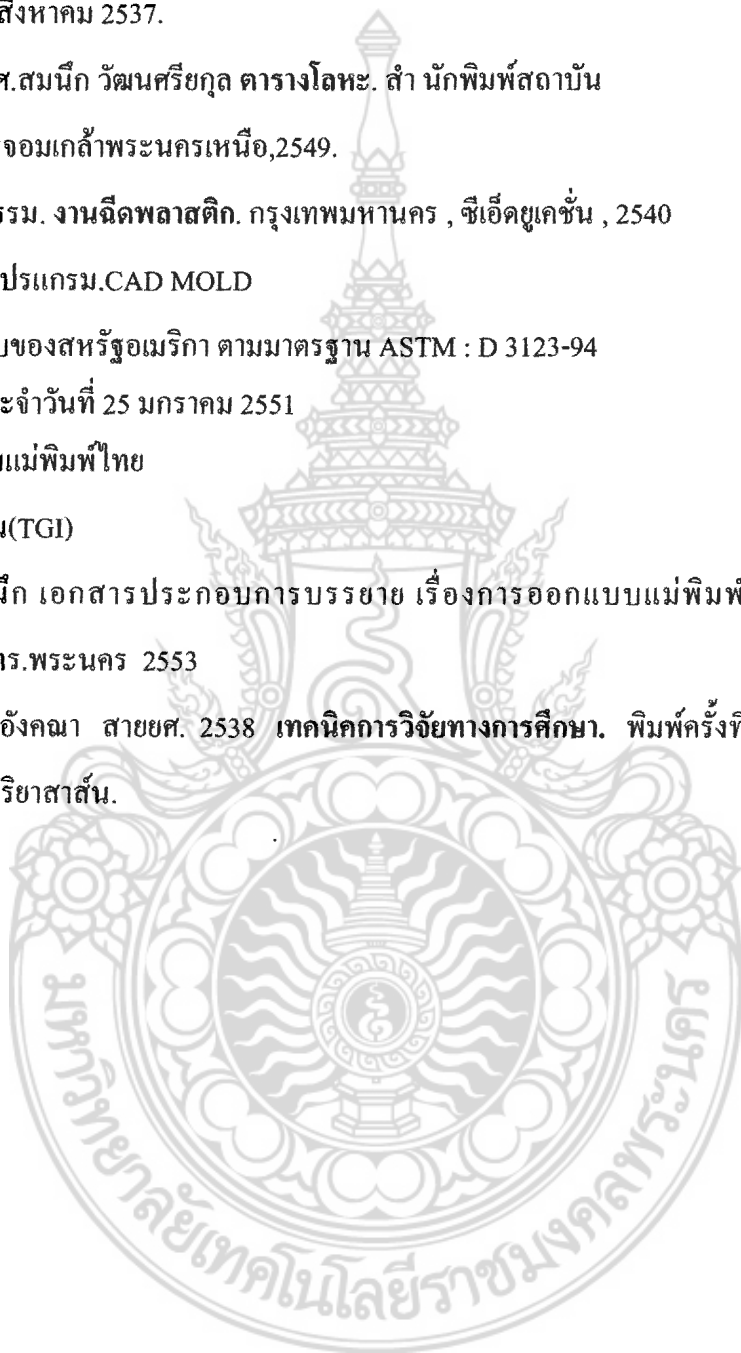
สถาบันไทย-เยอรมัน(TGI)

ดร.พีระวัฒน์ สมนึก เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่องการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร 2553

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

กรุงเทพ ฯ : สุวีริยาสาส์น.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลในการทดลอง





การวิเคราะห์ชิ้นงานก่อนสร้างแม่พิมพ์ฉีด

Description

Cadmould 3D-F Version 5.0f

Mold:

Name: "spiral-010"

Surface = 4559.99 mm²

Volume = 2304.02 mm³

Centroid = 5.697 , 0.471 , 2.248 mm

Mass = 2.19 g

Part 1:

Surface = 4559.99 mm²

Volume = 1950.12 mm³

Centroid = 6.731 , 0.557 , -0.500 mm

Mass = 1.86 g

Cold Runner:

Volume = 353.9 mm³

Centroid = 0.000 , 0.000 , 17.392 mm

Mass = 0.337 g

Finite-Element Mesh:

Total volume of all rod elements = 354 mm³

Total volume of all triangular elements = 2041 mm³

Element-based volume = 2396 mm³

Total volume of all parts = 1950 mm³

Total volume of the cold runner = 354 mm³

Real volume = 2304 mm³

Element-based volume / real volume = 1.0397210508

Gate Locations:

1 at 0.000 , 0.000 , 45.000 mm , Surface normal is -0.000 , -0.000 , 1.000

Material:

Name: "EXXON MOBIL HD 6706"

Type: "PE-HD"

Manufacturer: "EXXON MOBIL CHEMICAL"

Carreau Parameters:

P1 = 499.98 Pa·s

P2 = 0.0075 s

P3 = 0.584

T0 = 216.33 °C

Ts = -100.19 °C

Fp = 0 K/bar

Ei = 0 Pa·s

Fa = 8.86

Thermal Data:

Thermal Conductivity = 0.211 W/(mK)

Thermal Diffusivity = 0.0859 mm²/s

No-Flow Temperature = 135 °C

Recommended Process Parameters:

Melt Temperature = 220 °C

Wall Temperature = 40 °C

Ejection Temperature = 97.8 °C

Process Parameters:

Filling Time = 0.285 s

Pressure-Controlled Filling: 99 %%

Melt Temperature = 220 °C

Wall Temperature = 40 °C

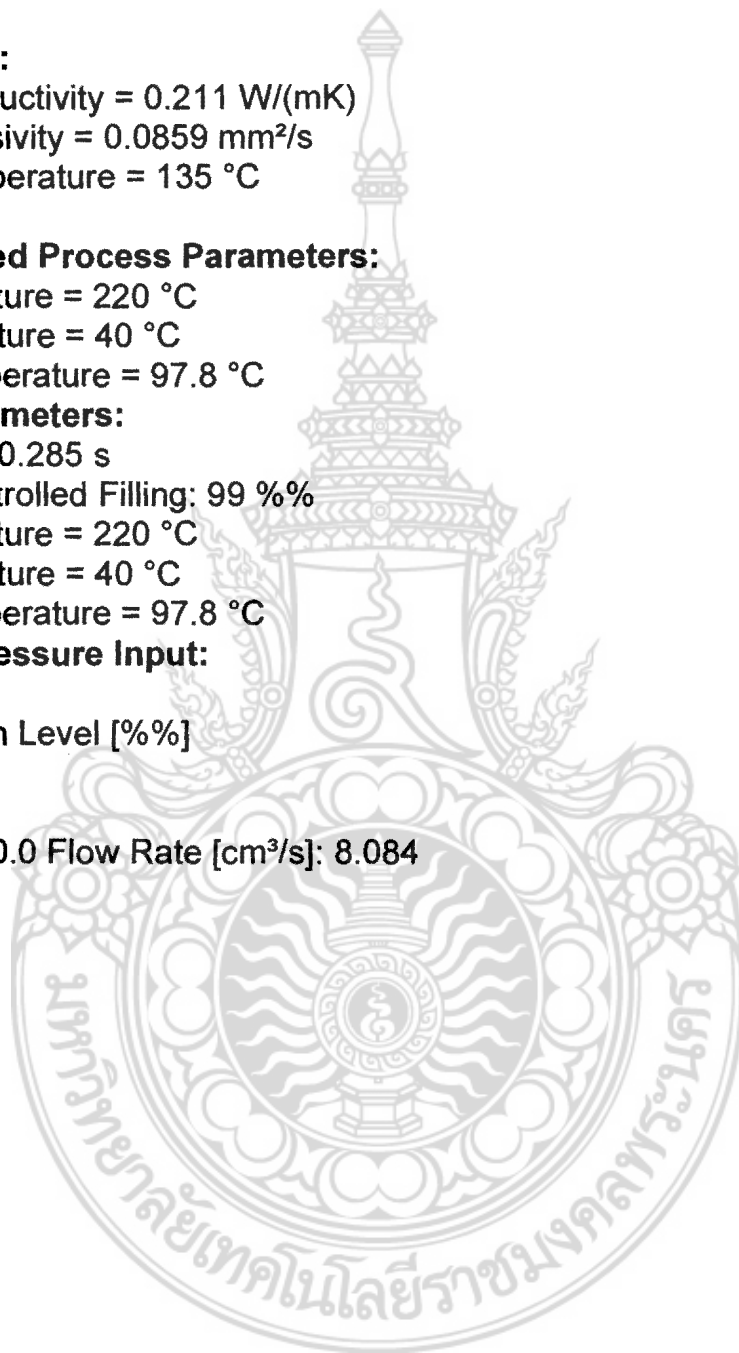
Ejection Temperature = 97.8 °C

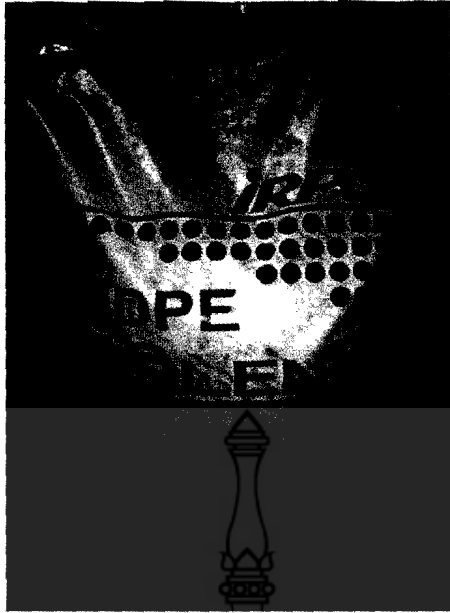
Flow-Rate/Pressure Input:

Switch dep. on Level [%%]

Filling

1. Level []: 100.0 Flow Rate [cm³/s]: 8.084



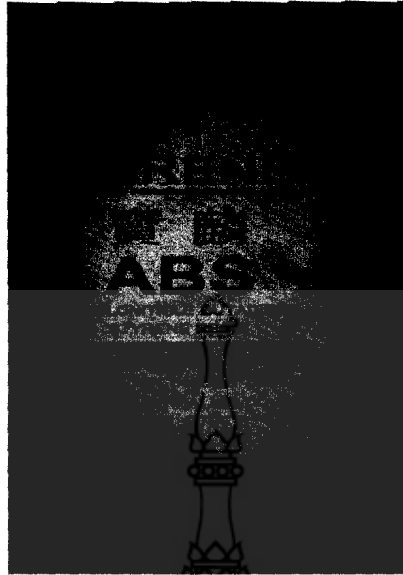


HDPEใช้สำหรับทคลอง



PPใช้สำหรับทคลอง





ABSใช้สำหรับทดลอง

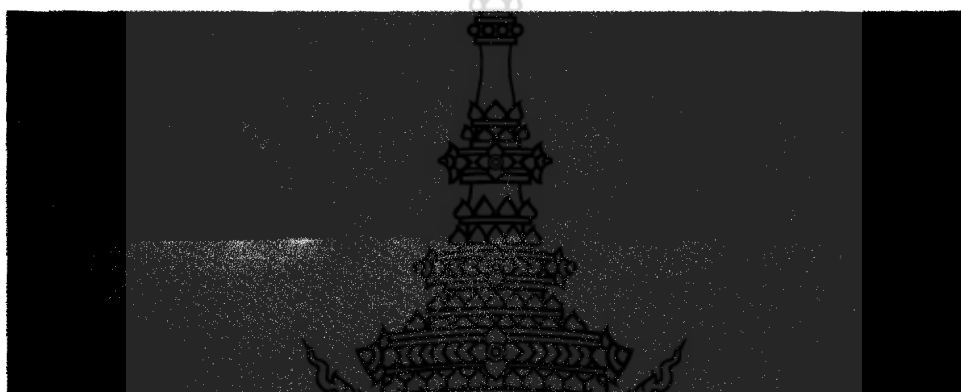


ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดHDPE





ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดPP



ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดABS





การวัดความยาวชิ้นทดลอง



เครื่องที่ใช้ในการทดลองฉีด



ค่าต่างๆที่ใช้ในการฉีดHDPE,PP



คำต่างๆที่ใช้ในการฉีดABS

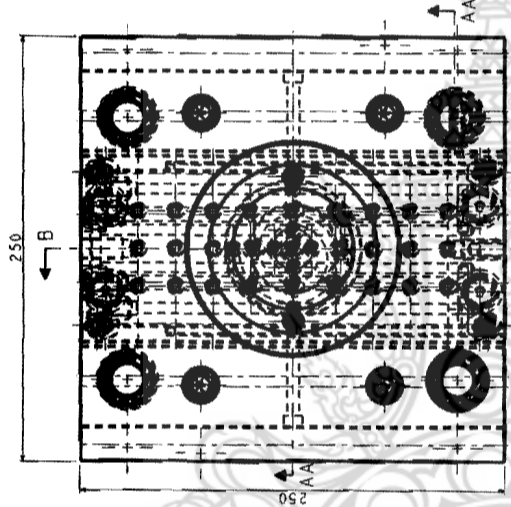


ภาคผนวก ข

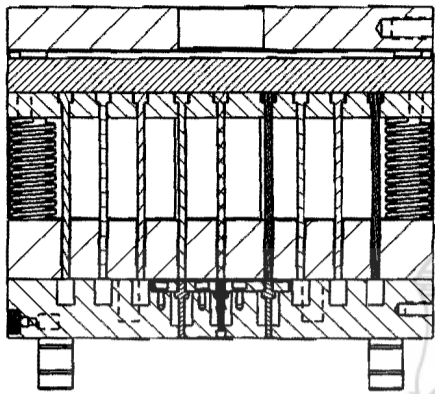
แบบแม่พิมพ์



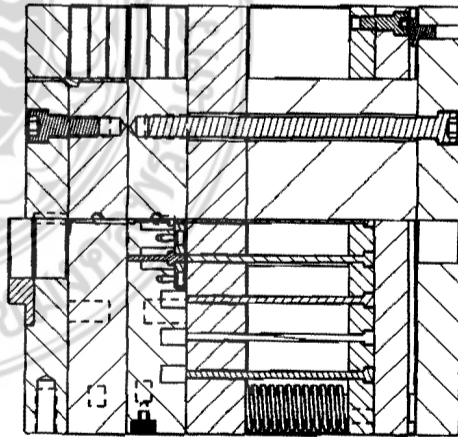
REVISION
REV. NO. D.L. 14.1.11 ORIGINAL



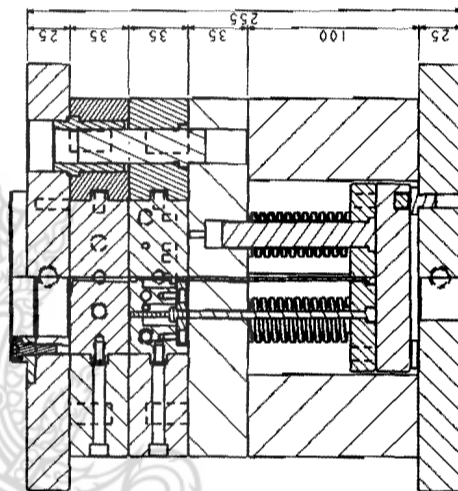
SECTION B-B
SCALE 0.500



SECTION B-B
SCALE 0.500



SECTION BB-BB



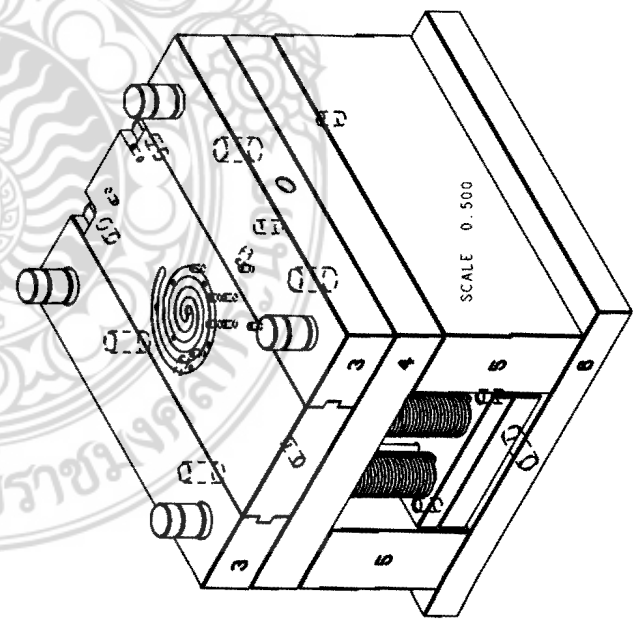
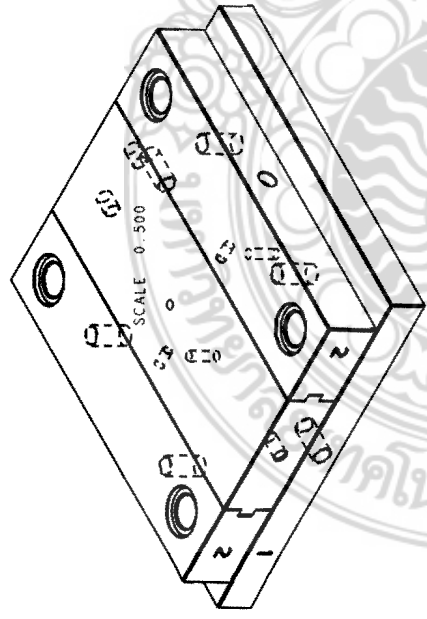
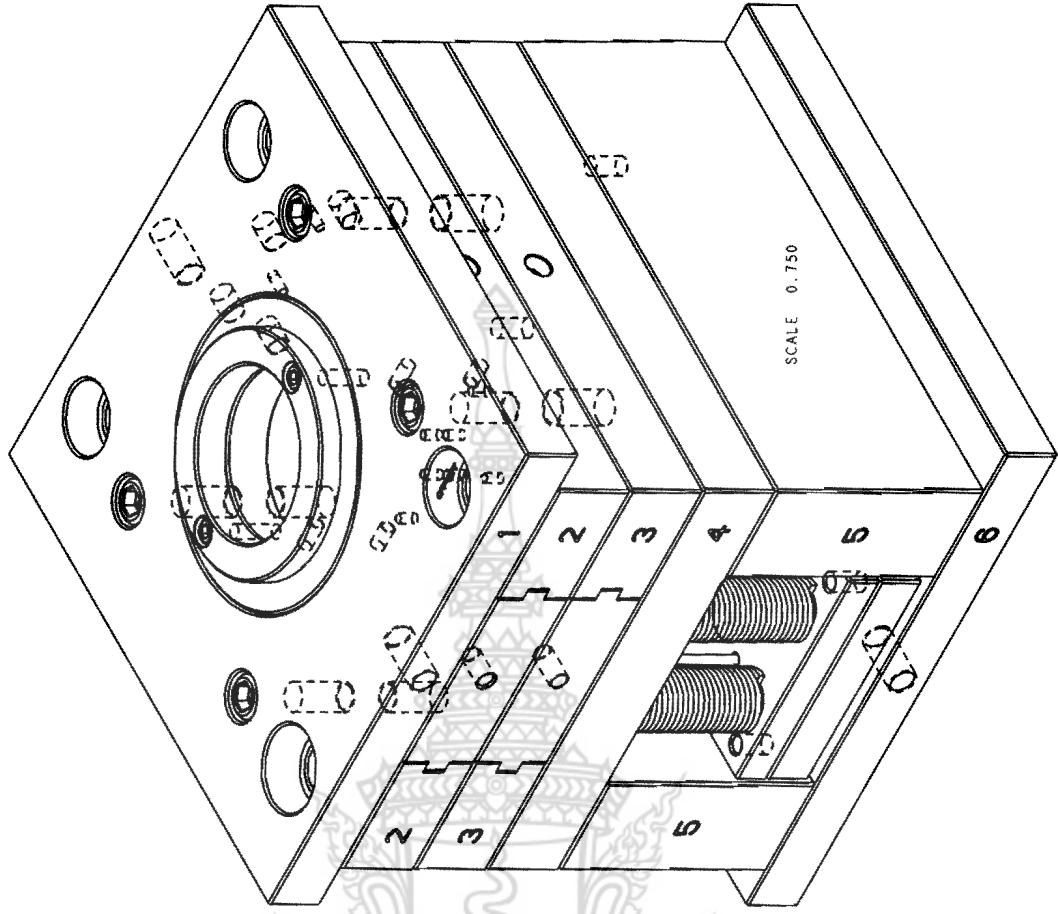
SECTION AA-AA
SCALE 0.500

ITEM	TEST	COMPONENT NAME	TYPE	MATERIAL	SIZE	QTY
1	BACK-UP	CONC. PL.	PART	SS3C	250x250x35	1
2	BACK-UP	ELECTOR-BOB	PART	SS3C	Ø80x8	1
3	BOTTOM	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
4	BUSH	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
5	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
6	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
7	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
8	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
9	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
10	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
11	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
12	CONNECT	PL.	PART	SS3C	250x250x25	1
13	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
14	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
15	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
16	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
17	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
18	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
19	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
20	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
21	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
22	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
23	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
24	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
25	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
26	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
27	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
28	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
29	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
30	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
31	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
32	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
33	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
34	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
35	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
36	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
37	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
38	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
39	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
40	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
41	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
42	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
43	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
44	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
45	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
46	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
47	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
48	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
49	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
50	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
51	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
52	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
53	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
54	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
55	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
56	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
57	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
58	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
59	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
60	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
61	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
62	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
63	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
64	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
65	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
66	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
67	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
68	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
69	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
70	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
71	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
72	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
73	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
74	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
75	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
76	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
77	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
78	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
79	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
80	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
81	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
82	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
83	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
84	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
85	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
86	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
87	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
88	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
89	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
90	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
91	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
92	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
93	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
94	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
95	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
96	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
97	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
98	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
99	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4
100	ELECTOR	PL. BRASS	42	SS3C	Ø8.25x25x42	4

PROJECT: SPIRAL-WOUND TEST
 PART NAME: SPIRAL TEST
 CLIENT: ENGINEERING DEPT.
 SUPPLIER: UOB ENGINEERING CO., LTD.
 DRAW NO: UOB-003-05
 DRAWN: JASIN
 CHECKED: JASIN
 APPROVED: JASIN
 DATE: 01/01/11
 DRAWING NO: 003-05
 DATE: 01/01/11
 Rajabhat University of Technology Foundation

DESCRIPTION
 MODELED BY

REVISION
 REVISION ORIGINAL

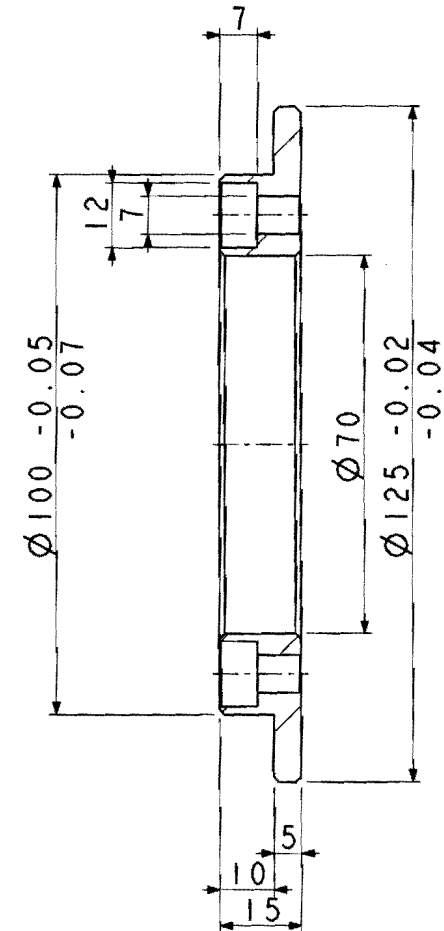
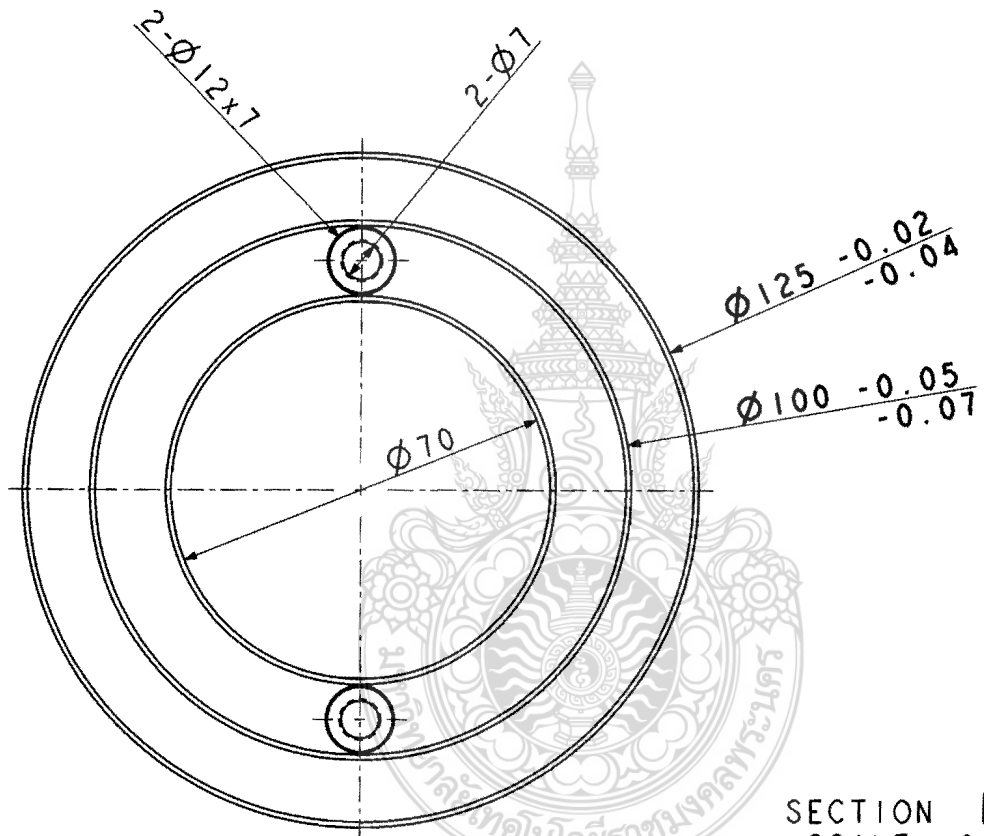


PROJECT	CETAL WELD-TEST	DRAW NO.	000-003-01
NAME	STAIN-TEST	DATE	00-00-00
CLASS	ENGINEERING DEPT.	CHECKED	00-00-00
SUPPLIER	000 INDUSTRIAL CO., L.P.	APPROVED	00-00-00
		DATE	00-00-00

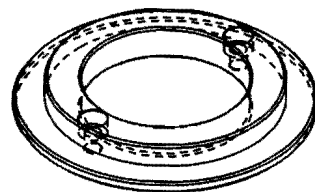
Thammasat University of Technology Foundation

MATERIAL	S50C
SIZE	∅125x15

REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL



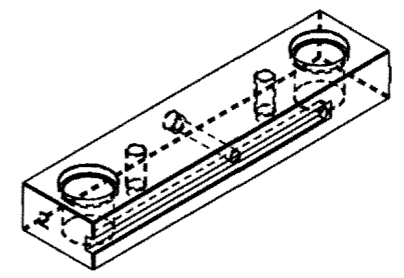
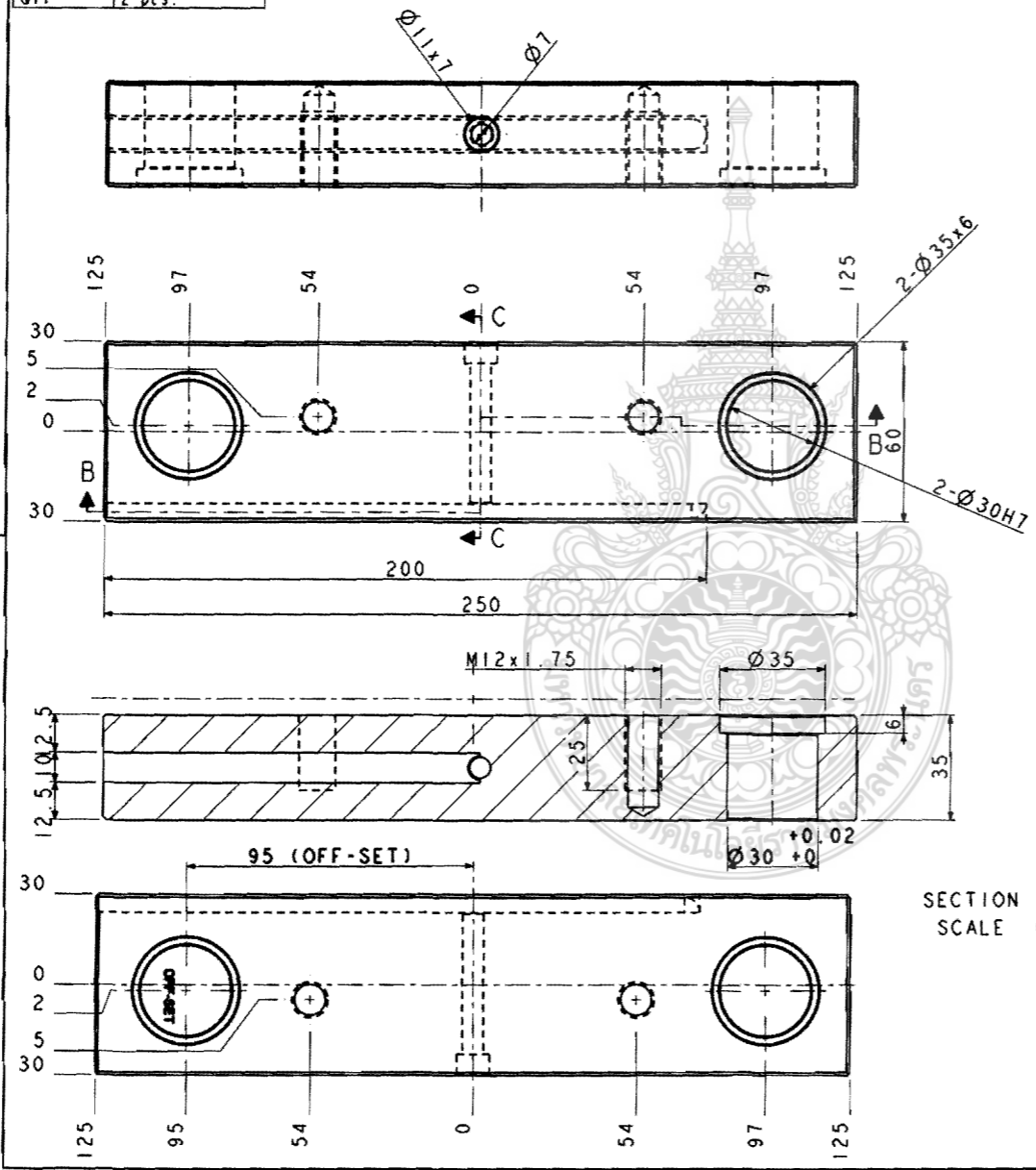
SECTION B-B
SCALE 0.750



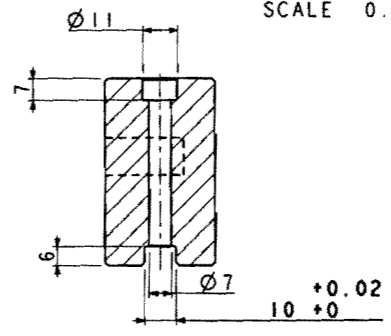
PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	LOCATING-RING	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	3 16	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	01-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x60x35
QTY	2 pcs.

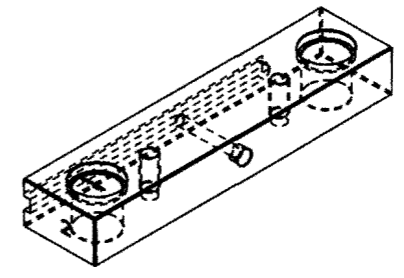
REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL



SCALE 0.350



SECTION C-C
SCALE 0.650



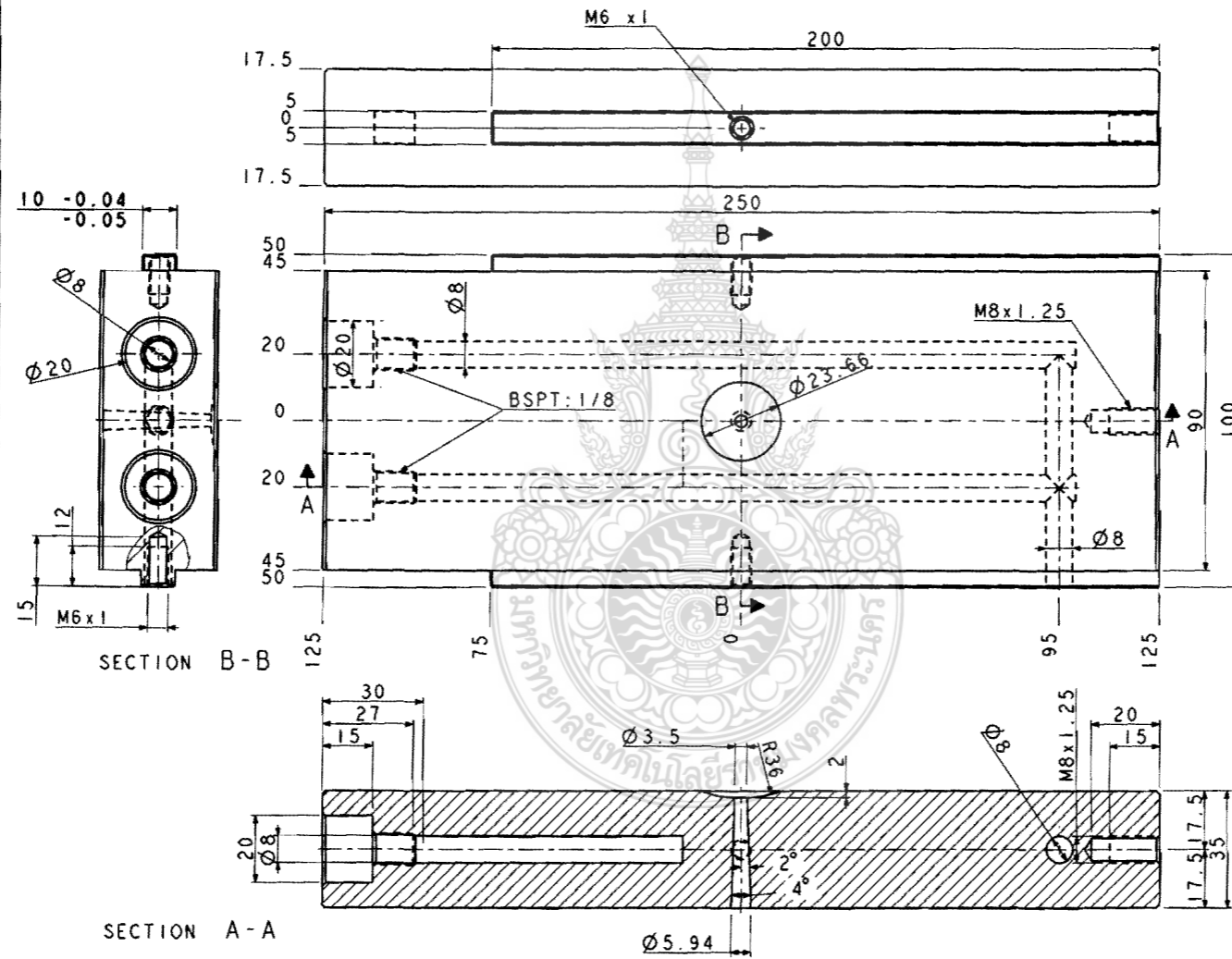
SCALE 0.350

SECTION B-B
SCALE 0.650

PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	CAVITY-PL-L	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	5	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	01-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x100x35

REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL

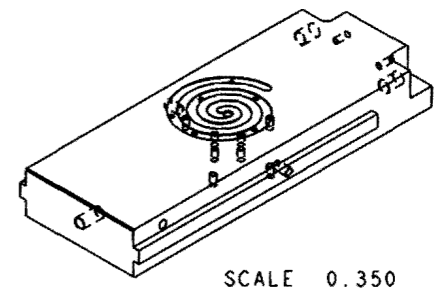
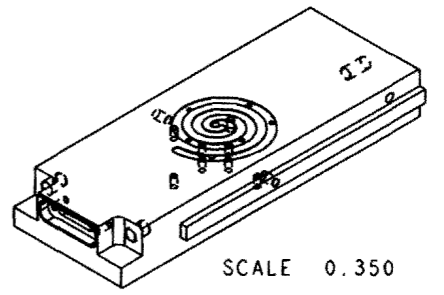
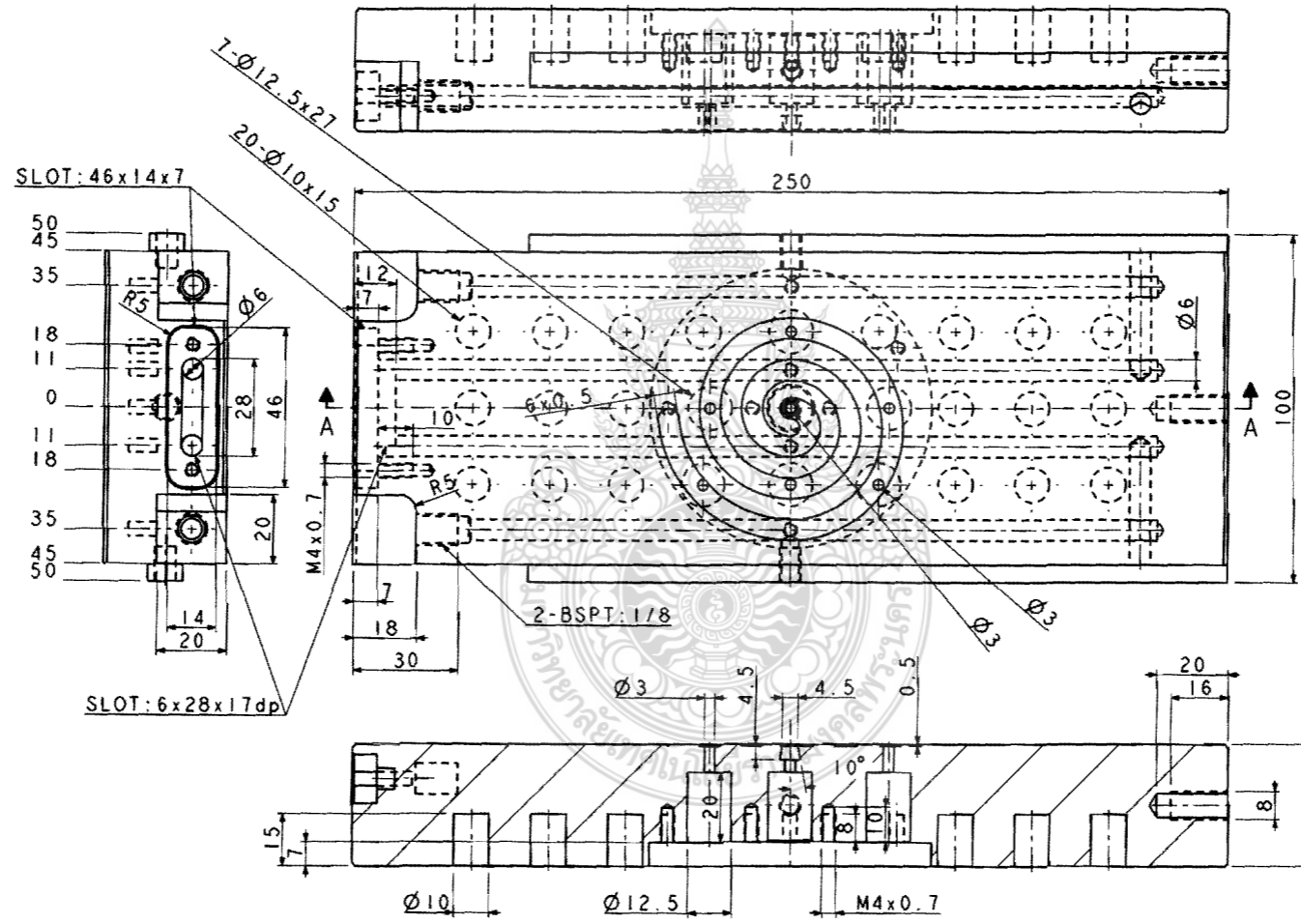


SECTION A-A
SCALE 0.750

PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	CAVITY-INSERT	TYPE	PART	DRAWN	CSURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	6	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	02-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x100x35

REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL

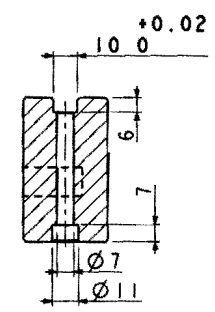
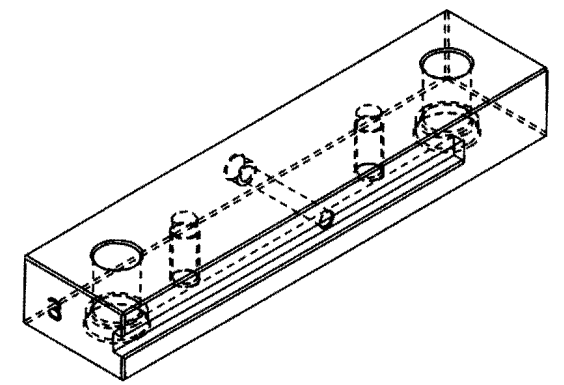
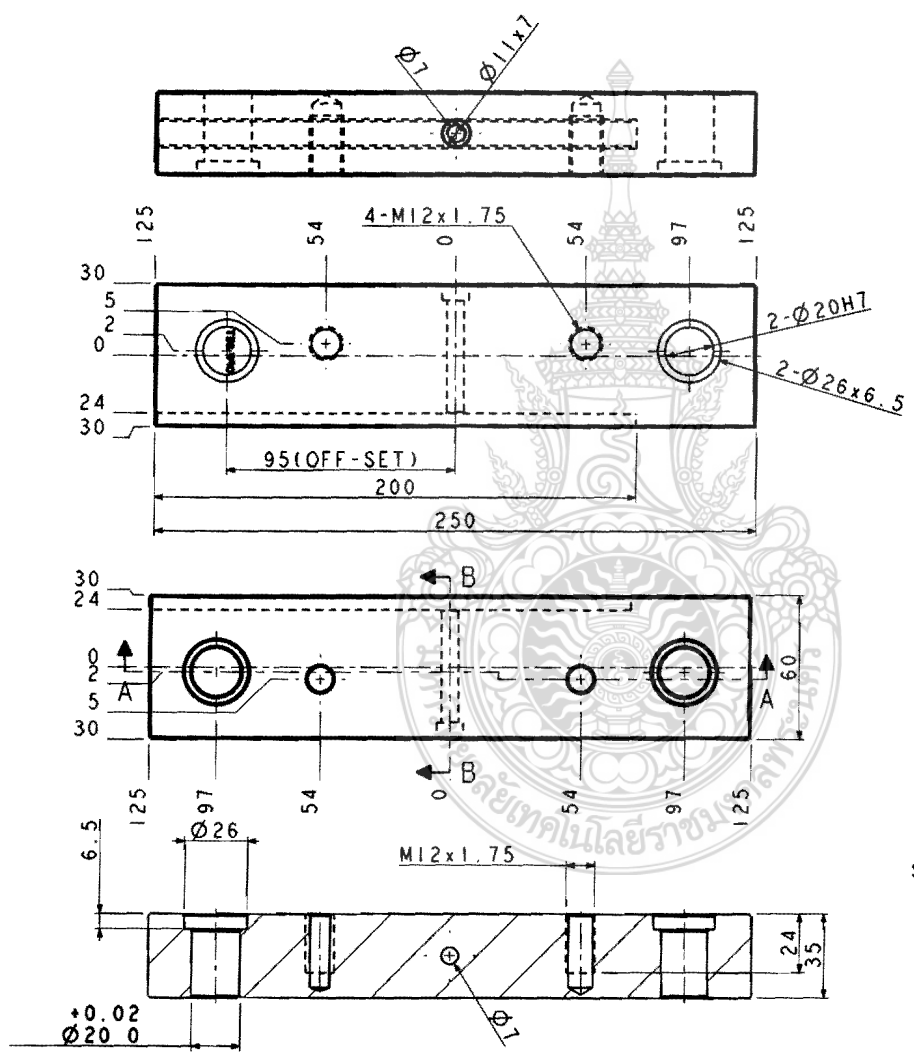


SECTION A-A
SCALE 0.750

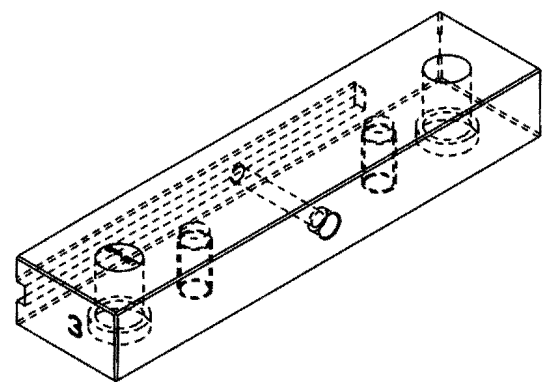
PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	CORE-INSERT	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	7	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	01-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x60x35
QTY	2 pcs.

REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL



SECTION B-B



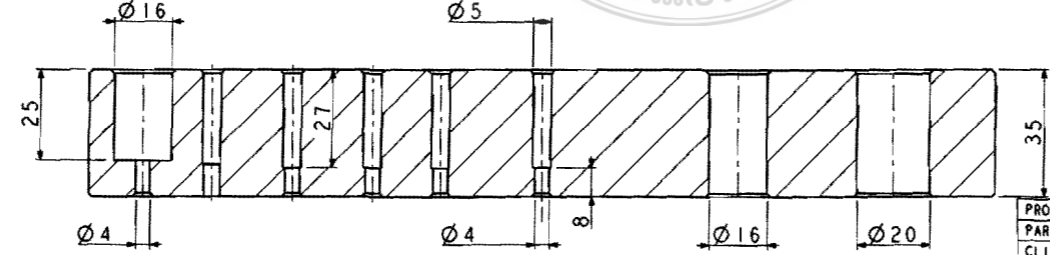
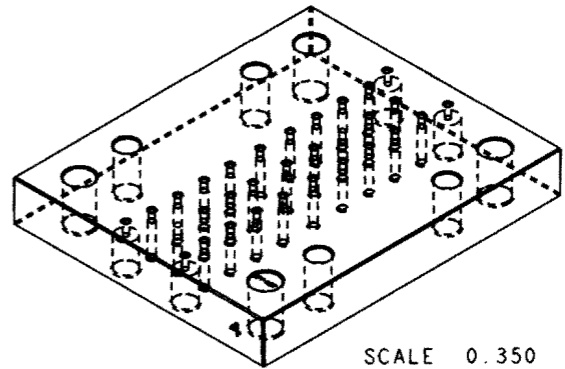
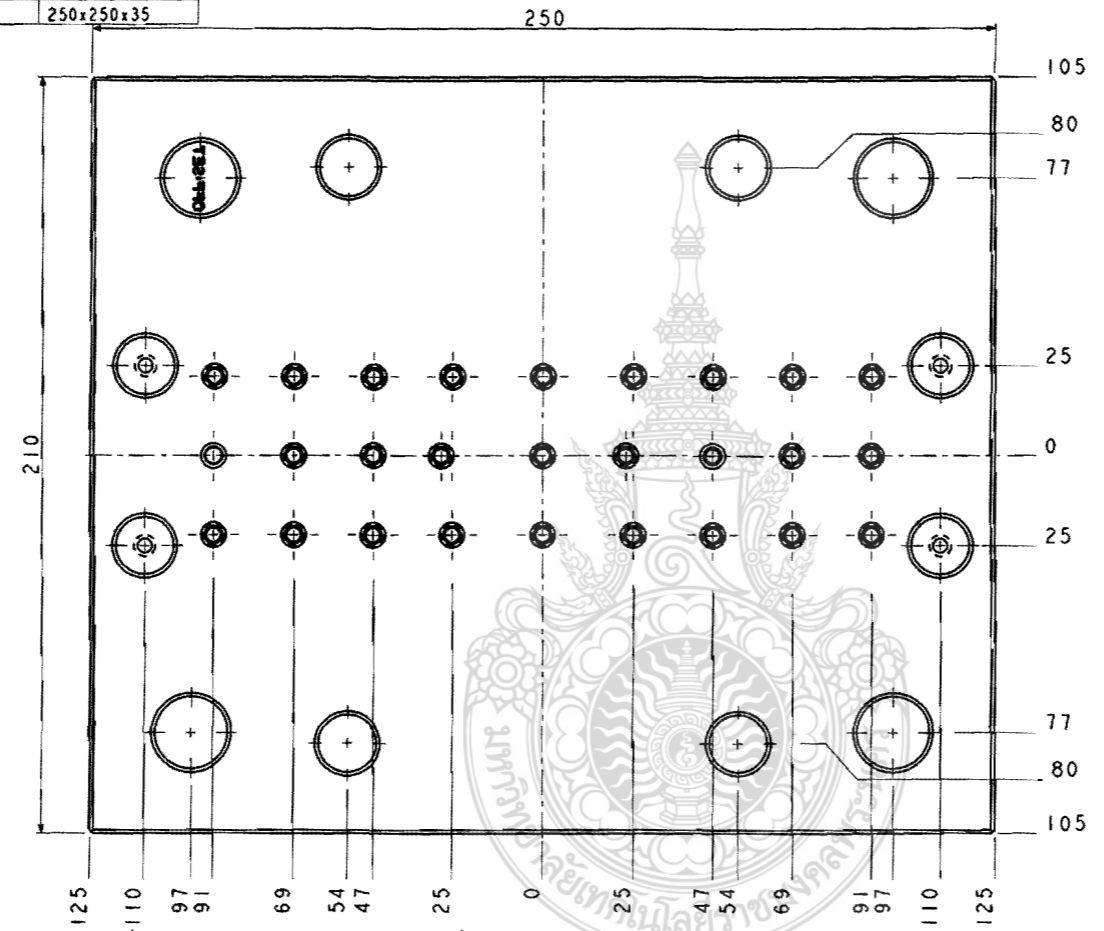
SCALE 0.500

SECTION A-A

PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	CORE-PL-L	TYPE	PART	DRAWN	CSURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	8	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Prachon				DATE	01-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x250x35

REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL



SECTION B-B
SCALE 0.750

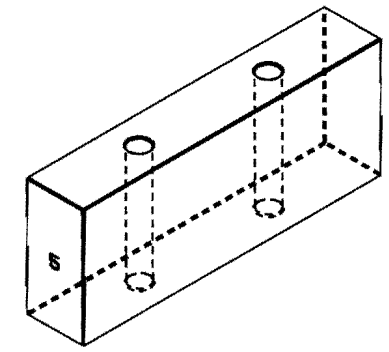
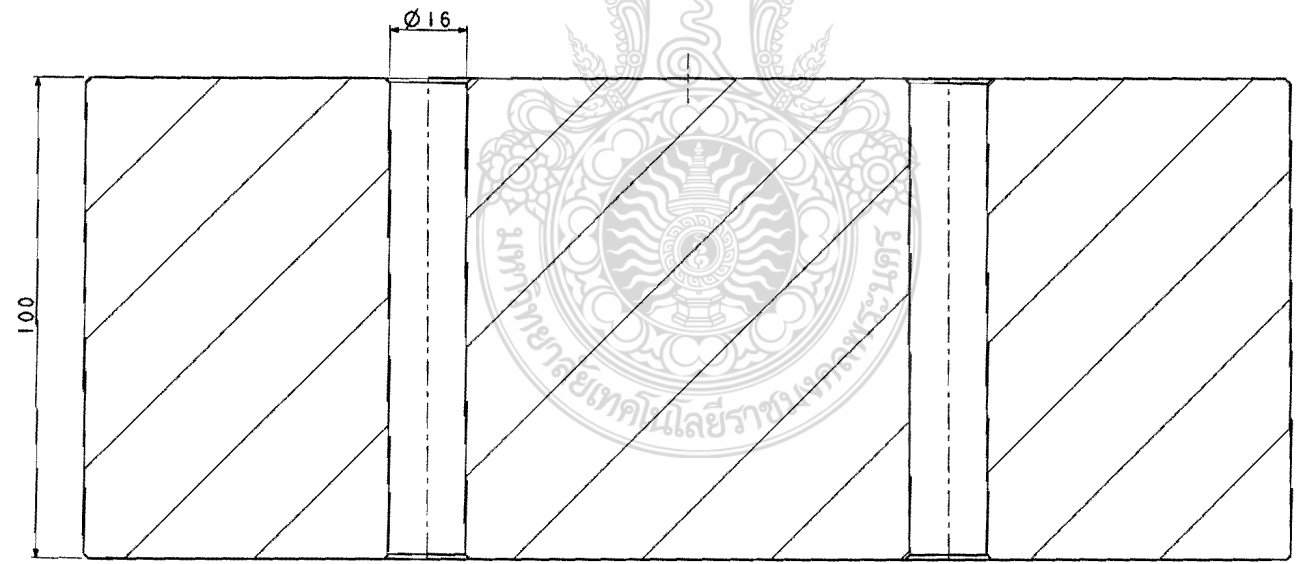
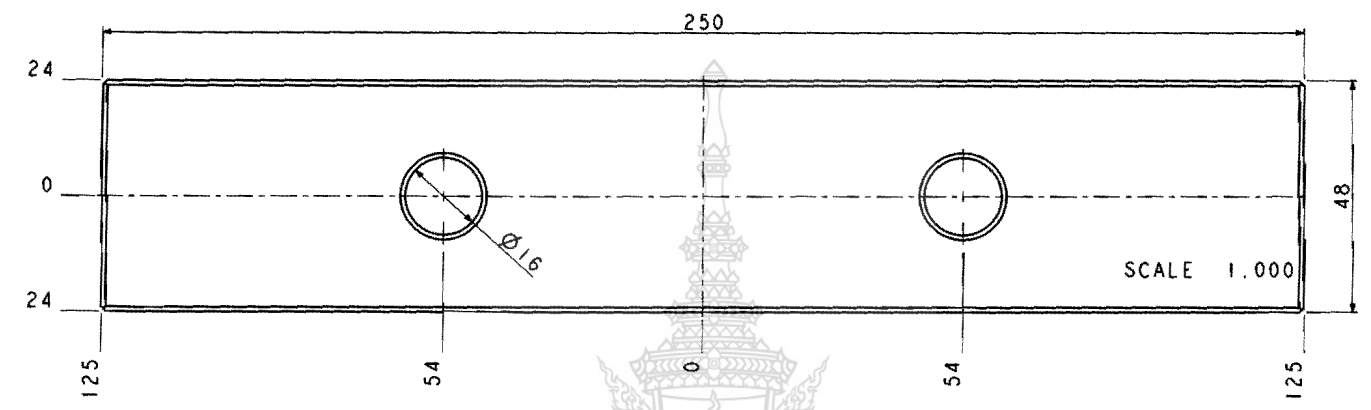
PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	BACK-UP-CORE-PL	TYPE	PART	DRAWN	CSURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	9 / 16	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
				DATE	01-Jul-11

☛ Ragamagala University of Technology Prankhon



MATERIAL	S50C
SIZE	250x100x48
QTY	2 pcs.

REVISION		
REV-0	01-Jul-11	ORIGINAL

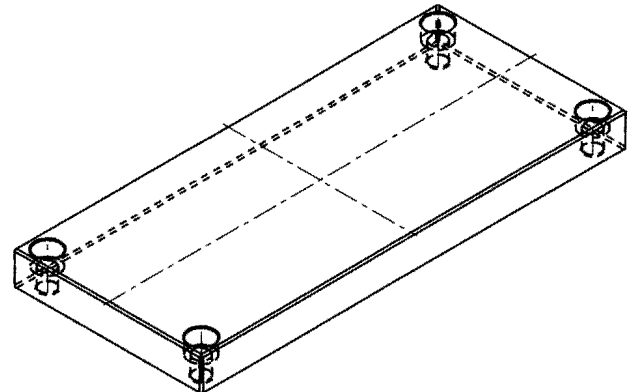
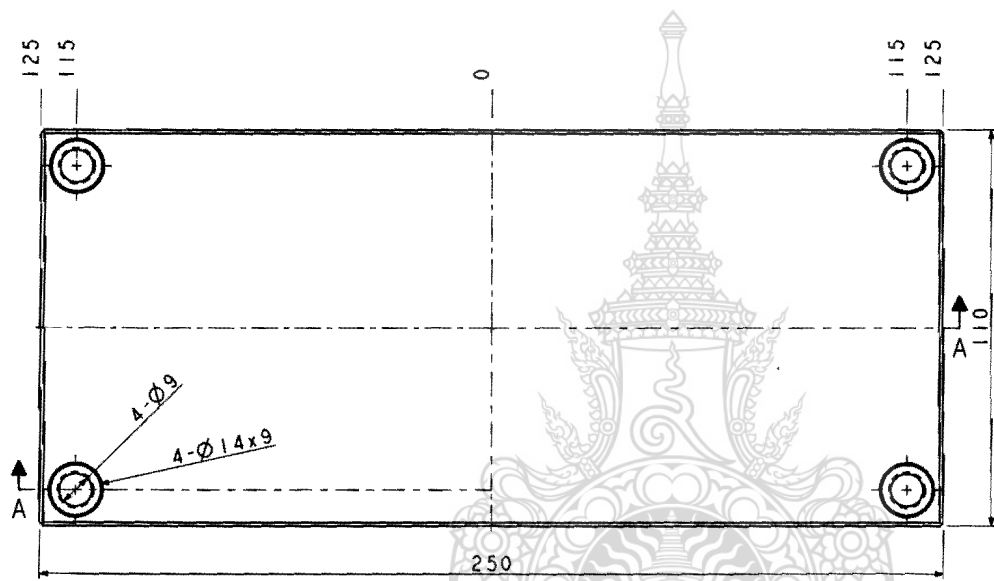


SECTION A-A
SCALE 0.350

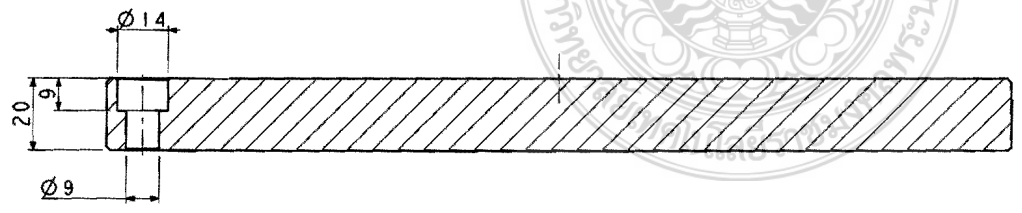
PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	SPACER-BLOCK	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	10	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	01-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x150x20

REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL



SCALE 0.500

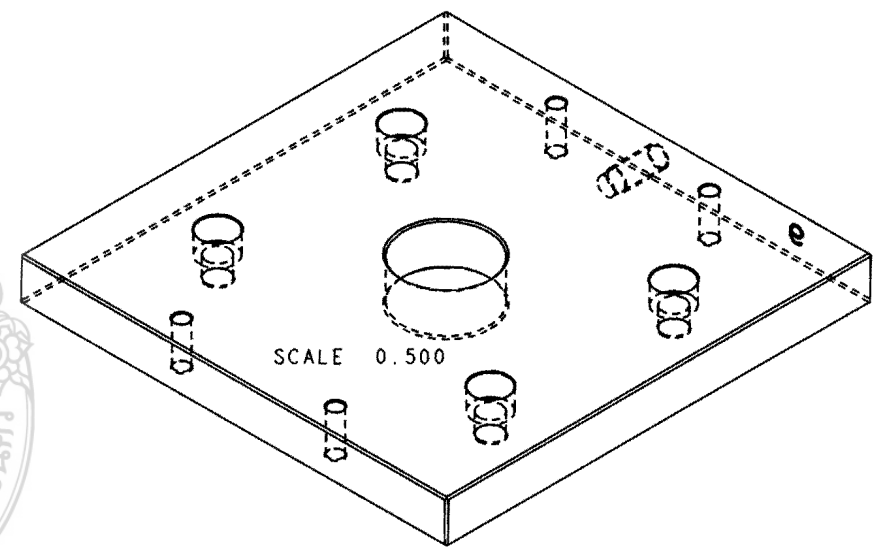
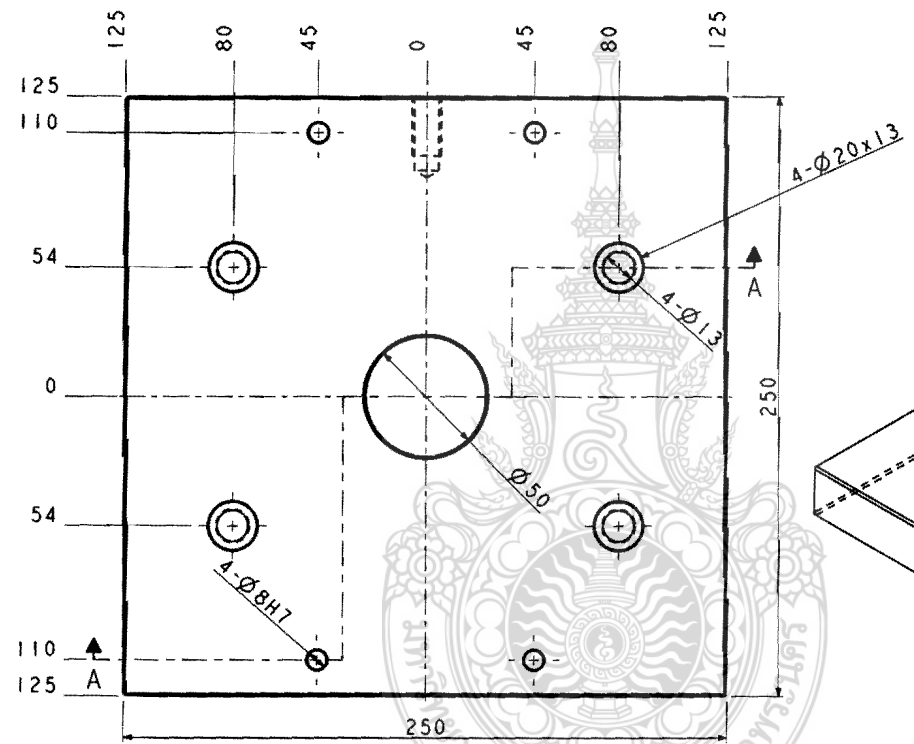


SECTION A-A
SCALE 0.750

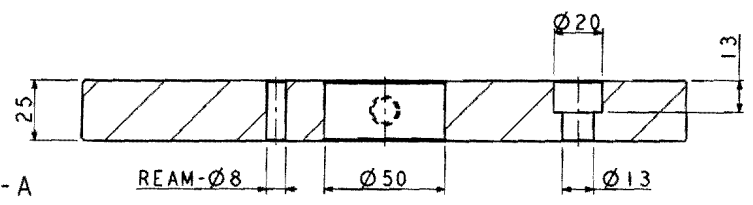
PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	EJECTOR-PL	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	12	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	02-Jul-11

MATERIAL	S50C
SIZE	250x250x25

REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL



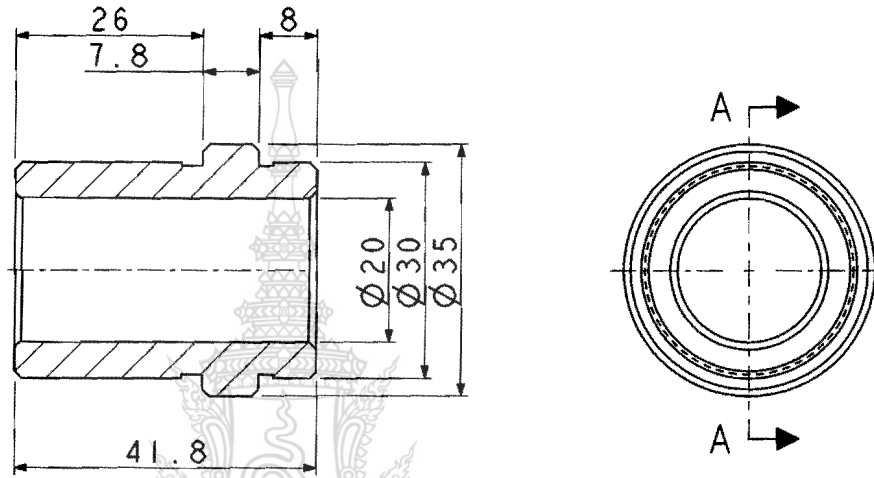
SECTION A-A
SCALE 0.500



PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	BOTTOM-PL	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	13	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co., Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
Ragamagala University of Technology Pranakhon				DATE	02-Jul-11

MATERIAL	SUJ2
SIZE	BA-25x35/42
QTY	4 pcs.
HARDNESS	60 HRC

REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL



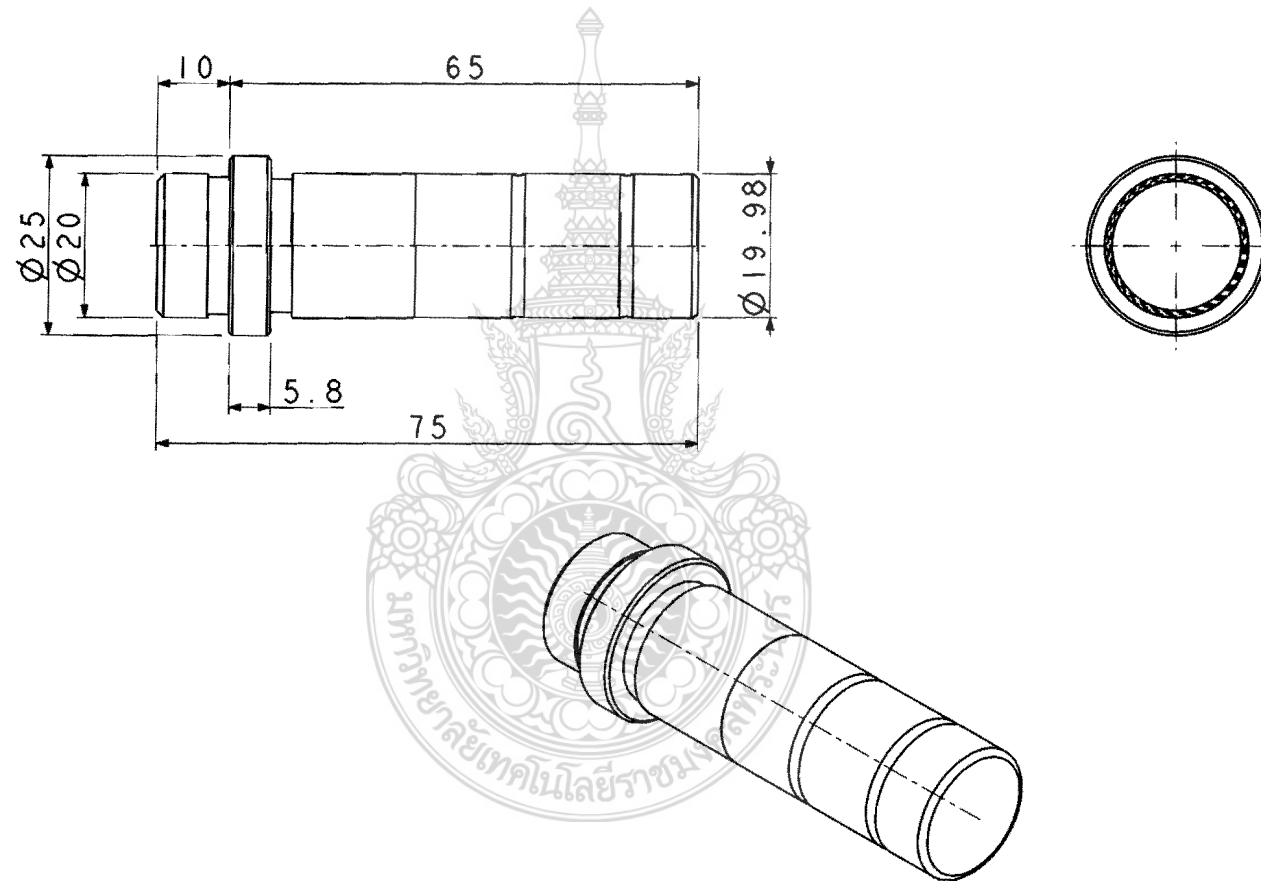
SECTION A-A
SCALE 1.000



PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	BUSH-A.20X35-42	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	14 16	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co.,Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
				DATE	02-Jul-11

MATERIAL	SUJ2
SIZE	GPA-20x65/75
QTY	4 pcs.
HARDNESS	60 HRC

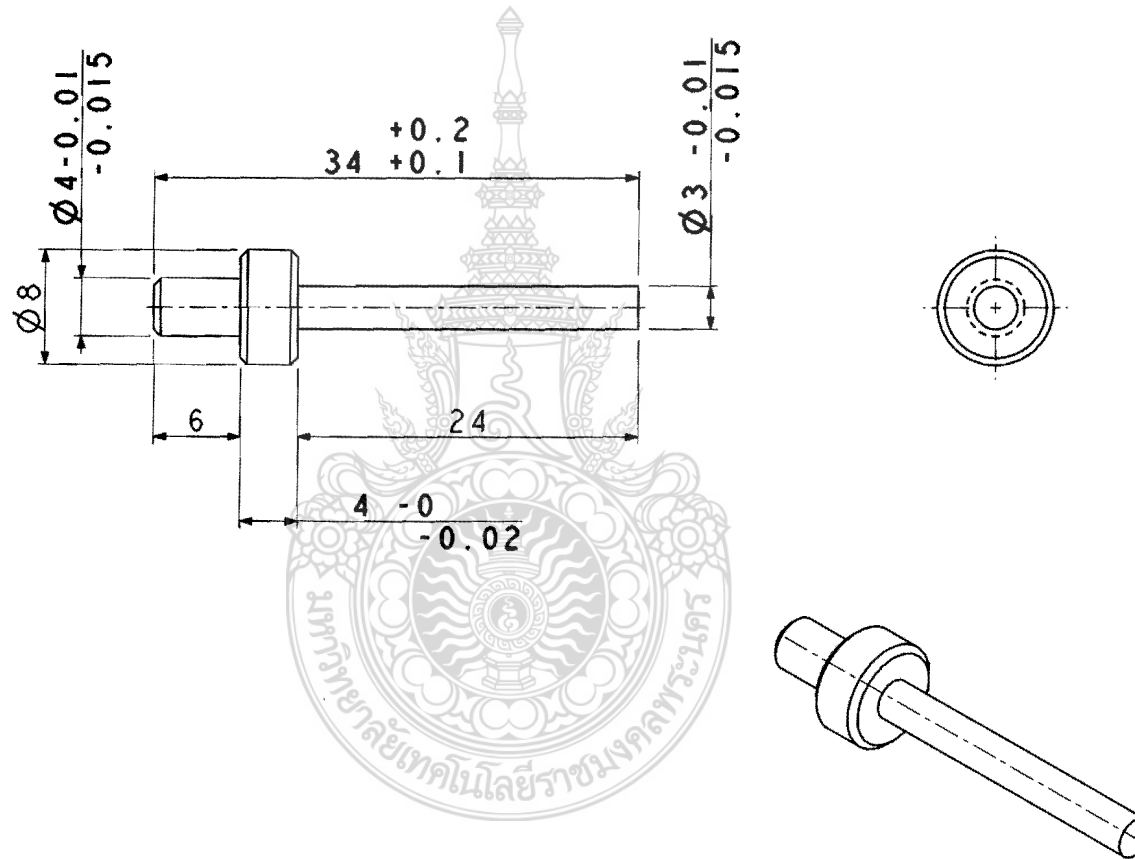
REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL



PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	GUIDE-PIN-20X65-75	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	15 16	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co.,Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
				DATE	02-Jul-11

MATERIAL	SKD61
SIZE	FX-4x34
QTY	25 pcs.
HARDNESS	40 HRC

REVISION		
REV-0	02-Jul-11	ORIGINAL



PROJECT	SPIRAL-MOLD-TEST			DRAW NO.	GMD-003-05
PART NAME	EJECTOR-PIN-3X34	TYPE	PART	DRAWN	C.SURAPONG
CLIENT	ENGINEERING DEPT.	SHEET	16 16	CHECKED	K.PRASONG
SUPPLIER	GMD Manufacturing Co.,Ltd.	UNIT	MM.	APPROVED	K.PRASONG
				DATE	02-Jul-11

HDPE Mat/t	0.5	1	1.5	2
1	52	117	243	303
2	50	118	247	303
3	51	118	244	303
4	53	118	243	302
5	54	118	250	301
6	53	117	248	300
7	53	116	245	300
8	53	117	237	300
9	53	119	243	299
10	53	118	240	303
11	53	117	241	301
12	53	117	247	299
13	53	117	246	298
14	50	114	240	303
15	53	115	241	300
16	50	115	238	302
17	54	118	241	300
18	51	118	238	301
19	50	117	239	300
20	54	117	239	302
21	52	117	239	301
22	53	115	237	298
23	53	118	240	303
24	54	117	241	300
25	54	116	238	303
26	50	117	239	302
27	50	116	237	298
28	53	117	241	298
29	52	115	243	300
30	53	115	238	299
31	52	116	246	301
32	51	117	239	298
33	54	115	238	299
34	52	116	236	301
35	50	118	239	300
36	52	117	243	298
37	52	117	236	300
38	52	118	237	301
39	52	117	236	302
40	53	118	237	298
41	50	117	237	301
42	52	117	237	298
43	52	115	240	297
44	53	116	240	298
45	51	115	236	298
46	53	115	236	303
47	53	116	237	301
48	54	116	232	298
49	54	116	234	297

HDPE Mat/t	0.5	1	1.5	2
50	54	117	235	302
51	53	119	236	303
52	53	117	239	297
53	53	116	233	298
54	51	118	235	298
55	53	117	240	297
56	53	118	235	302
57	52	117	235	297
58	52	116	237	297
59	53	116	240	298
60	50	116	233	298
61	53	116	238	297
62	53	115	239	297
63	50	117	238	303
64	54	117	240	300
65	54	119	240	297
66	52	118	238	297
67	54	118	233	298
68	52	117	238	298
69	50	117	237	300
70	53	118	240	298
71	54	116	237	298
72	53	116	240	300
73	52	116	236	298
74	51	118	238	299
75	53	118	239	297
76	50	115	239	302
77	51	116	233	296
78	52	118	235	296
79	51	117	237	297
80	54	115	233	297
81	50	116	236	297
82	53	116	237	298
83	54	116	236	300
84	52	118	235	297
85	52	118	237	298
86	53	118	237	301
87	54	119	237	300
88	51	119	238	297
89	51	118	237	297
90	53	116	236	300
91	50	115	236	298
92	52	119	239	300
93	54	118	238	296
94	53	116	235	297
95	54	119	236	301
96	52	118	237	297
97	50	116	238	297
98	52	117	237	298

HDPE Mat/t	0.5	1	1.5	2
99	51	116	238	299
100	52	117	237	298



PP Mat/t	0.5	1	1.5	2
1	63	186	244	310
2	63	185	249	310
3	65	186	249	310
4	63	187	248	310
5	62	187	246	310
6	63	186	250	310
7	65	185	250	310
8	62	187	249	310
9	65	186	245	310
10	65	185	248	310
11	66	186	250	310
12	63	187	250	310
13	62	187	255	310
14	62	185	247	310
15	64	184	252	310
16	63	185	248	310
17	64	185	248	310
18	63	185	245	310
19	63	185	244	310
20	62	185	243	310
21	65	185	247	310
22	66	186	243	310
23	63	186	253	310
24	64	187	250	310
25	61	186	247	310
26	62	186	250	310
27	61	182	246	310
28	65	183	245	310
29	65	187	243	310
30	63	187	246	310
31	65	187	247	310
32	67	185	250	310
33	66	187	250	310
34	64	184	250	310
35	63	183	257	310
36	62	183	257	310
37	61	186	245	310
38	63	186	245	310
39	63	187	246	310
40	62	184	241	310
41	63	185	243	310
42	65	187	244	310
43	62	185	243	310
44	62	183	246	310
45	65	183	245	310
46	65	187	248	310
47	65	186	247	310
48	67	186	243	310
49	62	187	248	310

PP Mat/t	0.5	1	1.5	2
50	62	185	242	310
51	63	185	244	310
52	64	186	248	310
53	64	185	242	310
54	63	182	248	310
55	66	182	245	310
56	66	187	248	310
57	64	183	246	310
58	66	187	248	310
59	67	185	242	310
60	63	183	245	310
61	63	184	248	310
62	64	187	247	310
63	62	184	242	310
64	62	187	247	310
65	67	187	243	310
66	65	185	243	310
67	62	185	248	310
68	62	187	242	310
69	67	187	243	310
70	62	185	244	310
71	68	184	242	310
72	63	182	246	310
73	63	184	243	310
74	63	186	243	310
75	62	185	244	310
76	63	183	243	310
77	62	186	246	310
78	64	186	242	310
79	63	187	249	310
80	64	184	244	310
81	67	182	244	310
82	64	187	246	310
83	62	185	244	310
84	63	184	243	310
85	62	182	243	310
86	64	184	242	310
87	64	187	242	310
88	65	187	242	310
89	65	185	246	310
90	64	187	243	310
91	63	182	243	310
92	63	184	245	310
93	66	183	246	310
94	64	184	243	310
95	65	183	247	310
96	68	183	244	310
97	64	183	246	310
98	67	184	243	310

PP Mat/t	0.5	1	1.5	2
99	63	185	245	310
100	65	186	243	310



ABS Mat/t	0.5	1	1.5	2
1	24	100	190	210
2	26	101	192	210
3	28	101	191	211
4	26	100	194	215
5	28	103	194	212
6	26	104	192	215
7	26	104	190	215
8	27	105	190	215
9	26	105	190	210
10	27	101	195	215
11	26	102	193	216
12	27	100	190	212
13	27	102	192	213
14	27	104	190	214
15	27	103	191	216
16	28	103	190	215
17	27	102	192	215
18	25	104	194	214
19	27	106	190	216
20	27	102	193	213
21	25	103	190	214
22	25	102	190	212
23	25	102	195	210
24	26	102	192	211
25	26	103	194	210
26	26	105	194	213
27	26	105	194	215
28	26	105	190	214
29	28	102	195	216
30	27	104	193	215
31	28	102	192	213
32	18	103	190	210
33	28	104	191	211
34	27	102	190	212
35	28	100	190	214
36	28	104	195	216
37	28	100	194	215
38	28	103	191	214
39	28	100	198	212
40	28	100	190	210
41	28	102	191	212
42	26	104	198	210
43	26	101	191	212
44	27	102	195	211
45	28	104	190	213
46	27	104	191	214
47	26	100	190	215
48	28	100	192	212

ABS Mat/t	0.5	1	1.5	2
49	27	102	193	213
50	28	102	194	214
51	26	104	196	215
52	26	102	192	216
53	28	100	192	214
54	26	103	195	215
55	27	102	191	213
56	28	104	194	215
57	26	104	195	216
58	25	104	196	218
59	26	102	190	213
60	26	105	193	210
61	26	100	195	212
62	26	101	195	214
63	25	100	195	211
64	25	102	190	213
65	26	100	196	216
66	26	101	197	214
67	28	101	198	213
68	27	102	190	215
69	27	102	192	210
70	25	103	198	211
71	25	104	197	213
72	26	102	190	214
73	27	104	190	216
74	27	102	195	210
75	26	102	190	212
76	25	101	193	212
77	28	101	197	211
78	27	102	198	213
79	26	101	198	210
80	26	104	194	210
81	25	102	190	212
82	28	100	192	213
83	27	104	198	214
84	25	100	197	215
85	26	104	190	210
86	25	103	190	213
87	25	105	196	214
88	26	104	195	215
89	27	102	198	216
90	26	102	197	214
91	25	101	196	213
92	26	104	198	212
93	26	102	197	210
94	25	104	196	212
95	26	102	198	210
96	28	101	195	211
97	25	102	196	215

ABS Mat/t	0.5	1	1.5	2
98	26	102	197	214
99	26	102	198	210
100	27	101	198	212

