

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

บทคัดย่อ
ของ
อนุศักดิ์ กาญจน์

- 6 ก.ค. 2548

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
เมษายน 2548

อนุศักดิ์ กาญจน์ (2548) การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ปริญญาณพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทร
วิโรฒ คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล, อาจารย์โอภาส สุขหวาน

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายคือ สร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีด
พลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการ
ไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน ชี้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอย
ประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ

นำแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์ไปทดลองฉีดเพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่
เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ประเมินผลด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ โดย
ผู้เชี่ยวชาญ

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกของแม่พิมพ์ตัวที่ 1

โดยการออกแบบ ให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกัน จุดบางที่สุดอยู่ที่ปลายสุดของแนวการไหล
ช่องทางน้ำเข้าพลาสติกมีขนาดเล็กและมีระบบหล่อเย็นไม่สมดุล แสดงผลแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจาก
แม่พิมพ์ที่ได้จากการฉีดจริงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.56 ส่วนการแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.34

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกของแม่พิมพ์ตัวที่ 2

โดยออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกันเป็นชั้น ๆ ตามแนวความยาวของชิ้นงาน และทางเข้า
ของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็กเข้าจุดที่หนาที่สุด แนวการไหลไปตามทิศทางความยาวของชิ้นงาน พร้อมกับให้
ชิ้นงานมีรูอยู่ตรงกลาง แสดงผลแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่ได้จากการฉีดจริงอยู่ในเกณฑ์ดี
มาก มีค่าเฉลี่ย 4.87 ส่วนการแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมอยู่ในเกณฑ์ดี
มีค่าเฉลี่ย 3.92

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกของแม่พิมพ์ตัวที่ 3

โดยออกแบบให้ชิ้นงานมีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีผนังกันตรงกลางแบ่งกล่องออกเป็น 4 ช่อง ผนัง
กันมีความหนาไม่เท่ากัน และที่มุมกล่องมีความหนามากกว่าความหนาของผนังโดยรวมและไม่ได้ทำระบาย
อากาศในแม่พิมพ์ แสดงผลแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่ได้จากการฉีดจริง อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
มีค่าเฉลี่ย 4.50 ส่วนการแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก
มีค่าเฉลี่ย 4.50

การประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์มี 4 ด้าน คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน
ลักษณะการบำรุงรักษาและความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยภาพรวม อยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ยรวม
4.61

PRODUCE PLASTIC MODELS TO IDENTIFY DEFECTIVE OF
PLASTIC INJECTION MOLD

AN ABSTRACT
BY
ANUSAK KANCHANEE

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Education degree in Industrial Educational
at Srinakharinwirot University

April 2005

Anusak Kanchanee (2005) *Produce plastic models to identify defective of plastic injection mold*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Ubprawit Suwakanthakul, Mr. Ophast Sookwhan.

The objective of this thesis is to produce plastic models identifying defects from 3 plastic injection molds which are

The 1st plastic injection mold: to produce the plastic model showing warpage, shrinkage, and flow mark.

The 2nd plastic injection mold: to produce the plastic model showing jetting, short shot, flashing, and weld line.

The 3rd plastic injection mold: to produce the plastic model showing sink mark, and air bubble.

The three plastic injection molds were tried out in order to produce plastic models identifying all the defects from them and evaluated by the specialists about their capability and their efficiency.

The 1st plastic injection mold was designed to produce the plastic model with different thickness and the thinnest part was at the end of the flow. Gate was small with the imbalance cooling system. The plastic models from the plastic injection represented well the warpage, shrinkage, and flow mark and the average value from the evaluation is 4.56. The average value for the results from computational models in CAE is 4.34.

The 2nd plastic injection mold was designed to produce the plastic model with different thickness and layers along the length of the model and hole in the middle. Also, gate was small and connected to the thickest part of the model. The flow direction was along the length of the model. The plastic models from the plastic injection represented well jetting, short shot, flashing, and weld line and the average value from the evaluation is 4.87. The average value for the results from computational models in CAE is 3.92.

The 3rd plastic injection mold was designed to produce the box-shaped plastic model with two partitions dividing the box into four sections. These two partitions had different thickness. Thickness at the corner of the box is largest and this mold did not have any air vents. The plastic models from the plastic injection represented well sink mark, and air bubble and the average value from the evaluation is 4.50. The average value for the results from computational models in CAE is 4.50.

The capability was divided into four parts: physical properties, functions, maintenance, and suitability. The overall results from the evaluation is good, the average value is 4.61

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ปริญญานิพนธ์
ของ
อนุศักดิ์ กาญจน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
เมษายน 2548
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ของ
นายอนุศักดิ์ กาญจน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

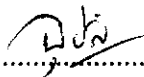


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)

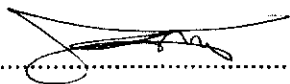
วันที่ 4 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



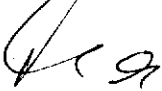
.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.อุวิทย์ สุวคันธกุล)



.....กรรมการ

(อาจารย์ไกรสร สุขหวาน)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน อันดับแรกผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์โอภาส สุขหวาน กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์ วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ ที่กรุณาร่วมเป็นคณะกรรมการสอบพร้อมทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ชัยวัฒน์ ชัยกุล ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้อำนวยการสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ที่สนับสนุนอนุญาตให้ใช้สถานที่ เครื่องมือ และเครื่องจักรในการสร้างชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณกมล วัจฉละญาณ คุณดุสิต จันทรเพ็ญ คุณพิสิฐ ชีรศิลป์ คุณปิยรักษ์ ปิยพันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการผู้เชี่ยวชาญในการตรวจประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รวมทั้งการให้ความคิดเห็น เสนอแนะในการสร้างชุดแม่พิมพ์ และยังให้คำแนะนำในการสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ทำให้แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกมีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณสมปอง อินทอง คุณชัยรัตน์ แก้วด้วง อาจารย์ ดร.อัญชนา วงษ์โต ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยเฉพาะ อาจารย์ ดร.อัญชนา วงษ์โต ที่ช่วยในการแก้ไขตรวจทาน ข้อความเนื้อหาในการวิจัย ส่งผลให้การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาซึ่งเป็นผู้ให้ตลอดมาและเป็นผู้สนับสนุนกระตุ้นเตือนพร้อมทั้งคอยให้กำลังใจรวมทั้งคุณอนุสรณ์ กาญจนี คุณอรุมา กาญจนี และผู้รู้ ปิยมิตร ที่มีอาภักถ์วามได้ทั้งหมด ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

อนุศักดิ์ กาญจนี

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายการวิจัย.....	2
ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	8
สมมติฐานการวิจัย.....	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
พลาสติก.....	11
ชนิดและคุณสมบัติของพลาสติก.....	12
วิธีการขึ้นรูปพลาสติก.....	13
การออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก.....	19
แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	27
ชนิดของแม่พิมพ์.....	27
วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์.....	31
การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	32
การวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์.....	43
เครื่องฉีดพลาสติก.....	50
ส่วนประกอบหลักของเครื่องฉีดพลาสติก.....	50
จังหวะการทำงานพื้นฐานในการฉีดพลาสติก.....	56
ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกและวิธีการแก้ไข.....	58
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม.....	66
โปรแกรมจำลองแบบ Mold Flow.....	66
ผลลัพธ์การจำลองแบบ.....	72
การเลือกสภาวะการฉีดที่เหมาะสมที่สุด.....	83
ข้อจำกัดของโปรแกรมจำลองแบบ.....	83
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	84
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	86
การออกแบบแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก.....	86
การสร้างชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์	88

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3(ต่อ) การทดลองนำชุดแม่พิมพ์ไปปฏิบัติการฉีดเพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติก ที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก.....	93
การประเมินชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยผู้เชี่ยวชาญโดยการประเมินผล ด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์.....	93
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	98
การประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง ในงานฉีดพลาสติก.....	98
การประเมินประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง ในงานฉีดพลาสติก.....	101
ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ.....	106
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	107
ความมุ่งหมายการวิจัย.....	107
ความสำคัญของงานวิจัย.....	107
สมมติฐานการวิจัย.....	108
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	108
ผลการวิจัย.....	109
อภิปรายผล.....	112
ข้อเสนอแนะ.....	115
บรรณานุกรม.....	117
ภาคผนวก.....	119
ก. แบบส่วนประกอบของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และแบบชิ้นงานแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก.....	120
ข. คู่มือการใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	137
ค. แบบสอบถามประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก.....	149
ง. แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	170
จ. แบบตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบประเมินสมรรถนะและ ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	177

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ฉ. รูปภาพแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก และชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	186
ช. หนังสือขอความอนุเคราะห์.....	195
ซ. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	204
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	207

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 รายการชิ้นส่วนวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 1.....	88
2 รายการชิ้นส่วนวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 2.....	89
3 รายการชิ้นส่วนวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 3.....	90
4 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	98
ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะทางกายภาพ	
5 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	99
ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะการใช้งาน	
6 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	100
ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะการบำรุงรักษา	
7 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	100
ในงานฉีดพลาสติก ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	
8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	101
ที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 1	
9 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	102
ที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 2	
10 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	103
ที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 3	
11 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	103
ที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจาก	
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 1	
12 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	104
ที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจาก	
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 2	
13 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลอง.....	105
ที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจาก	
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 3	
14 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	106
ในงานฉีดพลาสติก	
15 การประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่อง.....	162
ที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก	

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	8
2 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป.....	14
3 แม่พิมพ์ขึ้นรูปส่งผ่าน.....	14
4 แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูป.....	15
5 แม่พิมพ์เป่าขึ้นรูป.....	16
6 แม่พิมพ์ขึ้นรูปกลวง.....	17
7 แม่พิมพ์ขึ้นรูปสูญญากาศ.....	18
8 การรีดขึ้นรูป.....	18
9 รอยหนาที่บริเวณใกล้กับพินเกจ (pin gate).....	22
10 ความหนาของผนังเมื่อทำการฉีดด้วยพลาสติกชนิดโครงสร้างเป็นระเบียบ.....	22
11 รูปอันเดอร์คัท (undercuts) ด้านในและด้านนอกของชิ้นงาน.....	24
12 รูชนิดต่าง ๆ	25
13 แบบที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมของรู.....	25
14 การทำงานของแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น.....	28
15 สัญลักษณ์ที่ใช้กันทั่วไปของเส้นแบ่ง.....	28
16 การทำงานของแม่พิมพ์ฉีดชนิด 3 แผ่น.....	29
17 การออกแบบทั่วไปของแม่พิมพ์แยกเป็น 2 ชั้น.....	30
18 แบบชิ้นงานที่จะผลิต.....	34
19 การแบ่งส่วนเพื่อหาปริมาตร.....	36
20 ตำแหน่งของควิตี้ (Cavity) ในแม่พิมพ์มาตรฐานขนาด 546 X 546 มม.	37
21 ระยะเปิดของแม่พิมพ์.....	38
22 ช่องน้ำพลาสติกเข้ากลางชิ้นงาน.....	39
23 ช่องรูน้ำพลาสติกเข้าด้านข้างของแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ทิศทางการไหลตามต้องการ.....	39
24 ช่องระบายอากาศบนส่วนแบ่งแม่พิมพ์ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.....	43
25 แสดงช่วงการฉีด.....	44
26 แสดงรายละเอียดช่วงการฉีด.....	45
27 การไหลแบบลูกโป่ง.....	46
28 การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำพลาสติกกับแม่พิมพ์.....	46
29 เปรียบเทียบอัตราการฉีด.....	47
30 อัตราการเย็นของน้ำพลาสติก.....	47
31 โอเรียนเตชัน (Orientation) และความเค้นตกค้าง.....	48
32 การไหลของน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์.....	49
33 การฉีดรูปงาน.....	49
34 โครงสร้างสกรู.....	51

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
35 แบบลูกสูบ.....	51
36 แบบมีสกรู.....	52
37 แบบใช้สกรูตัวเดียว.....	52
38 ระบบไฮดรอลิกในเครื่องฉีดพลาสติก.....	53
39 แบบใช้กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกปิด-เปิดแม่พิมพ์โดยตรง.....	54
40 แบบใช้ข้อเสื่อ.....	54
41 การปิดแม่พิมพ์ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2	56
42 ระยะเวลาใน 1 รอบการฉีด.....	58
43 การสร้างรูปทรงโดยจุด และเส้นตรง.....	67
44 โคจรตาข่าย.....	68
45 โมเดลแรงเงา.....	69
46 เวลาที่ใช้ในการฉีดเต็มเต็ม.....	72
47 อุณหภูมิ.....	73
48 ความดัน.....	73
49 ความเค้น.....	74
50 อัตราเฉือน.....	74
51 ชั้นผิวแข็งตัว.....	75
52 ทิศทางการไหล.....	75
53 แรงปิดแบบ.....	76
54 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น.....	76
55 ตารางความดันย้ำ.....	77
56 อุณหภูมิ (ฉีดย้ำ).....	77
57 ความดัน (ฉีดย้ำ).....	78
58 ความเค้นเฉือน (ฉีดย้ำ).....	78
59 ชั้นผิวแข็งตัว (ฉีดย้ำ).....	79
60 การหดตัวเชิงปริมาตร (ฉีดย้ำ).....	79
61 ภาพด้านหน้า.....	80
62 ภาพด้านซ้าย.....	80
63 ทิศทางตามแนวแกนเอ็กซ์ (X – direction).....	81
64 ทิศทางตามแนวแกนวาย (Y – direction).....	81
65 ทิศทางตามแนวแกนแซท (Z – direction).....	82
66 ระยะจัดรวม.....	82
67 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	97
68 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ.....	186

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
69 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว.....	186
70 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก เรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก.....	187
71 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน.....	187
72 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นไม่เต็ม.....	188
73 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบ.....	188
74 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน.....	189
75 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ.....	189
76 แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ.....	190
77 แบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว.....	190
78 แบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน.....	191
79 แบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ.....	191
80 แบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ.....	192
81 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก.....	192
82 แม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบและรอยประสาน.....	193
83 แม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ.....	193

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่มีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มาก สิ่งของต่าง ๆ รอบตัวเราล้วนมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบแทบทั้งสิ้น นับตั้งแต่เสื้อผ้า ของเด็กเล่น เครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องครัว เฟอร์นิเจอร์ อาคารบ้านเรือน รถยนต์ เรือ เครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกมากมาย (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2540 : 1)

กรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกนั้น โดยทั่วไปแล้วเราสามารถกระทำได้หลายกรรมวิธีด้วยกัน เช่น กรรมวิธีการอัดรีด (Extrusion) เพื่อผลิตภัณฑ์ขึ้นงานรูปพรรณต่าง ๆ ทั้งกลวงและตัน เช่น ท่อ กรอบประตู หน้าต่าง ฯลฯ กรรมวิธีการเป่าถุง และแผ่นฟิล์ม (Blown Film) กรรมวิธีการเป่าภาชนะกลวง (Blow moulding) กรรมวิธีการขึ้นรูปจากแผ่นฟิล์มพลาสติก (Thermoforming) กรรมวิธีการรีด (Calendering) การที่จะเลือกใช้กรรมวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดของพลาสติก และความเร็วในการผลิต แต่กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันก็คือ กรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection moulding) เพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี และได้หลายลักษณะงาน กรรมวิธีการทำงานไม่ซับซ้อน ราคาเครื่องจักรก็ไม่แพงจนเกินไป ตลอดจนพื้นที่ที่ใช้ในการทำการผลิตก็ใช้ไม่มากนัก เทียบกับกรรมวิธีการผลิตแบบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถทำงานได้กับพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดและผง และกับพลาสติกทุกประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เทอร์โมเซต (Thermosets) และอีลาสโตเมอร์ (Elastomers) (วิโรจน์ เดชะวิญญูธรรม. 2540 : 9)

ชิ้นงานพลาสติกจะดีมีคุณภาพถูกต้องตรงตามความต้องการของลูกค้าได้นั้น ขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีด ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์ ช่างทำแม่พิมพ์ และช่างฉีดพลาสติก จึงมีความสำคัญต่องานที่ทำขึ้น คุณภาพและความเชื่อถือได้ ของแม่พิมพ์มีผลต่อความถูกต้อง ความสวยงามของชิ้นงานและจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิต แต่ชิ้นงานพลาสติกที่ทำการฉีดออกมานั้น กว่าจะทำให้เป็นชิ้นงานพลาสติกที่สมบูรณ์มีคุณภาพทั้งรูปทรงที่ดูสวยงาม มีขนาดที่ถูกต้องตรงตามค่าที่กำหนดในแบบชิ้นงานสามารถนำมาใช้งานได้นั้น ต้องผ่านกระบวนการปรับแต่ง แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุอาจมาจากข้อจำกัดต่าง ๆ ของชิ้นงานพลาสติก เช่น รูปร่าง รูปทรง ลักษณะการใช้งาน หรือการออกแบบที่ไม่ถูกต้อง ทั้งการออกแบบชิ้นงานและการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก สิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่ข้อบกพร่องของชิ้นงานฉีดพลาสติกได้ เมื่อนำแม่พิมพ์นั้นมาทดลองฉีด และเป็นการยากที่ช่างเทคนิคฉีดพลาสติกจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก แก้ไขข้อบกพร่องนั้น ๆ ให้เป็นชิ้นงานพลาสติกที่สมบูรณ์ได้ เป็นสาเหตุของความสูญเสียทั้งเวลา และวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

เนื่องจากการแก้ไขข้อบกพร่องของการฉีดพลาสติก เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานพลาสติก ข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่นการหดตัว รอยฟ่น การบิดงอ รอยการไหลของน้ำพลาสติก ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ รอยประสาน รอยยุบ ฟองอากาศ เหล่านี้เป็นต้น เป็นปัญหาที่ยากต่อการพิจารณาและการแก้ไข ซึ่งเมื่อเราสามารถออกแบบและสร้างแบบจำลอง แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก โดยกำหนดกลุ่มข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงในแบบจำลองแต่ละชิ้นงาน แล้วทำการสร้างชุดแม่พิมพ์เพื่อทดลองฉีดชิ้นงานพลาสติก นำมาประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญและ โปรแกรมวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ ช่วยใน

เชิงวิศวกรรม (CAE : Computer Aided Engineering) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) และการประมาณค่า Approximation Method) ที่เรียกว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) ซึ่งวิเคราะห์การไหลตัวของน้ำพลาสติก จะแสดงผลออกมาเป็นรูปกราฟฟิก 3 มิติ ผลการประเมินจะได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางการใช้ในการออกแบบสร้างแม่พิมพ์ที่เกิปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดให้เกิดน้อยที่สุด และสามารถบอกเงื่อนไขในการฉีดที่ดี หรือที่เหมาะสมที่สุดมาใช้งาน ทำให้ลดเวลาในการทดลอง ลดการสิ้นเปลืองของวัสดุ สิ่งเหล่านี้เป็นส่วนช่วยในการประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการออกแบบ, ผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และพัฒนาผลิตภัณฑ์ งานชิ้นส่วนพลาสติก ตลอดจนสามารถนำชุดแม่พิมพ์นี้ไปใช้ในการฝึกอบรมเทคนิคการแก้ไขงานฉีดพลาสติก เพื่อเพิ่มศักยภาพของช่างฉีดพลาสติกในงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติกต่อไป

จุดมุ่งหมายการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก จำนวน 3 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว รอยการไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน ชี้นงานไม่เต็ม ครีบ และ รอยประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง รอยยุบ ฟองอากาศ ของชิ้นงานพลาสติก

2. เพื่อทดลองผลการฉีดพลาสติกจริง ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์

ด้านสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์

1. ลักษณะทางกายภาพ
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์

5. การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติก ที่ได้จากการฉีดจริง

6. การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

ความสำคัญของงานวิจัย

ผลของงานวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. นำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างแม่พิมพ์ที่เกิดข้อบกพร่องในงานฉีดให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด และสามารถหาเงื่อนไขการฉีดที่ดี หรือที่เหมาะสมที่สุดมาใช้งาน ทำให้ช่วยในการลดเวลาในการออกแบบ สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และการผลิตชิ้นงานพลาสติก
2. ชุดแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรม เทคนิคการแก้ไขงานฉีดพลาสติก เพื่อเพิ่มศักยภาพของช่างฉีดพลาสติกในงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. การออกแบบสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก จำนวน 3 แม่พิมพ์ เพื่อให้เกิดแบบจำลองข้อบกพร่องเป็น 3 กลุ่ม โดย
 - 1.1. แม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดในงานฉีดพลาสติก เรื่องการโก่งงอ การหดตัว รอยการไหลของน้ำพลาสติก เป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 เพลท (2 plate) มี 1 คาวิตีทางเข้าเป็น Sprue gate
 - 1.2. แม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดในงานฉีดพลาสติก เรื่องรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็มกริบ และรอยประสานเป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 เพลท (2 plate) มี 2 คาวิตี ทางเข้าน้ำพลาสติกเป็น side gate มีทางเข้าคาวิตีละ 2 ทางสามารถบล็อด (Block) ทางเข้ากันไม่ให้ น้ำพลาสติกไหลผ่านได้
 - 1.3. แม่พิมพ์แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดในงานฉีดพลาสติก เรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ เป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 เพลท (2 plate) มี 1 คาวิตี ทางเข้าน้ำพลาสติกแบบ sprue gate
 - 1.4. ขนาดของแม่พิมพ์ 200 x 250 x 220 มม. เหมือนกันทั้ง 3 ชุด
 - 1.5. ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ของแม่พิมพ์ทั้ง 3 ชุด มีชิ้นส่วนหลักดังต่อไปนี้
 - 1.5.1. แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน (Top clamping plate)
 - 1.5.2. แผ่นแม่พิมพ์ด้านบั่ว (Cavity plate)
 - 1.5.3. แผ่นแม่พิมพ์ด้านคอร์ (Core plate)
 - 1.5.4. อินเสิร์จคอร์ (Insert core)
 - 1.5.5. อินเสิร์จคาวิตี (Insert cavity)
 - 1.5.6. แท่งรอง (Spacer block)
 - 1.5.7. แผ่นกระทุ้ง (Ejector plate)
 - 1.5.8. แผ่นใส่สลักกระทุ้ง (Ejector retainer plate)
 - 1.5.9. ปลอกรูฉีด (Sprue bush)
 - 1.5.10. แหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)
 - 1.5.11. เพลาน้ำ (Guide pin)
 - 1.5.12. ปลอกน้ำ (Bushing)
 - 1.5.13. สลักดันกลับ (Return pin)
 - 1.5.14. สลักดันปลด (Ejector pin)
 - 1.5.15. แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง (Bottom clamping plate)

- 1.6. นำแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นไปทดลองฉีดให้ได้ชิ้นงานตามคู่มือและข้อแนะนำในการฉีด
2. ตัวอย่างชิ้นงานพลาสติกที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 แม่พิมพ์ รวมทั้งหมด 15 ชิ้น นำมาประเมินผลการสร้าง แบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกโดยผู้เชี่ยวชาญและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์เชิง วิศวกรรม โดยใช้โปรแกรม Mold Flow วิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติก โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก และข้อมูลการฉีด ที่ทดลองไว้ในข้อที่ 1.6
3. ประเมินผลการทดลองโดยการฉีดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์ โดยผู้เชี่ยวชาญ
 - ด้านสมรรถนะชุดแม่พิมพ์
 - 3.1. ลักษณะทางกายภาพ
 - 3.2. ลักษณะการใช้งาน
 - 3.3. ลักษณะการบำรุงรักษา
 - 3.4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน
 - ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์
 - 3.5. การแสดงผลแบบจำลอง แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง
 - 3.6. การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม โดยกำหนดตัวแปรที่ศึกษาไว้ดังนี้
 - แม่พิมพ์ตัวที่ 1 ตัวแปรที่ศึกษาเป็นลักษณะแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นการโก่งงอ การหดตัว รอยการไหลของน้ำพลาสติก
 - แม่พิมพ์ตัวที่ 2 ตัวแปรที่ศึกษาเป็นลักษณะแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน
 - แม่พิมพ์ตัวที่ 3 ตัวแปรที่ศึกษาเป็นลักษณะแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยยุบ ฟองอากาศ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. แบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ หมายถึง

การออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่กำหนดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของงานฉีดพลาสติกให้ เกิดตามที่คุณออกแบบกำหนดให้เป็น แสดงออกมาในรูปแบบของข้อบกพร่องแบบต่าง ๆ ในชิ้นงานนั้นๆ โดยการสร้างแม่พิมพ์ เป็นเครื่องมือที่จะนำไปทดลองฉีดชิ้นงานออกมาเพื่อแสดงผล
2. ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก หมายถึง

ลักษณะของชิ้นงานพลาสติกหรือตัวผลิตภัณฑ์ทางด้านพลาสติกที่ทำการฉีดออกมาแล้วมีปัญหา หรือมีรอยตำหนิที่บนชิ้นงานพลาสติกนั้นที่ไม่สามารถยอมรับได้ เป็นงานที่เสียไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน อาจจะมาจากแม่พิมพ์ สภาพการฉีดที่ไม่เหมาะสม เครื่องฉีดพลาสติก วัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก) ที่ใช้เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิด

จากแม่พิมพ์ ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่พบได้ เช่น การโก่งงอ การหดตัว รอบการไหลของพลาสติก รอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม และอื่น ๆ

3. การโก่งงอ (warpage) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานพลาสติกที่บิดเบี้ยว ผิดรูปร่าง สาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดความเค้นตกค้างในเนื้อชิ้นงาน

4. การหดตัว (shrinkage) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดหดตัว มีขนาดเล็กลงกว่าที่ต้องการ เกิดจากเนื้อของพลาสติกไม่แน่น เนื่องจากการอัดตัวไม่เพียงพอ

5. รอยการไหลของน้ำพลาสติก (Flow mark) หมายถึง

ลักษณะผิวชิ้นงานตรงบริเวณทางน้ำพลาสติกเข้า จะเป็นคลื่นเหมือนรอยวงปีของต้นไม้ เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำไป พลาสติกจะเย็นตัว และไหลไม่สะดวก

6. รอยฟัน (Jetting) หมายถึง

ลักษณะมีรอยบนผิวชิ้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของน้ำพลาสติกบนชิ้นงานพลาสติก เนื่องจากพลาสติกถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ตรงส่วนที่หนา โดยผ่านช่องทางเข้าที่มีขนาดเล็ก ด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดการไหลวนขึ้น

7. ชิ้นงานไม่เต็ม (Short shot) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานเกิดรอยแห้วตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของชิ้นงานพลาสติกของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เกิดจากการไหลของพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ช้า พลาสติกเหลวเย็นตัวลง ความหนืด จึงเพิ่มมากขึ้น พลาสติกเหลวเข้าไม่เต็มในแม่พิมพ์

8. ครีป (Flashing) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานเป็นแผ่นพลาสติกบาง ยื่นออกมาจากขอบชิ้นงานพลาสติก เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป ความดันในการฉีดมากเกินไป แม่พิมพ์มีรอยแยกในแนวประกบของแม่พิมพ์

9. รอยประสาน (Weld line) หมายถึง

ลักษณะเป็นรอยต่อของน้ำพลาสติกที่ไหลมาบรรจบกันเกิดเป็นรอยที่เนืองานของชิ้นงานพลาสติกเกิดจากการความเร็วในการฉีดต่ำไป ทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวลดลง หรือการไหลตัวของน้ำพลาสติกเหลวไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำไป

10. รอยยุบ (Sink mark) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานพลาสติกเป็นรอยเว้าลึกลงไป บนผิวของชิ้นงานทำให้ผิวด้านบนไม่ราบเรียบ โดยเฉพาะส่วนที่มีความหนามาก ๆ และตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์ เกิดจากเนื้อพลาสติกในชิ้นงานไม่แน่นพอ ที่จะต้านทานการหดตัวได้

11. ฟองอากาศ (Air bubble) หมายถึง

ลักษณะชิ้นงานที่มีโพรงช่องว่าง ตกค้างภายในชิ้นงานพลาสติก เกิดจากอากาศภายในแม่พิมพ์ระบายออกไม่ทัน กับแรงดันฉีดที่ฉีดน้ำพลาสติกเข้ามาในช่องที่แคบ ๆ และเกิดจากการที่ไม่มีทางระบายอากาศในแม่พิมพ์

12. การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง

การประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ โดยสมรรถนะของแม่พิมพ์ ประเมินจากลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินจากการแสดงแบบจำลองที่แสดงการเกิดข้อบกพร่องของงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากการนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีดจริงและประเมินจากแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม แล้วแสดงผลออกมาตรงกับตัวแปรที่ศึกษาของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

13. การประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม หมายถึง

การใช้โปรแกรม Mold Flow ช่วยวิเคราะห์เพื่อทำนายผลการฉีด ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเหลวการถ่ายเทความร้อน และความดัน ตลอดจนปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลที่ได้ช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพและความเหมาะสมของกระบวนการฉีดและแสดงการเกิดข้อบกพร่องของแบบจำลองชิ้นงานพลาสติกโดยการแสดงออกมาเป็นภาพกราฟฟิค 3 มิติ แล้วนำไปประเมินโดยการเปรียบเทียบกับลักษณะแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 กลุ่มข้อบกพร่องของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

14. สมรรถนะของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หมายถึง

ความสามารถของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่จะนำไปฉีดเพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ซึ่งสามารถจัดสมรรถนะของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้ 4 ด้านดังนี้

14.1. ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง

ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสม สามารถนำฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ และชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนประกอบได้ พร้อมทั้งมีความแข็งแรงมีความปลอดภัยในการใช้งาน

14.2. ลักษณะการใช้งาน หมายถึง

การปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และสามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ติดขัด โดยมีคู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์

14.3. ลักษณะการบำรุงรักษา หมายถึง

สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้ โดยสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย และชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย

14.4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน หมายถึง

สามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้อย่างสะดวก ไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติกให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้ และมีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงานฉีดพลาสติก

15. ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หมายถึง

การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ โดย

15.1. ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของชุดแม่พิมพ์ โดย

แม่พิมพ์ตัวที่ 1: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ

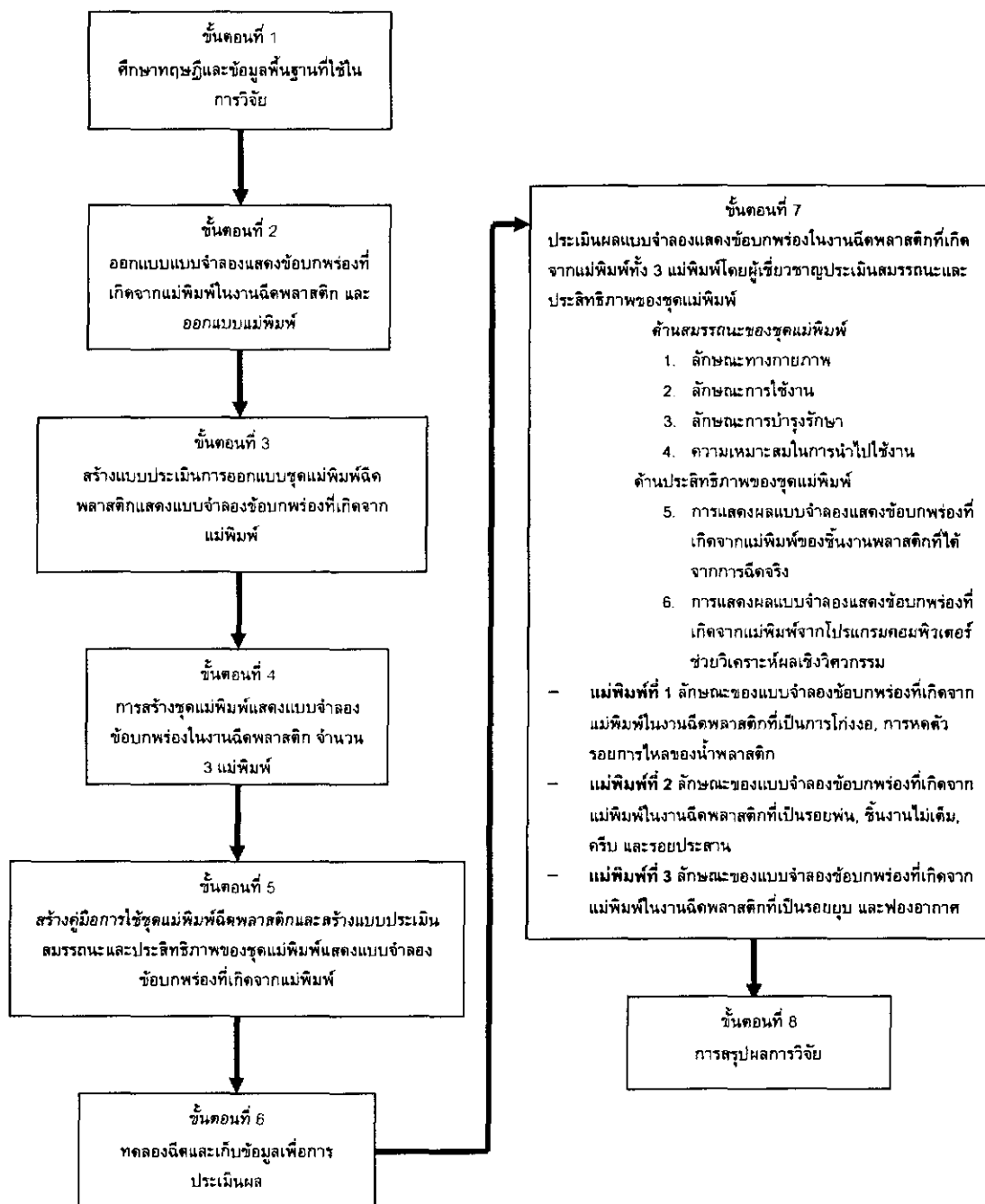
15.2. ประเมินผลโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของชุดแม่พิมพ์ โดย

แม่พิมพ์ตัวที่ 1: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอการหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ทั้ง 4 ด้าน คือ

1. ลักษณะทางกายภาพ
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์อยู่ในเกณฑ์ดี

การประเมินประสิทธิภาพของแม่พิมพ์

1. การแสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกที่ได้ฉีดจริง
2. การแสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม ในหัวข้อดังต่อไปนี้

แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองเรื่อง การโค้งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงแบบจำลองเรื่อง รอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงแบบจำลองเรื่อง รอยยุบ และฟองอากาศ

สามารถแสดงผลข้อบกพร่องได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 3 แม่พิมพ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก มีผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนำเสนอตามลำดับ ดังนี้

1. พลาสติก

- 1.1 ชนิดและคุณสมบัติของพลาสติก
- 1.2 วิธีการขึ้นรูปพลาสติก
- 1.3 การออกแบบชิ้นงานพลาสติก

2. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

- 2.1 ชนิดของแม่พิมพ์
- 2.2 วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์
- 2.3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 2.4 การวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์

3. เครื่องฉีดพลาสติก

- 3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องฉีดพลาสติก
- 3.2 จังหวะการทำงานพื้นฐานในการฉีดพลาสติก

4. ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกและวิธีการแก้ไข

5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

- 5.1 โปรแกรมจำลองแบบ Mold Flow
- 5.2 ผลลัพธ์การจำลองแบบ
- 5.3 การเลือกสภาวะการฉีดที่เหมาะสมที่สุด
- 5.4 ข้อจำกัดของโปรแกรมจำลองแบบ

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยกลุ่มมาโครโมเลกุล (Macromolecule) มีโครงสร้างเป็นระเบียบมีคุณสมบัติทั่วไปคือ ความเหนียวทนต่อการฉีกขาด ยืดหยุ่นได้ดี และทนต่อการสึกหรอได้ดี

พลาสติกเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่งซึ่งส่วนมากได้มาจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติซึ่งมีอะตอมของ C (คาร์บอน) และ H (ไฮโดรเจน) ประกอบกันเป็นส่วนใหญ่

พลาสติกเป็นสารประกอบโมเลกุลสูงที่มีชื่อทางเคมีว่า โพลีเมอร์ (Polymer) ซึ่งได้มาจากธรรมชาติหรืออาจสังเคราะห์ขึ้นมา วัสดุโพลีเมอร์ตามธรรมชาติสามารถพบได้ทั่วไป เช่น ยางธรรมชาติ เซลลูโลส โปรตีนและวัสดุโพลีเมอร์สังเคราะห์จะมีความสำคัญในชีวิตประจำวันมากกว่า

มาโครโมเลกุลประกอบไปด้วยโมโนเมอร์จำนวนมากมายซึ่งมาโครโมเลกุลนั้นสามารถสังเคราะห์ได้จากสารประกอบจาก 2 ธาตุ หรือหลาย ๆ ธาตุที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) มาทำปฏิกิริยาเชิงซ้อน (Polyreaction) ซึ่งประกอบด้วยขบวนการดังต่อไปนี้

ก. ขบวนการ Polymerisation

เกิดจากสารประกอบแบบไม่อิ่มถูกสลายตัวเป็นโมโนเมอร์โดยใช้แสงความร้อน ความดัน และสารประกอบแบบไม่อิ่มตัวที่อยู่ใกล้ก็ถูกกระตุ้นให้สลายตัวต่อไปด้วยปฏิกิริยานี้ จะเกิดต่อเนื่องเป็นลูกโซ่จนกว่าจะถูกทำให้ขาดลง พลาสติกที่ได้จากขบวนการนี้ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) โพลีสไตรีน (PS) และโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)

ข. ขบวนการ Polyaddition

เป็นการรวมโมโนเมอร์สองชนิดที่ต่างกันโดยแต่ละชนิดเป็นสารประกอบ 2 ธาตุ หรือหลายธาตุ การรวมกันของโมโนเมอร์จะทำให้อะตอมต่าง ๆ สลับที่กัน ขบวนการนี้จะใช้ผลิตพลาสติก โพลียูรีเทน (Polyurethane) และอีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin)

ค. ขบวนการ Polycondensation

เป็นการรวมโมโนเมอร์สองชนิดที่ต่างกันโดยขณะรวมตัวกันจะเกิดโมเลกุลต่ำที่แยกตัวออกมาซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยาหลาย ๆ ครั้ง โซโมเลกุลจะจับตัวเป็นตาข่ายกลายเป็น เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

ถ้าเกิดปฏิกิริยาเพียงสองครั้ง โซโมเลกุลจะจับตัวเป็นเส้นกลายเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

ง. ขบวนการ Copolymerisation และ Polyblen

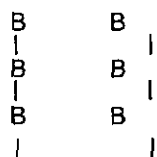
เป็นการรวมโพลีเมอร์ที่ต่างชนิดกันจะทำให้ได้โพลีเมอร์ชนิดใหม่ซึ่งเรียกว่า โคโพลีเมอร์ (Copolymer) และการนำโพลีเมอร์ต่างชนิดกันมาผสมกันทางกลเรียกว่า Polyblend

พลาสติกที่ได้จากขบวนการนี้จะมีคุณสมบัติที่แน่นอนเพราะโซโมเลกุลของโมโนเมอร์จะต่อกันเป็นช่วง ๆ ซึ่งมีปฏิกิริยาอยู่ 3 แบบ

แบบที่ 1 - A - A - A - B - B - A - A - B - B - B - B - A - A - A - B

เรียกว่า Blockcopolymerisation เช่น SAN (Styrene - Acrylnitrile)

แบบที่ 2 – A – A – A – A – A – A – A – A – A



เรียกว่า Ppropfpolymerisation เช่น ABS (Acrylnitrile-Butadien-Styrene)

แบบที่ 3 – A – A – A – A – A – A – A – A – A

B – B – B – B – B – B – B – B – B

เรียกว่า Polyblend เช่น PVC (Polyvinylchloride) ชนิดทนแรงกระแทกสูง

1.1 ชนิดและคุณสมบัติของพลาสติก

1.1.1 พลาสติกแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ตามโครงสร้างและคุณสมบัติได้ 3 กลุ่มใหญ่คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)
2. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)
3. อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

1.1.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้น และเกาะกันอยู่ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หลังจากถูกขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้วเปรียบเสมือนน้ำแข็ง หรือขี้ผึ้งเมื่อถูกความร้อนจะละลายเป็นของเหลว เมื่อเย็นตัวลงจะกลับสู่สภาพแข็งตัวอีก ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ ขวดน้ำ ถังน้ำ ชัน กระดาษพลาสติก เป็นต้น

เทอร์โมพลาสติกยังแบ่งตามโครงสร้างได้อีก 2 ประเภท คือ

1. แบบมีผลึก (Partial crystalline Thermoplastics หรือ Crystalline)

พลาสติกประเภทนี้ประกอบด้วยโมเลกุลที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โมเลกุลจะอยู่ใกล้ชิดกันความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี แต่มีลักษณะขุ่น เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวกระจายแสง ตัวอย่างเช่น PE, PP, POM, PTFE, PETP เป็นต้น

2. แบบไม่มีผลึก (Amorphous Thermoplastic)

พลาสติกประเภทนี้ประกอบด้วย โมเลกุลที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โมเลกุลจะอยู่ห่างกัน ความแข็งแรงน้อยกว่า ทนต่อความร้อนได้ต่ำกว่า แต่มีลักษณะใสกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกมีผลึก ตัวอย่าง เช่น PS, ABS, SA, PMMA, PVC, PC เป็นต้น

1.1.1.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้นที่เกาะกันเป็นตาข่าย เทอร์โมเซตติงเป็นพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านวิธีการผลิตด้วยความร้อน แรงอัด หรือการหล่อขึ้นรูป แล้วจะไม่สามารถนำหลอมละลายเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้อีกตัวอย่าง เช่น Phenolic, Melamine, Polyester Eposey, Resin ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเทอร์โมเซตติง ได้แก่ ถ้วยชามเมลามีน มือจับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

1.1.1.3 อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติ ความแข็ง และการยืดตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอยู่ที่อุณหภูมิห้องจะมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมเซตติง แต่ถ้าอยู่ต่ำกว่าศูนย์องศาจะมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก เมื่ออีลาสโตเมอร์ถูกผ่านกรรมวิธีการผลิตแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ ตัวอย่าง เช่น ยางสังเคราะห์ที่ใช้ทำยางรถยนต์

พลาสติกเป็นสารที่มีคุณสมบัติ ทนต่อการกัดกร่อนมีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี สามารถนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางจึงควรเลือกใช้พลาสติกให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

1.1.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติก

1.1.2.1 มีความหนาแน่นต่ำ พลาสติกโดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.9-1.4 g/cm³

1.1.2.2 ทนต่อสารเคมี สามารถทนกรด ด่าง สารละลายต่าง ๆ และทนต่อการหมอง โดยทั่วไปจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 ถึง 250 องศา

1.1.2.3 เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี

1.1.2.4 คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น

1.1.2.5 มีความทนทานต่อสภาพอุณหภูมิที่จำกัด ณ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงยืดเหนียวโมเลกุลลดลงเพราะความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันของโมเลกุลทำให้วัสดุอ่อนตัว และอาจหลอมละลายได้

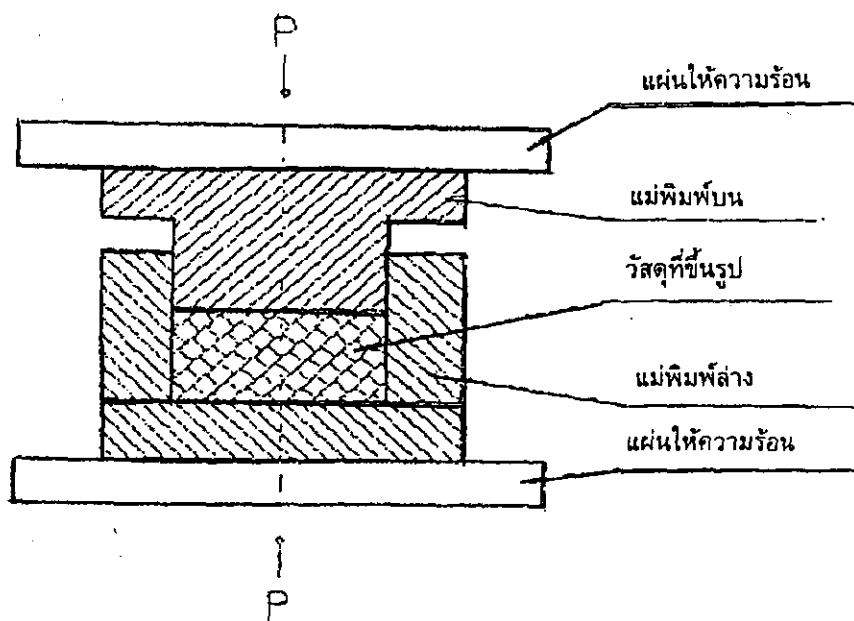
1.1.2.6 การพองตัว และการละลาย ถ้าเติมสารละลายลงไปทำให้แรงยืดเหนียวโมเลกุลลดลง วัสดุจะพองตัว และละลายในที่สุด

1.2 วิธีการขึ้นรูปพลาสติก (Forming method of plastics)

สำหรับพลาสติก เทอร์โมเซตติง

1.2.1 การอัดขึ้นรูป (Compressing forming)

การอัดขึ้นรูปเป็นวิธีพื้นฐานของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก ทำโดยใช้วัตถุดิบที่เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตติงลงในแม่พิมพ์ที่ได้รับความร้อนและทำให้อยู่ตัว โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป เป็นการให้ความร้อนกับความดันในการขึ้นรูป โดยทั่วไปจะใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกเมื่อได้รับความร้อน ในกรณีของแม่พิมพ์เล็ก แม่พิมพ์ถูกหยิบออกจากเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยมือ เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่ควรนานเกิน 5 นาที จะส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานลดลงได้

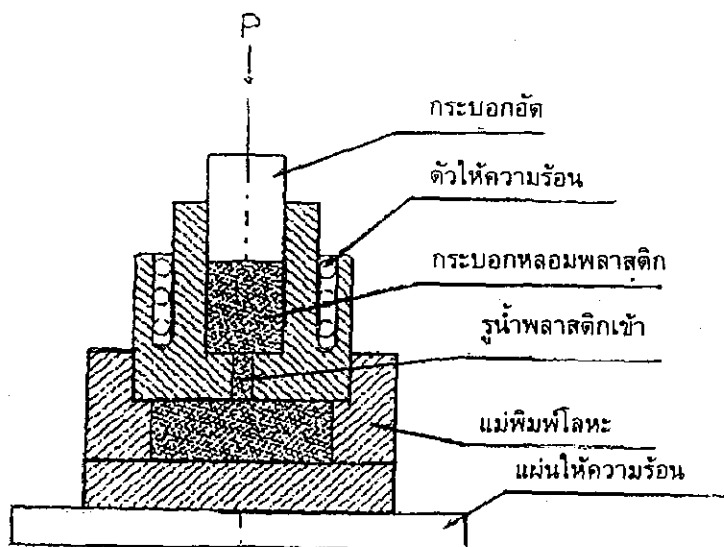


ภาพประกอบ 2 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:1)

1.2.2 การขึ้นรูปส่งผ่าน

การขึ้นรูปส่งผ่าน เป็นวิธีการขึ้นรูปพลาสติก วัสดุที่ใช้เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตติงเท่านั้น ในการอัดขึ้นรูปพลาสติกที่แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน ทำวัสดุดิบให้หลอมเหลวในกระบอกอัดส่งผ่านความร้อนและอัดเข้าไปใน Cavity ผ่านรูเล็กที่เรียกว่ารูนำพลาสติกเข้า (gate) และทำให้อยู่ตัว



ภาพประกอบ 3 แม่พิมพ์ขึ้นรูปส่งผ่าน

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:2)

1.2.3 การฉีดขึ้นรูป

การฉีดขึ้นรูป เป็นวิธีการขึ้นรูปพลาสติกวิธีหนึ่งที่มีปริมาณที่มากที่สุดประมาณ 30 % ของพลาสติกทั้งหมด เป็นการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ แต่ก่อนการฉีดขึ้นรูป ใช้วัตถุดิบที่เป็นเทอร์โมพลาสติกเท่านั้น แต่ปัจจุบันนี้การอัดขึ้นรูปใช้วัตถุดิบที่เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตติง ยาง และผงโลหะ เพื่อทำชิ้นงานโลหะด้วย

การฉีดขึ้นรูปเป็นขบวนการขึ้นรูป มีทั้งการฉีดอัดและการขึ้นรูปส่งผ่าน มารวมกัน

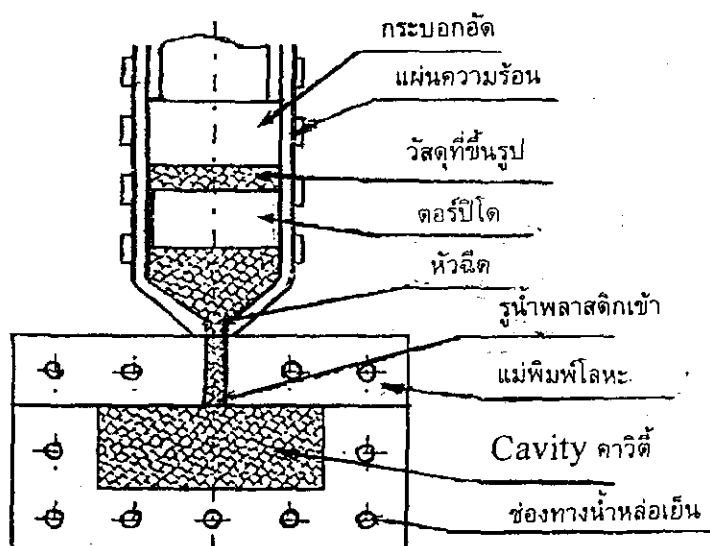
ช่วงแรก การหลอมละลายและการส่งไปข้างหน้าของพลาสติกคล้ายกับการฉีดอัดในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเหลวถูกรวบรวมในส่วนด้านหน้าของกระบอกอัดด้วยการเคลื่อนที่กลับของสกรู

ช่วงต่อมา เหมือนการขึ้นรูปส่งผ่าน พลาสติกเหลวถูกส่งไปที่ Cavity ของแม่พิมพ์ ผ่านหัวฉีด โดยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเกลียว ภายใต้ความดันสูงและความเร็วสูง หลังจากนั้นพลาสติกแข็งตัวในแม่พิมพ์และชิ้นงานถูกปลดออกโดยที่แม่พิมพ์เปิด

ชนิดของพลาสติกที่ไม่ได้ใช้ขบวนการฉีดขึ้นรูปคือโพลีเอทราฟลูออโรเอทิลีนเท่านั้น

การเลือกวัสดุแม่พิมพ์ สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเกี่ยวข้องกับลักษณะต่าง ๆ เช่น ราคา, คุณสมบัติที่จำเป็น, รูปร่างชิ้นงานต่าง ๆ ที่จะทำการผลิต พลาสติกถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ผ่านหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติก ถูกทำให้แข็งตัวใน Cavity ภายหลังจากการผ่านช่องที่นำพลาสติกไหล (sprue) ไปยังทางวิ่ง (runner) และรูนำพลาสติกเข้า (gate) ของแม่พิมพ์ ชิ้นงานแข็งตัวถูกปลดออกจากแม่พิมพ์โดยใช้กลไกการปลดชิ้นงานของเครื่องฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์เป็นส่วนสำคัญมากของการฉีดขึ้นรูป และสภาวะการฉีดขึ้นรูปจะสำเร็จหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจเลือกแม่พิมพ์

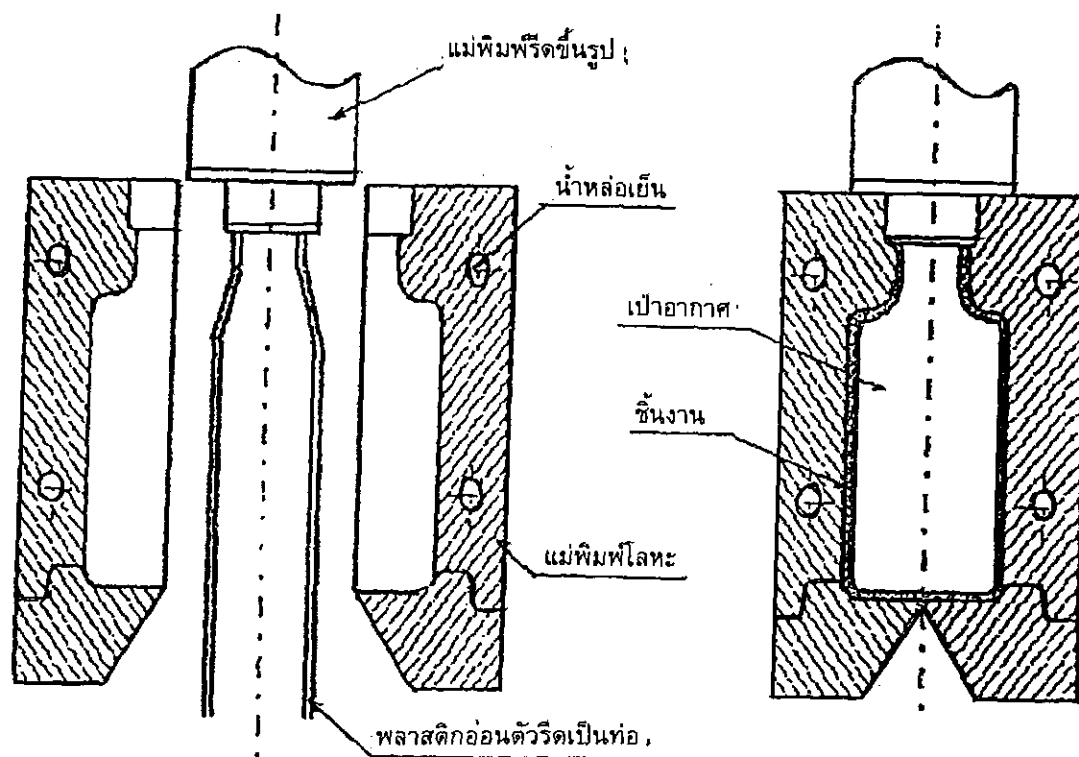


ภาพประกอบ 4 แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูป

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:3)

1.2.4 การเป่าขึ้นรูป (Blow molding)

การเป่าขึ้นรูป เป็นกระบวนการหลักที่ผลิตชิ้นงานที่กลวง เหมือนขวดทำจากเทอร์โมพลาสติก โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง ใช้พลาสติกชนิดนี้มากที่สุด สำหรับการเป่าขึ้นรูป ในการเป่าขึ้นรูป ท่อถูกรีดออกมาด้วยขบวนการรีด และขณะที่ท่อยังคงร้อน จะใส่ PARISON ด้วยวิธีอัดหรือฉีดขึ้นงาน 2 แผ่นประกบกกันเข้าไปในแม่พิมพ์เป่าขึ้นรูปให้ความร้อนจนอ่อนนุ่มแล้วเป่าอากาศเข้าไปภายในทำให้เกิดรูปกลวง



ภาพประกอบ 5 แม่พิมพ์เป่าขึ้นรูป

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:4)

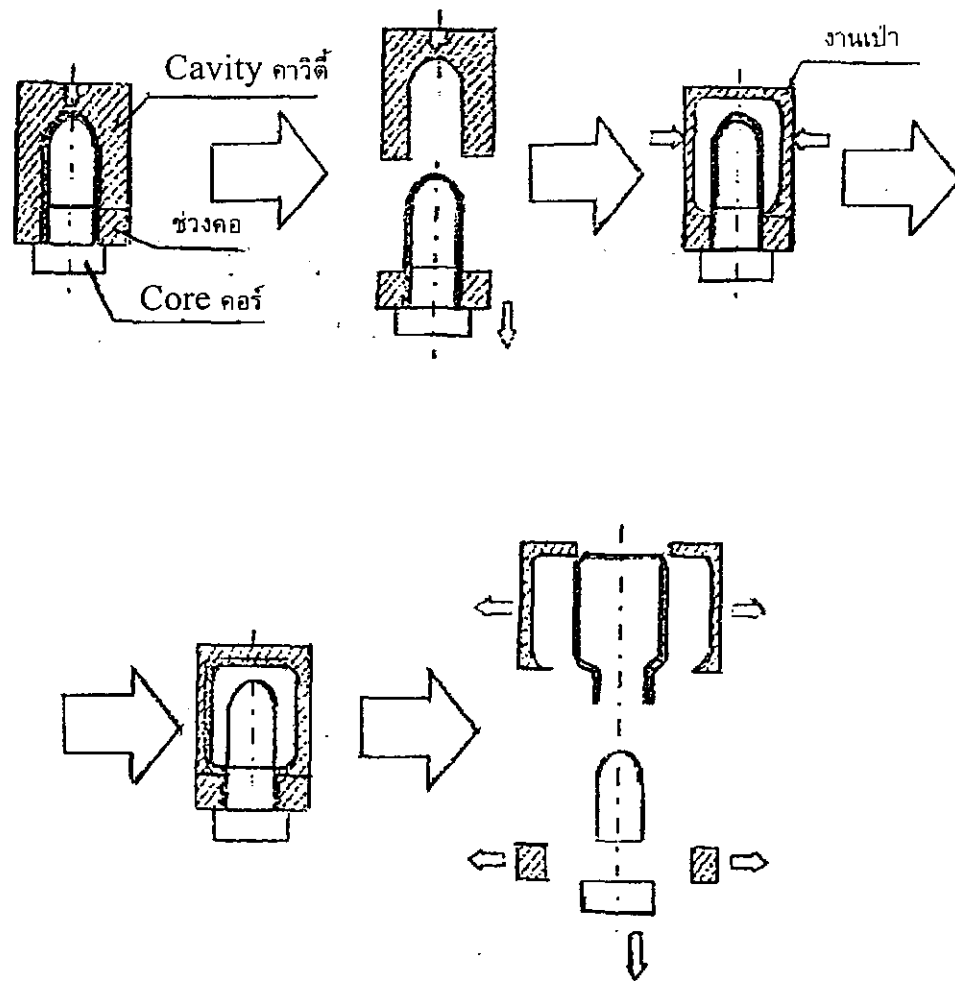
1.2.5 การฉีดขึ้นรูปกลวง (Injection hollow molding)

การฉีดขึ้นรูปกลวง เป็นวิธีการขึ้นรูปวิธีหนึ่งของพลาสติกที่อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน การฉีดขึ้นรูปกลวง เป็นการใช้ท่อที่มีก้น (เรียกว่า PARISON)

PARISON ใช้เรียกวัสดุรูปหลอดท่อก่อนทำให้พองในการฉีดด้วยการเป่า

PARISON ถูกทำให้ได้รับความร้อนและหลังจากนั้นขยายตัวเข้าไปในชิ้นงานกลวงด้วยการเป่าอากาศเข้าไป

และวิธีอื่นคือ PARISON ถูกผลิตโดยชุดการฉีดขึ้นรูป และขณะที่ PARISON ยังคงร้อน ชิ้นงานจะขยายตัวในแม่พิมพ์ด้วยการเป่าอากาศ



ภาพประกอบ 6 แม่พิมพ์ขึ้นรูปกลวง

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:5)

1.2.6 การขึ้นรูปสูญญากาศ

การขึ้นรูปสูญญากาศเป็นวิธีที่ถูกต้องและประหยัด ใช้สำหรับผลิตแผ่นฟิล์มโปร่งใสและผาครอบ

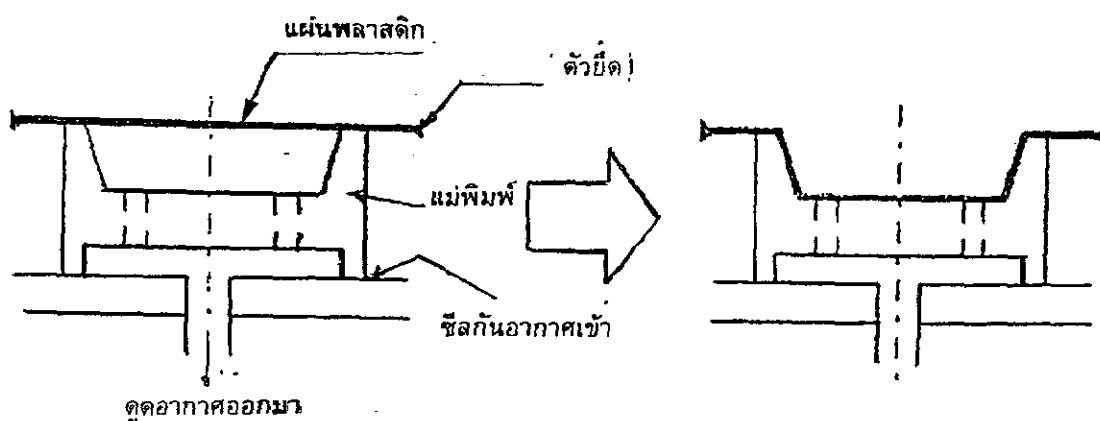
วิธีนี้ใช้แม่พิมพ์ตัวผู้หรือตัวเมียข้างเดียว นำแผ่นพลาสติกไปวางบนแม่พิมพ์ด้านหลังที่ทำให้ร้อนด้วยความร้อนแล้ว และทำให้ระหว่างแผ่นพลาสติกกับพิมพ์ด้านหลัง เป็นสูญญากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้แผ่นพลาสติกติดกับพิมพ์และได้รูปร่าง หลังจากนั้นพ่นลมเย็นลงไป ถอดเอาชิ้นงานออก

เครื่องที่ใช้วิธีขึ้นรูปสูญญากาศ เรียกว่า เครื่องขึ้นรูปสูญญากาศ

วิธีนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ใช้เป็นสูญญากาศ เพื่ออัดแผ่นพลาสติกที่ได้รับความร้อนบนแม่พิมพ์เรียกว่าการขึ้นรูปสูญญากาศ (Vacuum forming)

2. ใช้การอัดอากาศเรียกว่า การอัดขึ้นรูป (pressure forming)



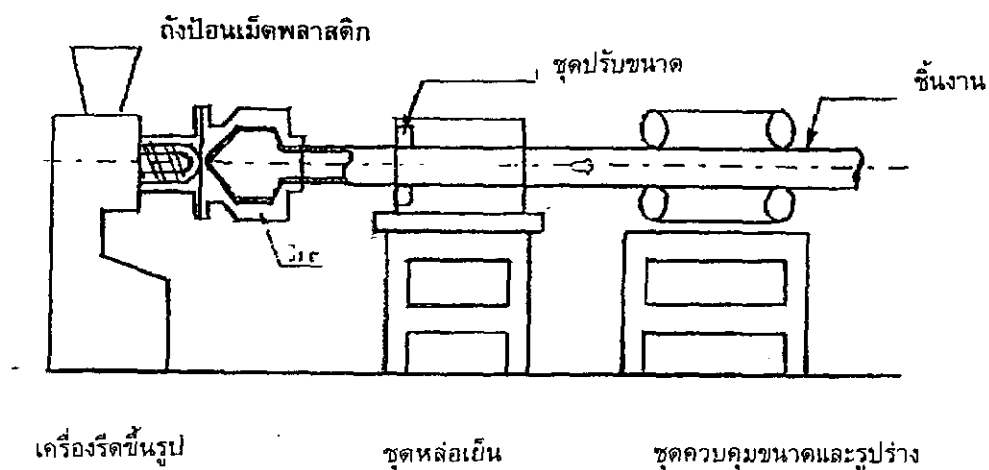
ภาพประกอบ 7 แม่พิมพ์ขึ้นรูปสูญญากาศ
(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:6)

1.2.7 การรีดขึ้นรูป

การรีดขึ้นรูป ไซล์ลิตท่อ

เทอร์โมพลาสติกถูกรีด ในรูปแบบกลมจากแม่พิมพ์, ถูกหล่อเย็น, ถูกปรับรูปร่างตามความต้องการ, ถอดออกและตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ รูปร่างที่ถูกรีด อาจจะไม่ได้ความโตและความหนาตามต้องการ ดังนั้น จำเป็นต้องกำหนดขนาดความโตภายนอกหรือขนาดความโตภายในที่แน่นอน โดยใช้การปรับขนาดแม่พิมพ์และหลังจากนั้น กำหนดความหนาของชิ้นงานที่แน่นอน โดยการปรับปริมาณการรีดของเครื่องรีดและชุดความเร็ว

ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตปริมาณมาก ท่อ PVC แข็ง, ท่อน้ำ และท่อ PVC อ่อน และท่อโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงและต่ำ



เครื่องรีดขึ้นรูป

ชุดหล่อเย็น

ชุดควบคุมขนาดและรูปร่าง

ภาพประกอบ 8 การรีดขึ้นรูป
(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2544:7)

1.2.8 ใช้กับวัสดุที่เป็นโฟม (Foam molding)

ใช้สำหรับผลิตวัสดุที่เป็นโฟม มีสีขาว น้ำหนักเบา และวัสดุที่เป็นฉนวน

1.2.9 การรีดขึ้นรูปแบบ Calendering

การรีดขึ้นรูปแบบ Calendering เป็นขบวนการผลิตฟิล์ม หรือพลาสติกบางด้วยการอัดพลาสติกเหลวระหว่าง 3 หรือ 4 ม้วน ที่ได้รับความร้อน

ปัจจุบันนี้ ขบวนการรีดขึ้นรูปแบบ Calendering ใช้ PVC เกือบทั้งหมด

ฟิล์ม, พลาสติกบาง, หนังเทียม และวัสดุปูพื้น ผลิตจาก PVC อ่อน และ PVC แข็ง

การรีดขึ้นรูปแบบ Calendering ต้องการค่าใช้จ่ายมาก เพื่อสร้างโรงงาน แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการผลิตสูงมาก เป็นประโยชน์ของการเพิ่มผลผลิตขนาดใหญ่

ในกรณีของแผ่น PVC อ่อน เป็นการผลิตชิ้นงานที่หนากว่าฟิล์มเท่านั้น และในกรณีของหนังเทียมผลิตด้วยการอัด PVC อ่อน บนเครื่องแต่งกาย

การรีดขึ้นรูปแบบ Calendering ผิวของฟิล์ม, พลาสติกบาง หรือหนังเทียม สามารถทำให้มีผิวหน้าที่ด้าน หรือทำให้เป็นลายนูนขึ้นมาได้ด้วย

1.3 การออกแบบชิ้นงานพลาสติก

รูปร่างและหน้าที่การใช้งานของชิ้นงานฉีดพลาสติกขึ้นอยู่กับ การออกแบบชิ้นงานที่เหมาะสม หลายครั้งด้วยกันผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ออกไปเพราะมีความเป็นไปได้ในการฉีดพลาสติกหรือทำแม่พิมพ์ของงานพลาสติกนั้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดจนที่สุดก็คือ ความจำเป็นที่จะต้องมุมลาดเอียง (draft angle) ในการทำแม่พิมพ์ ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องการชิ้นงานที่มีลักษณะตรง และผิวที่ตึงจากกัน ซึ่งเป็นลักษณะที่เป็นไปไม่ได้ เพราะว่าเมื่อฉีดพลาสติกแล้วเราไม่สามารถนำชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์ได้ กรณีฉีดรูปทรงกระบอกชิ้นงานจะหดตัวเมื่อเย็นลง นอกจากนั้นยังมีสัญญาณที่เกิดขึ้น ดังนั้น แกนกลางทรงกระบอกจึงไม่สามารถแยกออกจากชิ้นงานได้ จึงจำเป็นต้องมีมุมลาดเอียงอย่างน้อยที่สุด 0.5 ถึง 1 องศา ในแม่พิมพ์ทุกชนิด

ในบางกรณีชิ้นงานต้องออกแบบใหม่แต่ยังมีประโยชน์ใช้งานเท่าเดิมและอาจทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ในการทำแม่พิมพ์ได้มาก ตัวอย่างเช่นการย้ายตำแหน่งของรูอาจทำให้ลดการใช้แกนเลื่อน (sliding core) สลัก ตัวยึดแกน ฯลฯ ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์อย่างมาก การกำหนดความเผื่อน้อยหรือมากกับชิ้นงานพลาสติกทำให้การผลิตแม่พิมพ์ต้องมีราคาสูงขึ้น เช่น ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ต้องการความละเอียดมาก ต้องใช้เวลาในการทำมากขึ้น งานที่เสียมีมากขึ้น เพราะชิ้นงานไม่สามารถมีขนาดในพิสัยความเผื่อที่กำหนดให้ เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบชิ้นงานซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นด้วย

นอกจากข้อที่ควรคำนึงถึงดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ในการออกแบบชิ้นงานยังต้องคำนึงถึงการเลือกชนิดพลาสติกที่เหมาะสม ขีดจำกัดต่าง ๆ ทั้งทางเทคนิค เช่น คุณสมบัติทางกล ความทนความร้อน คุณสมบัติในการนำไฟฟ้า ความโปร่ง คุณสมบัติทางเคมีควรได้รับการพิจารณาควบคู่ไปกับขีดจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ต้นทุนในการผลิต

เมื่อสามารถเลือกชนิดของวัสดุที่เหมาะสมได้แล้ว ยังต้องเลือกขบวนการและชนิดของแม่พิมพ์ที่จะใช้ โดยต้องดูด้วยว่าคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกที่จะใช้นั้นเป็นอย่างไร และต้องการผลิตงานพลาสติกดังกล่าวจำนวนเท่าไร

การออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่ดีจะต้องคำนึงถึงหลักการเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1.3.1 เงื่อนไขการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.3.1.1 สภาพแวดล้อมในการใช้ เช่น ใช้ในอาคาร, นอกอาคาร หรือการสัมผัสกับวัสดุอื่น

1.3.1.2 อุณหภูมิในการใช้งาน เช่น อุณหภูมิปกติ, อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด รอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

1.3.1.3 หัวข้อเงื่อนไขพิเศษอื่น ๆ เช่น ภาระในการใช้งาน, ภาระใช้งานปกติ, ภาระใช้งานสูงสุด

1.3.2 การออกแบบชิ้นงานพลาสติกโดยคำนึงถึงการผลิตแม่พิมพ์

1.3.2.1 ทำความเข้าใจกับโครงสร้างแม่พิมพ์ เพื่อที่จะออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงที่สามารถผลิตแม่พิมพ์ขึ้นมาได้หลังจากที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จแล้ว ชิ้นงานก็จะถูกปลดออกมาจากแม่พิมพ์ ซึ่งจะมีปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้นจากโครงสร้างแม่พิมพ์ ดังต่อไปนี้

1.3.2.1.1 ตำแหน่งและรูปทรงของแนวเปิดแม่พิมพ์ (Parting line)

1.3.2.1.2 วิธีการจัดการกับคอคอด (Undercut)

1.3.2.1.3 ทิศทางของการปลด (Ejector)

1.3.2.1.4 ตำแหน่งของเกจ (Gate)

1.3.2.2 ออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงที่จะทำให้แม่พิมพ์มีโครงสร้างเป็นแบบ insert

1.3.2.3 ออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงที่จะทำให้แม่พิมพ์ไม่มีส่วนที่อ่อนแอ เช่น knife-edged

1.3.3 การออกแบบชิ้นงานพลาสติกโดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูป

1.3.3.1 ออกแบบให้ชิ้นงานให้งานมุมปลด (Draft Angle) เพียงพอ

1.3.3.2 ออกแบบให้ชิ้นงานมีความหนาสม่ำเสมอทุกส่วนเท่าที่จะทำได้

1.3.3.3 หลีกเลี่ยงมุมแหลม (sharp corner)

1.3.3.4 ออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงที่ง่าย

1.3.3.5 ศึกษาข้อมูลจากตัวอย่างในอดีต

1.3.4 การพิจารณาประเด็นสำคัญในการออกแบบชิ้นงานพลาสติก

1.3.4.1 การหดตัว (Mold shrinkage)

1.3.4.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการหดตัว

1.3.4.1.1.1 การหดตัวเชิงความร้อน

1.3.4.1.1.2 การขยายตัวเนื่องจากการคืนสภาพของ Elasticity

1.3.4.1.1.3 การหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรจำเพาะ

ของการเป็นผลึกของพลาสติก

1.3.4.1.1.4 การหดตัวเนื่องจากการปรับการเรียงตัวของโมเลกุล

1.3.4.1.2 คุณสมบัติจำเพาะของวัตถุดิบในเรื่องการหดตัว

1.3.4.1.2.1 พลาสติกประเภทเป็นผลึกจะมีอัตราการหดตัวสูงกว่าพลาสติกประเภทไม่เป็นผลึกและอัตราการหดตัวนี้จะเปลี่ยนแปลงได้ช่วงกว้าง แต่ขึ้นกับรูปทรง, ชิ้นงาน และเงื่อนไขการฉีดขึ้นรูป

1.3.4.1.2.2 วัสดุที่มีการเติมสารพวก Glass Fiber จะมีอัตราการหดตัวลดลงและช่วงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหดตัวจะแคบด้วย จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงเรื่องขนาด

อัตราการหดตัว

$$N = (S_o - S) / S_o \times 100\% \text{ mm/mm}$$

$$S_o = \text{ขนาดแม่พิมพ์}$$

$$S = \text{ขนาดชิ้นงานเมื่อเย็นตัวลงเท่าอุณหภูมิห้อง}$$

1.3.4.2 ความหนาชิ้นงาน (Wall Thickness)

ข้อแนะนำการออกแบบความหนาชิ้นงาน

1.3.4.2.1 กำหนดความหนาให้เหมาะสมกับแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน และชนิดของพลาสติก พลาสติกที่จะใช้ในชิ้นงานที่บาง ควรพิจารณาถึงเส้นทางและความสามารถในการไหลน้ำพลาสติกที่ใช้ด้วย

1.3.4.2.2 ความแข็งแรงของชิ้นงานขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ถ้าโครงสร้างดีจะสามารถออกแบบให้บางได้และทำให้มีน้ำหนักเบา ลดปริมาณพลาสติกได้

1.3.4.2.3 ควรพยายามออกแบบให้ชิ้นงานมีความหนาสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยลดช่วงเวลาการหล่อเย็นให้สั้นลง ทำให้มีการหดตัวอย่างสม่ำเสมอ และยังช่วยลดแรงเครียดภายใน

1.3.4.2.4 กรณีต้องมีการเปลี่ยนของความหนา ให้ค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงทีละน้อย อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด

1.3.4.2.5 การออกแบบชิ้นงานที่หนามากเกินไป จะมีผลให้ช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการหล่อเย็นนานขึ้นและเกิดรอยหดตัว (Shrink mark) หรือฟองอากาศ (Void) ขึ้นได้ง่าย

1.3.4.2.6 กรณีชิ้นงานที่บางมากแม้จะไม่ต้องความแข็งแรงในการใช้งาน แต่อาจเสียหายได้ ในขณะที่แม่พิมพ์เปิด หรือตอนกระทุ้งชิ้นงานออก

1.3.4.2.7 กรณีใช้ Insert โลหะ อาจเกิดการแตกบริเวณรอบ ๆ Insert ได้ เนื่องจากความแตกต่างของค่า Coefficient of Linear Expansion ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้หนาพอเพียง

1.3.4.2.8 โดยทั่วไปมักกำหนดความหนาจากประสบการณ์ กรณีประสบการณ์ไม่มากควรรนำผลิตภัณฑ์ในตลาดที่ใกล้เคียงกับชิ้นงาน เพื่อเป็นตัวอย่างในการออกแบบ

1.3.4.3 ความเรียวของชิ้นงาน (Draft angle)

1.3.4.3.1 การกำหนดค่าความเรียวควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

1.3.4.3.1.1 โครงสร้างแม่พิมพ์ (วิธีกระทุ้งชิ้นงานออกนอก, จำนวนและเนื้อที่ของ Pin กระทุ้ง)

1.3.4.3.1.2 รูปทรง, โครงสร้างของชิ้นงาน (ความสูงชิ้นงานในทิศทางเปิดแม่พิมพ์, ความหนาชิ้นงาน)

1.3.4.3.1.3 คุณสมบัติวัสดุ (อัตราการหดตัว, ความแข็งและคุณสมบัติของสารหล่อลื่น)

1.3.4.3.1.4 การผลิตแม่พิมพ์ (การ finishing ผิว Cavity ของแม่พิมพ์ในทิศทางที่ดึงชิ้นงานออก)

1.3.4.3.1.5 เงื่อนไขการขึ้นรูป (แรงดันพลาสติกในแม่พิมพ์)

โดยทั่วไปความเริ้วที่เหมาะสมคือ $1-2^{\circ}$ แม้กรณีทำให้เริ้วยากก็ควรให้มีราว 0.5°

1.3.4.3.2 มีข้อควรระวังในเรื่องความเริ้วดังนี้

1.3.4.3.2.1 กรณีทำให้เริ้วไม่ได้ให้ทำแม่พิมพ์ให้มีโครงสร้างแบบ สไลด์หรือแบบที่ส่วน Undercut เป็นแบบ Insert

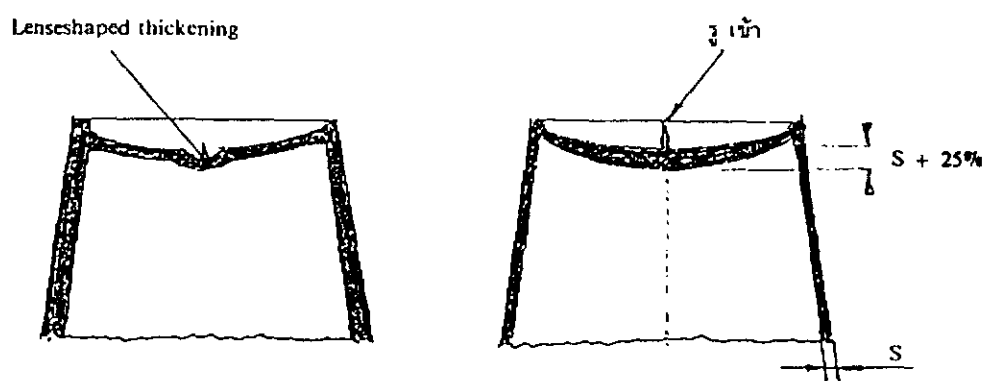
1.3.4.3.2.2 กรณีเป็นลาย Texture ให้กำหนดความเริ้วเป็น $3-5^{\circ}$ แต่ขึ้นอยู่กับความลึกด้วย

1.3.4.3.2.3 กรณีวัสดุที่มี Glass Fiber ผสมซึ่งมีอัตราการหดตัว น้อย ให้ทำให้เริ้วค่อนข้างมาก ควรเพิ่มพื้นที่การกระทุ้งชิ้นงานและควรใช้ระบบ Stripper Plate และ Air Eject ร่วมกัน

1.3.4.4 พื้น (Base)

ส่วนพื้นที่ของชิ้นงานฉีดเทอร์โมพลาสติก ที่มีรูปเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมนั้น ไม่ต้องการความพิถีพิถันในการออกแบบ เพียงให้ความหนาของพื้นมีความคงที่จาก gate ไปถึงขอบ เฉพาะใน กรณีที่ใช้ Pin Gate เท่านั้น ที่จำเป็นต้องทำส่วนหนาคล้ายบริเวณใกล้ gate เพื่อป้องกันการรั่ว

พื้นที่ของชิ้นงานรูปทรงกระบอก ที่ทำจากพลาสติกโครงสร้างเป็นระเบียบบางส่วน เช่น high density polythylene จะเพิ่มความหนารอบ ๆ gate อีกประมาณ 25% ดังรูป



ภาพประกอบ 9 รอยหนาที่บริเวณใกล้กับ pin gate
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล และโลหะการ. 2531:23)

ภาพประกอบ 10 ความหนาของผนังเมื่อทำการ ฉีดด้วยพลาสติกชนิดโครงสร้างเป็น ระเบียบ
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล และโลหะการ. 2531:23)

1.3.4.5 ครีป (RIB)

1.3.4.5.1 หน้าที่ของครีป

- 1.3.4.5.1.1 เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงานโดยประหยัด
- 1.3.4.5.1.2 ป้องกันการเปลี่ยนรูป เช่น การโก่ง, การบิด
- 1.3.4.5.1.3 ทำให้การไหลของพลาสติกดีขึ้น

1.3.4.5.1.4 ทำให้ชิ้นงานมีสมรรถนะดีขึ้น

1.3.4.5.1.5 ข้อควรระวังในการออกแบบครีป

1.3.4.5.2 ข้อควรระวังในการออกแบบครีป

1.3.4.5.2.1 ควรใส่ครีปที่บางและเตี้ยหลาย ๆ ครีป ดีกว่าใส่ครีปที่

หนาและสูงไม่กี่ครีป

1.3.4.5.2.2 ครีปช่วยเพิ่มความแข็งแรงและช่วยลดการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานเมื่อถูกความร้อน แต่ในทางกลับกันจะทำให้แรง Stress มารวมกันยังผลให้ลดความทนทานในการใช้งานได้จึงควรระวัง

1.3.4.5.2.3 เพื่อไม่ให้แรง Stress มารวมกันให้ทำส่วนฐานให้เป็น R แต่ถ้า R มากเกินไปจะเกิดการหลุดตัวได้

1.3.4.5.2.4 ทิศทางของครีปควรอยู่ในทิศทางเดียวกันกับการไหลของพลาสติกแม่พิมพ์ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการไหลของพลาสติก ทำให้การขึ้นรูปเป็นไปอย่างราบรื่นในทางกลับกันถ้าทำให้ครีปขวางตั้งฉาก จะไปขัดขวางการไหลของพลาสติกและคุณสมบัติการขึ้นรูปชิ้นงานได้

1.3.4.6 ส่วนนูน (Boss)

1.3.4.6.1 ข้อควรระวังการออกแบบส่วนนูน

1.3.4.6.1.1 ทำฐานของส่วนนูนให้เป็นเส้นโค้งแนวรัศมีเพื่อไม่ให้แรงตกค้างมารวมที่จุดเดียว แต่ถ้าส่วนโค้งแนวรัศมีมากเกินไปจะเกิดการหลุดตัวได้ง่าย

1.3.4.6.1.2 กรณีต้องเพิ่มความแข็งแรงที่ฐานของส่วนนูน ให้เพิ่มครีปเสริมความแข็งแรงด้วย

1.3.4.6.1.3 ควรหลีกเลี่ยงส่วนนูนที่หนาและสูง ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ให้วางตำแหน่งทางเข้าไว้ใกล้ ๆ

1.3.4.6.1.4 ส่วนนูนที่เกิดรอยประสานของน้ำพลาสติกมาก จะมีความเสี่ยงที่จะแตกหักได้มาก ขณะประกอบหรือใช้งาน

1.3.4.7 เกลียว

เกลียวเมตริก ISO เกลียว Unified Screw เกลียวที่มีหน้าตัดกลมตามมาตรฐาน DIN 405 T1 เป็นเกลียวที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนพลาสติกมากที่สุดเพราะไม่มีปัญหาเรื่องขอบคมที่โคนเกลียว ส่วนเกลียวที่มีระยะพิทน้อยกว่า 0.8 มม. หรือมากกว่า 32 เกลียวต่อนิ้ว จะฉีดได้ยาก

ในอุตสาหกรรมพลาสติก มีการใช้เกลียวสำหรับผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้กันอยู่เพียง 7 ชนิด คือ

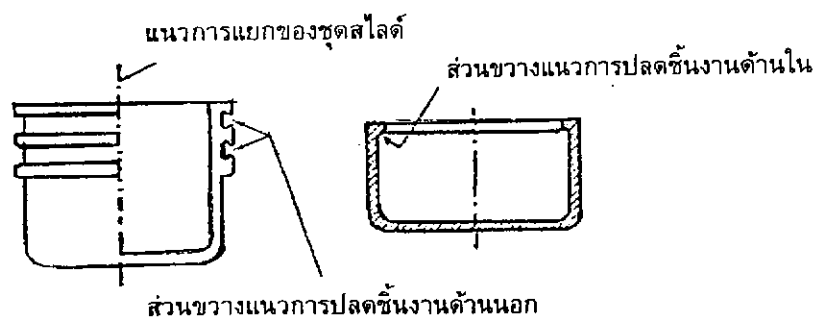
1. เกลียวมาตรฐานอเมริกัน (American Standard)
2. เกลียวสี่เหลี่ยม (Square)
3. เกลียวแอคมี (ACME)
4. เกลียวฟันเลื่อย (Buttress)
5. เกลียวฝาขวด (Bottle)
6. เกลียวร่อง V หยาบ
7. เกลียวร่อง V ละเอียด

สำหรับเกลียวช่อง V นั้นไม่แนะนำให้ใช้สำหรับชิ้นส่วนพลาสติกเพราะจากกรรมวิธีการผลิตให้เป็นร่อง V ทำได้ยาก พลาสติกอาจเข้าเป็นเนื้อเกลียวได้น้อยเกลียวที่ได้อาจไม่สมบูรณ์หรือการรับแรงของเกลียวได้น้อย เกลียวอาจเสียหายได้งานขณะใช้งาน

1.3.4.8 Undercut ที่ขึ้นงาน

ชิ้นงานฉีดพลาสติกอาจมี Undercut เพื่อประโยชน์ใช้สอยเพื่อให้ดูสวยงาม Undercut ในชิ้นงาน อาจเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์ หรือใช้เวลาการฉีดนานขึ้น

Undercut สามารถแบ่งออกเป็น Undercut ภายนอกและ Undercut ภายใน เมื่อ Undercut ขนาดเล็กกว่า 5% ของเส้นผ่านศูนย์กลาง และมีรูปหน้าตัดกลม ก็อาจปลดหรือกระทุ้งชิ้นงานออกจากคอร์หรือคาร์ตีได้ อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้วิธีนี้จะต้องออกแบบแม่พิมพ์ให้ปลดชิ้นงานในขณะที่ยังบางนั้น ไม่มีการขยายตัวหรือบีบตัวในกรณีดังกล่าว อาจจำเป็นต้องใช้การปลดด้วยแหวนปลดหรือแผ่นปลด แทนที่จะปลดด้วยเข็มกระทุ้ง



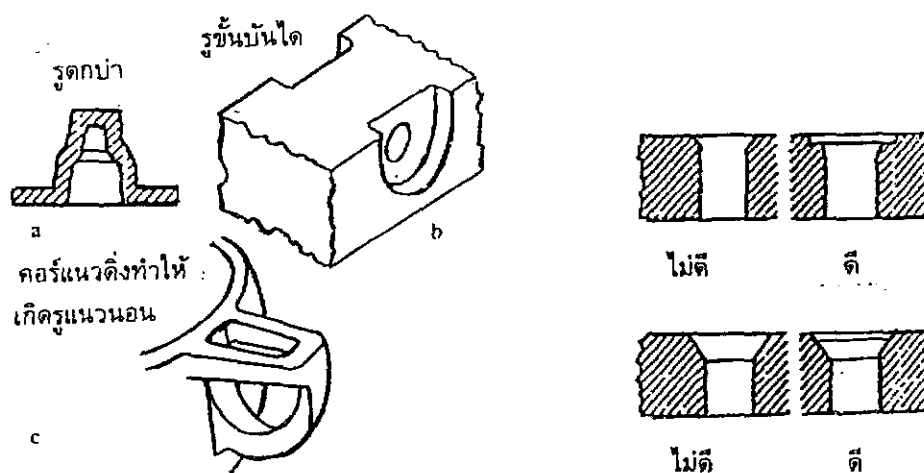
ภาพประกอบ 11 รูป Undercuts ด้านในและด้านนอกของชิ้นงาน
(สถาบันอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:37)

1.3.4.9 รู (Holes)

การทำรู ในชิ้นงานพลาสติก ทำโดยใช้สลักซึ่งยื่นออกมาจากแม่พิมพ์ รูอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ รูตัน (blind hole) รูผ่านตลอด (through hole) ซึ่งรูผ่านตลอดทำได้ง่ายกว่า รูตัน เพราะสลักจะถูกจับยึดโดยแม่พิมพ์ 2 ด้าน

เมื่อใช้สลัก (Pin) ในการทำรู ไม่ควรใช้สลักที่ยาวออกมาเกินกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูนั้น ถ้ายาวเกินไปอาจทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เนื่องจากแรงดันของน้ำพลาสติก ถ้าต้องการรูที่ลึกกว่าอาจใช้รูที่เป็นขั้นบันได (stepped hole) หรือรูตกป่า (counterboring) ก็ได้

ภาพที่ 12 แสดงรูชนิดต่าง ๆ ภาพที่ 13 แสดงแบบที่ดีและไม่ดีของรูที่ดีต้องมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางตรงบริเวณปากรูประมาณอย่างน้อย 0.4 ถึง 0.5 มิลลิเมตร เพราะเป็นการยากและไม่คุ้มค่าที่จะพยายามทำให้รูมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันตลอด



ภาพประกอบ 12 รูชนิดต่าง ๆ
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและ
โลหะการ. 2531:38)

ภาพประกอบ 13 แบบที่เหมาะสมและไม่
เหมาะสมของรู
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและ
โลหะการ. 2531:38)

1.3.4.10 รอยการไหลของน้ำพลาสติก

ในการไหลของพลาสติก ถ้าเจอสิ่งกีดขวางเช่น RIB, ส่วนนูน, รู, Insert จะแยกออกเป็น 2 ส่วน และจุดที่มาบรรจบกันอีกครั้งจะเกิดเป็นรอยต่อขึ้น ซึ่งตำแหน่งและจำนวนของรอยต่อจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและจำนวนของเกจ ตำแหน่งและจำนวนของ RIB หรือ รู, ความหนาของชิ้นงาน เป็นต้น รอยการไหลนี้ถือเป็นจุดอ่อนด้านกายภาพของชิ้นงาน (ทำให้ค่า Tensile Strength ลดลง 10% ความทนต่อแรงกระแทกลดลง 50-70%) ดังนั้นจึงควรระวัง และยังมีปัญหาต่อลักษณะภายนอกโดยเฉพาะกรณีโปร่งหรือใส สีไม่มุก, Metallic, จะเห็นเส้นรอยต่อได้ชัด ในขั้นตอนการออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์ควรจัดให้รอยต่อไปอยู่ในที่มีแรง Stress ต่ำ และไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ภายนอก

1.3.4.11 มุมขอบและสันเหลี่ยม

ในการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกทุกครั้งต้องระมัดระวังเสมอในเรื่องขอบมุมหรือค่า R ของชิ้นงาน ซึ่งอย่างน้อยต้องมีมุมแหลม มุมคม โดยทั่วไปค่า R จะไม่น้อยกว่า 0.2T หรือความหนาชิ้นงานเสมอ

1.3.5 ออกแบบเพื่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

ในการออกแบบชิ้นงานในทางอุดมคติต้องออกแบบให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการโดยใช้วัตถุดิบน้อยที่สุด การใช้วัตถุดิบจำนวนมากเกินไป เพื่อให้เกิดความแข็งแรงเกินจำเป็น ไม่ถือว่าเป็นการออกแบบที่ดี ในที่นี้จะอธิบายวิธีต่าง ๆ ที่ทำโดยไม่ต้องเพิ่มความหนา การออกแบบความแข็งแรงควรพิจารณาให้ดีในขั้นตอนของการออกแบบหรือนำมาแก้ไขภายหลังจากขึ้นรูปชิ้นงานแล้วก็ได้

1.3.5.1 การออกแบบความแข็งแรงในขั้นตอนออกแบบ

1.3.5.1.1 การออกแบบขอบ

ก่อนอื่นต้องมีส่วนผนังด้านข้างให้เกิดเป็นขอบขึ้น เพราะว่าขอบของชิ้นงานจะเป็นส่วนที่ได้รับแรงจากภายนอก และแตกหักง่ายที่สุด

1.3.5.1.2 การออกแบบส่วนกัน

ส่วนกันที่เรียบไม่มีนูนเว้า จะทำให้มี Internal Stress ตกค้างอยู่เป็นสาเหตุให้ไม่มีความแข็งแรงและเกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่าย กรณีเกจที่ส่วนกัน บริเวณรอบเกจจะแตกง่ายในการทดสอบเอาวัตถุทดสอบใส่ ซึ่งแก้ไขได้โดยออกแบบส่วนเกจให้หนา

1.3.5.1.3 การออกแบบผนังด้านข้าง

ส่วนผิวเรียบที่กว้างควรออกแบบให้มี R มาก หรือให้มีส่วนนูนเว้า บางครั้งอาจจำเป็นต้องเพิ่มครีบริบเสริมแรงเพื่อรักษารูปร่าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อรูปทรง จึงควรร่างแบบให้สร้าง Model ในการพิจารณากำหนดอย่างรอบคอบ

1.3.5.1.4 Insert

กรณีพลาสติกมีความแข็งแรงไม่เพียงพอในบางส่วนให้ใช้ Insert เพื่อเสริมความแข็งแรงในส่วนนั้น

1.3.5.1.5 R การใส่ให้มี R ในส่วนมุมต่าง ๆ ของชิ้นงาน เช่น โคนของ RIB จะช่วยกระจายแรง Stress ได้ ซึ่งเป็นการช่วยยกระดับความแข็งแรงของชิ้นงานโดยทั่วไป ควรออกแบบให้ค่า R มากไว้ก่อนเท่าที่จะกระทำได้

1.3.5.2 การเพิ่มความแข็งแรงในขั้นตอนหลังฉีด

1.3.5.2.1 การเพิ่ม RIB

ภาพหลังการทดสอบการขึ้นรูปถ้าไม่ได้ความแข็งแรงตามเป้าหมาย วิธีที่ใช้โดยทั่วไปในการเสริมความแข็งแรงในกรณีนี้ถ้า RIB ลึกมากไปจะทำให้ก๊าซมาสะสมทำให้เกิดรอยไหม้ของพลาสติก หรือเกิดปัญหา Short Shot หรือเส้นรอยต่อได้ จึงควรใช้ RIB ที่เตี้ยแต่จำนวนมาก

1.3.5.2.2 การเปลี่ยนแปลงความหนาบางจุด

การทำให้ความหนาโดยเฉลี่ยหนาขึ้นเป็นการแก้ไขแม่พิมพ์ที่ยาก และยังทำให้ต้องใช้พลาสติกมากขึ้นโดยได้ผลไม่คุ้มค่า ในการแก้ไขจึงควรทำเฉพาะในบางจุดไป

1.3.5.2.3 การเปลี่ยนวัตถุดิบ

ในกรณีไม่สามารถแก้ไขแม่พิมพ์ได้ หรือไม่มีเวลาแก้ไขแม่พิมพ์ และจำเป็นต้องเพิ่มความแข็งแรงขึ้นมาก ให้พิจารณาเรื่องวัตถุดิบ ในกรณีนี้มักจะทำให้ต้องเพิ่มต้นทุนการผลิตตามไปด้วย

1.3.5.2.4 การชุบ

ชุบชิ้นงานทั้งหมดเพื่อความแข็งแรง กรณีนี้มักจะมีการวางแผนล่วงหน้า การชุบทำให้ต้นทุนสูงขึ้นและจะจำกัดวัตถุดิบบางประเภทที่สามารถใช้ได้เท่านั้น โดยทั่วไปมักทำเพื่อความสวยงามมากกว่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

2. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.1 ชนิดของแม่พิมพ์ (Type of moulds)

มีแม่พิมพ์อยู่มากมายหลายแบบที่ใช้ในการทำชิ้นงานพลาสติกและทำให้ยากต่อการจำแนกชนิดของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์อาจถูกจำแนกได้โดยโครงสร้างพื้นฐานของแม่พิมพ์และชิ้นงานพลาสติก ดังนี้

- ก. แบ่งตามชนิดของ gating และ runner
- ข. แบ่งตามระบบ ejection
- ค. แบ่งตาม undercuts และ side cores
- ง. แบ่งตามวิธีการ demould (เอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์)

ถ้าแบ่งชนิดของแม่พิมพ์ตามโครงสร้างพื้นฐานที่กล่าวข้างบนนี้ combination ของโครงสร้างต่าง ๆ นี้ทำให้มีแม่พิมพ์แบบต่าง ๆ มากมาย ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้หมด จึงอธิบายเพียงแต่หลักสำคัญในการออกแบบเท่านั้น

แม่พิมพ์อาจแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามโครงสร้าง คือ

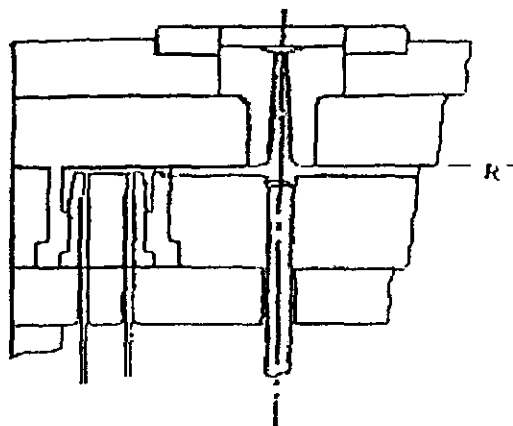
- 1. แม่พิมพ์แบบ 2 plate
- 2. แม่พิมพ์แบบ 3 plate
- 3. แม่พิมพ์แบบแยก (split mould)

2.1.1 แม่พิมพ์แบบ 2 plate (two plate mould)

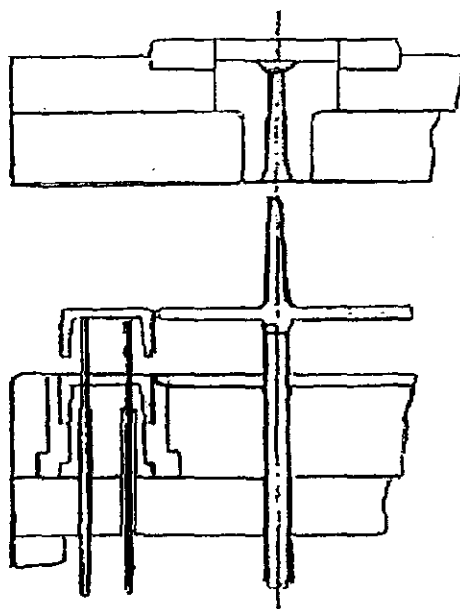
การทำงานของแม่พิมพ์แบบ plate 2 ชั้น แนวระนาบที่แม่พิมพ์แยกออกจากกันเรียกว่า "เส้นแบ่ง" (parting line)

แม่พิมพ์แบบ 2 ชั้นนี้จะใช้เมื่อ

- ก. เมื่อทำการฉีดชิ้นงานที่มีจำนวนไม่มาก และค่าใช้จ่ายในการตัดรูน้ำพลาสติกเข้า (gate) ออกไม่สูง
- ข. ใช้ในการฉีดชิ้นงานที่มีความเบาหรือหนา
- ค. Sprue และ runner ที่เหลือจากการฉีดสามารถนำไปดและนำมาใช้ได้อีก (โดยทั่วไปสัดส่วนของพลาสติกใหม่ต่อพลาสติกเก่าที่จะนำมาผสมกันคือประมาณ 75% ต่อ 25% เพื่อที่จะรักษาคูณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกนั้นไว้)
- ง. ในกรณีที่รูน้ำพลาสติกเข้า (gate) เป็นแบบ submarine หรือ tunnel gate ไม่ควรใช้แม่พิมพ์แบบ 2 ชั้น

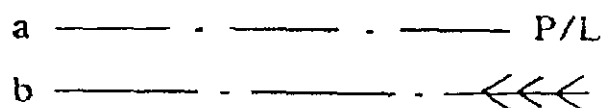


ขั้นตอนที่ 1 ฉีดน้ำพลาสติกเข้าสู่ภายในแม่พิมพ์



ขั้นตอนที่ 2 แม่พิมพ์เปิดชิ้นงานถูกกระทุ้งออก

ภาพประกอบ 14 การทำงานของแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:55)



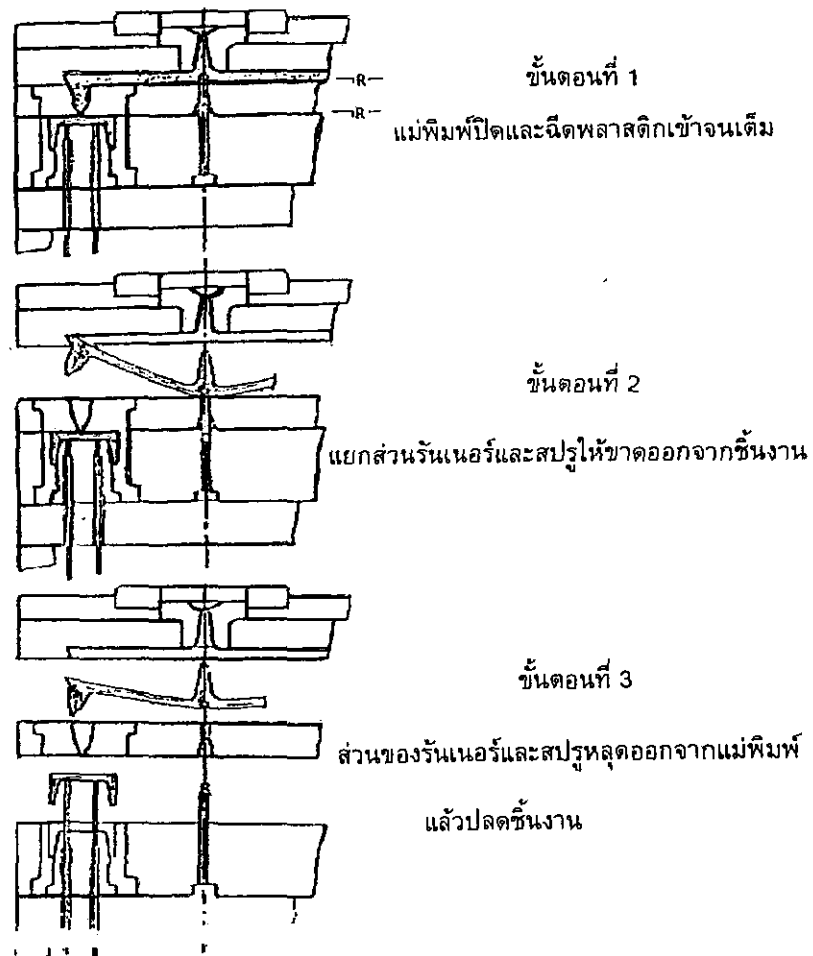
ภาพประกอบ 15 สัญลักษณ์ที่ใช้กันทั่วไปของเส้นแบ่ง (Parting Line)
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:55)

2.1.2 แม่พิมพ์แบบ 3 plate

แม่พิมพ์แบบ 3 plate แม่พิมพ์จะเปิดออกที่ 2 ระนาบ การทำงานของแม่พิมพ์แบบ 3 plate ที่แสดงในภาพประกอบ 16 ส่วนที่อยู่กับแม่พิมพ์ (fixed half) ประกอบด้วย 2 plate แม่พิมพ์แบบ 3 plate มักจะใช้กับแม่พิมพ์ที่ใช้ needle gat ทรายงานพลาสติกที่ไม่ต้องการให้มีรอยร่น้ำพลาสติกเข้าบนชิ้นงาน

แม่พิมพ์แบบ 3 plate มักจะใช้เมื่อ

- ก. ชิ้นงานที่มีผนังบาง
- ข. Sprue และ runner สามารถนำไปดและใช้ผสมกับพลาสติกใหม่ได้
- ค. การตัดร่น้ำพลาสติกเข้าออก (degating) ทำโดยอัตโนมัติ ดังนั้น คนคุมเครื่องสามารถใช้เครื่องมากกว่าเครื่องเดียวพร้อม ๆ กัน
- ง. เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายในการตัดเกทออกสูงมาก ให้เปลี่ยนใช้แม่พิมพ์แบบ 3 ชั้น



ภาพประกอบ 16 การทำงานของแม่พิมพ์ชนิด 3 แผ่น
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:56)

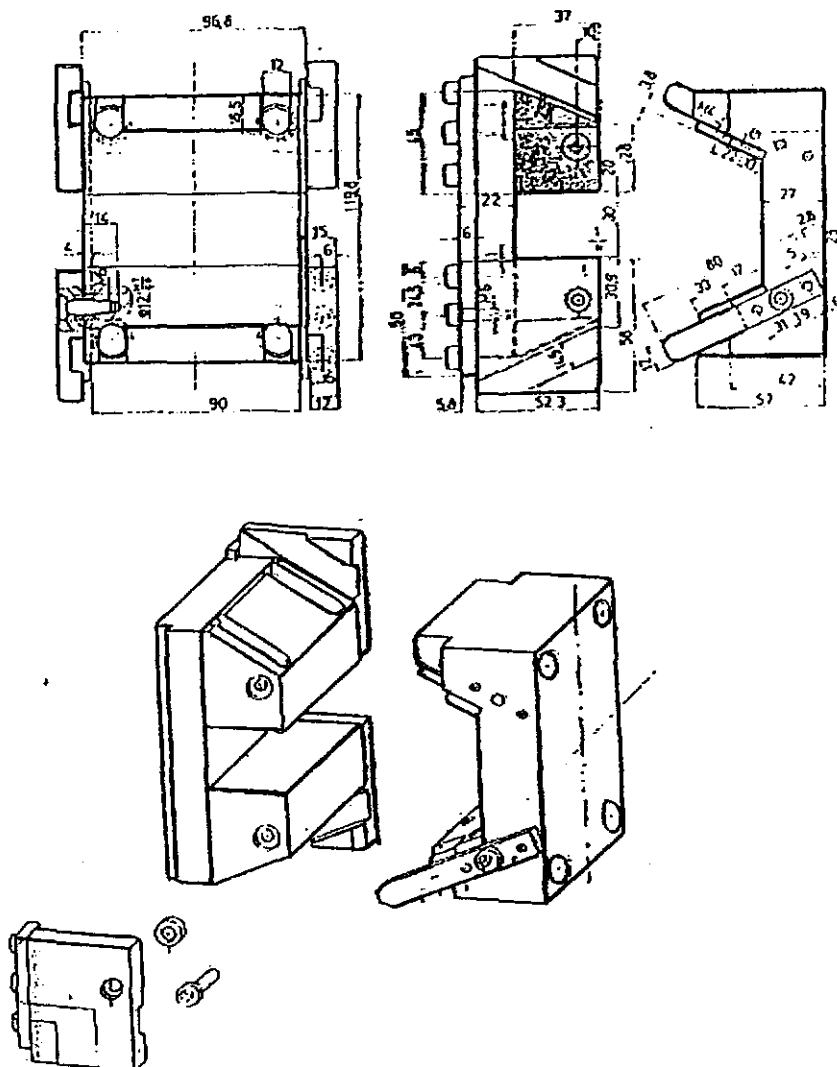
2.1.3 แม่พิมพ์แบบแยกออก (split mould)

Split mould จะมี jaw (ชิ้นประกอบ) ซึ่งอยู่บนส่วนที่เคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ (moving half) JAW นี้จะเปิดเมื่อฉีดเสร็จ และปิดเมื่อทำการฉีดใน split mould จะมี JAW มากกว่า 1 ชิ้น ตัวอย่างของ split mould ที่มี JAW หลายตัว ใช้สำหรับฉีดล้างพลาสติกที่ใช้ขนส่งขวด ในภาพประกอบ 17 แสดงแบบของ split mould แบบ 2 ชิ้น

Split mould จะใช้เมื่อ

- ก. มี undercuts มากบนชิ้นงาน และไม่ต้องทำให้เห็นรอยตะเข็บของ parting line
- ข. ใช้ side core แล้วไม่คุ้มค่า

การทำงานของ JAW อาจทำได้โดยกลไกของ spring, pneumatic หรือ hydraulic



ภาพประกอบ 17 การออกแบบทั่วไปของแม่พิมพ์แยกแบบ 2 ชิ้น (two-jaw Split mould)

(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:57)

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์

โดยทั่วไปจะใช้เหล็กกล้าคาร์บอนในสกุล S55C อย่างไรก็ดีตามชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น Insert ต่าง ๆ และด้านที่เป็น Core และ Cavity ที่ใช้ฉีดพลาสติกที่เสริมความแข็งแรงไฟเบอร์จะใช้เหล็กกล้าชนิดพิเศษ และเหล็กสแตนเลส ซึ่งส่วนมากจะทำการชุบทองแดงแบรียลียม (Beryllium Copper Alloy) อลูมิเนียมผสมและ Electroforming nickel นิเกิลขึ้นรูปด้วยกระแสไฟฟ้าก็มีใช้ด้วยเหมือนกัน

2.2.1 เงื่อนไขในการเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์

- 2.2.1.1 ผลิตจำนวนมากหรือผลิตเพื่อทดลอง
- 2.2.1.2 จำนวนการผลิตทั้งหมด
- 2.2.1.3 วัสดุพลาสติกที่ใช้ฉีด
- 2.2.1.4 ความเที่ยงตรงของผลิตภัณฑ์
- 2.2.1.5 รูปร่างหน้าตาของผลิตภัณฑ์
- 2.2.1.6 กรรมวิธีการทำแม่พิมพ์ (Mold Processing)

2.2.2 แนวทางเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์

2.2.2.1 ชิ้นส่วนที่ใช้ทำ Cavity และ Core

วัสดุของแม่พิมพ์ที่ใช้ทำ Cavity และ Core ที่สำคัญส่วนใหญ่และจำเป็นต้องไม่มีรอยขีดข่วนและรูพรุนกำหนดให้มีผิวหน้าที่สะอาดปราศจากวัสดุแปลกปลอม และความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นเหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูงมีคุณสมบัติความสามารถในการเจียระไนได้ดี ซึ่งในการใช้งานจำเป็นต้องขัดผิวด้วยวิธีพิเศษ ให้มีผิวที่เรียกว่าผิวกระจก สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้งานเฉพาะกับผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงมีความจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่อ่อนมากเกินไป เพื่อไม่ให้ผิวหน้าของ Cavity และ Core เกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายระหว่างการทำแม่พิมพ์ และต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งในบางขอบเขต กรรมวิธีการขึ้นรูปสามารถทำได้ง่ายขึ้น

โดยทั่วไปวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอนโครงสร้างที่ใช้ทำเครื่องจักรกลที่เรียกว่าวัสดุ SC จากแนวคิดของราคาต้นทุน และความสามารถในการขึ้นรูป กลึงไส ตัด เจาะ แต่เหล็กกล้าที่มีความแข็งมากแล้ว (Pre-hardened steel) และเหล็กกล้าชุบแข็ง (Quenched hardened steel) ก็จำเป็นต้องใช้ด้วยเหมือนกัน

2.2.2.2 ชิ้นส่วนที่รองรับ Cavity และ Core

ชิ้นส่วนตำแหน่งนี้เป็นส่วนที่ต้องการความแข็งแรง และจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการบิดตัวและการเสียรูปอันเนื่องมาจากแรงดันในการฉีดพลาสติก ซึ่งปกติจะใช้วัสดุเหล็ก SC เป็นส่วนใหญ่

2.2.2.3 ชิ้นส่วนที่เสียดสีปะทะกับชิ้นส่วนอื่น ๆ

ชิ้นส่วนนี้จะต้องมีความแข็งเกร็งสูง และมีความแข็งแรงด้านการขัดข่วนและต้องใช้ความเหนียวสำหรับเสียดสีปะทะกับชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น สลักนำ ปลอกนำ และสไลคอล์ จึงแนะนำให้ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนทำเครื่องมือ เหล็กกล้าผสมทำเครื่องมือและเหล็กกล้าชนิดพิเศษที่มีความแข็งแรงและต้านทานการเสียดสีที่ดี เช่น เหล็กกล้าผสมโครเมียม โมลิบดีนัม

2.2.2.4 ชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องใช้ความแข็งแรงสูง

วัสดุเหล็ก SC หรือแผ่นเหล็กกล้าธรรมดาใช้ทำเป็นชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูง เช่น แผ่นยึดแม่พิมพ์ แผ่นกระทุ้งชิ้นงาน

2.2.3 ลักษณะพิเศษที่ต้องการของวัสดุทำแม่พิมพ์

2.2.3.1 ความสามารถในการขึ้นรูป กลึงไสตัดเจาะ (Machinability)

ความสามารถในการแมชชีนมีอิทธิพลอย่างมากกับอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด เช่น ดอกกัด ความสามารถใช้งานได้ยาวนาน ถ้าตัดวัสดุที่มีคุณสมบัติความสามารถในการขึ้นรูปได้ดี นั้นหมายความว่าสามารถควบคุมความเที่ยงตรงได้สูง และผิวหน้าที่ดีได้ง่าย

2.2.3.2 ความเป็นเนื้อเดียว (Homogeneity)

วัสดุทำแม่พิมพ์ ที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน มีอิทธิพลต่อรูปร่างหน้าตาของผิวหน้า หลังจากผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปแม่พิมพ์หรือ EDM

2.2.3.3 ความสามารถในการขัดให้เป็นผิวกระจก (Mirror Finished)

ชิ้นส่วนแม่พิมพ์โดยมาก ส่วนที่เป็นรูปร่างที่ใช้งานต้องการผิวที่เป็นเงามันเหมือนกระจกเงา (Shining) และชิ้นงานแม่พิมพ์พิเศษบางชนิด เช่น เลนส์ ต้องการผิวหน้าที่เป็นเงามันอย่างมากกว่าปกติ

2.2.3.4 ด้านทานการสึกหรอ

การด้านทานการสึกหรอมีอิทธิพลต่ออายุของแม่พิมพ์ และความเที่ยงตรงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์

2.2.3.5 ความสามารถในการ เสียรูจากการอบชุบแข็ง

วัสดุทำแม่พิมพ์จำเป็นต้องชุบผิวแข็ง เพื่อให้การด้านทานการสึกหรอดีขึ้น หรือ ทนทานตลอดไป ดังนั้นจึงต้องการเสียรูได้น้อยเมื่ออบชุบผิวแข็ง

2.2.3.6 ความต้านทานการกัดกร่อน

วัสดุพลาสติกบางชนิด เช่น พีวีซีเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกร่อน เนื่องจากก๊าซที่ทำการฉีด

2.2.3.7 การนำความร้อน

2.2.3.8 การขยายตัวเพราะความร้อน

2.2.3.9 ความสามารถในการเชื่อมด้วยโลหะ

2.3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

เมื่อชิ้นงานพลาสติกที่จะผลิตได้ออกแบบและแก้ไขจนเป็นที่พอใจแล้ว สิ่งที่ต้องทราบอันดับแรกคือ โครงสร้างภายนอก ความหนาของชิ้นงาน ตำแหน่งที่จะมีลายูนูน หู สัน ฯลฯ การคาดคะเนจำนวนที่จะผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์และจำนวนการผลิตที่ต้องการต่อช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อทราบสิ่งเหล่านี้ทั้งหมดแล้วจึงจะเริ่มออกแบบแม่พิมพ์ฉีดได้ โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

2.3.1 การคำนวณหาจำนวน Cavity

ตัวอย่าง ชิ้นงานในภาพประกอบ 18 เป็นชิ้นงานที่ต้องการผลิต
ความต้องการของลูกค้านี้
จำนวนที่คาดว่าจะผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ 2.8 ล้านชิ้น
จำนวนที่จะต้องส่งให้ลูกค้าในแต่ละเดือน 100,000 ชิ้น

2.3.2 การวางแผนการใช้เวลาในการผลิต

ชั่วโมงทำงานในแต่ละวัน 8 ชม.
ทำงานสัปดาห์ละ 5 วัน $= 8 \times 5 = 40$ ชม./ สัปดาห์
หรือ ใน 1 เดือน มีวันทำงาน 22 วัน $= 8 \times 22 = 176$ ชม./ เดือน
เวลาที่สูญเสียไป (ตั้งขึ้นจากการสังเกต) = 2.5 %
ดังนั้น เวลาที่เครื่องทำงานจริง (tm) เพียง 97.5% ของเวลาเต็ม

$$t_m = \frac{97.5 \times 176}{100} = 171.6 \text{ ชม. / เดือน}$$

ช่วงเวลา 1 รอบการทำงานของเครื่อง = 25 วินาที

เวลาที่ต้องการสำหรับการผลิต (t_{pr})

$$t_{pr} = \frac{25 \times 100,000}{3,600} = 694.5 \text{ ชั่วโมง}$$

จะเห็นได้ว่าใน 1 เดือน เรามีเวลาทำงานจริงเพียงแค่ 171.6 ชั่วโมงเท่านั้น แต่เราต้องการใช้เวลาในการผลิตถึง 694.5 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงในการจ่ายค่าล่วงเวลา ซึ่งจะต้องจ่าย 125% ของค่าแรงปกติ สำหรับ 2 ชั่วโมงแรกที่ทำงานล่วงเวลา และจ่าย 150% ของค่าแรงปกติ สำหรับชั่วโมงต่อไป ดังนั้นจำนวน Cavity ที่ต้องการ (C) คือ

$$C = \frac{\text{เวลาที่ต้องการใช้จริง}}{\text{เวลาที่มีสำหรับการ}} = \frac{694.5}{171.6} = 4.05 \text{ หรือ } 4 \text{ Cavities}$$

2.3.3 การคำนวณแรงยึดแม่พิมพ์ (Locking force requirement)

ภาพประกอบ 18 เป็นแบบของชิ้นงานรูปถ้วยทำจาก HDPE ประมาณว่าความดันใน Cavity อยู่ระหว่าง 300-800 bar (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร) และจากตารางคุณสมบัติของพลาสติก ความดันในการฉีดของ HDPE คือ 600-1500 bar สมมุติความดันใน Cavity = 450 bar (สาเหตุที่เลือกต่ำลงเพราะเกิด pressure drop ในขั้นตอนการฉีด)

พื้นที่ภาพฉาย (Project area) ของชิ้นงานคือ ส่วนที่เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด ดังนั้น

$$a = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

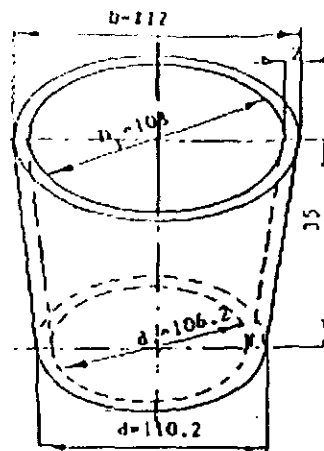
$$\text{สำหรับ 4 Cavity} = \frac{D \times \pi \times 4}{4} = \frac{11.2^2 \times \pi \times 4}{4} \cong 395^2$$

เนื่องจากการคำนวณในปัจจุบันใช้หน่วย S.I. แต่เครื่องจักรเก่ายังใช้หน่วยเก่าอยู่ซึ่งหน่วยที่ใช้คือ กก./ ซม² ดังนั้นจึงใช้การแปลงหน่วยดังต่อไปนี้

$$1 \text{ kgf} \cong 10 \text{ N} \\ \cong 0.01 \text{ KN.}$$

$$\text{หรือ } 1,000 \text{ kgf} \cong 10 \text{ KN.}$$

$$\text{ดังนั้น } 1 \text{ ton} \cong 10 \text{ KN.}$$



ภาพประกอบ 18 แบบชิ้นงานที่จะผลิต

(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:60)

ตัวย่อต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาแรงยึด

$$P_n = \text{แรงยึด (kg)}$$

$$A_p = \text{พื้นที่ภาพฉายของแบบที่จะผลิต(ของทุกๆ Cavity ในแม่พิมพ์) (cm}^2\text{)}$$

$$P_c = \text{ความดันใน cavity (bar)}$$

$$m = \frac{\text{การใช้งานของเครื่อง (Machine Utilization)} \times \%}{100}$$

$$P_n = A_p \times P_c = (\text{cm}^2 \times \text{bar}) = \frac{\text{cm}^2 \times \text{kg}}{\text{cm}^2} = 10 \text{ N} = \frac{1}{100} \text{ KN}$$

ดังนั้นแรงยึดตามทฤษฎี คือ

$$P_{\Pi} = \frac{A_p \times P_c}{100} \text{-----KN}$$

แต่ในทางปฏิบัติ เพื่อความปลอดภัยควรจะให้แรงยึดเกินกว่าทางทฤษฎี 20-30% ดังนั้นสูตรการหาแรงยึดที่จะนำไปใช้คือ

$$P_{\Pi} = \frac{A_p \times P_c}{m \times 100} \text{-----KN}$$

จากตัวอย่างแบบที่คำนวณ พื้นที่ภาพฉายของแบบคือ 395 ซม.² ความดันใน Cavity ที่สมมุติคือ 450 bar และถ้า $m = 75\%$

$$P_{\Pi} = \frac{395 \times 450}{0.75 \times 100} = 2,370 \text{ KN (หรือ 237 ตัน)}$$

2.3.4 การคำนวณหาน้ำหนักพลาสติกที่จะใช้ฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Shot weight requirement)

การหาน้ำหนักฉีดจะต้องทราบสิ่งต่อไปนี้

ก. ความหนาแน่นของวัตถุดิบ ในที่นี้เลือกใช้ HDPE ซึ่งมีความหนาแน่น 0.96 กรัม/ซม.³

ข. ขนาดของชิ้นงาน ต้องทราบในเชิงปริมาตร

เมื่อทราบสองอย่างดังกล่าวนี้แล้วก็สามารถที่จะคำนวณหาน้ำหนักได้ คือ

$$\text{น้ำหนัก} = \text{ปริมาตร} \times \text{ความหนาแน่น}$$

สูตรการหาปริมาตรของทรงกรวยตัดคือ

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi h}{12} \times [D^2 + d^2 + (D \times d)] \\ &= 0.2618 \times h \times [D^2 + d^2 + (D \times d)] \end{aligned}$$

ในภาพประกอบ 19 เราแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

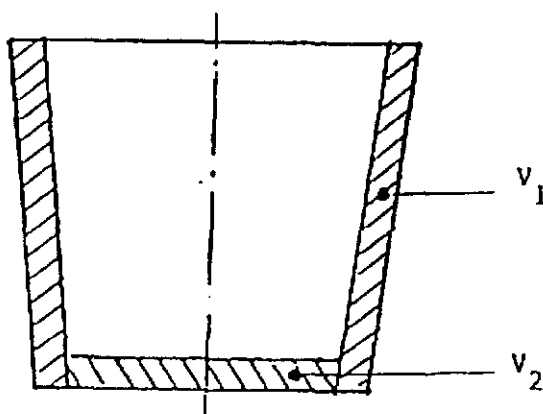
$$V_1 = \text{ปริมาตรของส่วนที่เป็นผนังถ้วย}$$

$$V_2 = \text{ปริมาตรของส่วนที่เป็นพื้นด้านล่างของถ้วย}$$

$$\begin{aligned} V_1 &= 0.2618 h [D^2 - D_1^2 + d^2 - d_1^2 + (D \times d) - (D_1 \times d_1)] \\ &= 0.2618 \times 3.5 [11.2^2 - 10.8^2 + 11.02^2 - 10.62^2 + \\ &\quad (11.2 \times 11.02) - (10.8 \times 10.62)] \\ &= 23.99 \cong 24 \text{ ซม.}^3 \end{aligned}$$

$$V_2 = \frac{\pi \times d_1^2 \times h}{4}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3.14 \times 10.62^2 \times 0.2}{4} \\
 &= 17.72 \text{ ซม.}^3 \\
 V &= V_1 + V_2 = 24 + 17.72 \\
 &= 41.72 \text{ ซม.}^3
 \end{aligned}$$



ภาพประกอบ 19 การแบ่งส่วนเพื่อหาปริมาตร
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:61)

น้ำหนักของชิ้นงานจะหาได้โดย

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนัก} &= \text{ปริมาตร} \times \text{ความหนาแน่น} (\text{ซม.}^3 \times \text{กรัม} / \text{ซม.}^3) \\
 &= 41.72 \times 0.96 = 40.05 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

$$\text{สำหรับแม่พิมพ์ที่มี 4 Cavity} = 40.05 \times 4 = 160.2 \text{ กรัม}$$

ต้องเผื่อไว้สำหรับรูนำพลาสติกเข้าและทางวิ่งคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 20% ของน้ำหนักทั้ง

4 ชิ้นงาน ดังนั้น น้ำหนักฉีด = $160.2 \times 1.20 \cong 193$ กรัม

และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องประมาณ 70-80%

สมมุติว่าประสิทธิภาพของเครื่อง 75%

$$\text{น้ำหนักฉีด} = \frac{193}{.75} = 257 \text{ กรัม}$$

2.3.5 ขนาดฐานของแม่พิมพ์

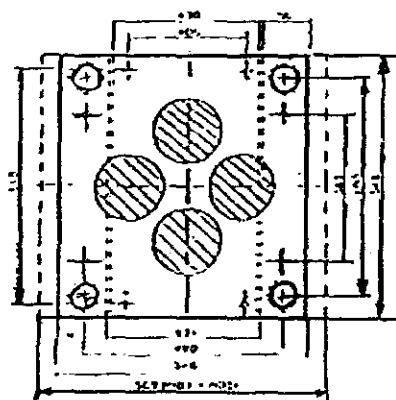
เป็นการหาขนาดของแม่พิมพ์ทั้งในตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิดจากค่าที่ได้คำนวณไว้ แม่พิมพ์นี้จะต้องมี 4 Cavity ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่ใหญ่ที่สุดคือ 112 มม. ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกที่เผื่อไว้สำหรับ Cavity คือ 150 มม. และเพื่อให้แน่ใจว่า แผ่น Cavity จะมีความแข็งแรงเพียงพอจึงเลือก mould base ขนาดมาตรฐานคือ ขนาด 546 × 546 มม. ดังในภาพประกอบ 20

2.3.6 การคำนวณความหนาของแม่พิมพ์และระยะสำหรับเปิดแม่พิมพ์

สำหรับแม่พิมพ์ที่มี 4 Cavity ดังภาพประกอบ 20 จะใช้แม่พิมพ์ที่มี 3 plate และใช้รูน้ำพลาสติกเข้าแบบรูเข็ม (needle gate) ในการหาระยะของแม่พิมพ์ในตำแหน่งปิดและเปิด จะต้องทราบความหนาของแม่พิมพ์แต่ละแผ่น ซึ่งความหนาของแผ่นแม่พิมพ์นี้ อาจเลือกใช้ตามขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ ยกเว้นบางกรณีที่ไม่สามารถใช้แผ่นแม่พิมพ์มาตรฐานได้ ซึ่งจะต้องทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

จากภาพประกอบ 20 แสดงถึงแม่พิมพ์ชุดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ คือ

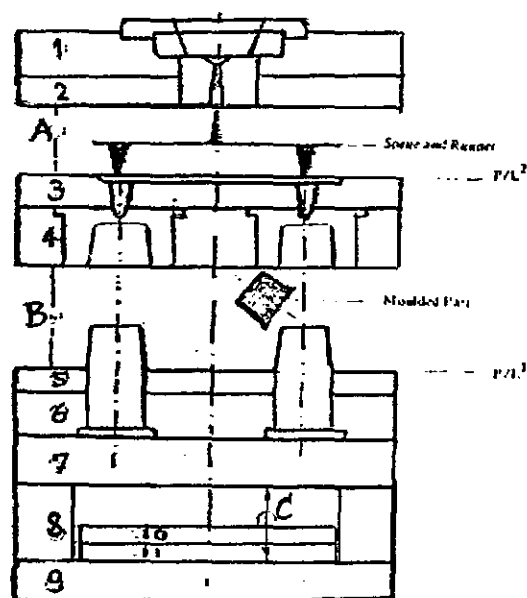
ความสูงของชิ้นงาน	35	มม.
แผ่น Cavity # 4	56	มม. (ต้องหนากว่าความสูงของชิ้นงาน)
Coreplate	36	มม.
แผ่น # 2 และ # 3	26	มม. (ไม่ใช่ขนาดมาตรฐาน)
แผ่นปลด (Stripper plate) #5	18	มม. (ไม่ใช่ขนาดมาตรฐาน)
Core back plate # 7	56	มม.
Spacer # 8	85	มม.
แผ่นยึดตัวปลด # 10	16	มม.
Ejector back plate และ stop	30	มม.



ภาพประกอบ 20 ตำแหน่งของ cavity ในพิมพ์มาตรฐานขนาด 546 X 546 มม.

(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:62)

แผ่นที่ 1	= 36 มม.	9	= 36 มม.
2	= 26 มม.	10	= 16 มม.
3	= 26 มม.	11	= 26 มม. (ไม่มี Stop bottom)
4	= 56 มม.		
5	= 18 มม.		
6	= 36 มม.		
7	= 56 มม.		
8	= 86 มม.		



ภาพประกอบ 21 ระยะเปิดของแม่พิมพ์
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:62)

A = 95 มม.

B = 110 มม.

C = แผ่น #10 + แผ่น # 11 + stop button + ความสูงของชิ้นงาน + 4 มม. (เพื่อให้ชิ้นงานหล่นได้) = 85 มม.

ระยะของแม่พิมพ์ทั้งชุดในตำแหน่งปิด = 375 มม.

ระยะเปิดที่ P/L 1 (A) เพื่อให้ sprue และ runner หล่นออก 95 มม.

ระยะเปิดที่ P/L 2 (B) เพื่อให้ชิ้นงานหล่นได้อย่างสะดวกคือ 2 เท่าของความสูงของชิ้นงาน + ระยะเมื่อ 40 มม.

$$= (2 \times 35) + 40 = 110 \text{ มม.}$$

ระยะในตำแหน่งที่แม่พิมพ์เปิด 580 มม.

2.3.7 แม่พิมพ์และแผนผังของเครื่อง

จำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดของเครื่องฉีดและขนาดของแม่พิมพ์เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ใช้กับเครื่องได้อย่างเหมาะสมและประหยัด ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้สามารถดูได้จากคู่มือการใช้เครื่องฉีดพลาสติก

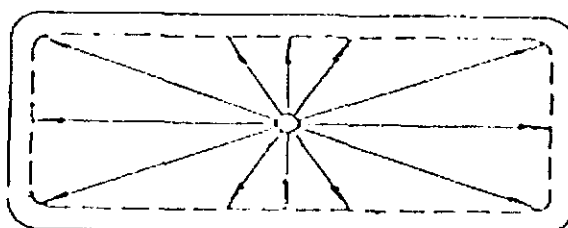
2.3.8 การวางตำแหน่งของรูน้ำพลาสติก (gate)

รูน้ำพลาสติกเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญมาก เพราะถ้าเลือกชนิดและวางตำแหน่งได้เหมาะสมทำให้การทำงานของเครื่องเป็นไปอย่างนุ่มนวล และชิ้นงานที่ได้ก็จะไม่เกิดการเสียหาย ไม่มีรอยตำหนิ ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงรูปแบบ และคุณลักษณะของรูน้ำพลาสติกเข้าชนิดต่าง ๆ

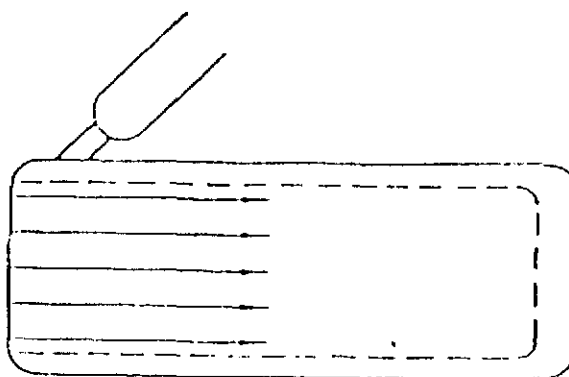
ชนิดและตำแหน่งของรูน้ำพลาสติกเข้าในแม่พิมพ์ จะต้องเลือกชนิดที่ทำให้น้ำพลาสติกที่หลอมละลายสามารถถูกฉีดเข้าแบบได้อย่างรวดเร็ว ระยะทางการไหลสั้น ไม่ได้รับความร้อนมากเกินไป ไม่สูญเสียความดัน และสามารถไหลไปถึงส่วนปลายสุดและทุก ๆ จุดใน cavity ได้ โดยใช้เวลาใกล้เคียงกัน สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมซึ่งต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ควรจะให้ทิศทางการไหลของพลาสติกอยู่ในทิศทางเดียวกัน

ภาพประกอบ 22, 23 แสดงให้เห็นถึงการวางตำแหน่งของรูน้ำพลาสติกเข้า ซึ่งมีผลต่อทิศทางการไหลของพลาสติก

การเลือกตำแหน่งและชนิดของรูน้ำพลาสติกเข้าขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและจำนวน Cavity ในแม่พิมพ์, โดยจะไม่ให้ตำแหน่งของรูน้ำพลาสติกเข้าอยู่บนผิวด้านนอกของชิ้นงาน เพราะจะดูไม่สวยงาม (ในการออกแบบระบบปลดชิ้นงานก็ควรพิจารณาในลักษณะเดียวกัน)



ภาพประกอบ 22 ช่องน้ำพลาสติกเข้ากลางชิ้นงาน
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:68)



ภาพประกอบ 23 ช่องรูน้ำพลาสติกเข้าด้านข้างของแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ทิศทางการไหลตามที่ต้องการ
(สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:68)

2.3.11 การจัดวางท่อหล่อเย็น (Arrangements of cooling system)

ในการออกแบบแม่พิมพ์บ่อยครั้งที่นักออกแบบใส่ระบบการหล่อเย็นในขั้นสุดท้ายของการออกแบบ ดังนั้นการจัดวางท่อหล่อเย็นก็จัดวางไว้ในบริเวณที่มีที่ว่าง บางทีการวางท่อหล่อเย็นก็ปล่อยให้ช่างทำแม่พิมพ์เป็นคนตัดสินใจ โดยไม่ต้องกำหนดในแบบ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบวิธีนี้ไม่เป็นวิธีที่ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการทำแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงสูง การวางท่อหล่อเย็นให้เหมาะสมควรจะพิจารณาเป็นสิ่งแรกก่อนที่จะเริ่มการออกแบบแม่พิมพ์ ระบบการเอาชนะงานออกและระบบอื่นๆ ก็เป็นปัจจัยในการออกแบบด้วย แต่ในการวางท่อหล่อเย็นก็มีความสำคัญพอๆ กัน ดังนั้นนักออกแบบต้องระลึกไว้เสมอว่า ระบบการหล่อเย็นก็มีความสำคัญต่อความเที่ยงตรงของขนาดของชิ้นงานต่อรอบเวลาในการฉีดและต่อความสวยงาม

รูน้ำหล่อเย็นเล็กทำให้อัตราการเย็นตัวช้า และโอกาสที่รูน้ำหล่อเย็นจะอุดตันก็มีมากขึ้นด้วย ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดชิ้นงานมากๆ และแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงจะแตกต่างกันอย่างมาก ในแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดชิ้นงานมากๆ จะต้องการเวลารอบต่ำ และไม่จำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงของขนาดมาก เนื้อพลาสติกก็ไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมากนัก และอาจจะมีเสียงเครียดในชิ้นงานสูง ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ชนิดนี้จะมีระยะทางสั้นกว่าและระยะระหว่างท่อและ Cavity ก็ห่างกันน้อยกว่า ซึ่งทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำกว่า วิธีการหล่อเย็นดังกล่าวมานี้เรียกว่า Hard Cooling

ในการฉีดชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดมาก และต้องการคุณสมบัติทางกลด้วย ควรจะใช้ระบบการหล่อเย็นที่เรียกว่า Soft cooling ในการฉีดชิ้นงานที่เที่ยงตรงและต้องการคุณสมบัติทางกลตามที่ต้องการ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ควรจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่พลาสติกเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ การหล่อเย็นควรจะเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงจนกระทั่งนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เป็นวิธีที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการให้อุณหภูมิเย็นลงอย่างช้าๆ นี้ จะไม่ประหยัดเพราะเวลารอบนานเกินไป เพราะฉะนั้นวิธีการดังกล่าวมาแล้วเป็นวิธีการที่เสนอแนะเท่านั้น นักออกแบบจะต้องตัดสินใจและเลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อจะให้การฉีดชิ้นงานให้เที่ยงตรงและประหยัดเวลาตามที่ต้องการ ในการฉีดชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงของขนาด สิ่งสำคัญประการแรกคือ ต้องให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์สูง

2.3.12 ระยะระหว่างท่อหล่อเย็นและ Cavity

ระยะระหว่างท่อหล่อเย็นและ Cavity ยิ่งห่างทำให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและจะทำให้ให้อุณหภูมิที่ผิว Cavity สูงในระหว่างการฉีด ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานผิดรูปไปน้อยและคุณสมบัติทางกลดีขึ้น ทำให้เวลารอบมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าท่อหล่อเย็นใกล้กับ Cavity จะทำให้ความร้อนถ่ายเทออกได้เร็ว แต่มีโอกาสนำให้ชิ้นงานผิดรูปไปและทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง

ระยะทางระหว่างท่อหล่อเย็น ถ้าระยะของท่อหล่อเย็นน้อย ๆ จะทำให้อุณหภูมิบนแม่พิมพ์สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ดี ถ้าเราไม่สามารถทำให้ท่อหล่อเย็นอยู่ใกล้ก็ควรจะขยายท่อหล่อเย็นให้ใหญ่ขึ้นถ้าผนังของชิ้นงานหนาขึ้นก็ควรจะใช้ท่อหล่อเย็นที่โตขึ้นเพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

2.3.13 ระบบปลดชิ้นงานในแม่พิมพ์พลาสติก (The ejector system)

สารประกอบพลาสติก (plastic compound) ทุกชนิด จะมีการหดตัวระหว่างการหล่อเย็น ในแม่พิมพ์พลาสติกจะมีการหดตัวและติดอยู่บนแกนหรือบนพิมพ์ตัวผู้ของแม่พิมพ์ ดังนั้นโดยทั่วไปตัวปลดชิ้นงานจะทำงานบนส่วนที่มีการเคลื่อนที่ในแม่พิมพ์ (Moving half of the mould) อย่างไรก็ตามในบางกรณีตัวปลดชิ้นงานจะถูกติดตั้งอยู่ในส่วนที่อยู่กับที่ (Fixed half) เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไปจะมีกลไกการปลดชิ้นงานออกติดตั้งอยู่บนส่วนที่เคลื่อนที่ของแม่พิมพ์กลไกนี้อาจเป็นชนิดทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีการ

เคลื่อนที่ 2 จังหวะไม่จำเป็นต้องใช้ Return pin. อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในทางปฏิบัติมักจะออกแบบให้มี Return pin ด้วย บางครั้ง ejector อาจเลื่อนกลับด้วยแรงสปริง

การทำงานของระบบปลดชิ้นงานในแม่พิมพ์มีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพผิวของ Cavity และ Core การขัดผิวของ Cavity และ Core ซึ่งจะมีความสำคัญและควรจะต้องในทิศทางเดียวกันกับแม่พิมพ์เปิดเพื่อให้การตัดชิ้นงานออกได้ง่าย (Problem-Free ejection) การขัดด้วยล้อขัดที่หุ้มด้วยหนังทำให้ผิวหน้าของเหล็กเป็นเงาได้ แต่การขัดด้วยวิธีนี้ไม่สามารถ ให้ผิวเรียบตามที่ต้องการได้ เพราะล้อขัดที่หุ้มด้วยหนังจะหมุนไปตามเส้นรอบวง (contour) ของผิวหน้าและไม่สามารถลบรอยขีดข่วนหรือรอยจากการกลิ้งออกได้ การขัดต้องทำในทิศทางการถอดชิ้นงาน ถ้าเป็นไปได้ผิวหน้าเหล่านี้ควรมีการขัดละเอียด (Lapped) เพื่อที่จะให้ผิวเรียบ โดยเฉพาะในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการถอดชิ้นงาน มุมเอียงด้านข้าง (draft angle) เล็กเท่าไร คุณภาพของผิวหน้า Cavity และ Core ก็จะดียิ่งขึ้นเท่านั้น

อย่างไรก็ตามเมื่อมีความลำบากในการถอดชิ้นงานออกจาก Cavity ดังนั้นต้องทำ Undercut เล็กๆ หรือร่องขึ้นบน Core หรือแกนตัวผู้ เพื่อที่จะให้ชิ้นงานพลาสติกอยู่ที่ Core หลังจากนั้นจะให้ตัวกระทุ้งดันชิ้นงานให้หลุดออกจาก Core

ถ้าผิวของ Cavity มีรอยขีดข่วนซึ่งอาจทำให้พลาสติกเหลวไหลเข้าไปในส่วนนั้นได้ จะยังผลให้ชิ้นงานติดอยู่ที่ Cavity ทำให้การปลดชิ้นงานออกลำบาก หรือเมื่อปลดชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานเกิดรอยร้าวขึ้นได้

ในการคำนวณราคาการผลิตแม่พิมพ์ เวลาในการขัดผิวของ Cavity และ Core จะสูงถึง 1/3 ของเวลาทำแม่พิมพ์ทั้งหมด ซึ่งเราต้องนำมาพิจารณาด้วย

2.3.14 ชุดดันแกนกระทุ้งกลับ (ejector pin return)

แกนกระทุ้งในแม่พิมพ์ธรรมดา จะเลื่อนกลับมาในตำแหน่งเดิมในจังหวะการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยแกนกระทุ้งจะเลื่อนกลับด้วยแรงสปริง ในแม่พิมพ์ที่มี Core ด้านข้าง แกนกระทุ้งจะต้องทำงานสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของ Core ด้านข้าง กรณีนี้แกนกระทุ้งจะต้องกลับมาก่อน Core ด้านข้างจะเลื่อนกลับ ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเสียหายของ Core ด้านข้างและแกนกระทุ้ง

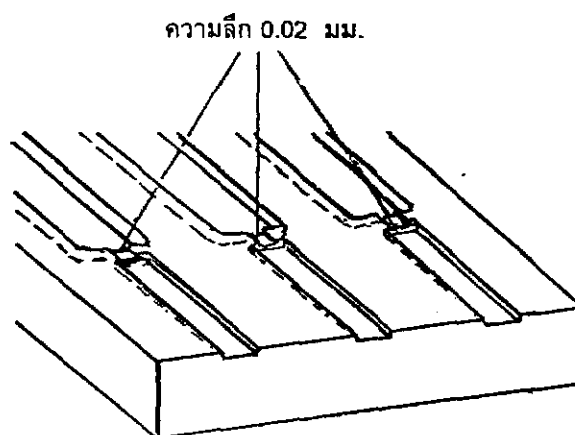
ปกติแกนกระทุ้งจะเลื่อนกลับด้วยสปริงก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดแล้วจึงไปดันกลไกของ Core ด้านข้างให้เลื่อนกลับในการออกแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายและถูก แต่ควรระวังลึกลงไปถ้าเกิดการขัดข้องขณะทำงานจะทำให้แม่พิมพ์เสียหายได้ การฉีดด้วยความสูงๆพลาสติกเหลวอาจจะเข้าไปในช่องว่างระหว่างแกนกระทุ้งกับรูได้ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ดังนั้นแรงสปริงไม่เพียงพอที่จะดันให้แกนกระทุ้งเลื่อนกลับและอาจจะทำให้เกิดการเสียหายได้

2.3.15 การระบายอากาศในแม่พิมพ์พลาสติก

การระบายอากาศใน cavity แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะว่าเมื่อพลาสติกหลอมเหลวถูกฉีดเข้าไปใน cavity อากาศใน cavity จะถูกพลาสติกหลอมแทนที่ ฉะนั้นอากาศใน cavity ต้องหนีออกได้ การใช้ร่องระบายอากาศทำให้การเติมพลาสติกหลอมได้อย่างรวดเร็ว ถ้าการระบายอากาศไม่เพียงพอไม่เพียงแต่จะทำให้กระบวนการเติมพลาสติกหลอมเข้าไปใน cavity ได้ช้าแล้วยังมีผลให้ชิ้นงานพลาสติกที่ออกมาไม่สมบูรณ์

ร่องระบายอากาศจะถูกเตรียมไว้ในส่วนแบ่งผิวแม่พิมพ์ (Parting Surface) ใกล้กับรอยต่อของน้ำพลาสติกเหลวมาพบกัน (weld line) แต่ร่องระบายอากาศจะถูกทำขึ้นหลังจากทำแม่พิมพ์พลาสติกเสร็จแล้วและเกี่ยวกับตำแหน่งของร่องระบายอากาศดังแสดงในภาพประกอบ 24 เป็นร่องระบายอากาศแบบ

แบนเล็ก 0.01 — 0.02 มม. กว้าง 3 มม. ถ้าร่องระบายอากาศลึกเกินไปพลาสติกเหลวก็จะสามารถไหลออกทางร่องระบายอากาศได้ เมื่อทำการฉีดขึ้นงานพลาสติกและเมื่อนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์พลาสติกเหลวที่ไหลเข้าไปในร่องระบายอากาศก็ยังคงติดมากชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ

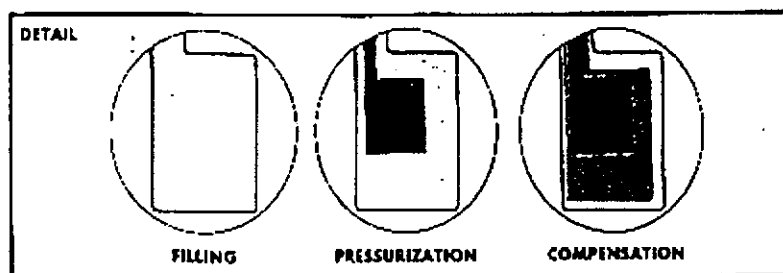


ภาพประกอบ 24 ร่องระบายอากาศบนส่วนแบ่งแม่พิมพ์ (parting Surface) ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ. 2531:95)

2.4 การวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์

กระบวนการไหลของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์นั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อน โดยปัจจัยทางด้านผนังควาวิต์ของแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นกว่าจุดที่น้ำพลาสติกแข็งตัว เมื่อน้ำพลาสติกเข้าสู่ควาวิต์ ผิวนอกของพลาสติกจะสัมผัสกับผิวของควาวิต์ที่เย็นกว่า จะกลายเป็นพลาสติกแข็งไปทันที ขณะที่แกนกลางของพลาสติกยังหลอมเหลวอยู่ พลาสติกที่ฉีดตามเข้าไป จะไหลอยู่ในแกนกลางนี้ โดยดันพลาสติกที่อยู่บริเวณนั้นให้ไหลต่อไปเกิดเป็นส่วนหน้าของการไหลขึ้นมาใหม่ การไหลของพลาสติกที่ถูกดันไปนี้ เป็นการผสมกันระหว่างการไหลไปข้างหน้ากับการไหลออกข้างนอก ส่วนที่ไหลออกข้างนอก จะสัมผัสกับผนังของควาวิต์ แข็งตัว และกลายเป็นทางให้พลาสติกใหม่ที่ไหลเข้ามาตามช่องที่มีผนังเป็นพลาสติกแข็ง

น้ำพลาสติกจะไหลเต็มควาวิต์หรือไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานที่ฉีด ระยะทางที่น้ำพลาสติกไหลและตัวแปรในการฉีด คือ อุณหภูมิของน้ำพลาสติกและแม่พิมพ์ วิธีการที่ใช้กันมากในการออกแบบ คือ อัตราส่วนเส้นทางการไหล (Flow path ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของระยะทางการไหลกับความหนาของช่องทางไหล โดยมีข้อกำหนดว่า ถ้า Flow path ratio มากกว่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความหนาของหน้าตัดแล้ว การไหลของน้ำพลาสติกจะเต็มแม่พิมพ์ ความยาวของการไหลคือ ระยะทางวัดจากกรูเข้า (gate) ของน้ำพลาสติกไปถึงสุดที่ไหลที่สุดในควาวิต์ ส่วนความหนาของช่องทางไหลอาจมีผลต่ออัตราส่วนนี้อยู่บ้าง แต่ชิ้นงานฉีดพลาสติกมักจะไม่แตกต่างกันมากนัก สิ่งที่น่าสนใจก็คืออุณหภูมิของน้ำพลาสติกในช่วงที่มีค่าสูง จะฉีดโดยที่มี Flow path ratio สูง อัตราส่วนนี้สามารถใช้เป็นแนวทางเกี่ยวกับความสามารถในการฉีดแม่พิมพ์สำหรับนักออกแบบและช่างฉีดพลาสติกได้



ภาพประกอบ 26 แสดงรายละเอียดช่วงการฉีด

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น, 2545:3)

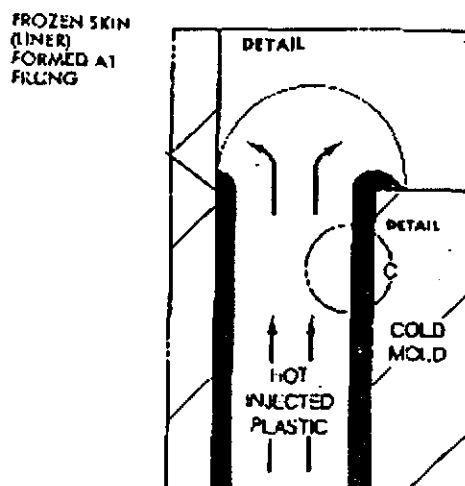
2. ช่วงเพิ่มแรงดัน เป็นช่วงที่น้ำพลาสติกเต็มแม่พิมพ์ ทำให้ความดันในแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกลียวของกระบอกสูบจะเคลื่อนที่ช้าลงแต่ก็เคลื่อนที่ไปได้ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถอัดตัวได้ ความดันจะเพิ่มถึงสูงสุดของแรงฉีด (Injection Pressure) โดยทั่วไปแล้วสามารถจะอัดตัวได้อีก 15% การอัดตัวพลาสติก เราสามารถพิสูจน์ได้โดยกันหัวฉีดไว้แล้วกดปุ่มฉีดพลาสติกเพื่อให้แรงดันเกลียวจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่จะสปริงกลับเมื่อปล่อยแรงดัน ซึ่งไม่เหมือนกับน้ำที่อัดตัวไม่ได้ แต่น้ำพลาสติกจะคล้ายกับแก๊ส

3. ช่วงฉีดชดเชย ช่วงการฉีดชดเชยนั้นจะต่อหลังจากช่วงเพิ่มแรงดัน ช่วงนี้เกิดจากพลาสติกที่เข้าสู่แม่พิมพ์จะเริ่มเย็นตัวและหดตัวด้วย จึงจำเป็นต้องมีเนื้อพลาสติกมาเสริมแทนที่ส่วนที่หดตัวไป เพราะฉะนั้นในการฉีดจำเป็นต้องคงความดันฉีดไปช่วงหนึ่ง จนกว่าการเย็นตัวของพลาสติกจะถึงจุดที่ไม่สามารถอัดเข้าไปได้แล้ว โดยทั่ว ๆ ไปตัวกำหนดเวลาจุดนี้ ก็คือการเย็นตัวของเกนนั้นเอง ช่วงการฉีดชดเชยนี้จะเติมน้ำพลาสติกเข้าไปปริมาตร 25% ของการฉีด Shot หนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้จากชิ้นงานที่ไม่เต็ม ส่วนปลายไหลของพลาสติกจะหดตัวมาก และจะเห็นความแตกต่างระหว่างปริมาตรของชิ้นงานกับปริมาตรของควาวิดีที่หดตัวนี้ จะถูกฉีดชดเชย ในช่วงการฉีดชดเชย จะเห็นว่าปริมาตรที่ฉีดเพิ่มเพียง 15% ในช่วงเพิ่มแรงดัน ไม่เพียงพอที่จะชดเชยปริมาตรที่หดตัวไป 25 % จึงต้องมีการฉีดชดเชย

2.4.3 รูปแบบการไหลในขณะฉีด

ในขณะฉีดพลาสติกโดยทั่วไป ช่วงฉีดจะไม่ค่อยสนใจรูปแบบการไหล ไม่ได้มองลึกไปถึงรายละเอียดของการไหลมากนัก ทำให้ไม่สามารถจะวิเคราะห์รายละเอียดวิธีการไหลเข้าสู่ควาวิดีได้อย่างไร อาจเป็นเพราะเราไม่สามารถมองเห็นพลาสติกขณะที่ไหลในแม่พิมพ์ได้ จึงไม่ค่อยตรวจสอบจุดนี้มากนัก แต่ถ้าใช้คอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์การไหลก็จะมองเห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น วิธีการทดลองในการฉีดพลาสติกโดยการใช้พลาสติกสองสี เติมน้ำพลาสติกสีแดงในจำนวนเล็กน้อยลงไปในกระบอกฉีดที่ว่าง แล้วตามด้วยพลาสติกสีเขียวหรือเม็ดต่างสีกันแล้วทำการฉีดพลาสติกตามปกติ น้ำพลาสติกจะไหลจากหัวฉีดจนเต็ม Sprue และ Runner แล้วเข้าสู่ควาวิดี รูปแบบบริเวณส่วนหน้าหรือหัวไหลจะเป็นรูปลูกโป่ง ผิวของพลาสติกส่วนนี้จะสัมผัสกับผิวแม่พิมพ์ที่เย็นตัวกว่าจะกลายเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว ถ้าหากเส้นทางที่ยาวมากหน้าไหลนั้นจะเย็นตัว และแข็งตัวกลายเป็นรูปทรงกลมและหมุนไปเรื่อย ๆ ตามแรงที่ฉีดมาเรื่อย ๆ แต่ถ้ายังไม่เย็นตัวมากนักที่แกนกลางก็ยังหลอมเหลวอยู่ พลาสติกที่ฉีดตามเข้าไปจะไหลเข้าไปตามแกนกลางของแกนรูปลูกโป่งนี้ และไล่พลาสติกที่เย็นตัวให้ไปประกบกับผิวข้างควาวิดี แล้วกลายเป็นหน้าไหลใหม่อีกอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ ส่วนที่ไหล

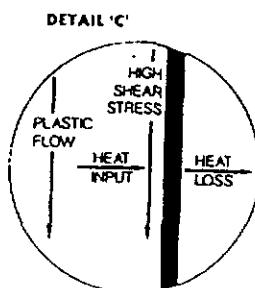
ออกไปข้างนอกประกบกับผิวของควาดีก็กลายเป็นผิวแข็ง ฉนวนความร้อนที่กั้นอุณหภูมิระหว่างแกนกลางที่กำลังหลอมเหลวอยู่อย่างยาวนานขึ้น พลาสติกที่ฉีดเพิ่มเข้าไปก็จะไหลไปตามแกนกลางเหล่านี้ตลอดไปตามรูปด้านล่าง



ภาพประกอบ 27 การไหลแบบลูกโป่ง

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:4)

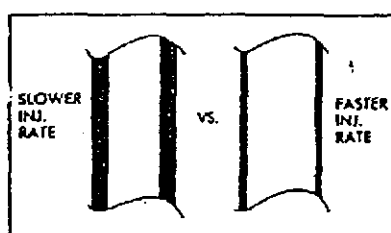
รูปแบบการไหลนี้เรียกว่าการไหลแบบลูกโป่งหรือแบบน้ำพุ (Fountain Effect or Bubble flow) เพราะหน้าการไหลคล้ายลูกโป่งที่กำลังพองตัวออกด้วยพลาสติกที่ร้อนดันตรงกลาง ชั้นพลาสติกที่แข็งตัวเกิดจากการพองตัวออกนี้ และมีความเค้นเฉือนต่ำ จึงมีระดับ Orientation ต่ำค้างอยู่ได้อีก หากจะพิจารณาจุดที่เริ่มต้นทางการไหล พลาสติกร้อนจะไหลอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ควาดี โดยเฉพาะขณะที่ผ่านเกจที่เล็ก และเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นจากการไหลเสียดทาน ระหว่างน้ำพลาสติกกับผิวควาดี ในช่วงแคบ ๆ ขณะเดียวกันความร้อนสูญเสียไปทางชั้นพลาสติกแข็งสู่แม่พิมพ์ที่เย็นกว่า จึงเป็นการชดเชยความร้อนต่อกัน ในช่วงเริ่มต้นชั้นพลาสติกแข็งที่มีความบางมาก ความร้อนจึงถ่ายเทออกอย่างรวดเร็วเป็นผลให้ชั้นแข็งของพลาสติกมีความหนาเพิ่มขึ้นจนทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง หลังจากผ่านไประยะหนึ่งแล้วชั้นพลาสติกแข็งจะมีความหนาคงที่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำพลาสติกกับแม่พิมพ์จะเหลือเพียงการสูญเสียด้วยวิธีการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเท่ากับความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการเสียดสีระหว่างน้ำพลาสติกกับผิวแม่พิมพ์ทำให้เกิดความสมดุลทางความร้อนขึ้นดังรูปด้านล่าง



ภาพประกอบ 28 การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำพลาสติกกับแม่พิมพ์

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:5)

ส่วนความหนาของชั้นพลาสติกที่แข็งตัวระหว่างผิวควิตกับแกนของพลาสติกที่หลอมเหลว อยู่จะมีความแตกต่างกัน ถ้าอัตราการฉีดเข้าการไหลจะทำให้เกิดความร้อนจากการเติมเข้ามาของพลาสติก และความเสียดทานต่ำ การสูญเสียความร้อนจะมีเท่าเดิม เมื่อได้รับความร้อนน้อยชั้นพลาสติกจะแข็งและหนาขึ้น แต่ถ้าอัตราการฉีดเร็วจะได้รับความร้อนจากพลาสติกที่ไหลตามมาอย่างรวดเร็วทำให้ชั้นพลาสติกบางขึ้น แต่ก็อยู่ในขีดจำกัดด้วยเหมือนกัน ถ้าน้ำพลาสติกและแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ลดความหนาของชั้นพลาสติกแข็งได้ซึ่งวิธีการนี้สามารถที่จะทดสอบได้โดยใช้การฉีดพลาสติกสองสี



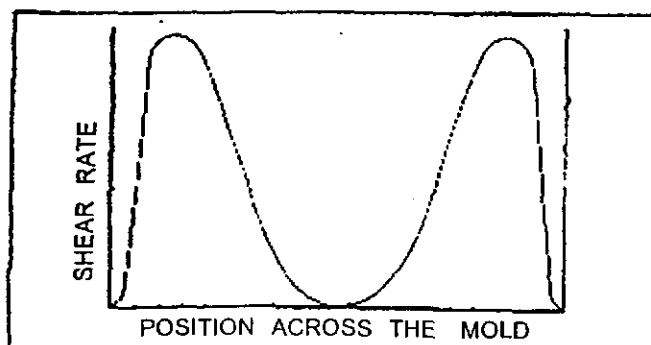
ภาพประกอบ 29 เปรียบเทียบอัตราการฉีด

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:5)

2.4.4 ความเค้นเฉือนจากการไหล (Flow Shear Stress)

ในการไหลของพลาสติกมักจะเกิดความสับสนกันระหว่างระดับความเค้นกับ Orientation ของพลาสติก ขณะพลาสติกไหลก็จะเกิดความเค้นเฉือน จากการไหลของเหลวชนิดอื่นก็เหมือนกัน ขณะเกิดการไหลก็จะเกิดความเค้นเฉือน จากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลพลาสติก เรียกว่าความเค้นเฉือนจากการไหล ความเค้นนี้จะทำให้พลาสติกเกิด Orientation คือ ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่วางแนวไปในทิศทางการไหล ความเค้นเฉือนการไหลภายในแม่พิมพ์ฉีดจะแปรค่าสูงสุดที่ด้านนอกที่ติดกับผิวแม่พิมพ์ และลดลงจนกลายเป็นศูนย์ที่กึ่งกลางของเส้นทางการไหล

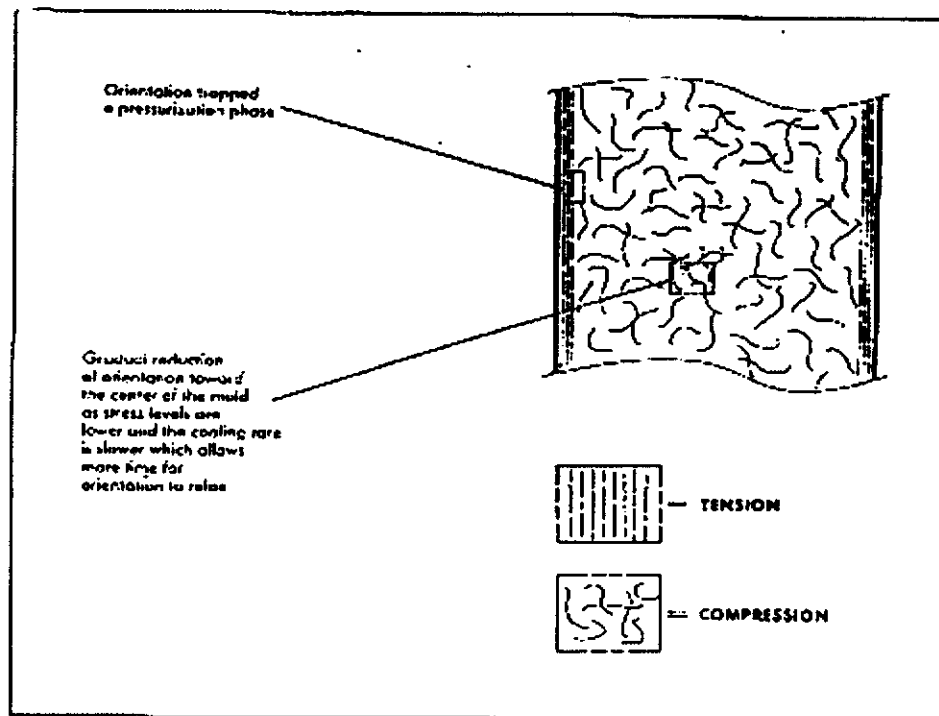
สรุป ความเค้นเฉือนเป็นแรงต่อพื้นที่สะสมในเนื้อพลาสติกที่ไหล แตกต่างกับอัตราเฉือน ซึ่งเป็นอัตราการเฉือนของชั้นพลาสติกบนชั้นที่ติดไป อัตราเฉือนเป็นศูนย์ที่ด้านนอกสุดที่พลาสติกแข็งตัวและเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดระหว่างส่วนของเหลวที่ไหลกับส่วนที่แข็งยึดอยู่กับที่และลดลงที่กึ่งกลาง



ภาพประกอบ 30 อัตราการเฉือนของน้ำพลาสติก (Shear Rate)

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:6)

ถ้า น้ำพลาสติกหยุดไหลและปล่อยให้พลาสติกค่อยๆเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะมีเวลาให้ Orientation เกิดการคลาย ทำให้ Orientation เหลือค้างอยู่ในระดับต่ำ ตรงกันข้ามถ้าพลาสติกมีความเย็นและพลาสติกเย็นตัวแข็งทันที (Hard Cooling) Orientation และความเค้นก็จะเหลือตกค้างอยู่ในพลาสติกเกือบทั้งหมดดังรูป



ภาพประกอบ 31 Orientation และความเค้นตกค้าง

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:6)

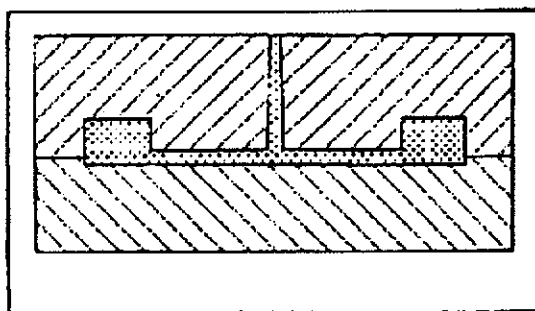
เมื่อพิจารณา Orientation จากผิวแม่พิมพ์จนกระทั่งถึงกลางของการไหล น้ำพลาสติกชั้นที่เป็นพลาสติกแข็งจะเกิดการเย็นตัวเร็ว จึงมี Orientation น้อย ชั้นพลาสติกที่อยู่ถัดจากชั้นพลาสติกแข็งในส่วนที่ติดกันกับส่วนที่เหลว จะเกิดความเค้นเฉือนสูงสุด และจะกลายเป็นพลาสติกแข็งทันทีที่หยุดไหล Orientation เกือบทั้งหมดจึงค้างอยู่ถัดเข้าไปอีกจนถึงถึงกลางความเค้นเฉือนจะลดลง และอัตราการเย็นตัวจะต่ำกว่ามาก ทำให้มีเวลามากกว่าสำหรับการคลาย Orientation ดังนั้น Orientation ที่ค้างอยู่จึงลดลงมาจนกระทั่งถึงถึงกลาง รูปแบบของ Orientation จะมีผลต่อระดับความเค้นตกค้าง พลาสติกที่มี Orientation มากจะหดตัวมากกว่าพลาสติกที่มี Orientation น้อย ที่ผิวในของชั้นพลาสติกแข็ง พลาสติกที่มี Orientation ที่ต่ำกว่าชั้นพลาสติกแข็ง จะเกิดสภาพถูกดึงจากชั้นพลาสติกที่ Orientation นี้ ก็เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเค้นตกค้าง และก็เป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดการโค้งงอ หรือหดตัวของชิ้นงานพลาสติก

2.4.5 ช่วงเพิ่มแรงดัน (The Pressurization Phase)

การไหลของพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ในช่วงเพิ่มแรงดัน คล้ายกับช่วงฉีดเต็มแม่พิมพ์แต่อัตรา
การไหลจะลดลงมา ขณะที่แรงดันภายในแม่พิมพ์จะสูงขึ้น ทำให้ชั้นพลาสติกแข็งหนาขึ้น

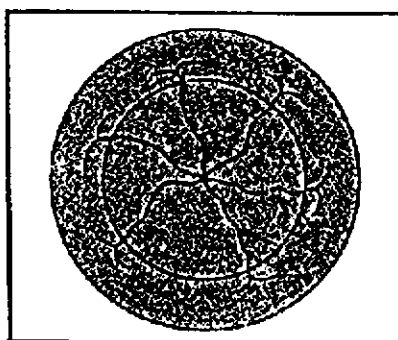
2.4.6 ช่วงฉีดชดเชย (The Compensating Phase)

การไหลในช่วงนี้จะไม่แน่นอน พิจารณาการฉีดรูปจานถาลองพิจารณาว่าพลาสติกน่าจะไหล
ไปถึงบริเวณที่ขอบหนอย่างสม่ำเสมอโดยผ่านส่วนบาง แต่ในทางปฏิบัติถ้านำมาพิจารณาให้ดีแล้ว พลาสติก
จะไหลแตกแขนงคล้ายแม่น้ำ ซึ่งพลาสติกที่ไหลจะแบ่งเป็นกลุ่มก้อนเชกเตอร์ของวงกลม ไม่ได้ราบเรียบ
สม่ำเสมอตามแนวรัศมีอย่างคลื่นน้ำ คล้ายรอย Melt line ขนาดเล็กอันเกิดจากความแตกต่างของ Pressure
ภายในส่วนชิ้นงานพลาสติก และผลจะตามมาในเรื่องการชดเชยการหดตัว



ภาพประกอบ 32 การไหลของพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:7)



ภาพประกอบ 33 การฉีดรูปจาน

(สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. 2545:7)

3. เครื่องฉีดพลาสติก

3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกจะมีส่วนประกอบซึ่งมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

3.1.1 หน่วยหลอมพลาสติก(Plasticizing unit)

มีหน้าที่หลอมเหลวเม็ดพลาสติกให้มีปริมาณเพียงพอต่อการฉีดแต่ละครั้ง โดยมีช่วงจังหวะการทำงานดังนี้

3.1.1.1 ช่วงป้อน(Feed zone)

ในช่วงป้อนนี้ เม็ดพลาสติกที่ยังแข็งอยู่หรือหลอมเหลวบางส่วน จะถูกป้อนไปข้างหน้า อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการป้อนพลาสติก ต้องตั้งอุณหภูมิให้เกิดการป้อนที่ดีที่สุด

3.1.1.2 ช่วงอัด(Compression zone)

เพราะเม็ดพลาสติกมีช่องว่างระหว่างเม็ดเมื่อหลอมเหลวจึงมีปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่ง (ปกติเม็ดพลาสติกจะมีความหนาแน่น $0.4-0.5 \text{ g/cm}^3$) แต่ในขณะที่หลอมเหลวแล้วจะมีความหนาแน่น $0.8-1.3 \text{ g/cm}^3$)

ความลึกของร่องเกลียวในช่วงอัดจะค่อยๆ ลดน้อยลง ทำให้พลาสติกที่หลอมเหลวมีการการคลุกเคล้ากัน พลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกอัดส่งผลให้เกิดความร้อนและความดันในพลาสติกมากขึ้น ดังนั้นอากาศ, ความชื้น และแก๊สที่ระเหยออกจากพลาสติกจะถูกดันให้ไหลย้อนออกไปทางกรวยเติมพลาสติก (Hopper)

3.1.1.3 ช่วงวัดปริมาณพลาสติก (Metering zone) มีหน้าที่ 3 ประการ คือ

3.1.1.3.1 ทำให้พลาสติกเหลวมีอุณหภูมิเหมาะสมที่สุด

ร่องเกลียวในช่วงนี้จะตื้นที่สุดจึงมีการเฉือน (Shearing) ในเนื้อพลาสติกมาก และความร้อนจากการเฉือนนี้จะต้องพอดีที่จะทำให้พลาสติกเหลวมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการนำไปฉีด

3.1.1.3.2 ผสมคลุกเคล้าพลาสติกและกระจายสารที่ผสมให้ทั่วถึงกัน

การผสมและการกระจายก็เป็นผลจากการเฉือน เพราะทำให้เกิดการคลุกเคล้าและกระจายสี (Master batch หรือ Dry color) หรือใยแก้ว(Glass fiber) ซึ่งผสมไว้ในพลาสติกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์ให้ดีขึ้น

3.1.1.3.3 ส่งพลาสติกที่มีปริมาณคงที่ ไปที่ช่องว่างระหว่างหน้าสกรูกับหัวฉีด

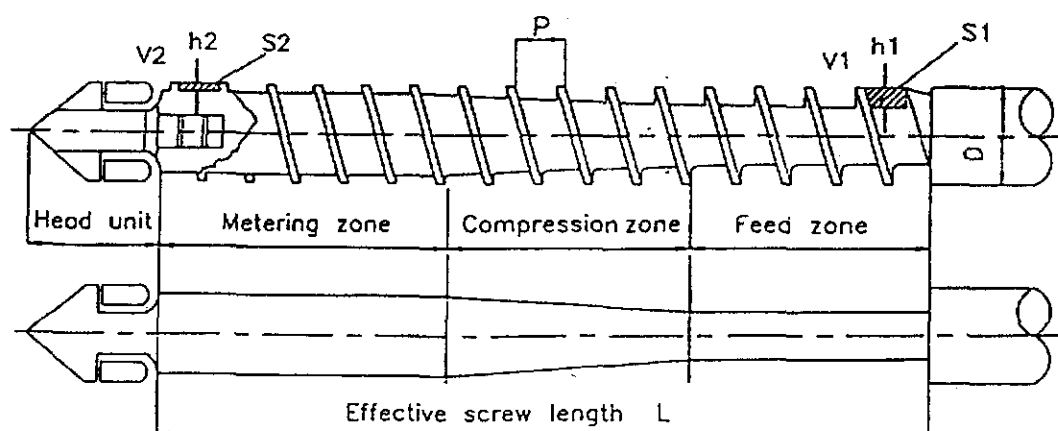
3.1.1.4 ช่วงอื่นๆ

เช่น มีช่วงระบายแก๊ส ซึ่งต้องเลือกสกรูให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก

h_1, h_2 คือ ความลึกของร่องเกลียว

S_1, S_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของร่องเกลียว

V_1, V_2 คือ ปริมาตรของร่องเกลียว

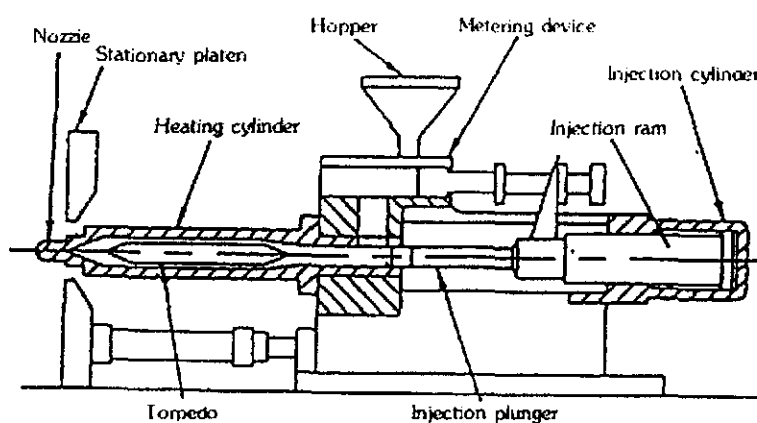


ภาพประกอบ 34 โครงสร้างสกรู

(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:21)

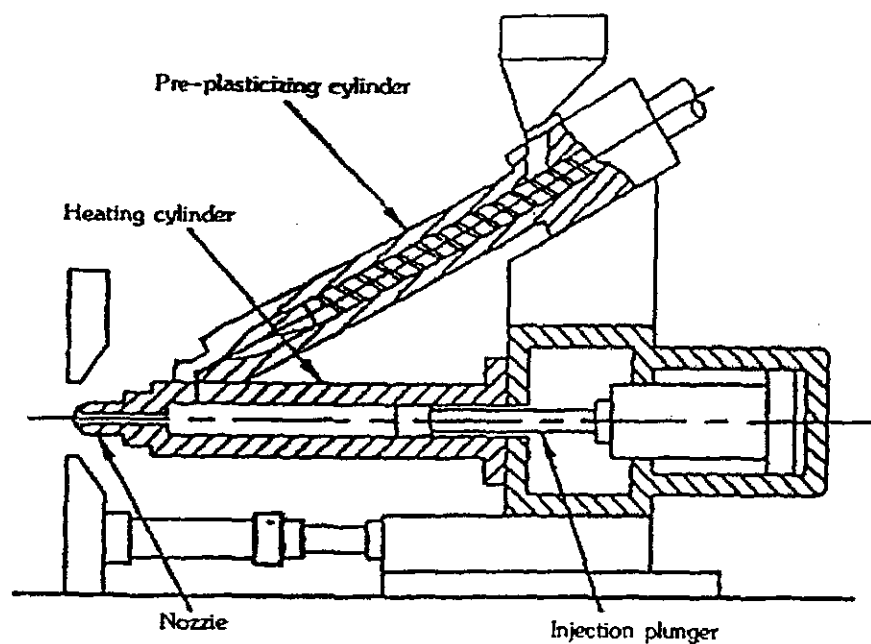
3.1.2 ชุดฉีด (Injection unit)

มีหน้าที่ฉีดพลาสติกเหลวผ่านหัวฉีดของชุดฉีดให้เข้าไปในแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว มีหน่วย หลอม และฉีดพลาสติกอยู่หลายแบบ เช่น แบบลูกสูบ (Plunger type) และแบบสกรู (Screw inline type) แบบ ที่นิยมกันมากที่สุดคือแบบใช้สกรู เพราะสามารถหลอมพลาสติกและฉีดพลาสติกได้ด้วยสกรูตัวเดียวกัน, ควบคุมพลาสติกเหลวได้ดี, ฉีดชิ้นงานขนาดเล็กได้ดี, สูญเสียแรงดันน้อยมาก ฯลฯ

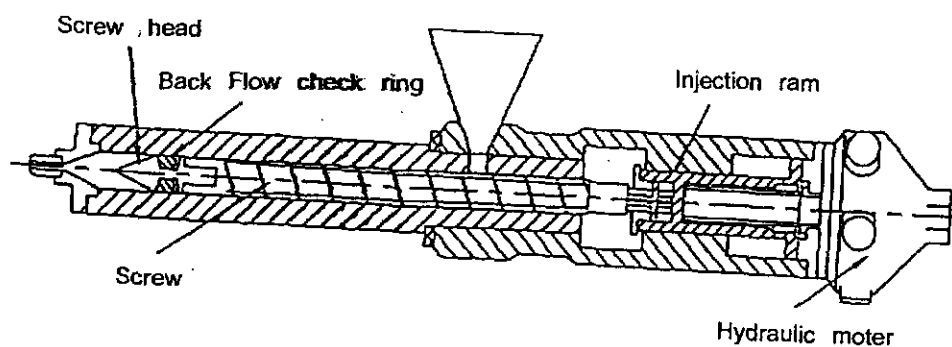


ภาพประกอบ 35 แบบลูกสูบ

(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:4)



ภาพประกอบ 36 แบบมีสกรู
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:5)



ภาพประกอบ 37 แบบใช้สกรูตัวเดียว
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:5)

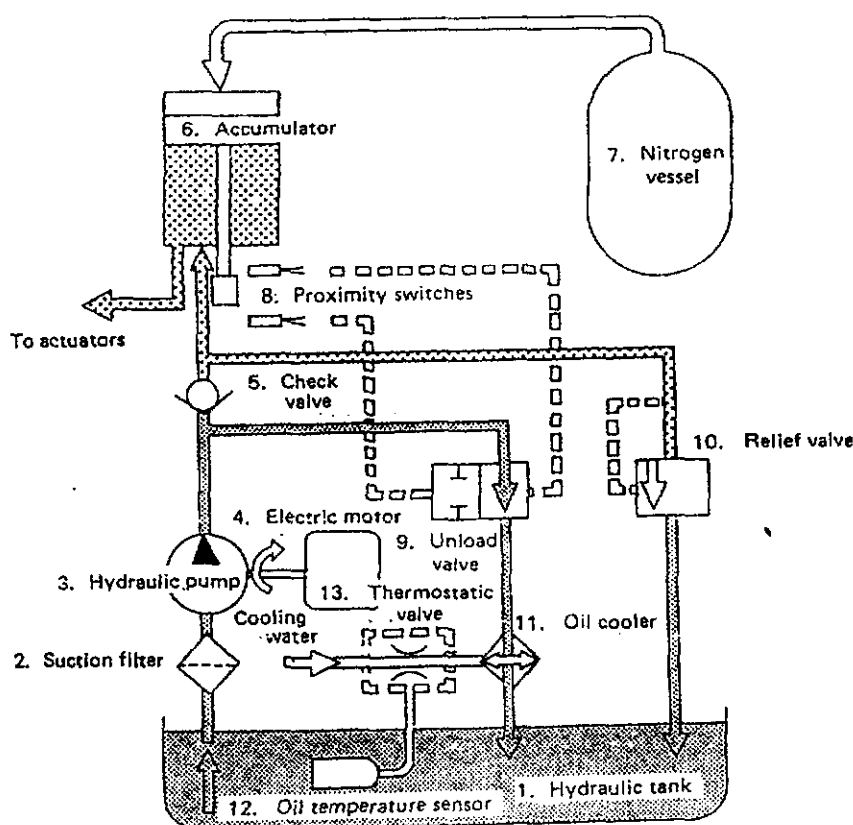
ระบบการฉีดเป็นระบบที่สำคัญที่สุดในเครื่องฉีดพลาสติกเนื่องจากมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์, ความปลอดภัยในการทำงาน, ความสามารถในการทำให้เกิดรูปร่างชิ้นงาน และปัจจัยอื่นๆต่อการผลิต ระบบการฉีดมีหลายระบบ เช่น ระบบที่ใช้ลูกสูบ, ระบบที่มีลูกสูบเพื่อเตรียมพลาสติกก่อนฉีด, ระบบที่

มีสกรูเพื่อเตรียมพลาสติกก่อนฉีด และระบบที่ใช้สกรูตัวเดียวทั้งในการหลอมและฉีดพลาสติก (In-line screw type) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน

การขับเคลื่อนทั้งชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์และชุดฉีดต่างก็ใช้ระบบไฮดรอลิก โดยเฉพาะในชุดฉีด ซึ่งต้องมีวงจรจ่ายน้ำมันที่มีความดันแตกต่างกันหลายวงจร แต่ละวงจรต่างก็ส่งผลต่อความเที่ยงตรงของชิ้นงานอย่างมากทั้งสิ้น

แม้ว่าในเครื่องฉีดจะมี Pressure relief valve เป็นตัวควบคุมความดันในระบบให้คงที่ ตามที่ตั้งค่าไว้อยู่แล้ว แต่ความดันมักจะตกลงเมื่ออุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกทำงาน ในวงจรไฮดรอลิกของเครื่องฉีดบางเครื่องจึงมักจะมีถังสะสมความดัน (Accumulator) เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เพื่อรักษาความดันในระบบให้คงที่ โดยอาศัยการปรับความดันของแก๊สในโตรเจนทางด้านบนของถังสะสมความดันให้พอดีกับความดันน้ำมันไฮดรอลิกในระบบที่เข้ามาทางด้านล่างของถัง ความดันในระบบจะสูงสุดเมื่อลูกสูบในถังสะสมความดันอยู่ที่ตำแหน่งบนสุด และความดันจะต่ำสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งล่างสุด ในทางปฏิบัติจะมีการเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างการทำงานน้อยมาก เพราะปั๊มไฮดรอลิกจะเริ่มปั๊มน้ำมันเข้าในถังสะสมความดันทันทีที่ลูกสูบในถังสะสมความดันเริ่มมีระดับต่ำลง

การควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงความดันน้อยที่สุด มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงในการฉีดทุก ๆ ครั้ง

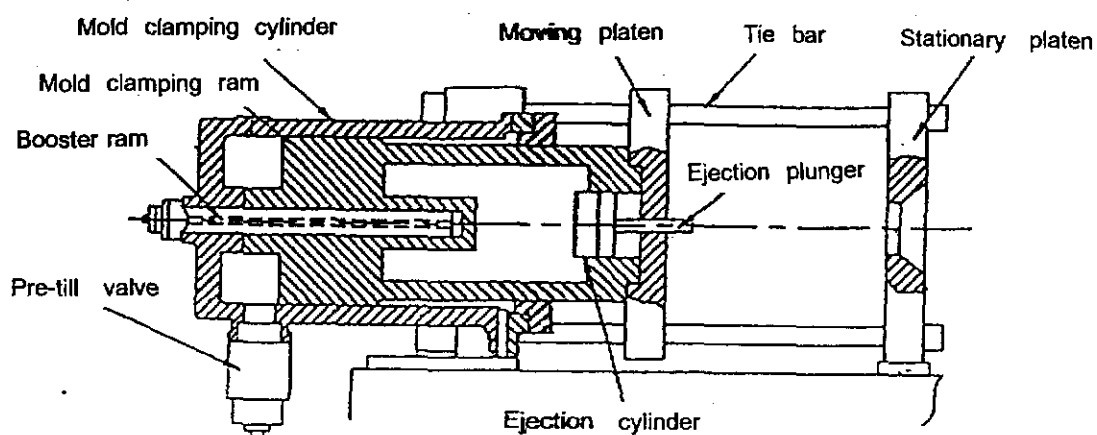


ภาพประกอบ 38 ระบบไฮดรอลิกในเครื่องฉีดพลาสติก
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:20)

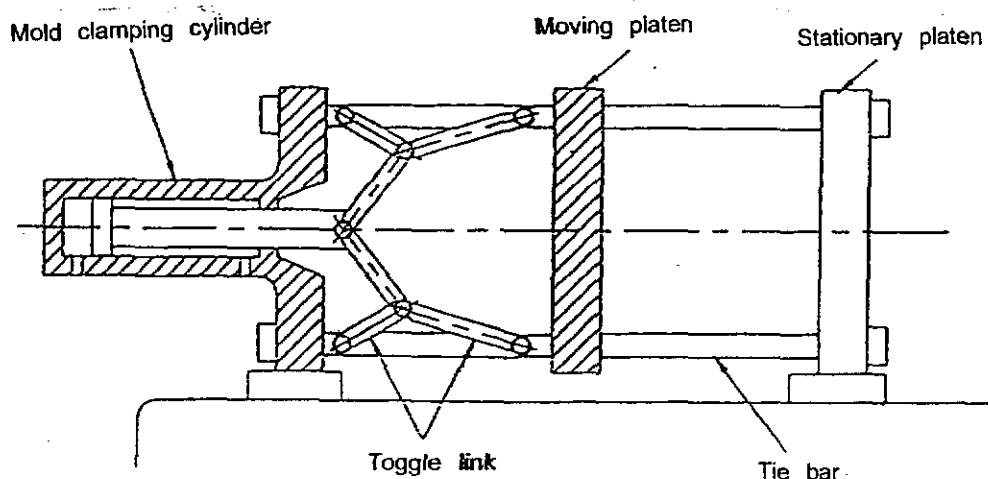
3.1.3 ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Mold clamping unit)

ใช้สำหรับปิดและเปิดแม่พิมพ์ ซึ่งแรงปิดแม่พิมพ์นี้ต้องสูงมากเพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์ถูกดันเปิดออกเนื่องจากแรงดันจากพลาสติกซึ่งฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยความดันสูง

ชุดปิดแม่พิมพ์ที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบใช้ลูกสูบไฮดรอลิกดันแผ่นปากกาให้เลื่อนเพื่อปิดแม่พิมพ์โดยตรง (Direct Hydraulic Type) และแบบใช้ชุดข้อเหวี่ยง (Toggle Type)



ภาพประกอบ 39 แบบใช้กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกปิด-เปิดแม่พิมพ์โดยตรง
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:6)



ภาพประกอบ 40 แบบใช้ข้อเหวี่ยง
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:6)

ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ต้องทำงานได้รวดเร็ว , ทำให้แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิด-เปิดได้นุ่มนวล , ให้แรงปิดแม่พิมพ์ที่สูงเพียงพอที่จะต่อต้านกับแรงจากการฉีด และมีความมั่นคงแข็งแรง

3.1.3.1 ระบบปิด-เปิดแม่พิมพ์

ระบบปิด-เปิดแม่พิมพ์แบ่งได้เป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ ระบบที่ใช้กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกขนาดใหญ่เพื่อปิด-เปิดแม่พิมพ์โดยตรง (Direct hydraulic mold clamping) และระบบที่ใช้กลไกข้อเหวี่ยงในการปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Toggle type mold clamping) ทั้ง 2 แบบต่างก็มีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน ถ้าเป็นเครื่องฉีดขนาดกลางและเล็ก เช่น เครื่องที่แรงปิดแม่พิมพ์ต่ำกว่า 300-400 ตัน ระบบ Toggle จะมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่สูงกว่า เพราะระบบ Direct hydraulic ต้องใช้น้ำมันไฮดรอลิกในปริมาณที่สูงมาก เพื่อป้อนให้กระบอกลูกสูบสำหรับปิด-เปิดแม่พิมพ์

ข้อดี-ข้อเสียของการปิด-เปิดแม่พิมพ์ด้วยระบบ Toggle เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Direct hydraulic

1. ด้วยเหตุผลทางด้านเครื่องกลทำให้ระบบ Toggle มีระยะปิด-เปิดแม่พิมพ์ยาวๆ ได้ยาก
2. แม่พิมพ์จะปิดสนิทเมื่อ Toggle เหยียดตรง จึงจำเป็นต้องมีชุดเกลียวสำหรับปรับระยะระหว่างแผ่นปากกาของเครื่องฉีดไปตามความหนาของแม่พิมพ์
3. การส่งกำลังใน Toggle เพื่อปิดแม่พิมพ์นั้น ทำให้ Tie bar รับแรงเท่าๆ กันได้ยาก
4. ขณะฉีด ความดันจากพลาสติกจะทำให้แผ่นปากกาถอย ถ้าแรงปิดแม่พิมพ์สูงเพียงพอ แม้จะไม่เกิดครีบ แต่แรงจากการฉีดจะทำให้ Tie bar ยึดมากขึ้นกว่าเดิม เช่น ถ้าใช้แรงปิดแม่พิมพ์ 100 ตัน Tie bar ยึดออก 0.9 มม. ถ้าขณะฉีดเกิดครีบ 1 มม. หมายถึงแรงใน Tie bar จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นกว่า 200 ตัน เป็นต้น
5. ด้วยลักษณะของกลไกแบบ Toggle ทำให้การเคลื่อนที่ของแผ่นปากกามีความเร็วไม่คงที่
6. ระบบ Toggle มีชิ้นส่วนที่ต้องเคลื่อนที่อยู่มาก จึงเกิดการสึกหรอของบุชมากด้วย
7. น้ำหนักของเครื่องฉีดที่ใช้ระบบ Toggle จะเบากว่า ใช้ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกน้อยกว่ามอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำมันไฮดรอลิกจะเล็กกว่า และจะประหยัดดีสำหรับเครื่องฉีดขนาดเล็กและขนาดกลาง

ข้อดี-ข้อเสียของการปิด-เปิดแม่พิมพ์ด้วยระบบ Direct hydraulic เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Toggle

1. ต้องใช้กระบอกลูกสูบสำหรับทำให้แผ่นปากกาเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักของเครื่องจึงมากและต้องใช้ความดันของระบบไฮดรอลิกสูงด้วย เครื่องขนาดเล็กใช้ 120-160 บาร์ ส่วนเครื่องขนาดใหญ่ใช้ 210 บาร์
2. ต้องเสียเวลารอแรงปิดแม่พิมพ์หลังจากแม่พิมพ์ปิดแล้วสักครู่ และน้ำมันไฮดรอลิกจะต้องมีความดันอยู่ตลอดเวลาที่ทำการฉีด
3. อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์มีความซับซ้อนมาก ตำแหน่งการหยุดต้องใช้ลิ้มิตสวิทช์ ซึ่งอาจหลวมได้ง่าย
4. ขณะฉีด ความดันจากพลาสติกที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ จะทำให้ลูกสูบของกระบอกลูกสูบสำหรับปิด-เปิดแม่พิมพ์ถอยจากตำแหน่งเดิม จึงเกิดครีบที่ขึ้นงานได้ง่าย
5. สามารถเปิดแม่พิมพ์ได้กว้างมากกว่าระบบ Toggle จึงติดตั้งแม่พิมพ์ได้สะดวก
6. กำหนดแรงปิดแม่พิมพ์ได้ง่ายและเที่ยงตรง

3.1.4 ชุดส่งกำลัง (Power unit)

จะส่งกำลังด้วยระบบไฮดรอลิกและนิวแมติก ไปทำให้ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องฉีดทำงานตามต้องการระบบไฮดรอลิกประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า, ปั๊มไฮดรอลิก, วาล์วชนิดต่าง ๆ เครื่องฉีดบางเครื่องจะมีถังสะสมความดัน (Accumulator) จึงสามารถจ่ายน้ำมันไฮดรอลิกความดันสูงให้ชิ้นส่วนต่างๆในระบบได้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การทำงานมีความรวดเร็วและสม่ำเสมอ

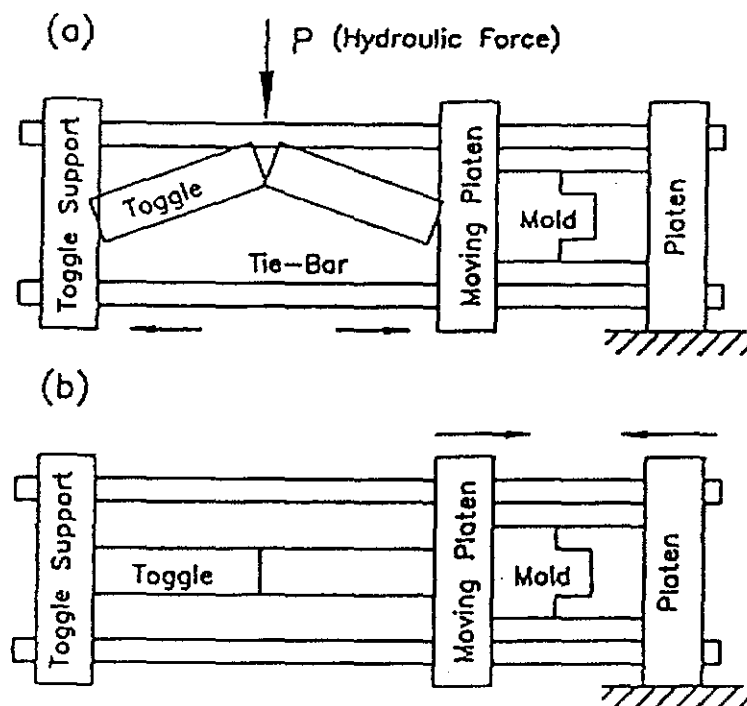
3.1.5 ชุดควบคุมไฟฟ้า (Electrical Control unit)

เป็นชุดที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามโปรแกรมที่ปรับตั้งค่าไว้

3.2 จังหวะการทำงานพื้นฐานในการฉีดพลาสติก

3.2.1 ปิดแม่พิมพ์ (Mold clamping)

ในการปิดแม่พิมพ์นั้น ชุดปิดแม่พิมพ์จะใช้แรงน้อยๆในการปิดแม่พิมพ์ช่วงแรก ซึ่งเป็นช่วงที่แม่พิมพ์ยังเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ขั้นตอนนี้เรียกว่า การปิดขั้นที่ 1 (Primary Mold Clamping) ในช่วงต่อมาแม่พิมพ์ต้องเคลื่อนที่ช้าลงเพื่อเข้าประกบกัน และลูกสูบจะส่งกำลังแก่ชุดปิดแม่พิมพ์สูงมากเมื่อแม่พิมพ์ประกบกันสนิท กำลังจากลูกสูบจะทำให้ Tiebar ยึดออก การยึดของ Tie bar นี้ทำให้เกิดเป็นแรงปิดแม่พิมพ์ขั้น 2 เรียกขั้นตอนนี้ว่า การปิดขั้นที่ 2 (Secondary Mold Clamping)



ภาพประกอบ 41 แสดงการปิดแม่พิมพ์ขั้นที่ 1 (a) และขั้นที่ 2 (b)
(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:8)

3.2.2 ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้า(Advance of injection unit)

เมื่อปิดแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้วชุดฉีดจะเคลื่อนที่จนหัวฉีดเข้ามาสัมผัสกับรูฉีดของแม่พิมพ์

3.2.3 ฉีด(Injection)

เมื่อฉีดพลาสติกเข้าไปใน CAVITY จนเกือบเต็มแล้ว ความดันในพลาสติกจะสูงขึ้นจนถึงระดับที่สามารถไหลไปเติมทุกส่วนของ CAVITY ได้ เกิดเป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างสมบูรณ์ตามต้องการ

3.2.4 ฉีดรักษาความดัน(Holding)

พลาสติกเหลวเมื่อได้รับการหล่อเย็นในแม่พิมพ์จะหดตัว จึงจำเป็นต้องฉีดแซ่ด้วยความดัน (Hold pressure) เอาไว้ชั่วขณะ เพื่อป้อนพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ให้มากขึ้นสำหรับชดเชยการหดตัว ซึ่งต้องฉีดแซ่ไว้จนพลาสติกที่รูเข้าแข็งตัว

3.2.5 หล่อเย็น(Cooling)

พลาสติกเหลวที่จะกลายเป็นชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ จะได้รับการระบายความร้อนออกเพื่อให้เย็นลงและแข็งตัวเพียงพอที่จะดันปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ ในขณะนี้จะไม่มีความดันจากการฉีดแล้ว

3.2.6 หลอมพลาสติกให้มีปริมาณเพียงพอต่อการฉีดครั้งต่อไป(Plasticizing and dosing)

ขณะที่กำลังหล่อเย็นชิ้นงานในแม่พิมพ์ ไฮดรอลิกมอเตอร์จะหมุนสกรูเพื่อป้อนพลาสติกจากกรวยเติมไปยังหัวฉีดเพื่อใช้สำหรับฉีดในรอบการฉีดต่อไป ขณะเม็ดพลาสติกไหลเข้าไปในท่อฉีดจะหลอมเหลวและคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยความร้อนซึ่งได้รับจากแผ่นให้ความร้อน(Band heaters) ซึ่งสวมอยู่รอบท่อฉีด และความร้อนจากการที่สกรูทำให้พลาสติกเกิดการเคลื่อนที่เฉือนกัน (Shear)

พลาสติกเหลวจะไหลไปสะสมที่ส่วนปลายท่อฉีดด้านหัวฉีดเพิ่มขึ้นๆ ด้วยปริมาณพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆนี้จะเกิดเป็นความดัน ดันสกรูให้ถอยหลังพร้อมกับที่หมุนไปด้วย และจะหยุดเมื่อสกรูถอยไปจนถึงตำแหน่งที่พลาสติกเหลวที่สะสมอยู่ข้างหน้าสกรู มีปริมาณเพียงพอต่อการฉีดครั้งต่อไป ตามที่ได้ตั้งค่าไว้

3.2.7 ชุดฉีดถอย(Return of injection unit หรือ Sprue break)

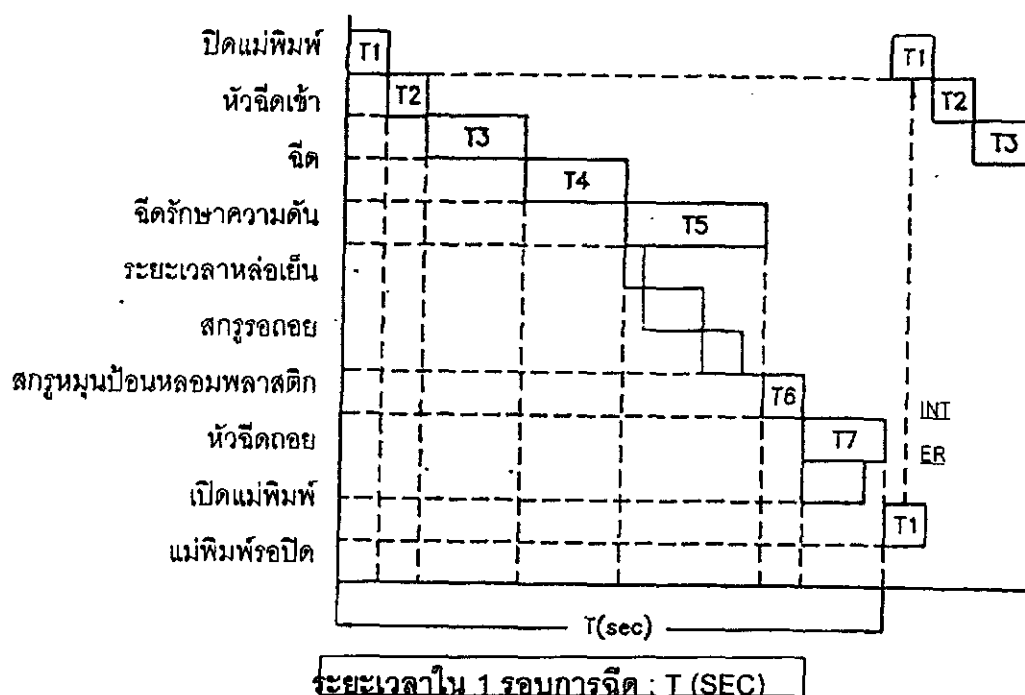
เมื่อหลอมพลาสติกเสร็จ ชุดฉีดจะเคลื่อนถอยออกจากแม่พิมพ์ ทำให้หัวฉีดแยกออกจากรูฉีด (Sprue bush) เพื่อจะป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหัวฉีดซึ่งร้อน ให้แก่แม่พิมพ์ที่เย็นกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาพลาสติกในหัวฉีดแข็งตัว (Cold slug) ทำให้ฉีดไม่ได้ เมื่อชุดฉีดถอยออกแล้วจะค้างอยู่ชั่วขณะ ตามเวลาซึ่งควบคุมไว้ด้วยชุดตั้งเวลา (Timer)

3.2.8 แม่พิมพ์เปิด(Mold opening)

หลังจากชิ้นงานพลาสติกในแม่พิมพ์เย็นลงจนแข็งตัวดีแล้ว ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ให้แม่พิมพ์เปิดออก

3.2.9 ปลดชิ้นงาน(Ejection)

ในขณะที่แม่พิมพ์เปิดออก สวิทช์สำหรับสั่งให้กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้ดันปลดชิ้นงานจะทำงาน ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ดันกลไกในระบบปลดของแม่พิมพ์ เพื่อดันปลดชิ้นงานให้หลุดจากแม่พิมพ์



เมื่อปรับเวลา T3, T4 และ T5 จนได้ชิ้นงานที่ดีแล้ว จะลดเวลาในส่วนนี้ลงอีกเพื่อลดเวลาในรอบการฉีดไม่ได้

ภาพประกอบ 42 ระยะเวลาใน 1 รอบการฉีด (MOLDING CYCLE)

(สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543:10)

4. ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกและวิธีการแก้ไข

ปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานฉีดโดยส่วนรวมแล้วจะมาจากการเลือกใช้วัสดุพลาสติกที่มีสารเสริมหรือสารแต่งเติมที่ไม่เหมาะสม ลักษณะของตัวแม่พิมพ์ตลอดจนตำแหน่งและลักษณะของทางน้ำพลาสติก (ทางเข้าและทางออก) และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีด ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นที่เราสามารถพบได้บ่อยที่สุดก็คือปัญหาเนื่องจากการใช้พารามิเตอร์ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสมกับตัววัสดุพลาสติกและลักษณะของแม่พิมพ์ ส่วนวิธีการแก้ปัญหานั้น เราสามารถที่จะหาหนังสือที่แนะนำหรือบอกเอาไว้ว่าปัญหา ลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะแก้ไขด้วยวิธีใด เช่น ฉีดชิ้นงานไม่เต็ม เกิดรอยแห้ว ก็ควรทำการเพิ่มอุณหภูมิของพลาสติกเหลว เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ เพิ่มเนื้อพลาสติก เพิ่มความดันฉีด ซึ่งจากวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวจะมีตัวพารามิเตอร์ต่าง ๆ อยู่หลายตัว ทำให้ผู้ปฏิบัติงานฉีดควรจะศึกษาถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสาเหตุหลักนั้นมีอะไรบ้าง หลังจากนั้นก็ต้องมาดูต่ออีกว่าสาเหตุรองตัวใดที่แก้ไขได้ง่ายและรวดเร็วตลอดจนได้คุณภาพของชิ้นงานที่ดีที่สุดหรือประหยัดพลังงานในการทำงานมากที่สุด ลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานฉีดพลาสติกมีดังนี้

4.1 รอยพ่น (Jetting)

ข้อบกพร่องนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ตรงส่วนที่หนาโดยผ่านช่องทางเข้าที่มีขนาดเล็กด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดการไหลวน (turbulent flow) ขึ้น และพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดเข้าไปก่อนจะวิ่งไปได้ไกลเป็นแนวเส้นตรงแทนที่จะวิ่งออกไปพร้อมกันตลอดความยาวของชิ้นงาน ทำให้พลาสติกเกิดการเย็นตัวไม่พร้อมกันจึงมองเห็นเป็นรอยบนผิวชิ้นงานซึ่งเรียกว่า รอยพ่น (jetting)

4.1.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ พลาสติกเหลวไหลเข้าแม่พิมพ์ไม่พร้อมกันตลอดแนวความกว้างของชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนในการเกิดปัญหาดังนี้

4.1.1.1 พลาสติกเหลววิ่งเข้าเป็นแนวเส้นตรง

4.1.1.2 พลาสติกเหลวที่วิ่งเข้าไปก่อนหยุดนิ่งและเริ่มเย็นตัวลง พลาสติกเหลวที่ตามมาทีหลังจะแผ่ออกตามด้านกว้าง

4.1.1.3 พลาสติกเหลวเคลื่อนที่ออกไปข้างหน้าพร้อมกันตลอดทั้งความกว้าง ผ่านส่วนที่เย็นตัวแล้ว

4.1.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.1.2.1 ทางนำพลาสติกเข้าเล็กเกินไป

4.1.2.2 ชิ้นงานตรงตำแหน่งเข้าของน้ำพลาสติกหนาหรือกว้างเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดของทางนำพลาสติกเข้า

4.1.2.3 ใช้ความเร็วในจังหวะฉีดสูงเกินไป

4.1.2.4 อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำเกินไป

4.1.2.5 อุณหภูมิพลาสติกเหลวต่ำเกินไป

4.1.3 วิธีการแก้ปัญหาคือ

4.1.3.1 ลดความเร็วในจังหวะฉีดลง

4.1.3.2 ขยายทางนำพลาสติกเข้าให้เหมาะสมกับความหนาและความกว้างของชิ้นงานตรงตำแหน่งฉีด

4.1.3.3 เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์

4.1.3.4 เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว

4.1.3.5 แก้ไขชิ้นงานให้มีความหนาลง

4.2 ครีป (Flashing)

ครีปที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ความเร็วในการฉีดสูงเพื่อป้องกันพลาสติกไม่เต็มแบบ (short shot) และใช้ความดันย้ำ (Holding pressure) สูงเพื่อป้องกันชิ้นงานยุบ (sink) แรงดันของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์จะสูงมากจนเอาชนะแรงดันด้านแม่พิมพ์ (Clamping pressure) ทำให้แม่พิมพ์เผยออก จนทำให้พลาสติกเหลวไหลออกมาตามรอยประกอบแม่พิมพ์ได้ จึงเกิดเป็นครีปที่ขอบของชิ้นงานขึ้น

4.2.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ พลาสติกเหลวสามารถไหลออกมาตามรอยประกอบของแม่พิมพ์ได้ อันเนื่องมาจากการเกิดช่องว่างขึ้น ตามรอยประกอบของแม่พิมพ์ ประกอบกับพลาสติกเหลวมีความหนืดต่ำ

4.2.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.2.2.1 แม่พิมพ์มีลักษณะไม่ถูกต้องโดยเฉพาะตามรอยประกอบของแม่พิมพ์

- 4.2.2.2 แรงที่ใช้ในการปิดล็อกแม่พิมพ์อาจจะไม่เพียงพอ
- 4.2.2.3 ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป
- 4.2.2.4 ความดันในการฉีดมากเกินไป
- 4.2.2.5 อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงเกินไป
- 4.2.2.6 อุณหภูมิแม่เหล็กสูงเกินไป
- 4.2.2.7 เนื้อพลาสติกเหลวที่ใช้อาจจะมากเกินไป
- 4.2.3 วิธีการแก้ปัญหาและการเกิดครีบคือ
 - 4.2.3.1 ตรวจสอบรอยประกอบของแม่พิมพ์ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ตลอดเวลา
 - 4.2.3.2 ตรวจสอบแรงปิดล็อกแม่พิมพ์ว่าเพียงพอหรือไม่ โดยดูจากค่าความดันฉีดที่เกิดขึ้นจริง เทียบกับพื้นที่ฉายภาพของชิ้นงาน
 - 4.2.3.3 ลดความเร็วในการฉีดลง
 - 4.2.3.4 ลดความดันฉีดลง
 - 4.2.3.5 ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
 - 4.2.3.6 ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
 - 4.2.3.7 ลดปริมาณเนื้อพลาสติกเหลว

4.3 ประกายเงินที่ผิวชิ้นงาน (silver streak)

ในกรณีที่อุณหภูมิพลาสติกเหลวในกระบอกฉีดสูงมากและค้างอยู่ในกระบอกฉีดนาน เนื่องจากการใช้ความเร็วรอบของการหมุนเกลียวหนอนและความดันด้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอนสูง และทำการฉีดพลาสติกเหลวผ่านช่องทางเข้าแม่พิมพ์ด้วยความเร็วสูงมากเกินไป ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นกับพลาสติกเหลวเนื่องจากการเสียดทาน จนความชื้นหรือก๊าซแยกตัวออกมาจากเนื้อพลาสติกและกระจายไปที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะเป็นประกายสีเงินที่เรียกว่า ประกายเงิน (Silver streak) โดยจะเกิดอยู่บริเวณรอบ ๆ ทางนำพลาสติกเข้า

- 4.3.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ มีก๊าซหรือความชื้นแยกตัวเองออกมาจากเนื้อพลาสติกเหลว และกระจายตัวไปบนผิวของชิ้นงาน
- 4.3.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ
 - 4.3.2.1 อุณหภูมิของพลาสติกเหลวสูงเกินไปจนก๊าซหรือความชื้นแยกตัวออกมาได้
 - 4.3.2.2 ความเร็วในการฉีดสูงเกินไปจนทำให้อุณหภูมิของพลาสติกเหลวเพิ่มขึ้นได้อีก
 - 4.3.2.3 ทางนำพลาสติกเข้าอาจจะมีขนาดเล็กเกินไปจนทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการเสียดของตัวเนื้อพลาสติกเหลว
 - 4.3.2.4 มีความชื้นในเม็ดพลาสติกมากเกินไป
 - 4.3.2.5 ใช้ความเร็วรอบในการหมุนเกลียวหนอนสูงเกินไป
 - 4.3.2.6 ความดันด้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอนสูงเกินไปทำให้ต้องใช้เวลาในการป้อนพลาสติกนาน
 - 4.3.2.7 ระยะความยาวของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนน้อยหรือมากเกินไป
- 4.3.3 วิธีการแก้ปัญหาคือ
 - 4.3.3.1 ลดอุณหภูมิของพลาสติกเหลว

- 4.3.3.2 ลดความเร็วในการฉีด
- 4.3.3.3 ทำการอบไล่ความชื้นในเม็ดพลาสติกหรืออาจจะใช้เกลียวหนอนแบบมีช่วงไล่ก๊าซมาใช้แทน
- 4.3.3.4 ขยายทางน้ำพลาสติกเข้าให้โตขึ้นเพื่อลดความร้อนเนื่องจากการเนื้อม
- 4.3.3.5 ลดความเร็วขอบในการหมุนเกลียวหนอนลง
- 4.3.3.6 ลดความดันด้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอน
- 4.3.3.7 ลดเวลาในการค้างของพลาสติกเหลวในกระบอฉีดลง
- 4.3.3.8 ใช้ระยะความยาวของพลาสติกเหลวหน้าปลายเกลียวหนอนให้เหมาะสมคือ 1D –

3D

4.4 รอยไหม้ (Burn)

รอยไหม้ที่ผิวชิ้นงานจะเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศร้อนที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์เนื่องจากการฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์นั้นระบายออกไม่ทัน จึงเกิดการอัดตัวกันขึ้นทำให้มีอุณหภูมิสูงมากขึ้น จนเกิดรอยไหม้ (burn) ขึ้นที่ผิวชิ้นงานได้ ซึ่งส่วนมากจะเกิดรอยไหม้ตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของพลาสติกเหลวการที่อากาศร้อนจะเกิดขึ้นมากก็เนื่องจากอุณหภูมิพลาสติกสูงมาก และถ้าใช้ความเร็วในการฉีดสูงเกินไปจะทำให้อากาศร้อนระบายออกไม่ทัน หรืออาจจะทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างพลาสติกเหลวกับผิวของแม่พิมพ์จนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดรอยไหม้ได้

4.4.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ อากาศร้อนที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์หนีออกไม่ทันกับการไหลของพลาสติกเหลวที่เข้าไปในแม่พิมพ์

4.4.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

- 4.4.2.1 ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป
- 4.4.2.2 อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงเกินไป
- 4.4.2.3 การระบายอากาศออกของแม่เหล็กไม่เหมาะสม
- 4.4.2.4 พลาสติกเหลวค้างอยู่ในกระบอฉีดนานเกินไป
- 4.4.2.5 ระยะความยาวของพลาสติกเหลวหน้าปลายเกลียวหนอนน้อยหรือมากเกินไป
- 4.4.2.6 ความดันด้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอนมากเกินไป
- 4.4.2.7 ความเร็วขอบในการหมุนเกลียวหนอนสูงเกินไป

4.4.3 วิธีการแก้ปัญหาของการเกิดรอยไหม้ คือ

- 4.4.3.1 ลดความเร็วในการฉีดลงเพื่อให้อากาศหนีออกได้ทัน
- 4.4.3.2 ลดปริมาณและอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยการลดอุณหภูมิของพลาสติกเหลว
- 4.4.3.3 ปรับปรุงแม่พิมพ์ให้มีการระบายของอากาศออกได้ดีขึ้น
- 4.4.3.4 ลดเวลาในการค้างอยู่ของพลาสติกเหลวในกระบอฉีด
- 4.4.3.5 ใช้ระยะความยาวของพลาสติกเหลวหน้าปลายเกลียวหนอนให้ถูกต้องคือ 1D – 3D
- 4.4.3.6 ลดความดันด้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอน
- 4.4.3.7 ลดความเร็วขอบในการหมุนของเกลียวหนอนให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก

4.5 ชีงงานไม่เต็ม (Short shot)

ชีงงานจะเกิดเป็นรอยแหว่งตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เนื่องจากการไหลของพลาสติกเหลวเข้าในแม่พิมพ์ช้า พลาสติกเหลวจึงเย็นตัวลง ความหนืดจึงเพิ่มมากขึ้น ทำให้พลาสติกเหลวเข้าไม่เต็มในแม่พิมพ์จนเห็นเป็นรอยแหว่ง

4.5.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ การไหลตัวของพลาสติกเหลวไม่ดีเท่าที่ควรจึงทำให้พลาสติกเหลวไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ทั่วถึง

4.5.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.5.2.1 ความเร็วในจังหวะฉีดต่ำเกินไป พลาสติกเหลวจึงแทรกตัวเข้าไปไม่ทั่วถึง

4.5.2.2 ความดันในการฉีดต่ำเกินไป

4.5.2.3 อุณหภูมิของพลาสติกเหลวต่ำเกินไปทำให้พลาสติกเหลวมีความหนืดมาก

4.5.2.4 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจึงไปกั้นการไหลของพลาสติกเหลว

4.5.2.5 ปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวไม่เพียงพอ

4.5.2.6 ระบบทางเข้าและการจ่ายพลาสติกเหลวไม่ดีพอหรืออาจจะเล็กเกินไป

4.5.3 วิธีการแก้ปัญหาชีงงานไม่เต็มคือ

4.5.3.1 เพิ่มความเร็วในจังหวะฉีด

4.5.3.2 เพิ่มความดันในการฉีด

4.5.3.3 เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว

4.5.3.4 เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์

4.5.3.5 เพิ่มปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวในกระบอกฉีดให้เพียงพอ

4.5.3.6 ปรับปรุงระบบทางเข้าและจ่ายพลาสติกเหลวให้ดีขึ้น

4.6 รอยยุบ (Sink mark)

จะมีลักษณะเป็นรอยยุบบนผิวชีงงานโดยเฉพาะตรงส่วนที่มีความหนามาก ๆ และตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นลักษณะของการหดตัวแบบหนึ่งของชีงงาน โดยเฉพาะชีงงานจากพลาสติกพวกที่มีผลึกจะมีโอกาสเกิดการยุบตัวได้มาก

4.6.1 สาเหตุของการเกิดปัญหาคือ เนื้อพลาสติกในชีงงานไม่แน่นพอที่จะต้านทานการหดตัวได้

4.6.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.6.2.1 เวลาในการย่ำรักษาความดันสั้นเกินไปไม่เพียงพอต่อการหดตัวของชีงงาน

4.6.2.2 ความดันในการย่ำน้อยเกินไปทำให้ได้เนื้อชีงงานไม่แน่นพอ

4.6.2.3 อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงเกินไปทำให้การหดตัวมีมากขึ้น

4.6.2.4 อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงเกินไป

4.6.2.5 ระบบทางเข้าและการจ่ายพลาสติกเหลวเล็กเกินไป

4.6.2.6 ความสามารถในการไหลตัวของพลาสติก (MFI) ต่ำไป

4.6.3 วิธีการแก้ปัญหการเกิดรอยยุบคือ

4.6.3.1 เพิ่มเวลาในการย่ำรักษาความดันเพื่อชดเชยการหดตัว

4.6.3.2 ใช้ความดันย่ำให้สูงขึ้น

- 4.6.3.3 ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- 4.6.3.4 ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
- 4.6.3.5 ขยายระบบทางเข้าและการจ่ายพลาสติกเหลว
- 4.6.3.6 เลือกใช้พลาสติกที่ไหลง่าย (ความสามารถในการไหลตัวของพลาสติกสูงขึ้น)
- 4.6.3.7 เลือกใช้พลาสติกที่มีการหดตัวน้อยลง

4.7 รอยการไหล (Flow mark)

ข้อบกพร่องที่มีสาเหตุเหมือนกับการเกิดลักษณะชิ้นงานไม่เต็ม ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กันก็ได้ คือ ถ้าใช้ความเร็วในการฉีดต่ำเกินไป พลาสติกจะเย็นตัวและไหลไม่สะดวกทำให้เกิดเป็นคลื่นเหมือนรอยวงปีของต้นไม้ที่เราเรียกว่า รอยรอยการไหล (flow mark) ที่ผิวชิ้นงานตรงบริเวณทางนำพลาสติกเข้า

4.7.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหา คือ การไหลตัวของพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ไม่สะดวกและเกิดการอื่น โดยเฉพาะตรงบริเวณทางนำพลาสติกเข้าเนื่องจากความหนืดของพลาสติกเหลวเพิ่มมากขึ้น

4.7.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหา คือ

- 4.7.2.1 อุณหภูมิของพลาสติกเหลวต่ำเกินไป
- 4.7.2.2 ความเร็วในจังหวะฉีดต่ำเกินไปทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวลดต่ำลง (ความหนืดเพิ่มขึ้น) ก่อนที่จะเต็มในแม่พิมพ์

4.7.2.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำไปทำให้พลาสติกเหลวตรงที่สัมผัสกับผิวของแม่พิมพ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น

4.7.3 วิธีการแก้ปัญหาการเกิดรอยการไหล คือ

- 4.7.3.1 เพิ่มอุณหภูมิของพลาสติกเหลวเพื่อความสามารถในการไหลตัวดีขึ้น
- 4.7.3.2 เพิ่มความเร็วในการฉีดเพื่อให้พลาสติกเหลวเต็มแม่พิมพ์ก่อนที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้น

4.7.3.3 เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์

4.8 การโก่งงอ (Warpage)

การเย็นตัวของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากชิ้นงานมีความหนาแตกต่างกันมากหรือระบบการหล่อเย็นในแม่พิมพ์ไม่ดี จะทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอ (warpage) ขึ้นได้ หรือถ้าเป็นชิ้นงานที่มีความหนาเท่ากันตลอดแต่ใช้ความดันย៉ามากหรือนานเกินไป ก็จะทำให้มีความเค้นตกค้าง (residual stress) อยู่ในชิ้นงานมากจนทำให้เกิดการโก่งงอได้เช่นกัน โดยเฉพาะตรงปลายของชิ้นงานหลังจากปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้ว

4.8.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหา คือ การเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดความเค้นตกค้างในเนื้อชิ้นงาน

4.8.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหา คือ

4.8.2.1 การใช้ความดันย៉าเพื่อป้องกันการหดตัวของชิ้นงานมากเกินไปจนเกิดความเค้นตกค้าง

4.8.2.2 เวลาในการย៉านานเกินไป

4.8.2.3 ระบบการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ไม่ถูกต้อง เพราะการระบายความร้อนออกอาจจะไม่เท่ากันทุกจุด

4.8.2.4 เวลาในการหล่อเย็นน้อยเกินไป ทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานที่ถูกปลดออกมาไม่ต่ำพอ

4.8.2.5 ความดันในการฉีดสูงเกินไป

4.8.2.6 ตำแหน่งของตัวสลักปลดชิ้นงานไม่เหมาะสม

4.8.3 วิธีการแก้ปัญหาการเกิดการโก่งงอคือ

4.8.3.1 ลดความดันในการย่ำลง

4.8.3.2 ลดเวลาในการดันย่ำลง

4.8.3.3 แก้ไขระบบการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ให้ถูกต้อง เพื่อให้ความร้อนจากชิ้นงานสามารถถูกระบายออกได้อย่างทั่วถึงเท่า ๆ กัน

4.8.3.4 ใช้เวลาในการหล่อเย็นให้นานขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานเซตตัวได้ดีในแม่พิมพ์

4.8.3.5 ลดความดันในการฉีดลง

4.8.3.6 จัดวางตำแหน่งของตัวสลักปลดชิ้นงานให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงาน

4.9 การหดตัว (Shrinkage)

เมื่อใช้ความเร็วในการฉีดและความดันย่ำต่ำ ตลอดจนเวลาย่ำสั้นเกินไป จะทำให้พลาสติกเหลวเย็นตัวลง ความหนืดสูงขึ้นจนทำให้ความดันไม่เพียงพอที่จะทำให้เนื้อพลาสติกอัดกันได้นั่นเติมในแม่พิมพ์ทำให้ขนาดของชิ้นงานเล็กลงกว่าที่ต้องการ

4.9.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ เนื้อของพลาสติกไม่แน่นเนื่องจากการอัดตัวไม่เพียงพอ เพราะค่าปริมาตรจำเพาะสูงจึงเกิดการหดตัวมาก จึงสามารถดูได้จากไดอะแกรม P-V-T ของพลาสติกแต่ละชนิด

4.9.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.9.2.1 ความดันย่ำต่ำเกินไป

4.9.2.2 เวลาในการย่ำสั้นเกินไป

4.9.2.3 ความดันในการฉีดต่ำเกินไป

4.9.2.4 อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงเกินไปจึงทำให้ปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นมาก

4.9.2.5 อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงเกินไป

4.9.3 วิธีการแก้ปัญหาการเกิดการหดตัว

4.9.3.1 ใช้ความดันย่ำให้สูงขึ้นเพื่อช่วยให้เนื้อพลาสติกแน่นพอ

4.9.3.2 เพิ่มเวลาในการย่ำเพื่อชดเชยการหดตัว

4.9.3.3 เพิ่มความดันฉีดเพื่อให้พลาสติกเหลวเต็มแม่พิมพ์

4.9.3.4 ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลวเพื่อให้ปริมาตรจำเพาะลดลง

4.9.3.5 ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์เพื่อให้การหดตัวน้อยลง

4.9.3.6 เลือกใช้วัสดุที่มีความหนืดต่ำลงหรือมีผลึกน้อยลง

4.10 รอยประสาน (Weld mark)

ตรงตำแหน่งที่มีพลาสติกเหลวไหลมาบรรจบกันนั้น ถ้าอุณหภูมิของพลาสติกเหลวต่ำเกินไปจะทำให้รอยเชื่อมประสานไม่ดีเท่าที่ควรจนสามารถมองเห็นเป็นรอยต่อของเนื้อพลาสติกได้ ซึ่งก็เนื่องมาจากการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำไปจนทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวลดลง นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากการไหลตัวไม่ดีของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เนื่องจากอุณหภูมิของพลาสติกเหลวและแม่พิมพ์ต่ำไป

4.10.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ การประสาน, รวมตัวกันของพลาสติกเหลวไม่ดีเท่าที่ควร

4.10.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.10.2.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลวต่ำเกินไป

4.10.2.2 ความเร็วในการฉีดต่ำไปทำให้พลาสติกเหลวเย็นตัวลงก่อนที่จะเติมแม่พิมพ์

4.10.2.3 ความดันในการฉีดต่ำไป

4.10.2.4 อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำไป

4.10.2.5 พลาสติกเหลวใช้เวลาานกว่าจะมาบรรจบกันเนื่องจากระยะทางในการไหลยาวเกินไป

4.10.2.6 การจัดวางตำแหน่งทางน้ำพลาสติกเข้าไม่เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงาน

4.10.3 วิธีการแก้ปัญหาการเกิดรอยประสาน คือ

4.10.3.1 เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวให้สูงขึ้น

4.10.3.2 ใช้ความเร็วในการฉีดให้สูงขึ้น เพื่อป้องกันการลดลงของอุณหภูมิพลาสติกเหลว

4.10.3.3 เพิ่มความดันในการฉีด

4.10.3.4 เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์

4.10.3.5 จัดวางตำแหน่งของทางน้ำพลาสติกเข้าให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงาน เพื่อลดการเกิดการแยกตัวของพลาสติกเหลว และเพื่อลดระยะทางในการไหลมาบรรจบกันของพลาสติกเหลว

4.10.3.6 เลือกวัสดุพลาสติกที่มีการไหลตัวได้ดีขึ้น

4.11 การแตกร้าวของชิ้นงาน (Cracking)

รอยร้าวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ส่วนมากจะเกิดขึ้นตรงบริเวณตำแหน่งทางเข้าน้ำพลาสติก หรือตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้มากกับพลาสติกที่มีผลึกและจะเห็นได้ชัดเจนกับชิ้นงานที่ใส รอยร้าวนี้อาจจะปรากฏให้เห็นทันทีหลังจากการเย็นตัวลงแล้วเมื่อถูกปลดออกมาจากแม่พิมพ์หรือจะเกิดขึ้นหลังจากทั่วไว้ 2-3 วัน หรือจากการพ่นสีที่ชิ้นงาน

4.11.1 สาเหตุหลักของการเกิดปัญหาคือ ชิ้นงานเกิดความเครียดสะสมมากเกินไปจนเกิดการแตกร้าว

4.11.2 สาเหตุรองของการเกิดปัญหาคือ

4.11.2.1 เนื้อพลาสติกแน่นเกินไปเนื่องจากความดันอัดสูงเกินไป

4.11.2.2 เวลาในการย่ำยาวนานเกินไป

- 4.11.2.3 ความเร็วในการหล่อเย็นสูงเกินไปเนื่องจากใช้อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงและอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ
- 4.11.2.4 เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นสั้นเกินไป
- 4.11.3 วิธีการแก้ปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงาน คือ
 - 4.11.3.1 ลดความดันในการอัด
 - 4.11.3.2 ลดเวลาในการอัด
 - 4.11.3.3 ลดความเร็วในการหล่อเย็นลง โดยการใช้อุณหภูมิพลาสติกเหลวต่ำลงและอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น
 - 4.11.3.4 เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นให้นานขึ้น

4.12 ฟองอากาศ (Air Bubble)

ข้อบกพร่องที่เป็นฟองอากาศเกิดจากมีพลาสติกในโพรงแบบแม่พิมพ์ไม่พอที่จะป้องกันการหดตัวมากเกินไป

- 4.12.1 สาเหตุหลักของการเกิดข้อบกพร่องเป็นฟองอากาศ คือ ชิ้นงานหนาเกินไปเป็นสันหรือกระดูกงู แรงดันในการฉีดต่ำเกินไป ป้อนเม็ดพลาสติกไม่เพียงพอ และเวลาในการฉีดสั้นเกินไป
- 4.12.2 สาเหตุรองของการเกิดข้อบกพร่องคือเม็ดพลาสติกชื้น, อุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ
- 4.12.3 วิธีการแก้ปัญหาคือ
 - 4.12.3.1 การออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ ลดส่วนความหนาของสันหรือกระดูกงู
 - 4.12.3.2 เพิ่มความดัน และเพิ่มเวลาในการฉีด
 - 4.12.3.3 ขยายขนาดของทางเข้าพลาสติก
 - 4.12.3.4 ควรรอบเม็ดพลาสติกให้อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม
 - 4.12.3.5 จัดทำท่อน้ำระบายความร้อนของแม่พิมพ์เพิ่มเติม

5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

5.1 โปรแกรมจำลองแบบ “Mould flow”

- ก. MFVIEW สำหรับสร้างรูปทรงและโครงตาข่าย (Model creation and meshing)
- ข. MFL สำหรับวิเคราะห์การฉีดเติมเต็ม (filling) และการอัดยัด (packing/holding) ของการฉีดพลาสติก
- ค. WARPIN สำหรับทำนายรูปร่างของชิ้นงานที่ได้ (Final shape prediction) โดยการวิเคราะห์การหดตัว (Shrinkage) และการบิดงอ (warpage) ของการฉีดพลาสติก
- ง. MFLG สำหรับวิเคราะห์ความดันภายในของก๊าซ (Gas internal pressure) และการอัดยัดของการฉีดพลาสติกแบบใช้ก๊าซช่วย (Gas assisted moulding)
- จ. BEMCL สำหรับวิเคราะห์การหล่อเย็น

5.1.1 การสร้างรูปทรง (Geometry Generation)

การคำนวณในขั้นตอนการฉีดเติมเต็ม (filling phase) จะต้องทำการกำหนดขอบเขตของคำตอบ (Solution domain) ซึ่งการคำนวณต่าง ๆ จะเกิดขึ้นภายในขอบเขตของคำตอบนี้ ขอบเขตของคำตอบก็คือบริเวณที่โมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ถูกกำหนดขึ้นและการหาคำตอบจะกระทำภายในบริเวณนี้ โดยทั่วไปขอบเขตของคำตอบจะรวมถึงระยะเวลา (period of time) ที่การเปลี่ยนแปลงต่างในระบบใช้ไปด้วย ในการวิเคราะห์การไหลของขอบเขตของคำตอบก็คือ ที่ว่างเชิงกายภาพ (physical space) ซึ่งโพลิเมอร์หลอมเหลว (molten polymer) ไหลเข้าไป (ซึ่งก็คือโมเดลโพรแกรมของแม่พิมพ์) และระยะเวลาระหว่างการฉีดเติมเต็มและการฉีดเย็น ที่ว่างเชิงกายภาพของขอบเขตคำตอบจะกำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรมในขั้นตอนการเขียน FEM ของโมเดลโพรแกรม

5.1.1.1 การสร้างรูปทรง (geometry) มี 3 วิธีคือ

5.1.1.1.1 สร้างรูปทรงโดยใช้คำสั่งต่าง ๆ ใน MFVIEW

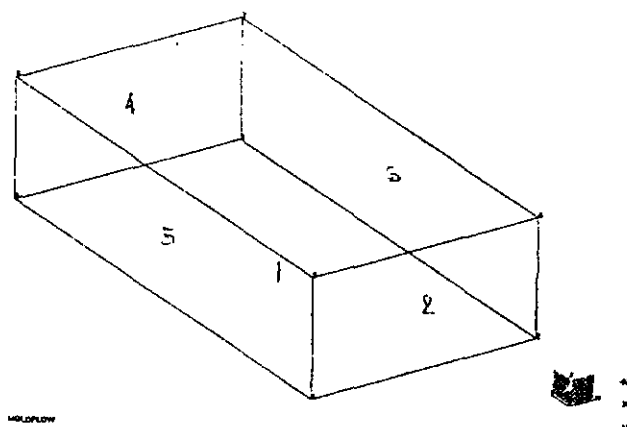
5.1.1.1.2 สร้างรูปทรงโดยใช้โปรแกรมทางด้าน FEM อื่น ๆ ที่สามารถถ่ายข้อมูลมายัง Mould flow ได้

5.1.1.1.3 สร้างรูปทรงโดยใช้โปรแกรมทางด้าน CAD แล้วถ่ายข้อมูลมายัง Mould flow

5.1.1.2 สร้างรูปทรงโดยใช้คำสั่งต่าง ๆ ใน MFVIEW มี 2 ขั้นตอนคือ

5.1.1.2.1 การสร้างจุด (points) โดยใช้พิกัดของแกน (coordinate)

5.1.1.2.2 การสร้างเส้นตรง (lines) หรือพื้นผิว (surfaces) จากจุดที่สร้างไว้



ภาพประกอบ 43 การสร้างรูปทรงโดยจุดและเส้นตรง
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:29)

5.1.1.3 ความหนาของผนังชิ้นงาน (Wall Thickness)

พื้นผิวและเส้นตรงที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยคุณลักษณะทางกราฟ (Graphical attribute) เท่านั้น เช่น พื้นผิวที่สร้างขึ้นจะไม่มีค่าความหนา เป็นต้น ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดคุณลักษณะอื่น ๆ (non-graphical attribute) ขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคุณลักษณะทางกราฟ คุณลักษณะดังกล่าวเรียกว่า

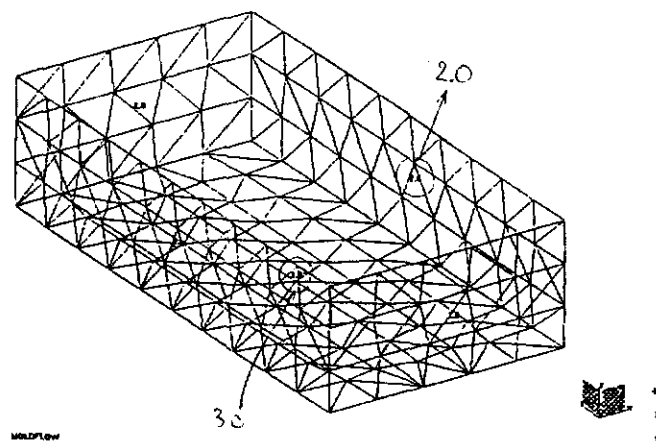
“สมบัติของเอลิเมนต์ (element properties)” ซึ่งโปรแกรม Mould flow สามารถกำหนดสมบัติทางด้าน Plate, gate, cold, hot และ insul ได้

5.1.1.4 ระนาบกลาง (midplane)

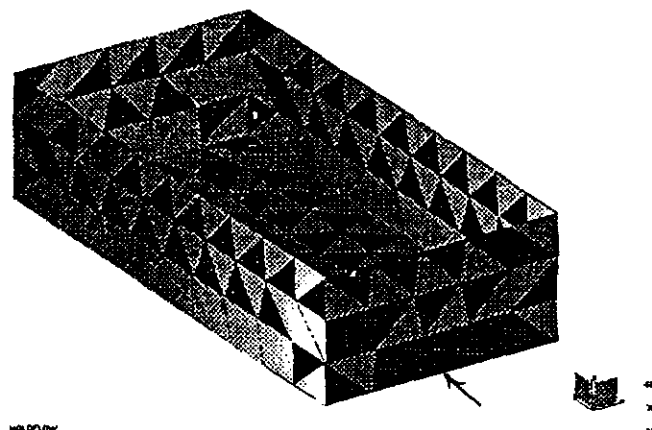
การวาดรูปทรงต่าง ๆ โดยใช้พรีโพรเซสเซอร์ (Preprocessor) ของ Mould flow นั้น จะมีความยุ่งยากมาทางที่ดีคือควรจะวาดรูปทรงโดยใช้โปรแกรมทางด้าน CAD แล้วถ่ายข้อมูลมายัง Mould flow ในรูปของข้อมูล IGES ข้อมูลภายในรูปทรง (inside geometry) ที่ส่งเข้ามาอาจจะเกิดการสูญหายได้ ยกเว้นข้อมูลที่เป็นข้อมูลทางกราฟของพื้นผิวเท่านั้น ส่วนข้อมูลภายนอกของพื้นผิว (exterior surface) สามารถสร้างขึ้นได้โดยตรงโดยการสร้างโครงตาข่าย (mesh generation) การถ่ายข้อมูลอาจจะพบปัญหาบ้าง โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อของโครงเสริมแรง (ribs) และเกลียว (screw) และถ้าเป็นการส่งถ่ายข้อมูลของโมเดล ที่มีปริมาตร (volume model) จะต้องมีการสร้างระนาบกลางด้วย

5.1.2 การสร้างโครงตาข่าย

ใน MFVIEW สามารถสร้างโครงตาข่ายของฟีเจอร์ (feature) ต่าง ๆ ได้โดยอัตโนมัติ โดยการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ (ความยาวของด้าน) หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างโครงตาข่ายของ เส้นตรงและพื้นผิวให้โดยอัตโนมัติ ถ้ากำหนดขนาดของเอลิเมนต์ใหญ่เกินไป โปรแกรมก็จะทำการสร้าง โครงสร้างตาข่ายให้มีขนาดใกล้เคียงกับที่กำหนดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่ทำการสร้างโครงตา ข่ายถ้ามีพื้นผิวที่สร้างโครงตาข่ายไว้แล้ว โปรแกรมจะทำการปรับจำนวนเอลิเมนต์ (element density) ให้ อัตโนมัติ เพื่อให้โครงตาข่ายเหล่านั้นมีความต่อเนื่องกัน (connectivity)



ภาพประกอบ 44 โครงตาข่าย
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:30)



ภาพประกอบ 45 โมเดลแรเงา (Shade Model)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:30)

5.1.3 การเลือกใช้วัสดุ (Material Selection)

ก่อนที่การคำนวณจะเริ่มขึ้น จะต้องทำการกำหนดข้อมูลวัสดุก่อน ข้อมูลวัสดุที่จำเป็นคือ

- 5.1.3.1 Viscosity
- 5.1.3.2 Temperature conductivity
- 5.1.3.3 Specific heat capacity
- 5.1.3.4 Density
- 5.1.3.5 No-flow temperature
- 5.1.3.6 Ejection temperature
- 5.1.3.7 Range of melt temperature
- 5.1.3.8 Range of mould temperature
- 5.1.3.9 Shear stress
- 5.1.3.10 Maximum shear stress

ในชุดของโปรแกรม (Software package) จะมีฐานข้อมูลวัสดุ (material database) ของวัสดุที่สำคัญ ๆ ให้

5.1.4 การวิเคราะห์ในขั้นตอนการฉีดเติมเต็ม (Analysis of filling phase)

ขั้นตอนแรกจะต้องทำการกำหนดรูปทรงของโพรงแบบ (Cavity geometry) และโครงตาข่ายของเอลิเมนต์ที่การไหลจะเริ่มขึ้น (สภาวะขอบเขต (boundary condition)) และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณ (calculation parameters) ก็จะสามารถเริ่มทำการคำนวณได้

ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ :

ทางเลือกของโครงแบบ (Configuration options)

5.1.4.1 จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์ (Analysis Aim) : การฉีดเติมเต็มแบบแบ่งชั้น / การฉีดเติมเต็มแบบรวดเร็ว (multi laminate filling / fast filling)

5.1.4.2 ไฟล์เริ่มต้น (restart file) : ไม่มี / เริ่มจากไฟล์การฉีดเติมเต็ม (ไฟล์ผลลัพธ์)
(None/ fill (result file))

5.1.4.3 ไฟล์นำเข้า (Input files) / ไฟล์นำออก (Output files):

5.1.4.3.1 ไฟล์โมเดล (Model file) : ชื่อไฟล์ของรูปทรงแม่พิมพ์ (mould geometry)

5.1.4.3.2 ไฟล์สภาวะขอบเขต (Boundary file) : ตำแหน่งการฉีด (Injection location) (ใส่ชื่อไฟล์)

5.1.4.3.3 ชื่อผลลัพธ์ (Result name) : ชื่อไฟล์ของผลลัพธ์

5.1.4.3.4 ไฟล์การหล่อเย็น (Cooling interface file) : ใช่ / ไม่ใช่ (ถ้าใช้ต้องใส่ชื่อไฟล์ผลลัพธ์ของการหล่อเย็น) [yes/no (Name of a cooling result necessary)]

5.1.4.4 ข้อมูลวัสดุ (Material information)

5.1.4.4.1 ชื่อผู้ขาย (Material Supplier) : ใส่ชื่อผู้ขายที่มีอยู่ในฐานข้อมูลวัสดุ

5.1.4.4.2 เกรดของวัสดุ (Material grade) : เลือกวัสดุที่ต้องการใช้จากฐานข้อมูล

5.1.4.4.3 ฉีดอัดโดยใช้ (Fill compress by) : PVT / factor (ใช้ข้อมูลจากแผนภาพ PVT หรือใช้ค่าคงที่)

5.1.4.5 สภาวะการขึ้นรูป (Processing conditions)

5.1.4.5.1 ความดันสูงสุดในการฉีด (Max. injection pressure) : ค่าจำกัดของความดันฉีดสูงสุด

5.1.4.5.2 แรงกดแบบสูงสุด (Maximum clamp force) : ค่าจำกัดของแรงกดแบบแม่พิมพ์

5.1.4.5.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mould temperature) : ค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์

5.1.4.5.4 อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt temperature) : ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวที่ใช้

5.1.4.5.5 การฉีด (Injection) : เวลา/อัตราการไหล/อัตราโนมิติ (ใส่ค่าเวลาหรืออัตราการไหลที่ใช้ในการฉีดพลาสติก)

ก่อนทำการคำนวณในขั้นตอนฉีดอัด (holding phase) จะต้องพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการฉีดเติมเต็ม (filling phase) ก่อน ข้อมูลที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ จุดที่ไม่เกิดการไหล (no-flow) ข้อมูลของการหล่อเย็น (cooling data) และความดันสูงสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายของการฉีดเติมเต็ม (end of filling) ซึ่งค่าความดันนี้จะใช้เป็นค่าความดันเริ่มต้นเพื่อทำให้ความดันอัด (holding pressure) มีความเหมาะสมที่สุด (optimization)

5.1.5 การวิเคราะห์ในขั้นตอนการฉีดอัด (Analysis of Packing Phase)

ข้อมูลต่อไปนี้เป็นต้องใช้ (เหมือนกับขั้นตอนการฉีดเติมเต็ม)

5.1.5.1 การเลือกโครงร่าง (Configuration options)

5.1.5.1.1 จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์ (Analysis Aim) : การฉีดเติมเต็มแบบแบ่งเป็นชั้น (multi laminate filling)

5.1.5.1.2 ไฟล์เริ่มต้น (restart file) : ไม่มี / เริ่มต้นจากไฟล์การฉีดเติมเต็ม (ไฟล์ผลลัพธ์) [None/fill (result)]

5.1.5.2 ไฟล์นำเข้า (Input files) / ไฟล์นำออก (Output files):

5.1.5.2.1 ไฟล์โมเดล (Model file) : ชื่อไฟล์ของรูปทรงแม่พิมพ์ (mould geometry)

5.1.5.2.2 ไฟล์สภาวะขอบเขต (Boundary condition file) : ตำแหน่งการฉีด (Injection location) (ใส่ชื่อไฟล์)

5.1.5.2.3 ชื่อผลลัพธ์ (Result name) : ชื่อไฟล์ของผลลัพธ์

5.1.5.2.4 ไฟล์การหล่อเย็น (Cooling interface file) : ใช่ / ไม่ใช่ (ถ้าใช้ต้องใส่ชื่อไฟล์ผลลัพธ์ของการหล่อเย็น) [yes/no (Name of a cooling result necessary)]

5.1.5.3 ข้อมูลวัสดุ (Material information)

5.1.5.3.1 ชื่อผู้ขาย (Material Supplier) : ใส่ชื่อผู้ขายที่มีอยู่ในฐานข้อมูลวัสดุ

5.1.5.3.2 เกรดของวัสดุ (Material grade) : เลือกวัสดุที่ต้องการใช้จากฐานข้อมูล

5.1.5.3.3 ฉีดอัดโดยใช้ (Fill compress by) : PVT / factor (ใช้ข้อมูลจากแผนภาพ PVT หรือใช้ค่าคงที่)

5.1.5.4 สภาวะการขึ้นรูป (Processing conditions)

5.1.5.4.1 ความดันสูงสุดในการฉีด (Max. injection pressure) : ค่าจำกัดของความดันฉีดสูงสุด

5.1.5.4.2 แรงปิดแบบสูงสุด (Maximum clamp force) : ค่าจำกัดของแรงปิดแบบแม่พิมพ์

5.1.5.4.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mould temperature) : ค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์

5.1.5.4.4 อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt temperature) : ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวที่ใช้

5.1.5.4.5 การฉีด (Injection) : เวลา/อัตราการไหล/อัตโนมัติ (ใส่ค่าเวลาหรืออัตราการไหลที่ใช้ในการฉีดพลาสติก)

ก่อนทำการคำนวณในขั้นตอนฉีดอัด (holding phase) จะต้องพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการฉีดเติมเต็ม (filling phase) ก่อน ข้อมูลที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ จุดไม่เกิดการไหล (no-flow) ข้อมูลของการหล่อเย็น (cooling data) และความดันสูงที่สุดท้ายของการฉีดเติมเต็ม (end of filling) ซึ่งค่าความดันนี้จะใช้เป็นค่าความดันเริ่มต้นเพื่อทำให้ความดันอัด (holding pressure) มีความเหมาะสมที่สุด (optimization)

5.1.6 การวิเคราะห์การหดตัวและการบิดงอ (Analysis of shrinkage and warpage)

ข้อมูลต่อไปนี้จำเป็นต้องใช้ :

5.1.6.1 ทางเลือกของโครงแบบ (configuration options)

5.1.6.1.1 ชนิดการวิเคราะห์ (Analysis type) : การวิเคราะห์แบบเบี่ยงเบนเล็กน้อย (small deflection), การวิเคราะห์แบบเบี่ยงเบนมาก (large deflection), การวิเคราะห์แบบ Buckling (Buckling deflection)

5.1.6.1.2 คำอธิบายการวิเคราะห์ (Analysis description) : yes / no (ใส่คำอธิบาย)

5.1.6.1.3 ไม่คำนึงถึงทางวิ่งเย็น (Exclude cold runners) : yes / no

5.1.6.1.4 องศาของมุม (Cut-off angle corner) : ค่าจำกัดองศาของมุม

5.1.6.2 ไฟล์นำเข้า (Input files) / ไฟล์นำออก (Output files):

5.1.6.2.1 ชื่อโมเดล (Model file) : ชื่อไฟล์ของรูปทรงแม่พิมพ์ (mould geometry)

5.1.6.2.2 ไฟล์สภาวะขอบเขต (Boundary condition file) : ตำแหน่งที่อยู่กับที่ (fixing location) (ใส่ชื่อไฟล์)

5.1.6.2.3 ชื่อผลลัพธ์ (Result name) : ชื่อไฟล์ของผลลัพธ์

5.1.6.2.4 ไฟล์การหล่อเย็น (Cooling Interface file) : ใช่ / ไม่ใช่ (ถ้าใช่ต้องใส่ชื่อไฟล์ผลลัพธ์ของการหล่อเย็น) [yes/no (Name of a cooling result necessary)]

5.1.6.3 ข้อมูลวัสดุ (Material information)

5.1.6.3.1 ชื่อผู้ขาย (Material Supplier) : ใส่ชื่อผู้ขายที่มีอยู่ในฐานข้อมูลวัสดุ

5.1.6.3.2 เกรดของวัสดุ (Material grade) : เลือกวัสดุที่ต้องการใช้จากฐานข้อมูล

5.1.6.3.3 แหล่งข้อมูลเชิงกล (Mechanical data source) : จากฐานข้อมูลวัสดุ/ จากผลลัพธ์การคำนวณไฟเบอร์ (Use material data / result of fiber option calculation)

5.1.6.3.4 แหล่งข้อมูลการหดตัว (shrinkage data source) : เริ่มจากไฟล์การนิตย้า (packing restart file) (ชื่อไฟล์)

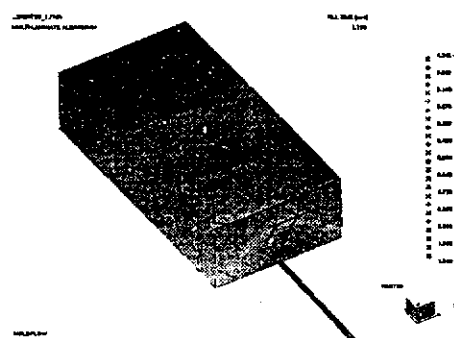
5.2 ผลลัพธ์การจำลองแบบ (Simulation Results)

5.2.1 ผลลัพธ์การฉีดเติมเต็มในแม่พิมพ์ (Mould filling results)

โปรแกรม MFVIEW จะใช้สำหรับแสดงผลของอุณหภูมิหลอมเหลว (melt temperature) , การกระจายตัวของความดัน (Pressure distribution), ความเค้นเฉือน (Shear stress), อัตราเฉือน (shear rate), และชั้นผิวแข็งตัว (frozen skin) ในแต่ละระยะของการฉีด (short shot) ส่วนเวลาในการนิตย้า (holding time) และเวลาในการหล่อเย็น (cooling time) จะสามารถแสดงผลได้เฉพาะเมื่อทำการฉีดระยะสุดท้าย (last shot) แล้วเท่านั้น

5.2.1.1 เวลาในการฉีดเติมเต็ม (fill time)

การแสดงผลของเวลาที่ใช้ในการฉีดเติมเต็มจะแสดงเป็นรูปสี ซึ่งจะแสดงเป็นสีต่าง ๆ กัน สำหรับหน้าคลื่นการไหล (flow front) ที่เคลื่อนไป โดยแต่ละสีจะสัมพันธ์กับระยะฉีด (Short shot) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

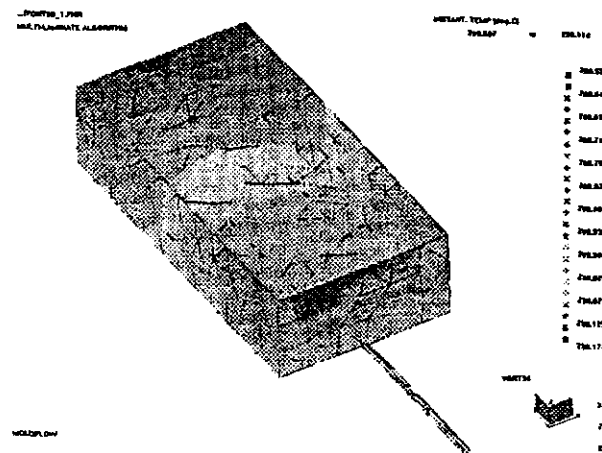


ภาพประกอบ 46 เวลาที่ใช้ในการฉีดเติมเต็ม

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:35)

5.2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

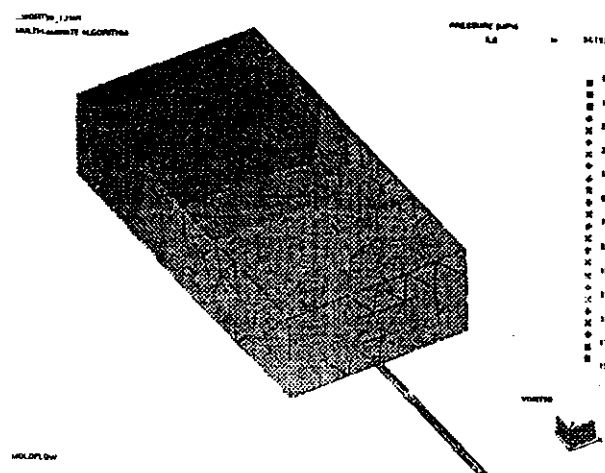
การแสดงผลของอุณหภูมิจะแสดงเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิ (temperature distribution) โดยจะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของวัสดุที่ตัดตัดผ่านตามความหนาของชิ้นงาน (across the thickness) ของแต่ละเอลิเมนต์ ค่าอุณหภูมินี้สามารถคำนวณที่ละชั้นเวลา (time step หรือ short shot) หรือเมื่อสิ้นสุดการฉีดเต็มเต็ม (end of filling) ก็ได้ การที่ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ อุณหภูมิในทุกบริเวณของชิ้นงาน ควรจะมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก (โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 15 – 20 องศาเซลเซียส)



ภาพประกอบ 47 อุณหภูมิ
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:36)

5.2.1.3 ความดัน (pressure)

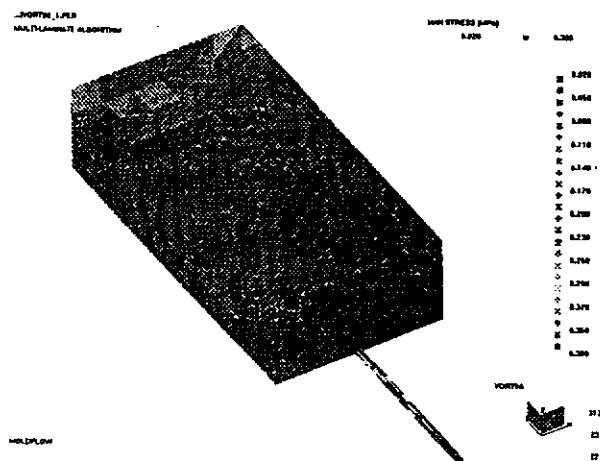
การแสดงผลของความดันจะแสดงเป็นการกระจายตัวของความดัน (pressure distribution) ค่าที่ได้จะบอกถึงบริเวณที่เกิดการอัดแน่นมากเกินไป (over packing) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการหดตัว (Shrinkage) และการบิดงอ (warpage) ที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 48 ความดัน
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:37)

5.2.1.4 ความเค้น (Stress)

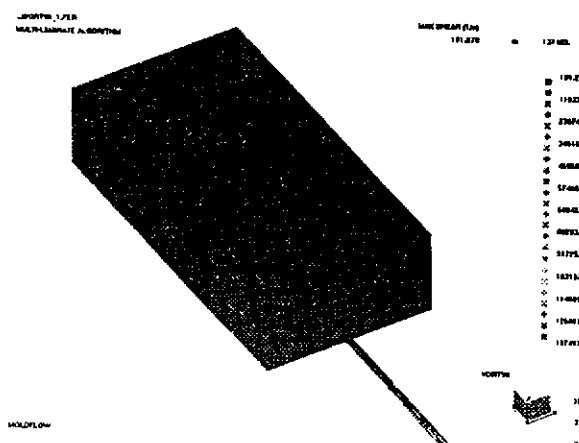
การแสดงผลของความเค้นจะแสดงเป็นค่าความเค้นสูงสุดของความเค้นเฉือน (maximum shear stress) ที่คิดตัดผ่านตามความหนาของชิ้นงาน ขณะที่ทำการหล่อเย็นส่วนที่เกิดความเค้น เมื่อการฉีดสิ้นสุดจะเกิดการคลายตัว (filling relax) แต่จะมีความเค้นบางส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ (residual stress) หลังจากชิ้นงานแข็งตัวแล้ว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานเกิดการผิดรูปทรง (distort) ดังนั้นความเค้นเฉือนควรจะมีความไม่เกิดกว่าที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ



ภาพประกอบ 49 ความเค้น
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:37)

5.2.1.5 อัตราเฉือนขณะไหล (shear rate)

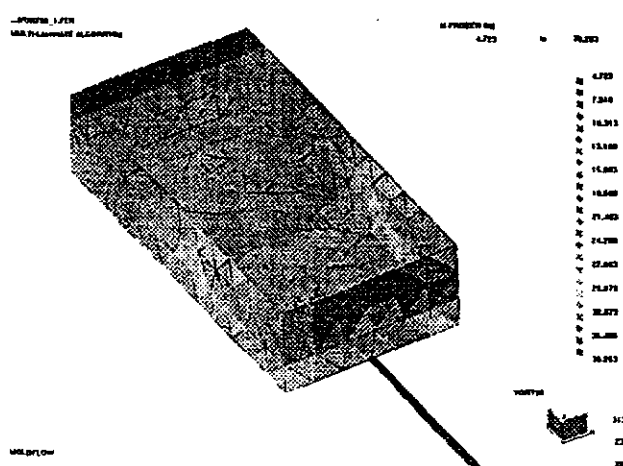
อัตราเฉือนขณะไหลคือความแตกต่างระหว่างความเร็วในการไหลของชั้นของไหล (laminar layers) ติดกันหารด้วยความหนาของชั้นไหล (layer thickness) (หาได้จากโปรไฟล์ของความเร็ว (velocity profile)) ค่าที่แสดงเป็นค่าสูงสุดของอัตราเฉือนที่เกิดขึ้น โดยคิดตัดผ่านความหนาของผนังชิ้นงาน



ภาพประกอบ 50 อัตราเฉือน
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:38)

5.2.1.6 ชั้นผิวแข็งตัว (frozen skin)

การแสดงผลของชั้นผิวแข็งตัว จะแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของชั้นผิวแข็งตัวระหว่างขั้นตอนการฉีดเติมเต็มตัวอย่าง เช่น 10 % ของชั้นผิวแข็งตัวเมื่อชิ้นงานมีความหนา 3 มม. หมายถึงชั้นผิวแข็งตัวจะมีความหนา 0.3 มม. ค่านี้มีความสำคัญในการทำให้สภาวะของแม่พิมพ์มีความเหมาะสมที่สุด (optimize the molding condition) ค่าที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ค่านี้มีความสำคัญมากยิ่งขึ้นเมื่อชิ้นงานมีความหนาของผนังน้อย ๆ และฉีดโดยใช้วัสดุที่มีความเป็นผลึก (crystalline materials) สำหรับชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพสูงและสำหรับเรซินทั่ว ๆ ไป ชั้นผิวแข็งตัวควรมีค่าต่ำกว่า 10 %

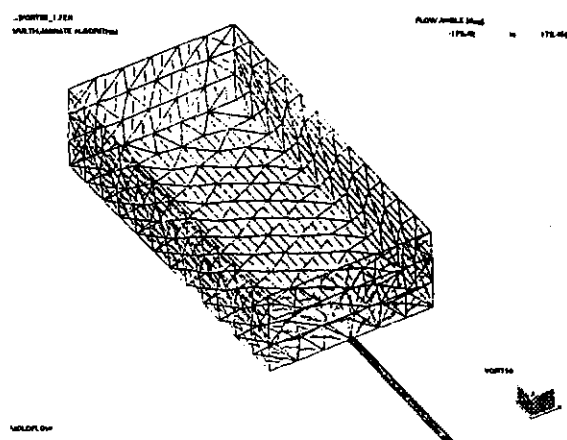


ภาพประกอบ 51 ชั้นผิวแข็งตัว

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:39)

5.2.1.7 ทิศทางการไหล (flow angle)

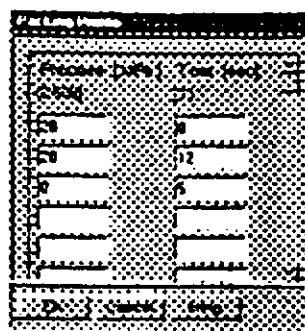
การแสดงผลของทิศทางการไหล จะแสดงเป็นทิศทางการไหลในแต่ละเอลิเมนต์ ทำให้เกิดความเข้าใจในรูปแบบของการฉีดเติมเต็มมากยิ่งขึ้นเพื่อใช้ทำนายการเกิดรอยประสาน (weld line) และเพื่อช่วยในการพิจารณาสาเหตุของการเกิดการบิดงอ



ภาพประกอบ 52 ทิศทางการไหล (Flow Angle)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:39)

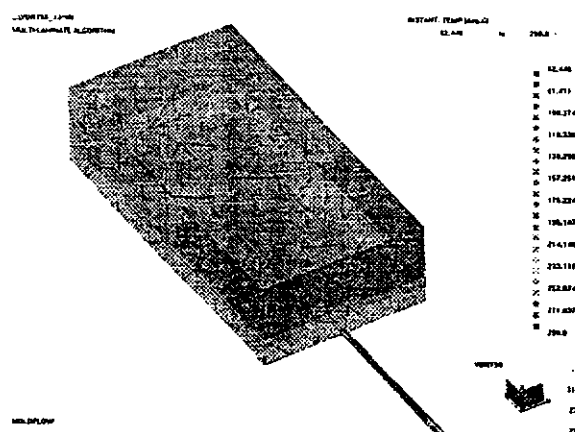
5.2.2 ผลลัพธ์การฉีดย้า (packing results)



ภาพประกอบ 55 ตารางความดันย้า (Packing Pressure Windows)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:41)

5.2.2.1 อุณหภูมิ

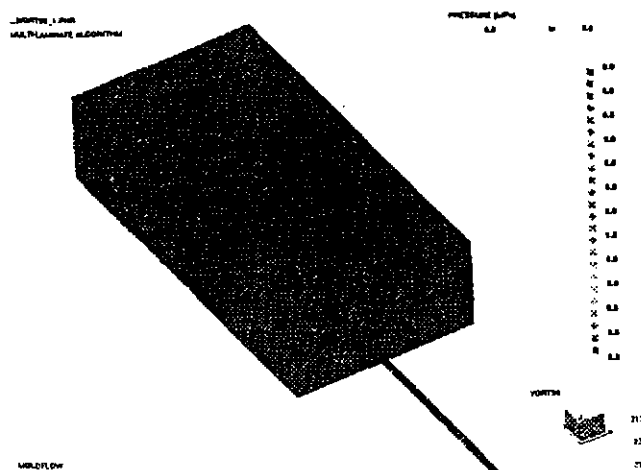
ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แม่นยำนักสำหรับค่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดใน เวลาต่าง ๆ ที่สำคัญคือ อุณหภูมิจะต้องมีความสม่ำเสมอ (uniform) คุณภาพของชิ้นงานจะดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานมีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิที่ไม่เกิดการไหล (no-flow temperature) เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนของการฉีดย้า



ภาพประกอบ 56 อุณหภูมิ (ฉีดย้า)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:41)

5.2.2.2 ความดัน (pressure)

แสดงการกระจายตัวของความดัน (pressure distribution) ทั่วทั้งชิ้นงาน ควรหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดการลดความดัน (pressure drop) ที่มากเกินไปในขั้นตอนของการฉีดอัด เพราะจะทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

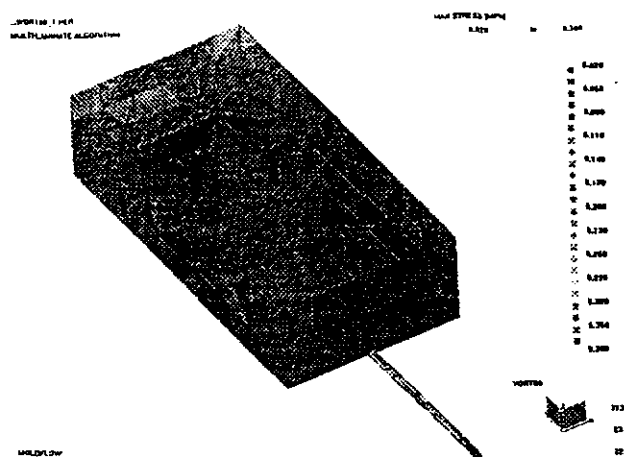


ภาพประกอบ 57 ความดัน (ฉีดอัด)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:42)

5.2.2.3 ความเค้นเฉือน (shear stress)

ความเค้นเฉือนควรรักษาให้อยู่ในระดับต่ำกว่าในขั้นตอนของการฉีดเติมเต็ม และที่สำคัญคือ ความเค้นเฉือนจะต้องมีค่าสม่ำเสมอ (uniformity)

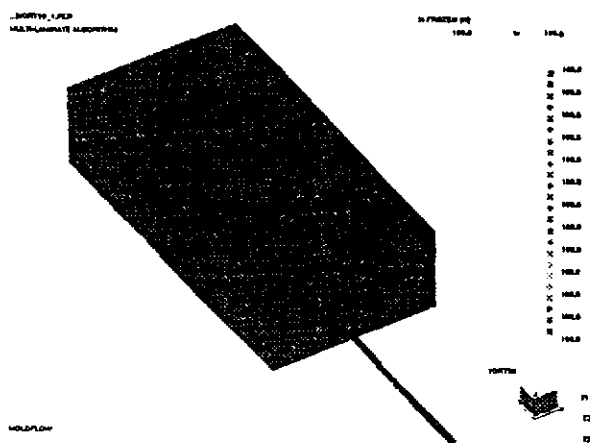


ภาพประกอบ 58 ความเค้นเฉือน (ฉีดอัด)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:42)

5.2.2.4 ชั้นผิวแข็งตัว (frozen skin)

เมื่อสิ้นสุดเวลาของการฉีดน้ำ (holding time) ชั้นผิวแข็งตัวควรมีค่า 100 % ตลอดทั่วทั้งชิ้นงาน

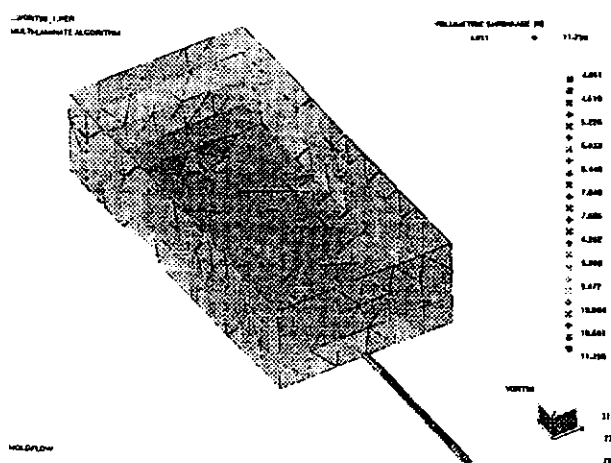


ภาพประกอบ 59 ชั้นผิวแข็งตัว (ฉีดน้ำ)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:43)

5.2.2.5 ความหนาแน่น / การหดตัวเชิงปริมาตร (Density / Volumetric Shrinkage)

ความหนาแน่นและการหดตัวเชิงปริมาตรจะสัมพันธ์กับปริมาณของวัสดุที่ฉีดเข้าไป ในขั้นตอนการฉีดน้ำ ที่สำคัญความหนาแน่นจะต้องมีความสม่ำเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดบิดงอ และควรระลึกไว้เสมอว่า ความหนาแน่นที่แสดงเป็นค่าที่ได้ ณ อุณหภูมิที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น อย่างไรก็ตาม การคำนวณการหดตัวเชิงปริมาตรจะพิจารณาการหล่อนของชิ้นงานจนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ร่วมกับการคลายตัวของความดัน (relaxation of the pressure)



ภาพประกอบ 60 การหดตัวเชิงปริมาตร (ฉีดน้ำ)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:44)

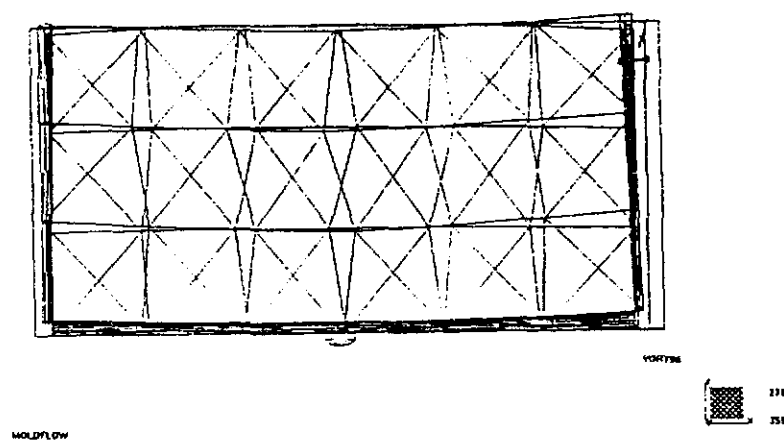
5.2.3 ผลลัพธ์ของการหดตัวและการบิดงอ (Shrinkage and warpage results)

โปรแกรม WARPIN จะคำนวณทิศทางและขนาดของการเสียรูปร่าง (deformation) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานอันเนื่องมาจากการสะสมของความเค้นคงเหลือ (residual stress) หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการฉีด ย้ำ การแสดงผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงโดยใช้ MFVIEW

5.2.3.1 การเสียรูปร่าง / การคงรูปร่าง (deformation / unreformed)

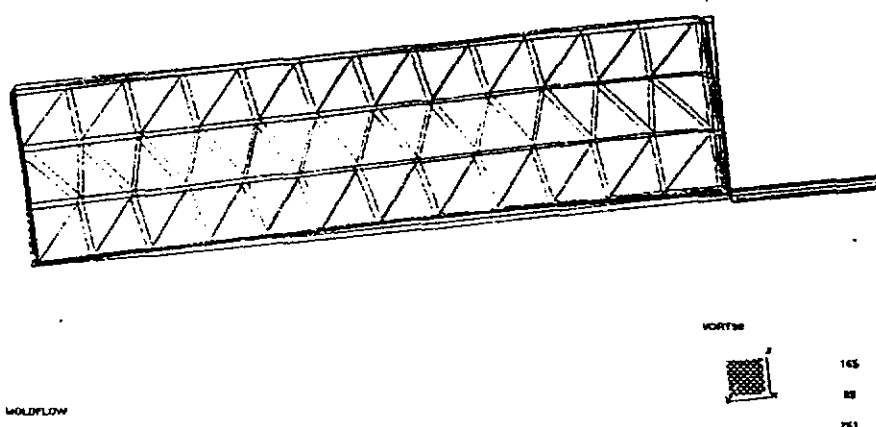
แสดงรูปร่างสุดท้าย (final shape) ของชิ้นงานที่ได้ และสามารถใช้อัตราส่วน (scale factor) เพื่อจะให้เห็นการเสียรูปร่างของชิ้นงานได้อย่างชัดเจนขึ้น

การคงรูปร่าง (unreformed option) จะใช้สำหรับแสดงรูปร่างงานจริงที่ต้องการ (actual model) เปรียบเทียบบนชิ้นงานที่เกิดการเสียรูปร่างแล้ว



ภาพประกอบ 61 ภาพด้านหน้า (front view)

(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:45)

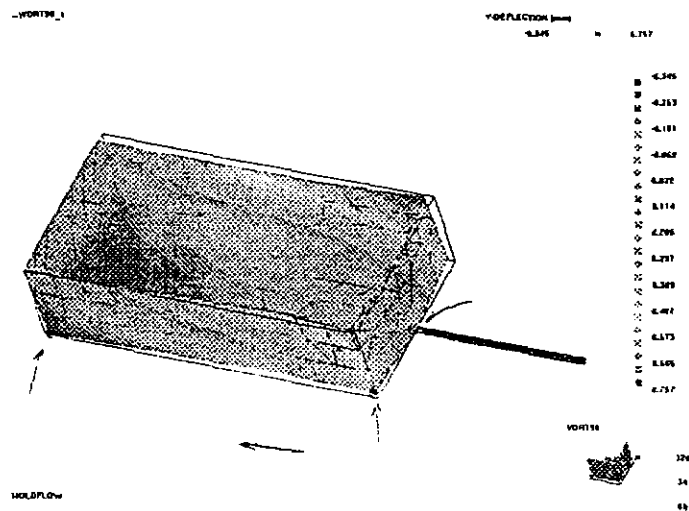


ภาพประกอบ 62 ภาพด้านซ้าย (left view)

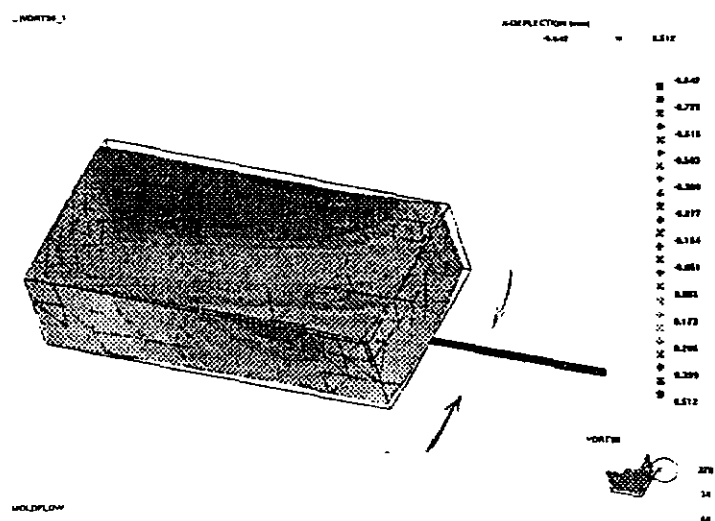
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:45)

5.2.3.2 ระยะเวลาจัด (Displacement)

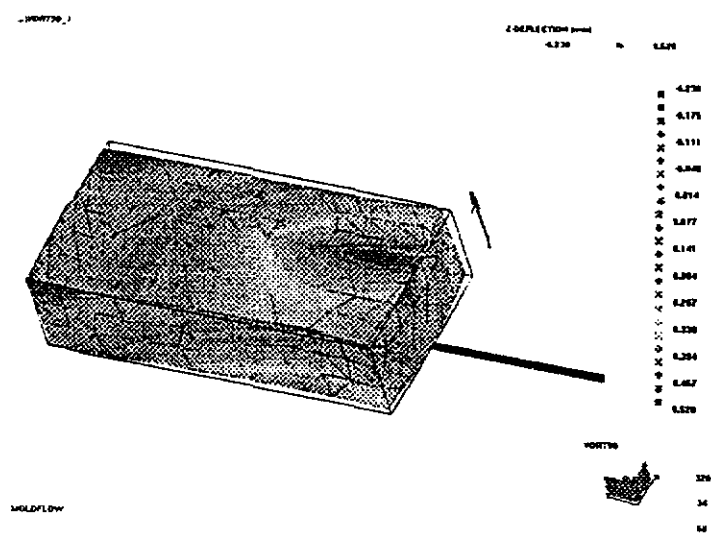
จะคำนวณหาค่าระยะจัดของจุดต่อ (node) และแสดงเป็นเส้นโค้งทึบ (solid contour) โดยอาจจะแสดงเป็นระยะจัดรวม (global) หรือระยะจัดตามแนวแกนคาร์ทีเซียน (Cartesian axes) ของแกนหนึ่งแกนใดก็ได้



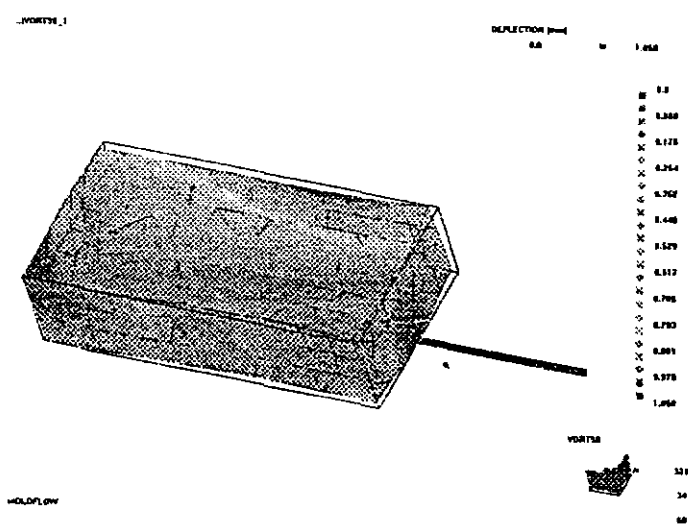
ภาพประกอบ 63 ทิศทางตามแนวแกน x (x-direction)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:46)



ภาพประกอบ 64 ทิศทางตามแนวแกน y (y-direction)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:46)



ภาพประกอบ 65 ทิศทางตามแนวแกน z (z-direction)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:47)



ภาพประกอบ 66 ระยะขจัดรวม (global)
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2541:47)

5.3 การเลือกสภาวะการฉีดที่เหมาะสมที่สุด (optimization of moulding condition)

จะอธิบายถึงรายละเอียด วิธีการที่เหมาะสมที่สุด (optimization procedure) และทางเลือกของสภาวะการฉีดที่แตกต่างกันสำหรับชิ้นงานหนึ่ง ๆ

5.3.1 เวลาที่ใช้ในการฉีด (Injection Time)

การกำหนดเวลาที่ใช้ในการฉีดที่ดีที่สุดนั้น สิ่งสำคัญจะต้องรู้ว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานอย่างไร การเลือกเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นกับเส้นโค้งรูปตัวยู (U-shape curve) ซึ่งแสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการฉีดกับการหดตัว ซึ่งสภาวะเริ่มต้น (Starting condition) โปรแกรมจะกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณมาให้

5.3.2 อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt temperature)

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ควรเลือกใช้อุณหภูมิ 3 ค่าที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ได้จากฐานข้อมูลวัสดุ

5.3.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mould temperature)

โปรแกรมจะเลือกค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้จากฐานข้อมูลวัสดุ

5.3.4 ความดันย่ำ (Holding pressure)

ความดันย่ำที่ดีที่สุดที่ควรกำหนดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของความดันสูงสุดที่ได้เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการฉีดเต็มเต็ม ส่วนมากจะเลือกใช้ความดันย่ำที่ 50 %, 75 % และ 100 % ของค่าความดันสูงสุด

5.3.5 เวลาที่ใช้ในการฉีดย่ำ (Holding time)

เวลาของความดันย่ำที่ดีที่สุดกำหนดโดยใช้เส้นโค้งพื้นฐาน (basic curve) โดยการหดตัวจะลดลงเมื่อเวลาของการฉีดย่ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งการหดตัวจะคงที่แม้ว่าจะเพิ่มเวลาฉีดย่ำขึ้นอีกก็ตาม เวลา ณ จุดนี้คือเวลาการฉีดย่ำที่เหมาะสมที่สุด

5.4 ข้อจำกัดของโปรแกรมจำลองแบบ (Limits of simulation programmes)

โปรแกรมจำลองแบบที่มีจำหน่ายทั่วไปส่วนมากจะใช้ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) โดยใช้เอลิเมนต์แบบเชลล์ 2 มิติ (two-dimensional shell element) ในการจำลองแบบชิ้นงาน และใช้เอลิเมนต์แบบ빔 (beam element) ในการจำลองแบบระบบทางวิ่ง (runner system) เอลิเมนต์เหล่านี้ทำให้สามารถสร้างการกระจายตัวของอุณหภูมิคิดตัดผ่านตามความหนาของชิ้นงานได้, คำนวณโดยใช้อุณหภูมิหลอมเหลวและความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความร้อนเฉือน (shear heating effect) เป็นความร้อนที่เข้าสู่ระบบ (heat input), การนำความร้อน (conductivity) และการพาความร้อน (convection) ของผนังแม่พิมพ์เป็นความร้อนที่ออกจากระบบ (heat output), วิธีการคำนวณแบบนี้หนึ่งของแม่พิมพ์อาจจะมีความไม่สม่ำเสมอได้ (non-uniform temperature), ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์เอลิเมนต์ขอบเขต (boundary elements), เช่นการให้รายละเอียดของโพรงแบบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามโปรแกรมส่วนมากจะวิเคราะห์การไหลโดยอาศัยพื้นฐานที่ว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิมีความสมมาตรเมื่อคิดตัดผ่าน

ตามความหนาของชิ้นงาน ซึ่งการคิดแบบนี้สามารถยอมรับได้ เนื่องจากโดยทั่วไปอุณหภูมิของผนังแม่พิมพ์จะได้รับผลกระทบน้อยมากจากรูปแบบของฉีด (filling pattern)

5.4.1 ค่าการหดตัวที่วัดได้สำหรับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุเสริมแรง กลาส-ไฟเบอร์ (glass-fiber reinforced materials) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 % – 0.4 % ในทิศทางเดียวกับการไหล และมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 % – 1.5 % ในทิศทางตั้งฉากกับการไหล และจากแผนภาพ PVT การหดตัวเชิงปริมาตรโดยรวม (total volume shrinkage) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 % – 4.5 % แสดงว่าการหดตัวของวัสดุชนิดนี้คิดตามความหนาจะอยู่ในช่วง 2.0 %–3.0 % การหดตัวตามความหนาของชิ้นงานไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นเนื่องจากความร้อน (thermal stresses) สำหรับโมเดลที่สร้างขึ้นด้วยเอลิเมนต์แบบเซลล์ได้ เพราะฉะนั้นโมเดลเหล่านี้จึงสมมติว่าการหดตัวตามความหนาไม่มีผลกระทบต่อการเกิดการบิดงอ ด้วยเหตุผลนี้นักวิจัยส่วนใหญ่จึงพยายามที่จะรวบรวมเอา “ผลของมุม (corner effect)” ไว้ในโมเดลที่ใช้เอลิเมนต์แบบเซลล์ โดยใช้โมเมนต์ภายในมุม (internal moment in corner) หรือใช้เอลิเมนต์ช่วย (auxiliary element) หรือแม้กระทั่งการปรับปรุงการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณมุม ซึ่งการคำนวณเหล่านี้ไม่เป็นไปแบบอัตโนมัติ ทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลา วิธีการที่ได้สะดวกกว่าคือการวิเคราะห์การไหลโดยใช้โปรแกรมที่ใช้เอลิเมนต์ทรงตันแบบ 3 มิติ (three-dimensional solid element) หรือที่เรียกว่า “bricks” ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีผู้จำหน่ายรายใดที่ใช้เอลิเมนต์ 3 มิติชนิดนี้ในการจำลองแบบการฉีด

5.4.2 การคำนวณจะใช้เอลิเมนต์แบบเซลล์ ดังนั้นจะคำนวณได้เฉพาะส่วนประกอบที่ความหนาของผนังมีค่าน้อย ๆ เท่านั้น

5.4.3 ถ้าความหนาของผนังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดการคำนวณจะถูกตัดทิ้งต่อเมื่อโครงตาข่ายในบริเวณนั้นมีขนาดเล็ก ๆ

5.4.4 รูปทรงที่มีความซับซ้อนมาก ๆ จำเป็นต้องทำเป็นรูปทรงอย่างง่าย (simplified) ก่อนเพื่อที่จะสามารถสร้างโครงตาข่ายได้

5.4.5 ไม่ได้พิจารณาถึงการยืดออกของการไหล (stretching flows)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาพร ชาดาคม (2537:บทคัดย่อ) ได้ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาช่วยในการออกแบบโดยการสร้างชิ้นงานทดลองขึ้นมา และทำการทดลองฉีด วิเคราะห์การไหลของพลาสติก โดยทำการจำลองสถานการณ์จริงผ่านทางจอภาพบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม STRIM 100 ของบริษัท CISIGRAPH ประเทศฝรั่งเศส ใช้งานบนเครื่องระดับ Workstation ของบริษัท SILICON GRAPHICS และเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมิน ความคิดเห็นเกี่ยวกับผลการทดลองและวิเคราะห์

ผลการประเมินความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญสรุปว่า การจำลองสถานการณ์จริงและผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม STRIM 100 อยู่ในข่ายที่เชื่อถือได้ และสามารถทำงานได้ตรงตามสถานการณ์จริง

อกนิษฐ์ สอนตระกูล (2544:119-134) ได้ศึกษาผลกระทบของความดันในการฉีดอัด และเวลาในการฉีดอัดกับการหดตัวของพลาสติกชนิดอะมอฟฟัสในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและบิดงอในแม่พิมพ์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) จากโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Mold Flow กำหนดให้พลาสติกหลอมเหลวเป็นของไหลที่เหลวหนืดสามารถกดอัดตัวได้ อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่คงที่ ทำการศึกษาเพื่อหาค่าตัวแปรของเส้นโครงร่างของช่วงการฉีดอัด (Packing Profile) ที่มีผลกระทบกับการหดตัวหลายกรณีตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าแนวโน้มของการ

ทดลองกับการทำนายสอดคล้องกัน ซึ่งเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง กล่าวคือความดันที่ใช้ในช่วงสภาวะการฉีด ย่ำ (Packing Stage) จะมีผลกระทบมากกับการหดตัวในทิศทางขนาน และตั้งฉากกับการไหล ขณะที่เวลาที่ใช้ในการฉีดย่ำจะส่งผลกระทบน้อยกว่า และต้องมีค่าน้อยกว่าเวลาการแข็งตัวของประตูทางเข้า (Gate Freeze off) โดยปกติการหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามแนวการไหลจนกว่าสภาวะการฉีดย่ำจะสิ้นสุด ซึ่งการหดตัวที่ไม่เท่ากันในทิศทางขนานและตั้งฉาก รวมถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันตลอดความหนาที่ไม่เท่ากันจะทำให้เกิดการบิดงอ

วาย เอ็ม เติ้ง และคณะ (Y.M. Deng.2002) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการบูรณาการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการวิเคราะห์ในระบบการออกแบบชิ้นงานพลาสติกแบบฉีด โดยเนื่องจากการออกแบบชิ้นงานฉีดพลาสติก การออกแบบและการวิเคราะห์ชิ้นงานจะมีความสัมพันธ์กันเพื่อให้ชิ้นงานที่ออกแบบมาสามารถผลิตได้ตามความต้องการของผู้ออกแบบ และในปัจจุบันการทำงานของทั้งสองส่วนแยกกัน การส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันยังไม่ดีนัก และจำเป็นที่จะต้องเติมข้อมูลที่ต้องการของซอฟต์แวร์ของผู้ออกแบบลงไปอีกครั้งสำหรับการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้นำเสนอนวัตกรรมใหม่ในการบูรณาการการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเข้าด้วยกัน การรวมระบบข้อมูลเชื่อมโยงเข้าด้วยกันทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

ไบท์เตอร์ และคณะ (Beiter.1995) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดโดยการพิจารณาความสมดุลของคุณสมบัติทางกล ต้นทุนการผลิต และการเลือกวัสดุ โดยการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณและออกแบบค่าความสมดุลของปัจจัยหลักทั้ง 3 โดยคุณสมบัติทางกลพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ความแข็งแรง ความหนาบางของชิ้นงาน ความสามารถในการผลิต, ทางเข้าน้ำพลาสติก, ความสามารถในการเติมน้ำพลาสติกลงไปในแม่พิมพ์ ต้นทุนการผลิตพิจารณาจากต้นทุนวัตถุดิบ ระยะเวลาในการฉีด ต้นทุนการผลิต การเลือกวัสดุของชิ้นงานพลาสติกพิจารณาจากภาระรับแรง อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ ความทึบ ความโปร่งใสของชิ้นงาน ความทนต่อสารเคมี โดยมีฐานข้อมูลที่สร้างหรือกำหนดขึ้นมาแล้วใช้คอมพิวเตอร์นำข้อมูลเหล่านั้นนำไปช่วยในการออกแบบสร้างชิ้นงานพลาสติกแบบฉีดขึ้นมาตามความต้องการของผู้ออกแบบ

บาสซิค และคณะ (Basick.1994) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดโดยการใช้การจำลองกระบวนการเพื่อกำหนดค่าพิกัดความเผื่อที่เป็นไปได้ โดยปัญหามาจากในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนทำให้ยากสำหรับผู้ออกแบบที่จะกำหนดค่าพิกัดความเผื่อได้อย่างถูกต้องแม่นยำ งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาจำลองการไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ และสร้างแบบจำลองวิธีการประเมินความเป็นไปได้ในการกำหนดค่าพิกัดความเผื่อ โดยใช้ค่าความผิดพลาดของขนาดที่เกิดจากความผันแปรของกระบวนการและการประมาณความไว การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับค่าพิกัดความเผื่อที่กำหนดโดยผู้ออกแบบช่วยให้สามารถประเมินค่าพิกัดความเผื่อได้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวส่วนใหญ่มุ่งเน้นในเรื่องการออกแบบชิ้นงานพลาสติก โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและนำมาวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม ทำการวิเคราะห์การไหลโดยการจำลองสถานการณ์การทดลองฉีดผ่านจอภาพคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลออกมาเป็นข้อมูลเชิงสถิติตัวเลขหรือในรูปแบบของแบบจำลองลักษณะเป็นรูปภาพ หรือเป็นชิ้นงานเฉพาะที่เป็นกรณีศึกษา ทั้งหมดนี้เพื่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานพลาสติกแบบฉีด และเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ผลิตแม่พิมพ์ ผู้ผลิตชิ้นงานพลาสติก และสุดท้ายเป็นชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีการดำเนินการดังรายละเอียดเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. การออกแบบแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก
2. การสร้างชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์
3. การทดลองนำชุดแม่พิมพ์ไปปฏิบัติการฉีด เพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก
4. การประเมินชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยผู้เชี่ยวชาญโดยการประเมินผลด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

1. การออกแบบแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

การออกแบบแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ และการออกแบบแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย การรับรู้ปัญหา การศึกษารายละเอียดทั้งทฤษฎีและข้อมูลในออกแบบ โดยผู้วิจัยได้ค้นคว้าศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในเรื่องพลาสติก ลักษณะของการเกิดปัญหาข้อบกพร่องของชิ้นงานฉีดพลาสติก ศึกษาเรื่องแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ลักษณะการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีผลทำให้เกิดข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก รวมถึงเรื่องเกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติกและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม เพื่อนำข้อมูลมาเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์ โดยกำหนดคุณลักษณะของแม่พิมพ์ไว้ดังนี้

1.1 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 ซึ่งนำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นการโก่งงอ การหดตัว รอยการไหลของน้ำพลาสติก

- 1.1.1 เป็นลักษณะแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น
- 1.1.2 มีจำนวน 1 คาวิตี
- 1.1.3 ขนาดแม่พิมพ์ กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.
- 1.1.4 Gate ทางเข้าน้ำพลาสติกแบบสปริงเกจ (Sprue gate) $\varnothing$ 3.3 มม. ยาว 36 มม.

เรียบ 3 องศา

- 1.1.5 ใช้ระบบน้ำหล่อเย็นใต้ฐานคอร์และคาวิตี เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.
- 1.1.6 ระบบปลดชิ้นงานใช้เข็มกระทุ้ง
- 1.1.7 เม็ดพลาสติกที่ใช้ฉีดเป็น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene)

1.2 แม่พิมพ์ ตัวที่ 2 ซึ่งนำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ชิ้นงานเกิดครีบและรอยประสานของน้ำพลาสติก

- 1.2.1 เป็นลักษณะแม่พิมพ์ ชนิด 2 แผ่น

1.2.2 มีจำนวน 2 คาวิตี

1.2.3 ขนาดแม่พิมพ์ กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.

1.2.4 Gate ทางเข้าน้ำพลาสติกแบบเข้าด้านข้าง โดยออกแบบสามารถแยกได้ 2 ทาง โดยเข้าตำแหน่งหัวชิ้นงานและตำแหน่งกลางชิ้นงานจุดทางเข้าทำเป็นอินเลิร์ต บล็อก สามารถถอดเข้าออก และกลับทางเข้าของน้ำพลาสติกให้อยู่ตำแหน่งเปิดหรือปิดก็ได้

1.2.5 ใช้ระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ที่แผ่นแม่พิมพ์ด้านเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.

1.2.6 ระบบปลดชิ้นงานแบบใช้เข็มกระทุ้งที่ทางวิ่งน้ำพลาสติกและที่ตัวชิ้นงาน

1.2.7 รูทางเข้าน้ำพลาสติก (Sprue bush) ยาว 70 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มม.

1.2.8 (Side gate) ทางเข้าของน้ำพลาสติกเข้าสู่ชิ้นงานด้านข้างเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ความกว้างด้านบน 4 มม. ความกว้างด้านล่าง 3 มม. ระยะทางวิ่งของน้ำพลาสติกยาว 90 มม.

1.2.9 เม็ดพลาสติกที่ใช้ฉีด เป็น HIPS (High Impact Polystyrene)

1.3 แม่พิมพ์ตัวที่ 3 ซึ่งนำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยยุบและฟองอากาศ

1.3.1 ลักษณะแม่พิมพ์เป็นแบบ 2 แผ่น

1.3.2 มีจำนวน 1 คาวิตี

1.3.3 ขนาดของแม่พิมพ์กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.

1.3.4 Gate ทางเข้าน้ำพลาสติกเป็นแบบสปรูเกต (Sprue gate)

1.3.5 ระบบน้ำหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ ทั้งแผ่นแม่พิมพ์ด้านเข้าและแผ่นแม่พิมพ์ด้านออก โดยทางน้ำวิ่งผ่านตัวแผ่นเพลท (Core plate) ทะลุขึ้นด้านบนหมุนเวียนภายในตัวคอร์ (Core)

1.3.6 ระบบปลดชิ้นงานใช้แกนกระทุ้งปลดชิ้นงานออก

1.3.7 เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีดเป็น PS (Polystyrene)

จากนั้นได้สร้างแบบสอบถามประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจประเมิน 5 ท่าน โดยกำหนดคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญไว้ดังนี้

1. มีวุฒิการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี มีความรู้เกี่ยวกับงานฉีดพลาสติกและด้านแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2. มีประสบการณ์การทำงานด้านฉีดพลาสติก หรือด้านแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไม่ต่ำกว่า 10 ปี จากการตรวจประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยสามารถนำความรู้ที่ได้จากแบบสอบถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก และการสร้างชุดแม่พิมพ์ต่อไป (รายละเอียดของแบบประเมินตรวจสอบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงอยู่ในภาคผนวก ก)

2. การสร้างชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์

การดำเนินการสร้างชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1 ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยวิธีทดลอง ซึ่งจะต้องใช้วัสดุ เครื่องมืออุปกรณ์ และเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการสร้างชุดแม่พิมพ์ ส่วนที่สองเป็นการสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ พร้อมกับคู่มือการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.1.1 วัสดุ

รายการวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 ซึ่งนำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่เป็นการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก แสดงตารางดังนี้

ตาราง 1 รายการชิ้นส่วนวัสดุของแม่พิมพ์ ตัวที่ 1

ลำดับ	รายการชิ้นส่วน	วัสดุ	ขนาด (มม.)	จำนวน
1.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
2.	แผ่นแม่พิมพ์ด้านบ้ำ	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
3.	แผ่นแม่พิมพ์ด้านคอร์	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
4.	แผ่นใส่สลักกรูทั้ง	เหล็ก S55C	115X200X13	1 แผ่น
5.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
6.	คอร์ (Core)	เหล็ก DHA1	110X120X57.56	1 ชิ้น
7.	อินเลอร์ระบบน้ำ	เหล็ก S55C	50X80X36	1 ชิ้น
8.	คาวิตี (Cavity)	เหล็ก DHA1	110X120X50	1 ชิ้น
9.	แหวนบังคับศูนย์	เหล็ก S55C	Ø20X110	1 ชิ้น
10.	ปลอกรูฉีด	เหล็ก SKD-61	Ø40X36	1 ชิ้น
11.	สลักดันปลด	เหล็ก SKD-61	Ø10X137.56	4 ชิ้น
12.	แผ่นกระทุ้ง	เหล็ก S55C	115X200X15	1 ชิ้น
13.	สลักดันกลับ	เหล็ก SKD-61	Ø12X80	4 ชิ้น
14.	เพลาน้ำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X92	4 ชิ้น
15.	ปลอกน้ำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X49	4 ชิ้น
16.	แท่งรอง	เหล็ก S55C	38X70X200	2 ชิ้น

รายการวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 ซึ่งนำไปจัดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่เป็นการเกิดรอยฟัน ชันงานไม่เต็ม การเกิดครีบและการเกิดรอยประสาน

ตาราง 2 รายการชิ้นส่วน วัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 2

ลำดับ	รายการชิ้นส่วน	วัสดุ	ขนาด (มม.)	จำนวน
1.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
2.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านข้าง	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
3.	แผ่นแม่พิมพ์ด้านคอร์	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
4.	แผ่นใส่สลักกระทุ้ง	เหล็ก S55C	115X200X13	1 แผ่น
5.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
6.	อินเลอร์ทางวิ่งน้ำพลาสติก 1	เหล็ก S55C	30X40X15	2 ชิ้น
7.	อินเลอร์รู	เหล็ก S55C	Ø80X30	2 ชิ้น
8.	แผ่นรองหลังอินเลอร์	เหล็ก S55C	60X120X20	2 ชิ้น
9.	อินเลอร์ทางวิ่งน้ำพลาสติก 2	เหล็ก S55C	30X40X15	2 ชิ้น
10.	สลักดันปลด	เหล็ก SKD-61	Ø6X99.92	2 ชิ้น
11.	สลักยึดทางวิ่งน้ำพลาสติกตรงกลาง	เหล็ก SKD-61	Ø6X100	1 ชิ้น
12.	สลักดันปลดทางวิ่ง	เหล็ก SKD-61	Ø4X101	2 ชิ้น
13.	สลักดันปลด	เหล็ก SKD-61	Ø6X101.95	2 ชิ้น
14.	อินเลอร์ปิดทางวิ่งน้ำพลาสติก	เหล็ก S50C	30X40X15	2 ชิ้น
15.	แหวนบังคับศูนย์	เหล็ก S50C	Ø20X110	1 ชิ้น
16.	ปลอกรูฉีด	เหล็ก SKD-61	Ø40X70	1 ชิ้น
17.	แผ่นกระทุ้ง	เหล็ก S55C	115X200X15	1 ชิ้น
18.	สลักดันกลับ	เหล็ก SKD-61	Ø12X80	4 ชิ้น
19.	เพลาน้ำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X92	4 ชิ้น
20.	ปลอกน้ำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X49	4 ชิ้น
21.	แท่งรอง	เหล็ก S55C	38X70X200	2 ชิ้น

รายการวัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 ซึ่งนำไปจัดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่เป็นชิ้นงานเกิดรอยยุบ และฟองอากาศ

ตาราง 3 รายการชิ้นส่วน วัสดุของแม่พิมพ์ตัวที่ 3

ลำดับ	รายการชิ้นส่วน	วัสดุ	ขนาด (มม.)	จำนวน
1.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
2.	แผ่นแม่พิมพ์ด้านบ้ำ	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
3.	แผ่นแม่พิมพ์ด้านกอร์	เหล็ก S55C	200X200X50	1 แผ่น
4.	แผ่นใส่สลักกรทุ้ง	เหล็ก S55C	115X200X13	1 แผ่น
5.	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง	เหล็ก S55C	200X250X25	1 แผ่น
6.	ควาวิดี	เหล็ก DHA1	110X120X50	1 ชิ้น
7.	แหวนบังคับศูนย์	เหล็ก S55C	Ø20X110	1 ชิ้น
8.	ปลอกกรุฉิด	เหล็ก SKD61	Ø40X40.50	1 ชิ้น
9.	คอร	เหล็ก SKD61	110X150X52.47	1 ชิ้น
10.	แท่งใส่ชิ้นรูปรูด้านคอร	เหล็ก SKD-61	Ø6X49.42	4 ชิ้น
11.	สลักดันปลด	เหล็ก SKD-61	Ø4X105	8 ชิ้น
12.	แผ่นกระทุ้ง	เหล็ก S55C	115X200X15	1 ชิ้น
13.	สลักดันกลับ	เหล็ก SKD-61	Ø12X80	4 ชิ้น
14.	เพลานำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X99	4 ชิ้น
15.	ปลอกนำ	เหล็ก SUJ2	Ø20X49	4 ชิ้น
16.	แท่งรอง	เหล็ก S55C	38X70X200	2 ชิ้น

2.1.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องจักร

2.1.2.1 เครื่องกัดโลหะ พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.2 เครื่องกัดซีเอ็นซี แนวตั้ง 3 แกน พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.3 เครื่องกัดซีเอ็นซี รวมศูนย์แนวตั้ง/นอน 5 แกน	1 เครื่องพร้อมอุปกรณ์
2.1.2.4 เครื่องกลึงยืนศูนย์ พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.5 เครื่องเจาะด้วยไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.6 เครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.7 เครื่องกัดเซาะด้วยไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.8 เครื่องเจียรในโลหะแนวราบ พร้อมอุปกรณ์	1 เครื่อง
2.1.2.9 เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก	1 เครื่อง

แนวนอนขนาด 40 ตัน

2.1.2.10 เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก 1 เครื่อง

แนวนอนขนาด 80 ตัน

2.1.2.11 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล พร้อมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1 ชุด

วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม Mold Flow

2.1.2.12 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต ใช้ร่วมกับเครื่องจักร 1 ชุด

เช่น ดอกสว่าน ดอกเอ็นมิล ดอกกริมเมอร์

2.1.2.13 เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบ ตกแต่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 1 ชุด

เช่น ค้อน คีม ไขควง ตะไบ

2.1.2.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นส่วนแม่พิมพ์ 1 ชุด

เช่น ตะไบเพชร กระดาษทราย แท่งหินขัด ผงขัด คริมขัดเงา

2.1.2.15 อุปกรณ์ เครื่องมือวัด 1 ชุด

เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์

สถานที่สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ผู้วิจัยจะใช้อาคารสถาบันคันทันและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ซึ่งได้ใช้ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ เช่น ห้องปฏิบัติการฝ่ายแม่พิมพ์ แผนกเครื่องจักร แผนกซ่อมประกอบแม่พิมพ์ ห้องปฏิบัติการโพลีเมอร์ ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวัด เป็นต้น

2.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ตั้งแต่เดือน กันยายน 2545 แล้วทำการสร้างคู่มือและข้อแนะนำในการทำแม่พิมพ์ไปฉีด พร้อมกับสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ฉีดแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก (ภาพแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ตัวที่ 1, 2, และ 3 แสดงอยู่ในภาคผนวก ฉ)

2.3 การสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพ

การสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วย 3 ตอน

ตอนที่ 1 เป็นคำชี้แจงวัตถุประสงค์และการตอบแบบประเมินสมรรถนะ

ตอนที่ 2 เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538 :92)

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

สมรรถนะที่ใช้ประเมิน ประกอบด้วย 4 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

ประสิทธิภาพที่ใช้ประเมิน ประกอบด้วย 2 ด้านดังนี้

1. การเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกตามตัวแปรที่ศึกษา ประเมินจากผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์
2. การเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกตามตัวแปรที่ศึกษา ประเมินโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม ของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

ตอนที่ 3 เป็นคำถามแบบปลายเปิด สำหรับผู้ตอบแบบประเมิน แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม และให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ

การตรวจสอบแบบประเมิน จะดำเนินการดังนี้

1. นำแบบประเมินเสนอต่อกรรมการผู้ควบคุมปริญาพนธ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
2. นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง
 - 2.1 คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ
 - 2.1.1 วุฒิการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี มีความรู้เกี่ยวกับงานฉีดพลาสติก และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - 2.1.2 มีประสบการณ์ การทำงานด้านงานฉีดพลาสติก และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไม่ต่ำกว่า 10 ปี
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำด้วยตนเองดังนี้
 - 3.1 ขอนหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
 - 3.2 มอบคู่มือ และข้อแนะนำในการนำแม่พิมพ์ไปฉีดก่อนการทดสอบ 10 วัน
 - 3.3 แนะนำส่วนประกอบและการใช้งานก่อนผู้เชี่ยวชาญทดสอบ
 - 3.4 เมื่อทดสอบแล้ว ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นลงในแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพ เพื่อนำผลการประเมินไปวิเคราะห์ต่อไป

2.4 การหาความเที่ยงตรงของแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการตรวจประเมินความสอดคล้องของเนื้อหาของข้อคำถามของแบบสอบถามแต่ละข้อว่ามีความสอดคล้องกับเนื้อหาานิยามศัพท์เฉพาะด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดที่สร้างตรงกันหรือไม่ โดยกำหนดให้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก เป็นผู้ประเมินตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้น

2.5 นำแบบสอบถามไปเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาด้านเนื้อหาของแบบสอบถามแต่ละข้อว่าสอดคล้องกับเนื้อหาวิทยานิพนธ์เฉพาะที่ต้องการหรือไม่ โดยกำหนดให้คะแนนเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

- +1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับเนื้อหา
- 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับเนื้อหา
- 1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

2.6 นำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณดัชนีความสอดคล้องวิทยานิพนธ์เฉพาะกับข้อคำถาม ซึ่งเป็นวิธีการของโรลแลลลีและแฮมเบิลตัน (Rovinnelli and Hambleton) เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถาม โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาค่า IOC (Index of item objective congruence) มีค่า 0.5-1 (พวงรัตน์ ทวีรัตน์ 2543:117)

$$\text{สูตร} \quad IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ	IOC	แทน	ดัชนีความสอดคล้องของวิทยานิพนธ์เฉพาะกับข้อคำถาม
	$\sum R$	แทน	ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด
	N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผลการหาค่า IOC ดัชนีความสอดคล้องของวิทยานิพนธ์เฉพาะกับข้อคำถาม ในประเด็นข้อคำถาม ด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก จำนวน 30 ข้อ โดยผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อคำถามในแต่ละข้อจำนวน 30 ข้อ ที่มีค่า IOC ดัชนีความสอดคล้องของวิทยานิพนธ์เฉพาะกับข้อคำถามตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปถือว่าเป็นข้อคำถามที่ใช้ได้ ส่วนข้อที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 แสดงว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหาต่ำเกินไปซึ่งต้องแก้ไขหรือตัดทิ้งไป (ตารางสรุปค่า IOC ดัชนีความสอดคล้องของวิทยานิพนธ์เฉพาะกับข้อคำถามแสดงอยู่ในภาคผนวก จ)

2.7 การสร้างคู่มือการใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (แสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

3. การทดลองนำชุดแม่พิมพ์ไปปฏิบัติการฉีด เพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

การทดลองนำชุดแม่พิมพ์ไปปฏิบัติการฉีดเพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองฉีดที่ห้องปฏิบัติการโพลีเมอร์ สถาบันกันควาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม โดยกำหนดรายละเอียดในการทดลองฉีดของชุดแม่พิมพ์ไว้ดังนี้

3.1 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 และแม่พิมพ์ตัวที่ 2

3.1.1 ใช้เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก แนวนอน ขนาด 40 ตัน (แรงในการปลดล็อกแม่พิมพ์)

3.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 25 มม. (mm.)

3.1.3 ปริมาตรภายในกระบอกล็อก 43.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)

3.1.4 ความดันฉีดจำเพาะ 1153 บาร์ (bar)

3.2 แม่พิมพ์ตัวที่ 3

3.2.1 ใช้เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก แนวนอนขนาด 80 ตัน (แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์)

3.2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของสกรู 40 มม. (mm.)

3.2.3 ปริมาตรภายในกระบอฉีด 201 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)

3.2.4 ความดันฉีดจำเพาะ 1575 บาร์ (bar)

3.3 การบันทึกข้อมูล (โดยค่าพารามิเตอร์) ในการฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์ (ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 แม่พิมพ์ แสดงในภาคผนวก ข)

4. การประเมินชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยผู้เชี่ยวชาญโดยการประเมินผลด้านสมรรถนะ และประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

4.1 การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นโดยสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์หลังจากได้ชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง แสดงผลแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก และการประเมินผลโดยการแสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

4.2 การประเมินด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 การออกแบบแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ชั้นที่ 1, 2, 3 ด้วยโปรแกรม Mold Flow และทำ Meshing

4.2.2 การส่งผ่านข้อมูลเพื่อเข้าสู่โปรแกรม CAE (Computer Aided Engineering) หลังจากการทำ Mesh จากโปรแกรม Unigraphics แล้วทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบ Nastran หรือ Patran ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถส่งข้อมูลที่สร้างไว้เข้าไปยังโปรแกรม Mold flow ซึ่งเป็นการถ่ายข้อมูล CAD ไปสู่ CAE เพื่อทำการวิเคราะห์ผลตามตัวแปรที่กำหนดในแต่ละข้อมูลในการฉีดแต่ละแม่พิมพ์ ให้แสดงผลเป็นแบบจำลองรูปภาพ 3 มิติ แสดงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 แบบจำลอง เสร็จแล้วนำข้อมูลการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การนำแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์มาดำเนินการวิเคราะห์หาสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกด้วยวิธีการทางสถิติดังนี้

นำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานฉีดพลาสติก เกี่ยวกับสมรรถนะด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ ประสิทธิภาพด้านการแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง และด้านการ

แสดงผลของแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม นำมาแปลความรวบรวมคะแนนเสร็จแล้วนำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

4.3.1 หาค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 $\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร

4.3.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้สูตร

$$SD = \frac{\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{N(N-1)}$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร
 $\sum x$ คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน
 N คือ จำนวนของกลุ่มประชากร

4.3.3 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายของข้อมูลทางด้านสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.50 – 5.00	ดีมาก
3.50 – 4.49	ดี
2.50 – 3.49	พอใช้
1.50 – 2.49	ต้องปรับปรุง
1.00 – 1.49	ใช้ไม่ได้

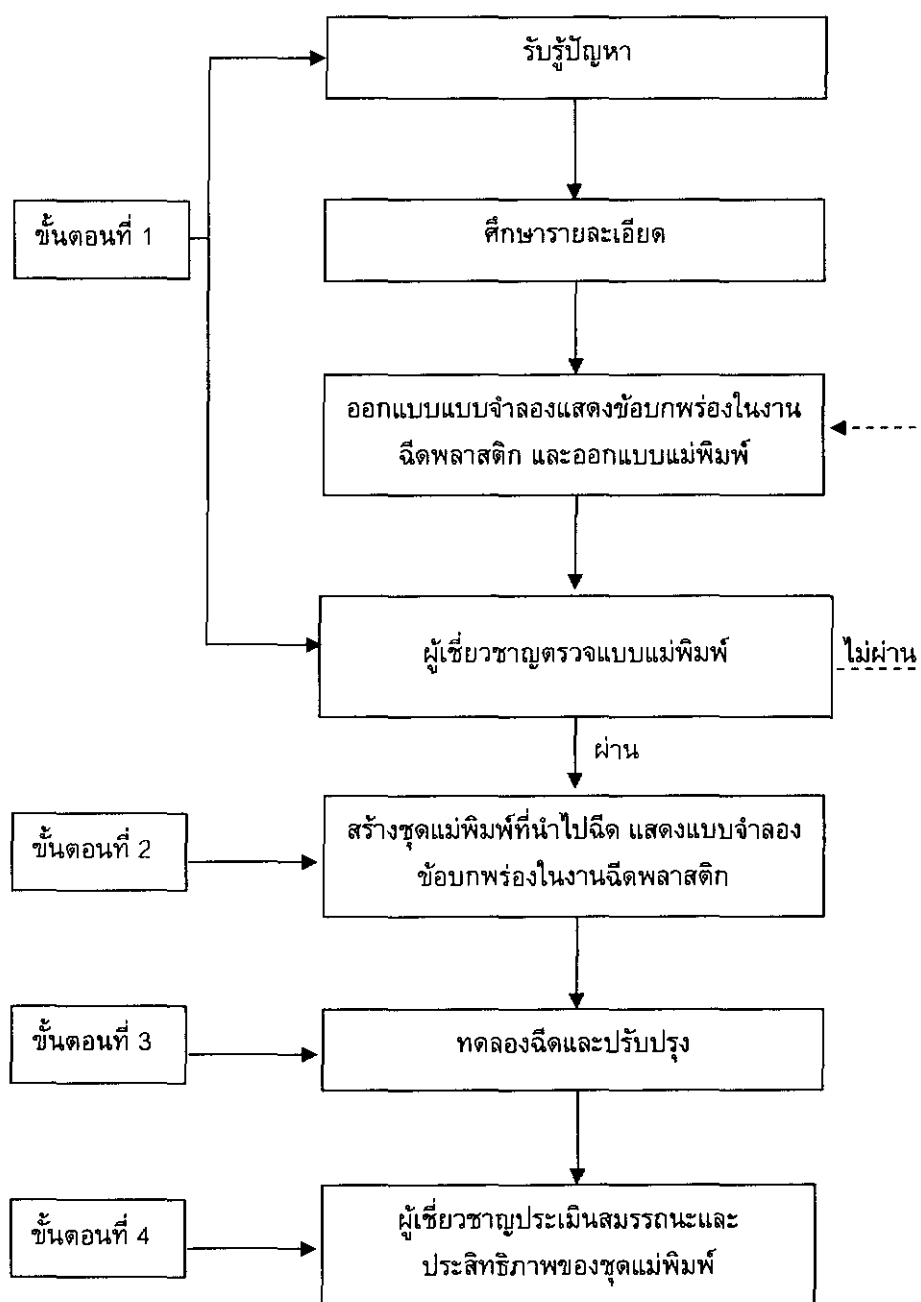
4.3.4 กำหนดเกณฑ์การแปลความหมายทางด้านประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

คะแนน	แปลความ	
5	ดีมาก	= เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4	ดี	= เห็นด้วย
3	พอใช้	= ไม่แน่ใจ
2	ต้องปรับปรุง	= ไม่เห็นด้วย
1	ใช้ไม่ได้	= ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

การนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูล จัดกระทำ 2 แบบดังนี้

1. เสนอเป็นการบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะ ทั้ง 4 ด้าน และประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก 2 ด้าน ตารางแปลความหมายเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นผลการประเมินผลหาสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ที่นำไปฉีดเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกของผู้เชี่ยวชาญ

2. ส่วนข้อมูลจากคำถามปลายเปิดแสดงความคิดเห็นอิสระ ผู้วิจัยนำคำตอบและข้อเสนอแนะมารวบรวม เรียงลำดับเสนอเป็นข้อ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ



ภาพประกอบ 67 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองตามขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนแรกคือ การศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย แล้วออกแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกและออกแบบชุดแม่พิมพ์ หลังจากนั้นในขั้นตอนที่สองได้ทำการสร้างชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในการฉีดพลาสติก สร้างคู่มือการใช้พร้อมแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แล้วนำไปทดลองฉีด ขั้นตอนสุดท้ายคือการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์โดยผู้เชี่ยวชาญ พร้อมทั้งประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม ผู้วิจัยดำเนินการเสร็จทั้งสี่ขั้นตอนแล้วได้นำข้อมูลการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกจากการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน วิเคราะห์สมรรถนะในลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังนี้

การประเมินชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก

การประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก

การประเมินชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ด้านสมรรถนะสามารถนำผลการวิเคราะห์มาแสดงในตาราง 4-7

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก
ด้านลักษณะทางกายภาพ

	ลักษณะทางกายภาพ	$\bar{x}$	SD	แปลความ
1.1	ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้	4.67	0.58	ดีมาก
1.2	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนประกอบได้	4.33	0.58	ดี
1.3	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน	4.33	0.58	ดี
รวม		4.44	0.58	ดี

จากตาราง 4 สามารถวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนประกอบได้ อยู่ในเกณฑ์ดีคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดีคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (รูปภาพชุดแม่พิมพ์ในภาพประกอบ 81-83 ภาคผนวก ฉ)

สรุปภาพรวมของลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะการใช้งาน

ลักษณะการใช้งาน	$\bar{x}$	SD	แปลความ
2.1 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง	4.33	0.58	ดี
2.2 มีคู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์	4.67	0.58	ดีมาก
2.3 ในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	4.33	0.58	ดี
รวม	4.44	0.58	ดี

จากตาราง 5 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะลักษณะการใช้งานของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 มีคู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (คู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ ภาคผนวก ข)

สรุปภาพรวมของลักษณะการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ด้าน
ลักษณะการบำรุงรักษา

	ลักษณะการบำรุงรักษา	$\bar{x}$	SD	แปลความ
3.1	สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้	5.00	0.00	ดีมาก
3.2	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย	5.00	0.00	ดีมาก
3.3	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย	4.67	0.58	ดีมาก
รวม		4.89	0.19	ดีมาก

จากตาราง 6 สามารถวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษาของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (แบบส่วนประกอบของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ภาคผนวก ก)

สรุปภาพรวมของลักษณะการบำรุงรักษาโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ด้าน
ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

	ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	$\bar{x}$	SD	แปลความ
4.1	ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้อย่างสะดวก ไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน	4.67	0.58	ดีมาก
4.2	ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์ สามารถฉีดขึ้นงานให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้	4.67	0.58	ดีมาก
4.3	มีความปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติงานฉีดพลาสติก	4.67	0.58	ดีมาก
รวม		4.67	0.58	ดีมาก

จากตาราง 7 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้อย่างสะดวก ไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์ สามารถฉีดชิ้นงานให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และมีความปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติงานฉีดพลาสติก อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (ชิ้นงานแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีด ภาคผนวก ฉ)

สรุปภาพรวมของความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

การประเมินประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่ได้จากงานฉีดจริง จะแสดงในตาราง 8-13

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 1

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 1		$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.1.1	แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องการโก่งงอ	4.67	0.58	ดีมาก
5.1.2	แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องการหดตัว	4.67	0.58	ดีมาก
5.1.3	แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก	4.33	0.58	ดี
รวม		4.56	0.58	ดีมาก

จากตาราง 8 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 ตามรายละเอียด ดังนี้

แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ (ภาพประกอบ 68 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานพลาสติกที่บิดเบี้ยว ผิดรูปร่าง แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว (ภาพประกอบ 69 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดหดตัวมีขนาดเล็กกว่าที่ต้องการ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก (ภาพประกอบ 70 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะผิวชิ้นงานตรงขอบด้านข้างจะเป็นคลื่นเหมือนรอยวงปีของต้นไม้ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 โดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 2

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 2	$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.1.4 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน	4.67	0.58	ดีมาก
5.1.5 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม	5.00	0.00	ดีมาก
5.1.6 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบ	5.00	0.00	ดีมาก
5.1.7 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน	4.67	0.58	ดีมาก
รวม	4.84	0.29	ดีมาก

จากตาราง 9 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 ตามรายละเอียด ดังนี้

แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน (ภาพประกอบ 71 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะมีรอยบนผิวชิ้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของน้ำพลาสติกบนชิ้นงานพลาสติก แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม (ภาพประกอบ 72 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานเกิดรอยแหวกตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของชิ้นงานพลาสติก แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบ (ภาพประกอบ 73 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานเป็นแผ่นพลาสติกบางยื่นออกมาจากขอบชิ้นงานพลาสติก แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 และแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน (ภาพประกอบ 74 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะเป็นรอยชนต่อน้ำพลาสติกไหลมาบรรจบกัน เกิดเป็นรอยที่เนืองงานพลาสติก แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 โดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.87

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 3

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 3		$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.1.8	แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ	4.67	0.58	ดีมาก
5.1.9	แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ	4.33	0.58	ดี
รวม		4.50	0.58	ดีมาก

จากตาราง 10 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 ตามรายละเอียด ดังนี้

แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ(ภาพประกอบ 75 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานมีรอยเว้าลึกลงไปบนชิ้นงานพลาสติก โดยเฉพาะตรงส่วนที่มีความหนา ๑ มม. แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ(ภาพประกอบ 76 ภาคผนวก ฉ) ลักษณะชิ้นงานที่มีโพรงช่องว่างค้ำภายในชิ้นงานพลาสติกแสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 โดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ประเมินผลจากแบบจำลองข้อบกพร่องที่ได้จากการฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 1

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 1		$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.2.1	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ	4.67	0.58	ดีมาก
5.2.2	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว	4.67	0.58	ดีมาก
5.2.3	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก	3.67	0.58	ดี
รวม		4.34	0.58	ดี

จากตาราง 11 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 ตามรายละเอียด ดังนี้

แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติกแสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 (ภาพประกอบ 77 ภาคผนวก ฉ) ภาพกราฟฟิคแสดงแถบสีด้านข้างเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อพลาสติกจากน้อยขึ้นไปหามาก จุดที่เนื้อพลาสติกไม่แน่น เกิดจากการหดตัวไม่เพียงพอ เนื่องจากมีความหนาบางไม่เท่ากัน จุดที่บางจะมีขนาดหดตัวมาก

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 2

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 2		$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.2.4	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยพ่น	3.67	0.58	ดี
5.2.5	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม	4.00	0.00	ดี
5.2.6	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ	3.67	0.58	ดี
5.2.7	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน	4.33	0.58	ดี
รวม		3.92	0.44	ดี

จากตาราง 12 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 ตามรายละเอียด ดังนี้

แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟัน แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (ภาพประกอบ 78 ภาคผนวก ฉ) ภาพกราฟฟิกแสดงสีแนวการไหลของน้ำพลาสติกที่มาบรรจบกันเป็นเส้นสีแดง เป็นแนวจุดที่ทิศทางการไหลในชิ้นงานแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ดี คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.92

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 3

ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 3		$\bar{x}$	SD	แปลความ
5.2.8	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ	4.67	0.58	ดีมาก
5.2.9	แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ	4.33	0.58	ดี
รวม		4.50	0.58	ดีมาก

จากตาราง 13 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 ตามรายละเอียด ดังนี้

แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (ภาพประกอบ 79 ภาคผนวก ฉ) ภาพกราฟฟิกแสดงโพรงช่องว่างภายในชิ้นงาน แสดงเป็นเส้นสีแดง เป็นจุดบริเวณภายในแบบจำลองแสดง

ข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณที่มีความหนามากกว่าบริเวณที่มีความบางน้อยกว่า

สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระเกี่ยวกับสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิดและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญนำเสนอในตารางดังนี้

ตาราง 14 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่แสดงความคิดเห็น
1. ควรออกแบบปริมาตรของชิ้นงานพลาสติกให้ใกล้เคียงกัน เพื่อสามารถทดสอบการฉีดแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในเครื่องฉีดที่มีขนาดเท่าๆกันได้	2
2. การออกแบบชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ควรออกแบบให้ใช้เม็ดพลาสติกชนิดเดียวกันทั้ง 3 แม่พิมพ์ เพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องฉีดพลาสติก	1
3. ควรออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อประหยัดต้นทุนในการผลิต	1
4. ควรออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์ให้ซับซ้อนและมีความยากในการฉีดมากขึ้น เพื่อใช้ประเมินความรู้และทักษะของช่างฉีดพลาสติกในระดับสูง	1

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก มีรายละเอียดดังนี้

ความมุ่งหมายการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์
แม่พิมพ์ตัวที่ 1: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก
แม่พิมพ์ตัวที่ 2: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน ชันงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน
แม่พิมพ์ตัวที่ 3: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ
2. เพื่อทดลองผลการฉีดพลาสติกจริง ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์
 - ด้านสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์
 1. ลักษณะทางกายภาพ
 2. ลักษณะการใช้งาน
 3. ลักษณะการบำรุงรักษา
 4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน
 - ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์
 5. การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง
 6. การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

ความสำคัญของงานวิจัย

ผลของงานวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. นำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างแม่พิมพ์ที่เกิดข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกให้เกิดน้อยที่สุด และสามารถหาเงื่อนไขการฉีดที่ดีหรือที่เหมาะสมที่สุดมาใช้งาน ทำให้ช่วยลดเวลาในการออกแบบสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและการผลิตชิ้นงานพลาสติก
2. ชุดแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรมเทคนิคการแก้ไขงานฉีดพลาสติก เพื่อเพิ่มศักยภาพของช่างฉีดพลาสติกในงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

สมมติฐานการวิจัย

การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ทั้ง 4 ด้าน คือ

1. ลักษณะทางกายภาพ
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

สมรรถนะของชุดแม่พิมพ์อยู่ในเกณฑ์ดี

การประเมินประสิทธิภาพของแม่พิมพ์

1. การแสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกที่ได้ฉีดจริง
2. การแสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม ในหัวข้อดังต่อไปนี้

แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองเรื่อง การโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก

แม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงแบบจำลองเรื่อง รอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน

แม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงแบบจำลองเรื่อง รอยยุบ และฟองอากาศ

สามารถแสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 3 แม่พิมพ์

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: ประกอบด้วยการรับรู้ปัญหาในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนพลาสติกและอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ จากนั้นได้ศึกษาค้นคว้าจากหนังสือ เอกสารตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฉีดพลาสติก การวิเคราะห์ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก ตลอดจนการออกแบบสร้างแม่พิมพ์และศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมในการวิเคราะห์การไหลของน้ำพลาสติก แล้วจึงออกแบบ ร่างแบบ พร้อมเขียนแบบชิ้นงานแสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 ชิ้นงาน เสร็จแล้วนำแบบชิ้นงานดังกล่าวมาเขียนแบบแม่พิมพ์จำนวน 3 แม่พิมพ์ หลังจากนั้นได้นำแบบชุดแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านเป็นผู้ประเมินตรวจแบบแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก เพื่อนำผลการตรวจประเมินมาเป็นแนวทางการปรับปรุง แกไขชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 2: ดำเนินการสร้างชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์ เสร็จแล้วสร้างคู่มือการใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก พร้อมกับสร้างแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 3: การนำชุดแม่พิมพ์ไปทดลองฉีดเพื่อให้เกิดชิ้นงานพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 4: การประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกโดยผู้เชี่ยวชาญ ในด้านสมรรถนะมีการประเมิน 4 ด้านดังนี้

1. ด้านลักษณะทางกายภาพ
2. ด้านลักษณะการใช้งาน
3. ด้านลักษณะการบำรุงรักษา
4. ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

ด้านประสิทธิภาพที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินมี 2 ด้าน ดังนี้

1. การเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกตามตัวแปรที่ศึกษา ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์
2. การเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกตามตัวแปรที่ศึกษา ประเมินโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แม่พิมพ์

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก โดยการออกแบบชิ้นงานพลาสติกและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์ แล้วนำไปทดลองฉีดได้ชิ้นงานพลาสติกที่เป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องตามตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 3 แม่พิมพ์ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายการวิจัยดังนี้

จากผลการประเมินสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ผลปรากฏได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนประกอบได้ อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 แสดงรูปภาพชุดแม่พิมพ์ ในภาพประกอบ 81-83 (ภาคผนวก ฉ) ผลแสดงลักษณะทางกายภาพในภาพรวมของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

2. การวิเคราะห์ลักษณะการใช้งาน พบว่าในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 มีคู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 แสดงคู่มือการปฏิบัติงานฉีดของชุดพลาสติก (ภาคผนวก ข) ผลแสดงในภาพรวมของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลอง

แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44

3. การวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษา พบว่าสามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แสดงแบบส่วนประกอบของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (ภาคผนวก ก) ผลแสดงในภาพรวมของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ด้านลักษณะการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89

4. การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน พบว่าผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้สะดวก ไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์ สามารถฉีดชิ้นงานให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และมีความปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติงานฉีดพลาสติก อยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แสดงชิ้นงานแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีด (ภาคผนวก จ) ผลแสดงในภาพรวมของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ผลปรากฏได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง

1.1 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 พบว่าสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องการโก่งงอ แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่บิดเบี้ยว ผิดรูปร่าง สาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดความเค้นตกค้างในเนื้อชิ้นงาน (ภาพประกอบ 68 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 สามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว แสดงแบบจำลองลักษณะชิ้นงานที่มีขนาดหดตัว มีขนาดเล็กลงกว่าที่ต้องการ เกิดจากเนื้อของพลาสติกไม่แน่น เนื่องจากการอัดตัวไม่เพียงพอ (ภาพประกอบ 69 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก แสดงแบบจำลองลักษณะชิ้นงานตรงบริเวณขอบด้านข้าง จะเป็นคลื่นเหมือนรอยวงปีของต้นไม้ เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำไป พลาสติกจะเย็นตัวและไหลไม่สะดวก (ภาพประกอบ 70 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56

1.2 แม่พิมพ์ตัวที่ 2 พบว่าสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องรอยฟัน แสดงแบบจำลองลักษณะมีรอยบนผิวชิ้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของน้ำพลาสติกบนชิ้นงานพลาสติก เนื่องจากพลาสติกถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ตรงส่วนหนา โดยผ่านช่องทางเข้าที่มีขนาดเล็กด้วย

ความเร็วสูง ทำให้เกิดการไหลวนขึ้น (ภาพประกอบ 71 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 สามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็มแสดงแบบจำลองลักษณะเกิดรอยแหวนตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของชิ้นงานพลาสติกของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์เกิดจากการไหลของพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ช้า พลาสติกเหลวเย็นตัวลง ความหนืด จึงเพิ่มมากขึ้น พลาสติกเหลวเข้าไม่เต็มในแม่พิมพ์ (ภาพประกอบ 72 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 สามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบ แสดงแบบจำลองลักษณะชิ้นงานเป็นแผ่นบางยื่นออกมาจากขอบชิ้นงานพลาสติก เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป ความดันในการฉีดมากเกินไป แม่พิมพ์มีรอยแยกในแนวประกบของแม่พิมพ์ (ภาพประกอบ 73 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 และสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน แสดงแบบจำลองลักษณะเป็นรอยชนต่อน้ำพลาสติก เกิดเป็นรอยที่เนื้องานของชิ้นงานพลาสติก เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำไป ทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวลดลง หรือการไหลตัวของน้ำพลาสติกเหลวไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำไป (ภาพประกอบ 74 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.87

1.3 แม่พิมพ์ตัวที่ 3 พบว่าสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ แสดงแบบจำลองลักษณะชิ้นงานมีรอยเว้าลึกลงไปชิ้นงานพลาสติก โดยเฉพาะตรงส่วนที่มีความหนา มาก ๆ และตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของน้ำพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เกิดจากเนื้อพลาสติกในชิ้นงานไม่แน่นพอที่จะต้านทานการหดตัวได้ (ภาพประกอบ 75 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และสามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ แสดงแบบจำลองลักษณะชิ้นงานที่มีโพรงช่องว่าง ตกค้างภายในชิ้นงานพลาสติก เกิดจากอากาศภายในแม่พิมพ์ระบายออกไม่ทันกับแรงดันฉีดที่ฉีดน้ำพลาสติกเข้ามาในช่องที่แคบ ๆ และเกิดจากการที่ไม่มีทางระบายอากาศในแม่พิมพ์ (ภาพประกอบ 76 ภาคผนวก ฉ) แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

2.1 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 พบว่าแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (ภาพประกอบ 77 ภาคผนวก ฉ) ภาพกราฟฟิคแสดงแถบสีด้านข้างเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อพลาสติก จากน้อยไปหามาก จุดที่เนื้อพลาสติกไม่แน่น เนื่องจากการอัดตัวไม่เพียงพอ เป็นผลมาจากความหนาบางไม่เท่ากันของชิ้นงาน จุดที่บางจะมีขนาดหดตัวมาก ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของชุด

แม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

2.2 แม่พิมพ์ตัวที่ 2 พบว่าแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟัน แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (ภาพประกอบ 78 แสดงในภาคผนวก ฉ) ภาพกราฟฟิคแสดงสีแนวการไหลของน้ำพลาสติกที่มาบรรจบกัน เป็นเส้นสีแดงจุดที่ทิศทางการไหลในชิ้นงานแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84

2.3 แม่พิมพ์ตัวที่ 3 พบว่าแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ แสดงผลได้ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (ภาพประกอบ 79 แสดงในภาค ฉ) ภาพกราฟฟิคแสดงโพรงช่องว่างในชิ้นงานเป็นเส้นสีแดง เป็นจุดบริเวณภายในแบบจำลองโดยส่วนใหญ่ จะเกิดในบริเวณที่มีความหนาของชิ้นงานมากกว่าบริเวณที่มีความบางของชิ้นงาน ผลแสดงในภาพรวมของประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

อภิปรายผล

จากการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก นำมาอภิปรายผลดังนี้

1. ด้านสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์

1.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก มีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากในการออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์นั้นผู้ออกแบบได้คำนวณปริมาตรการผลิตของชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ แล้วจึงนำข้อมูลไปกำหนดเครื่องฉีดพลาสติก ชิ้นส่วนของชุดแม่พิมพ์โดยส่วนใหญ่จะออกแบบให้สามารถแยกชิ้นประกอบและมีความแข็งแรงปลอดภัยในการใช้งาน แต่ถ้ามิกรณีที่เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ ก็ยังสามารถถอดแยกชิ้นส่วนนั้นมาซ่อมบำรุงหรือสร้างชิ้นส่วนนั้นๆใหม่มาทดแทนของเก่าได้ เพราะชิ้นส่วนถูกออกแบบให้แยกชิ้นประกอบได้ ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารการทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกของสถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (2543)และในหัวข้อลักษณะทางกายภาพมีผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ

ว่า ควรออกแบบให้ปริมาตรของชิ้นงานพลาสติกมีความใกล้เคียงกัน และมีขนาดเล็กลงเพื่อการประหยัดต้นทุนการผลิต และสามารถทดลองฉีดแบบจำลองข้อบกพร่องในเครื่องฉีดพลาสติกที่มีขนาดเท่ากันได้

1.2 การวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก พบว่าการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เป็นผลสืบเนื่องมาจากการออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ได้ตอบแบบสอบถาม ประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกขึ้นมา ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารฝึกอบรมหลักสูตรเทคโนโลยีพื้นฐานการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ของสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุนร่วมกับองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (2544) พร้อมกับการจัดทำคู่มือการใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ทำให้การปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชุดแม่พิมพ์ สำหรับหัวข้อนี้ ยังมีผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมคือ ให้ผู้ออกแบบใช้เม็ดพลาสติกเป็นชนิดเดียวกันทั้ง 3 แม่พิมพ์ เพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องฉีดพลาสติก

1.3 การวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษาของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก พบว่าความสามารถในการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีด และชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหายประเมินอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เพราะว่าชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกมีแบบชิ้นส่วนของชุดแม่พิมพ์ทุกชิ้นส่วน ประกอบกับมีชุดคู่มือในการใช้งานสามารถทำให้ผู้ปฏิบัติงานศึกษาทำความเข้าใจได้อย่างถูกต้องก่อนปฏิบัติงาน และชิ้นส่วนของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่ายอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากว่าชิ้นส่วนของแม่พิมพ์โดยรวมถูกออกแบบตามชิ้นส่วนมาตรฐานของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยทั่วไป (Injection mold standard parts) ของผู้ผลิตตามเอกสารการฝึกอบรมของสถาบันไทย-เยอรมัน เรื่องแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (2544) ซึ่งมีเอกสารแนะนำผลิตภัณฑ์ (Catalog) ที่เป็นชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกให้เลือกและสั่งซื้อชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเหล่านั้น จึงสามารถหาทดแทนได้โดยง่ายถ้าเกิดกรณีมีความเสียหายกับชุดแม่พิมพ์

1.4 การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของชุดแม่พิมพ์แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก พบว่าสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้อย่างสะดวก ไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน และการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์ สามารถฉีดชิ้นงานให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้อยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานได้ปฏิบัติงานตามคู่มือการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ และแสดงผลออกมาเป็นแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกได้ถูกต้องสอดคล้องกับสมมติฐานของผู้วิจัยที่ตั้งไว้

1. ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์

2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก โดยการประเมินของผู้เชี่ยวชาญประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง พบว่า

แม่พิมพ์ตัวที่ 1: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก แสดงผลในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่

แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงผลข้อบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เป็นผลมาจากลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกัน จุดที่บางที่สุดอยู่ปลายสุดของแนวการไหล ช่องทางน้ำเข้าพลาสติกมีขนาดเล็ก และมีระบบหล่อเย็นไม่สมดุล แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก (จุลพัฒน์ พจน์โยธิน. 2535 : 24-46) ซึ่งผู้ออกแบบชิ้นงานพลาสติกจะประสบปัญหาข้อบกพร่องเหล่านี้ และควรหลีกเลี่ยงโดยนำตัวอย่างเหล่านี้ไปศึกษาแล้วออกแบบชิ้นงานพลาสติกไม่ให้เกิดข้อบกพร่องหรือให้เกิดข้อบกพร่องน้อยที่สุด โดยออกแบบให้มีพลาสติกที่มีความเหมาะสมกับปริมาณชิ้นงาน กำหนดความหนาของชิ้นงานให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่า ๆ กันและทำระบบหล่อเย็นให้สมดุล ระบายความร้อนออกอย่างทั่วถึง (ชัยรัตน์ แก้วด้วง. 2531 : 295-300)

แม่พิมพ์ตัวที่ 2: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรือรยพ่น ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสานของน้ำพลาสติก แสดงผลในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงผลข้อบกพร่อง อยู่ในเกณฑ์ดีมาก เป็นผลมาจากลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกันเป็นชั้นๆตามแนวความยาวของชิ้นงาน และทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็ก เข้าจุดที่หนาที่สุด แนวการไหลไปตกทิศทางความยาวของชิ้นงาน พร้อมกับให้ชิ้นงานมีรูอยู่ตรงกลาง แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยพ่น ครีบ ชิ้นงานไม่เต็ม และรอยประสาน (จุลพัฒน์ พจน์โยธิน. 2535 : 45-50) ปัญหาข้อบกพร่องของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 มีแนวทางการแก้ไขโดยขยายช่องทางเข้าของน้ำพลาสติกเปิดร่องระบายอากาศ บริเวณตรงกลางและบริเวณปลายสุดของชิ้นงาน เมื่อนัดให้ปรับความดันฉีดให้เหมาะสมจะช่วยแก้ไขปัญหาเรือรยพ่นชิ้นงานไม่เต็มและรอยประสานได้ (ชัยรัตน์ แก้วด้วง. 2531 : 289-293)

แม่พิมพ์ตัวที่ 3: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรือรยยุบ และฟองอากาศ แสดงผลในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงผลข้อบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เป็นผลมาจากลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม แล้วมีผนังกันตรงกลางแบ่งกล่องออกเป็น 4 ช่อง ผนังกันมีความหนาไม่เท่ากัน และที่มุมกล่องมีความหนามากกว่าความหนาของผนังโดยรวม และไม่ได้ทำรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยยุบ และฟองอากาศ (จุลพัฒน์ พจน์โยธิน. 2535 : 48-50) แนวทางการแก้ไขสามารถออกแบบให้รูทางเข้าของน้ำพลาสติกใหญ่ขึ้น โดยเพิ่มจุดระบายอากาศตรงปลายของตำแหน่งที่เกิดฟองอากาศจะช่วยให้เกิดปัญหารอยยุบและฟองอากาศให้ลดน้อยลง (กมล วัจนละญาณ. 2543 : 11)

2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ โดยจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลอง แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม พบว่า

แม่พิมพ์ตัวที่ 1: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก ในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงผลข้อบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก สาเหตุจากการฉีดพลาสติกที่มีทางเข้าของน้ำพลาสติกขนาดเล็ก ประสิทธิภาพการไหลไม่ดี การอัดตัวของเนื้อพลาสติกไม่แน่น เนื่องมาจากการใช้ความดันฉีดที่ไม่เหมาะสม และมีความแตกต่างของพื้นผิวในการระบายความร้อน

(พีระวัฒน์ สมนึก. 2543 : 34-42 เอกสารการฉีดพลาสติกในการอบรมเรื่อง เทคโนโลยีการฉีดพลาสติก) ชิ้นงานเมื่อนำวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลการฉีดจริงทำให้ผลที่ได้มีลักษณะข้อบกพร่องตรงตามลักษณะที่ตั้งสมมติฐานไว้ การแก้ไขควรเพิ่มความดันฉีดย้ายขยายทางเข้าน้ำพลาสติกให้ใหญ่ขึ้นและเพิ่มการหล่อเย็นให้ทั่วชิ้นงาน (ชัชวาลย์ สุรัสวดีและพีระวัฒน์ สมนึก. 2541 : 117-118)

แม่พิมพ์ตัวที่ 2: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยพัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสานของน้ำพลาสติก ในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 2 แสดงผลข้อบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ดี สาเหตุจากอิทธิพลของความเร็วในการฉีดมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง ถ้าใช้ความเร็วในการฉีดต่ำจะเกิดรอยประสานส่วนการเกิดครีบ และชิ้นงานไม่เต็ม เป็นการใช้แรงดันฉีดที่ไม่เหมาะสม การใช้แรงดันต่ำจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม และการใช้แรงดันสูงจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องครีบ (พีระวัฒน์ สมนึก. 2543 : 25-33 เอกสารการฉีดพลาสติกในการอบรมเรื่อง เทคโนโลยีการฉีดพลาสติก) ซึ่งเมื่อนำข้อมูลการฉีดไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำให้ผลที่ได้มีลักษณะข้อบกพร่องตรงตามลักษณะของชิ้นงานจริงตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ การแก้ไขควรขยายบริเวณทางเข้าของน้ำพลาสติก เพิ่มแรงปิดแม่พิมพ์ ตลอดจนเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและใช้ความเร็วฉีดที่เหมาะสม (ชัชวาลย์ สุรัสวดีและพีระวัฒน์ สมนึก. 2541 : 111-114)

แม่พิมพ์ตัวที่ 3: แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ ในภาพรวมประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัวที่ 3 แสดงผลข้อบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ดีมาก สาเหตุจากพลาสติกเมื่อถูกความร้อนปริมาณจะขยายตัว และเมื่อถูกกระทำด้วยแรงอัดดันปริมาณจะลดลง ถ้าแรงอัดดันนั้นไม่เพียงพอและฉีดเข้ามาจากช่องทางเข้าน้ำพลาสติกที่เล็ก จะเกิดปัญหาข้อบกพร่องเรื่อง รอยยุบ และฟองอากาศ (พีระวัฒน์ สมนึก. 2543 : 43-49 เอกสารการฉีดพลาสติกในการอบรมเรื่อง เทคโนโลยีการฉีดพลาสติก) การแก้ไขควรออกแบบผนังความหนาของชิ้นงานให้มีความหนาสม่ำเสมอ มีความแตกต่างน้อยที่สุด ถ้าไม่แข็งแรง ควรเพิ่มสันกระดุกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง (กมล วิจารณ์. 2543 : 11)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยที่จะเกิดขึ้นต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาคุณภาพ

1.1 ควรออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกให้มีปริมาตรน้อยลงและมีปริมาตรที่ใกล้เคียงกัน จะทำให้ประหยัดต้นทุนการสร้าง และยังสามารถฉีดในเครื่องฉีดพลาสติกที่มีกำลังปิดแม่พิมพ์ที่เท่ากันได้

1.2 ควรออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานพลาสติกให้สามารถแสดงหัวข้อปัญหาข้อบกพร่องในเรื่องอื่นๆได้ โดยออกแบบให้มีความยากมากยิ่งขึ้น สามารถแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์หลายๆเรื่องในแม่พิมพ์ตัวเดียวได้

2 ข้อเสนอแนะสำหรับทำวิจัยครั้งต่อไป

ชุดแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากชุดแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ควรนำไปประเมินหาความพึงพอใจต่อการใช้งานเพราะสามารถนำไปใช้งานในการฝึกอบรมช่างฉีดพลาสติกในเรื่องเทคนิคการแก้ไขงานฉีดพลาสติกได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กมล วัจจนะญาณ. (2543). “พลาสติกวิศวกรรม.” ใน เอกสารสัมมนาทางวิชาการเรื่องเทคโนโลยี. หน้า 11 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จุลพัฒน์ พจนโยธิน. (2535). “แนวทางของการแก้ปัญหา.” ใน เอกสารสัมมนาทางวิชาการเรื่องปัญหาและเทคนิคการฉีดพลาสติก. หน้า 21-52 . กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- ชัยรัตน์ แก้วด้วง. (2531). เทคโนโลยีการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . กรุงเทพฯ : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- ชัชวาลย์ สุรัสวดี และ พีระวัฒน์ สมนึก. (2541). “การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานฉีดพลาสติกและวิธีแก้ไข.” ใน เอกสารสัมมนาทางวิชาการเรื่องการผลิตชิ้นส่วนโดยกรรมวิธีการฉีดพลาสติกอย่างมีประสิทธิภาพ. หน้า 111-118 . กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ชาลี ตระการกุล. (2538). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด . กรุงเทพฯ : ประชาชน.
- บรรเลง ตรนิล. (2525). เทคโนโลยีพลาสติก . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.
- พิชิต เสียมพิพัฒน์. (2540). พลาสติก . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ บ.สัมพันธ์พาณิชย์.
- พีระวัฒน์ สมนึก. (2543). “การฉีดพลาสติก.” ใน เอกสารสัมมนาทางวิชาการเรื่องเทคโนโลยีการฉีดพลาสติก. หน้า 25-49 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พสุ โลหารชุนและคณะ. (2531). การออกแบบสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- รวิวรรณ ชินะตระกูล. (2538). วิธีวิจัยการศึกษา . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.
- วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2540). งานฉีดพลาสติก . กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. (2543). การทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . กรุงเทพฯ : สถาบันฯ.
- สถาบันไทย-เยอรมัน. (2544). แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . (เอกสารประกอบคำสอน) . ชลบุรี : ม.ป.พ. อัดสำเนา.
- สมาคมทุนฝึกอบรมเทคนิคโพ้นทะเลประเทศญี่ปุ่น. (2540). พื้นฐานเทคโนโลยีการอัดฉีด . (เอกสารประกอบคำสอน). กรุงเทพฯ : อัดสำเนา.
- สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุนร่วมกับองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น. (2544). เทคโนโลยีพื้นฐานการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . (เอกสารประกอบคำสอน) . กรุงเทพฯ : อัดสำเนา.
- สมชาย อินทรศร. (2543). พื้นฐานงานฉีดพลาสติก . (เอกสารประกอบการสอน) . กรุงเทพฯ : สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. อัดสำเนา.
- สถาพร ชาดาคม. (2537). การศึกษาและการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก . วิทยานิพนธ์ คอม.(เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องมือ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- อกนิษฐ์ สอนตระกูล. (2544). การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับการทำนายการหดตัวและการบิดงอของพลาสติกในแม่พิมพ์แบบฉีด . วิทยานิพนธ์ วิศวกรรม(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.

- Busick , Beiter and Ishii. (1994). "Design For Injection Molding : Using Process Simulation to Assess Tolerance Feasibility" (online). 42 (3) : 8. Available Telnet : Stanford .edu ; Rescarch ; File : PDF/Adob Acrobat.
- Beiter , Cardinal , and Ishii. (1995). "Design For Injection Molding : Balancing Machanical requirement , manufacturing costs , and Material Selection" . Stanford Educational Rescarch Journal. 7 (21) : 1-8 Available Telnet : Stanford .edu ; Rescarch ; File : . PDF/Adob Acrobat.
- Deng , Lam and Britton. (2002) . "A CAD-CAE Integrated Injection Molding Desing System" . Engineeing with Computer. (online). 18 : 80-92. Available E-mail: mymdeng@nut.edu.sg
- Harald kaiser, Ing. (1998). "Simulation Programs for the Injection Molding Process" . P 7-46. Bangkok. National Science and Technology Development Agency.
- Mohren and Paul , (1993) . How to make injection molds . New York : Hanser.
- Pye, R.G.W. (1991). Injection mould desing. 4th Ed. Singapore . Longman.

ภาคผนวก

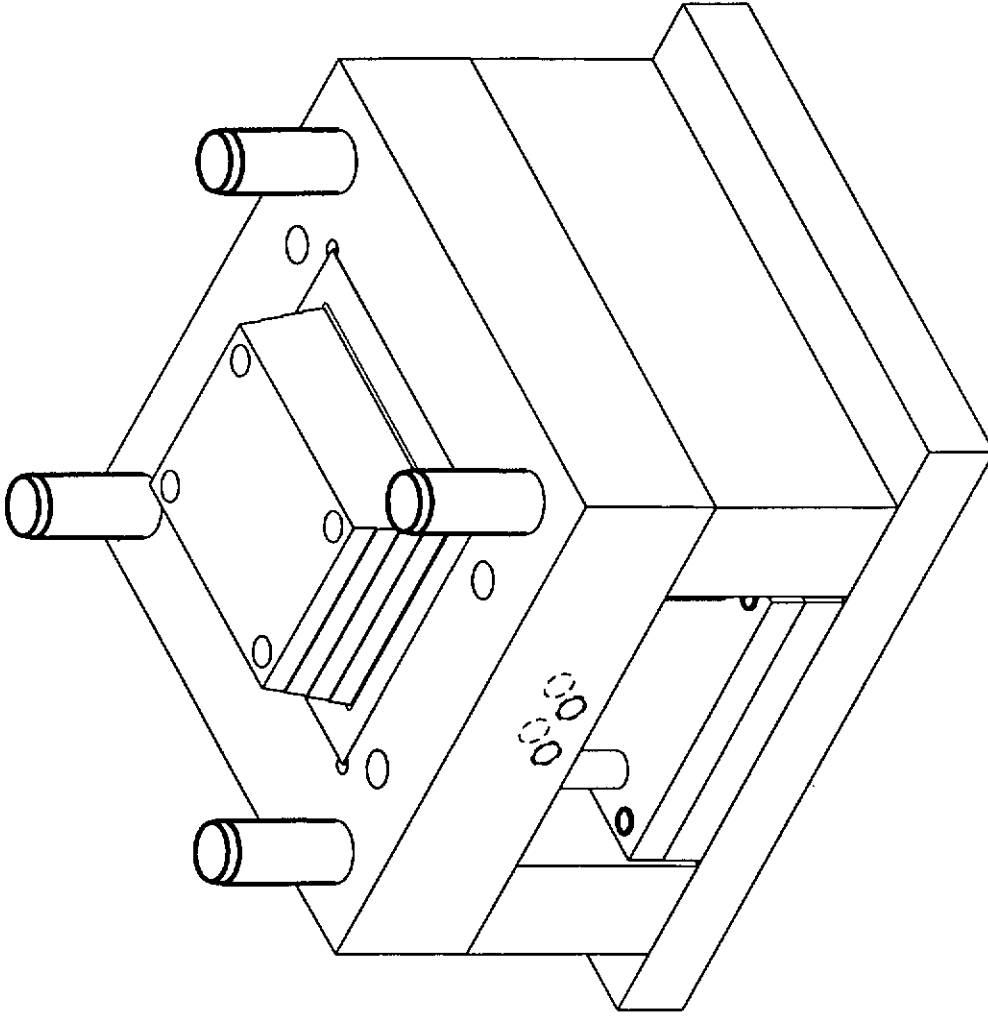
ภาคผนวก ก

แบบส่วนประกอบของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

และแบบชิ้นงานแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

DOC. No.	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

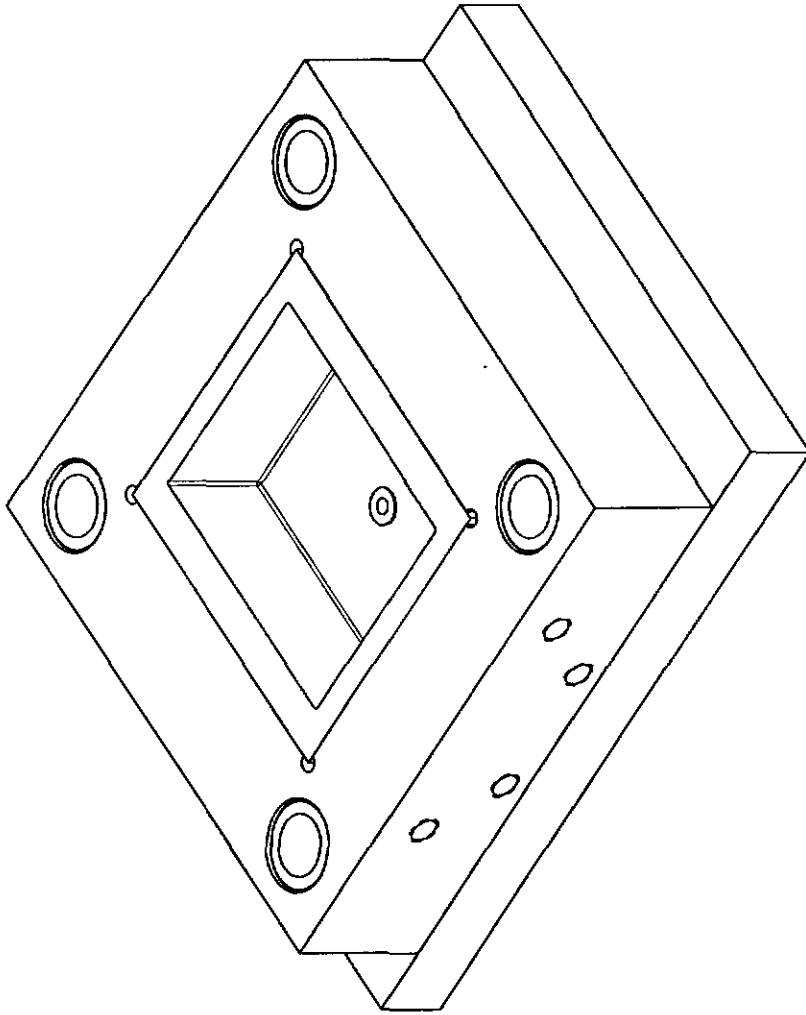
General tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 600	± 0.70



Core Assembly					
Item	Part name	Material	Total	Part number	
Designed by:	Mr. Anusak	Product name:	RESEARCH 1	Scale:	1:1
Drawing by:	Mr. Anusak	Plastic material:	ABS	View:	
Checked by:		Code No.		Paper size:	A3
Approved by:		Dwg No.		Page:	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY					

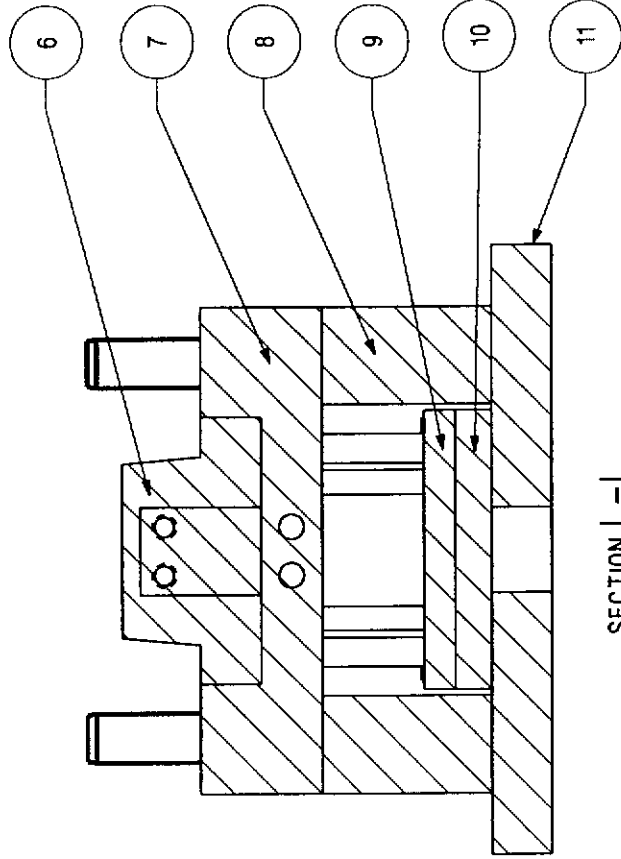
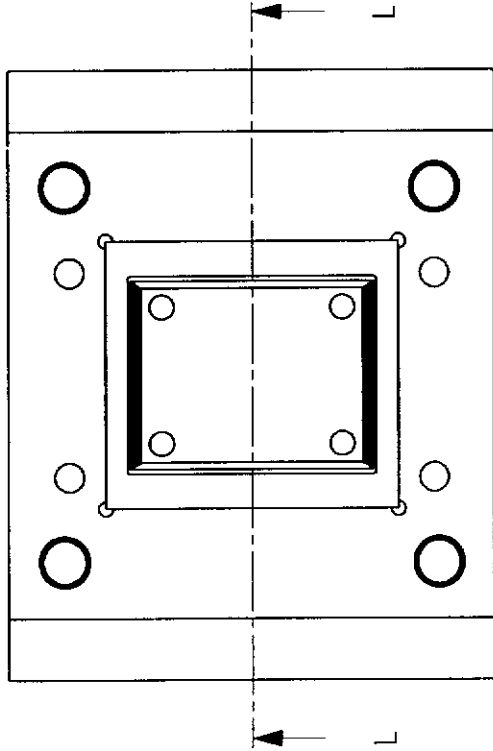
DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

General tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 600	± 0.70



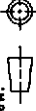
Cavity Assembly			
Item	Part name	Material	Total
Designed by:	Mr. Anusak	Product name:	Part number
Drawing by:	Mr. Anusak	Plastic material:	Scale: 1:1
Checked by:		Code No.	View:
Approved by:		Dwg No.	Paper size: A3
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		Page:	

DDC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by



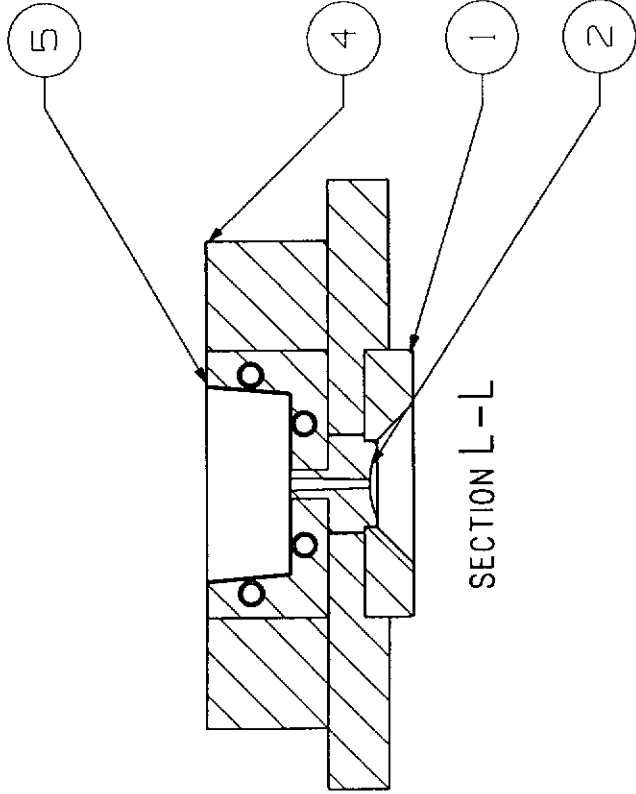
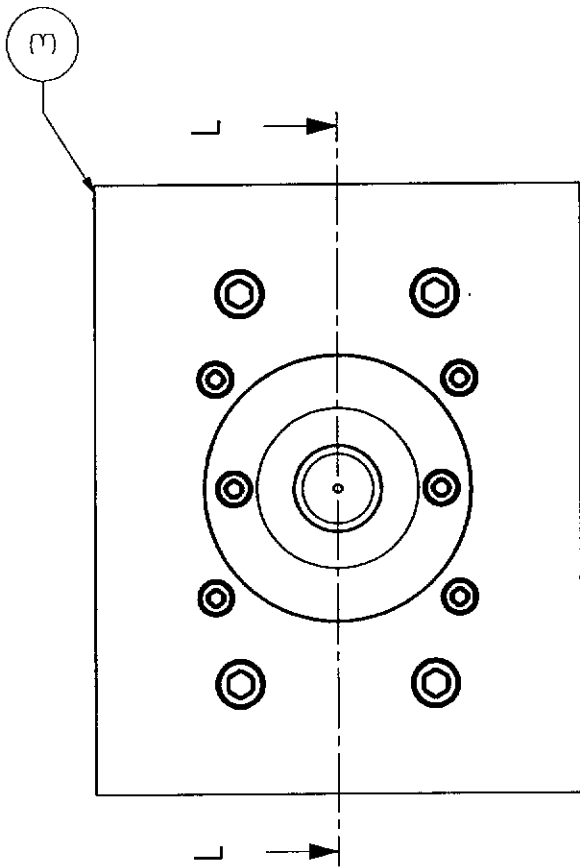
SECTION L-L

General tolerance	
5	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 600	± 0.70

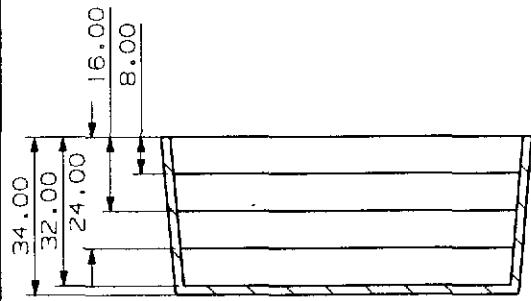
11	Bottom Clamping Plate	S50C	1	11
10	Ejector Plate	S50C	1	10
9	Ejector Retainer Plate	S50C	1	9
8	Spacer Block	S50C	2	8
7	Core Plate	S50C	1	7
6	Insert Core	PX4	1	6
		Material	Total	Part number
Designed by: Mr.Anusak		Product name: RESEARCH 1		Scale: 1:1
Drawing by: Mr.Anusak		Plastic material: ABS		View: 
Checked by:		Code No.		Paper size: A3
Approved by:		Dwg No.		Page:
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY				

DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

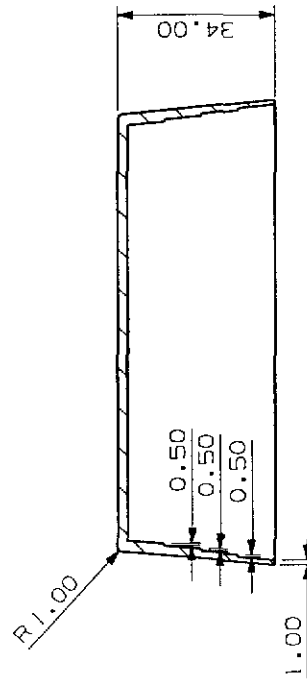
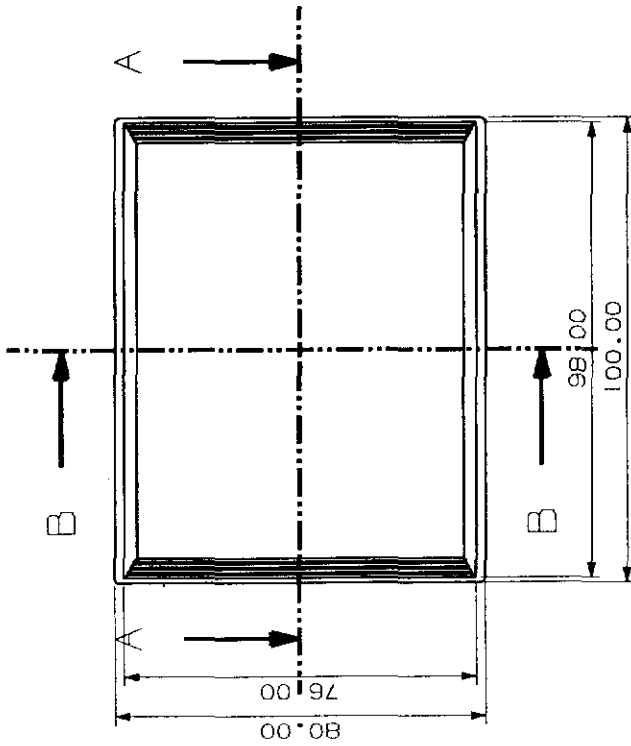
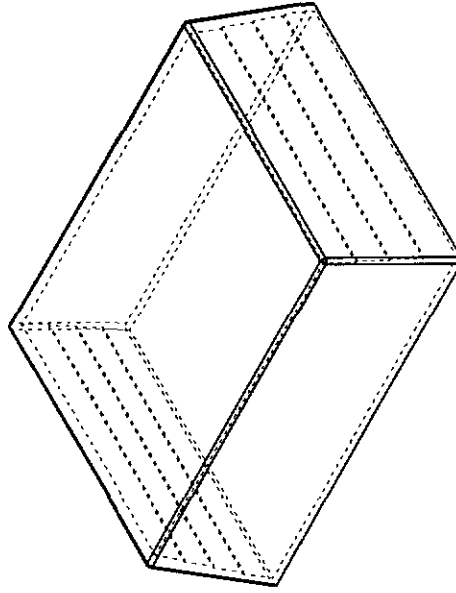
General tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 600	± 0.70



5	Insert Cavity	(F5)	PX4	1	5
4	Cavity Plate	(F4)	S50C	1	4
3	Top Clamping Plate	(F3)	S50C	1	3
2	Sprue Bush	(F2)	S50C	1	2
1	Locating Ring	(F1)	S50C	1	1
Item		Part name	Material	Total	Part number
Designed by:		Mr. Anusak	Date:	Product name: RESEARCH 1	
Drawing by:		Mr. Anusak	Date:	Scale: 1:1	
Checked by:			Date:	Plastic material: ABS	
Approved by:			Date:	View:	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		Code No.		Paper size: A3	
		Dwg No.		Page:	



SECTION B - B



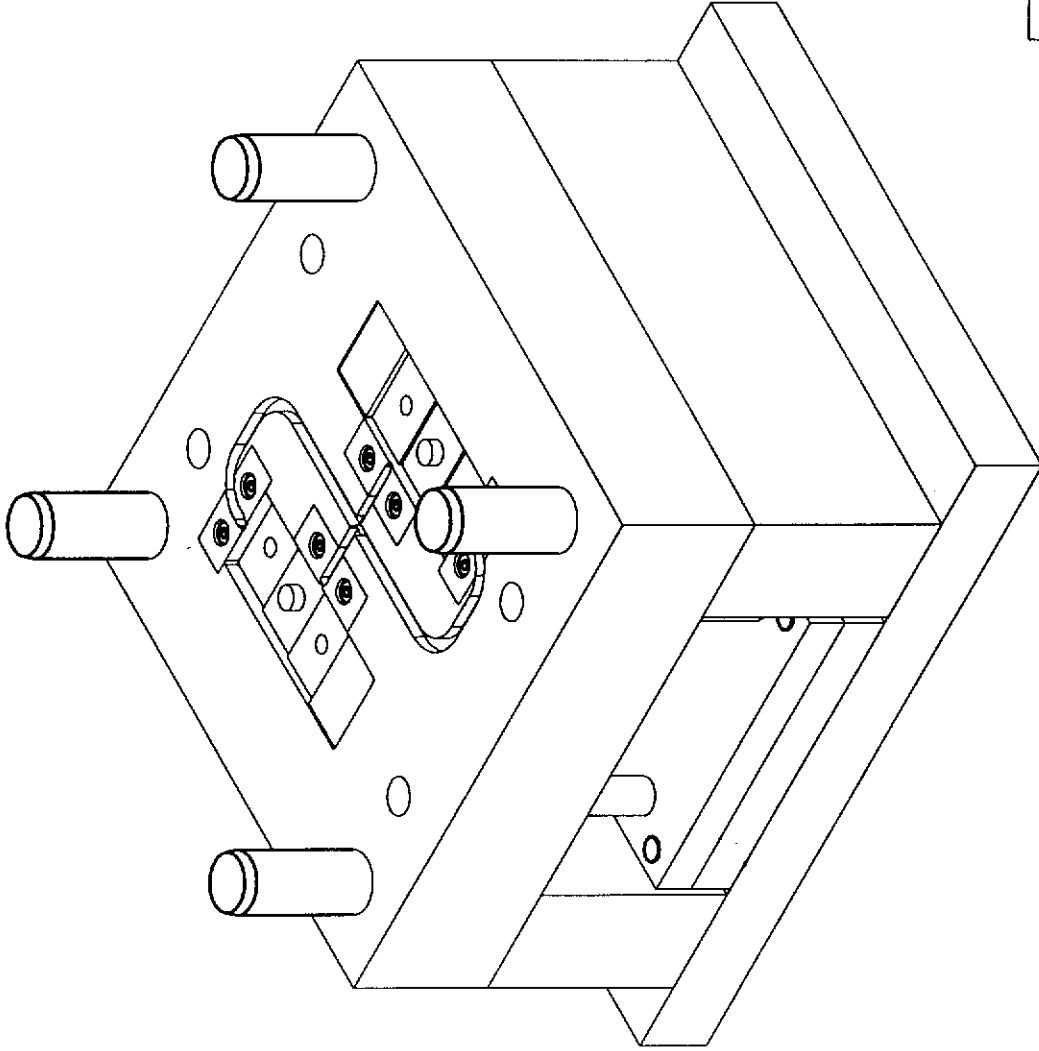
SECTION A - A

1	No	Modeling RDT-12	ABS	1	Total	Part number
Drawn by	Mr. Anusak		Material			
Designed by	Mr. Anusak					
Checked by						
Approved by						
Scale	1:1	Mold name	RESEARCH 1	Drawing No	RES-001-45	View

SRINAKHARINWIRIT
UNIVERSITY

DOC. No.	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

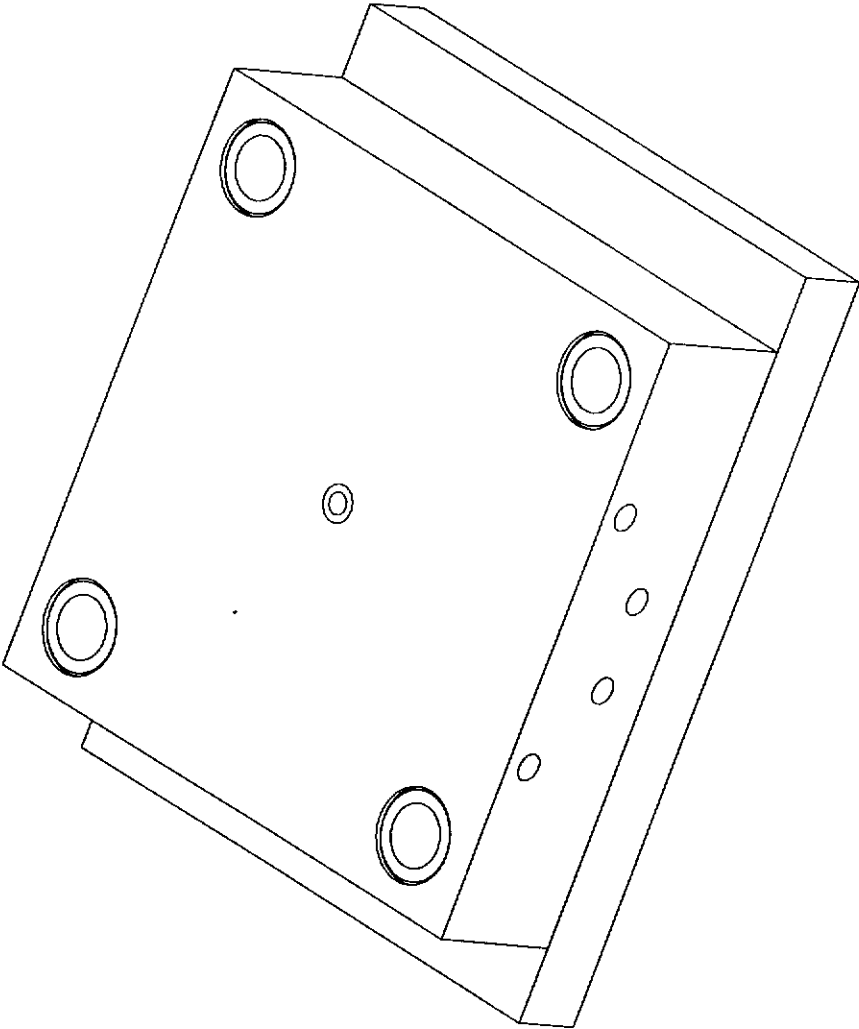
General tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 630	± 0.70



Item	Part name	Material	Total	Part number
Designed by:	Mr. Anusak	Product name:	RESEARCH 2	Scale:
Drawing by:	Mr. Anusak	Plastic material:		1:1
Checked by:				View:
Approved by:				
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY				Paper size:
				A2
				Page:

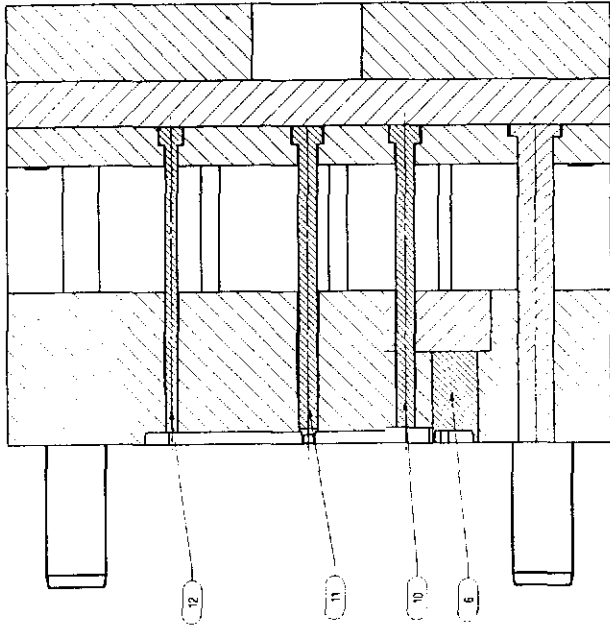
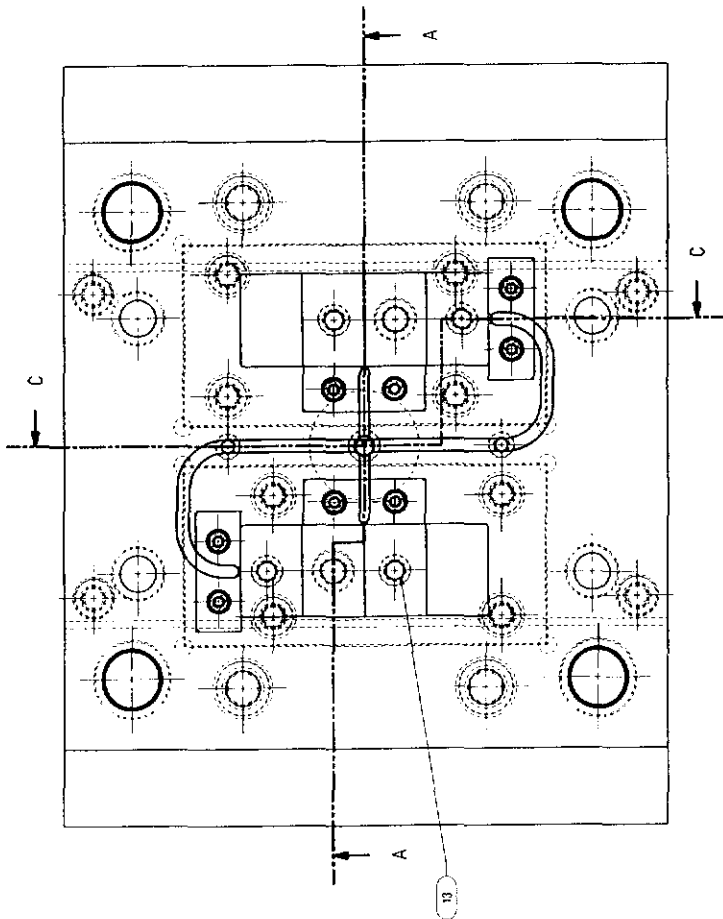
DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

General Tolerance	
6	± 0.10
6 – 18	± 0.12
18 – 60	± 0.15
60 – 120	± 0.20
120 – 250	± 0.30
250 – 400	± 0.50
400 – 630	± 0.70

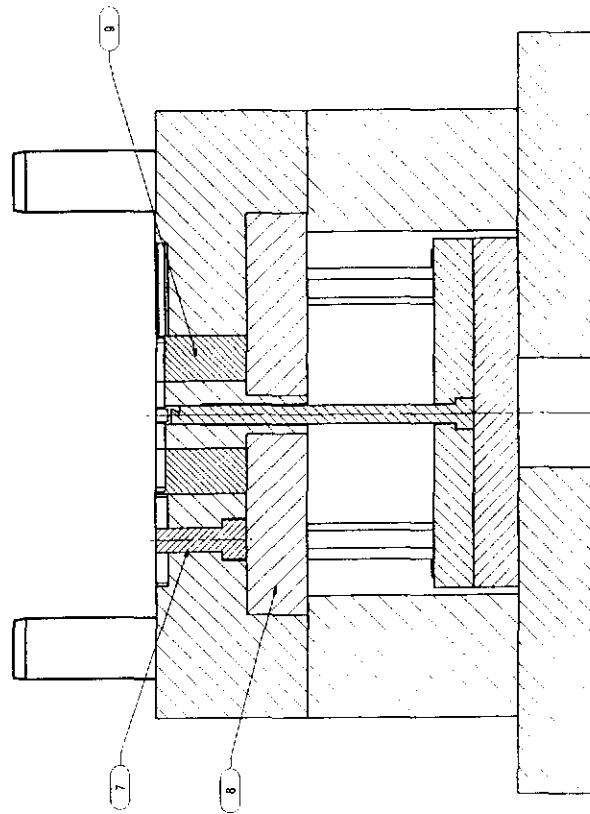


Item	Part name		Material	Total	Part number	
Designed by:	Mr. Anusak	Date:	Product name: RESEARCH 2	Scale: 1:1	View: 	
Drawing by:	Mr. Anusak	Date:				
Checked by:		Date:				
Approved by:		Date:	Plastic material:			
			Code No.		Paper size: A2	
			Dwg No.		Page:	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY						

General tolerance of molding	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 630	± 0.70



SECTION C-C

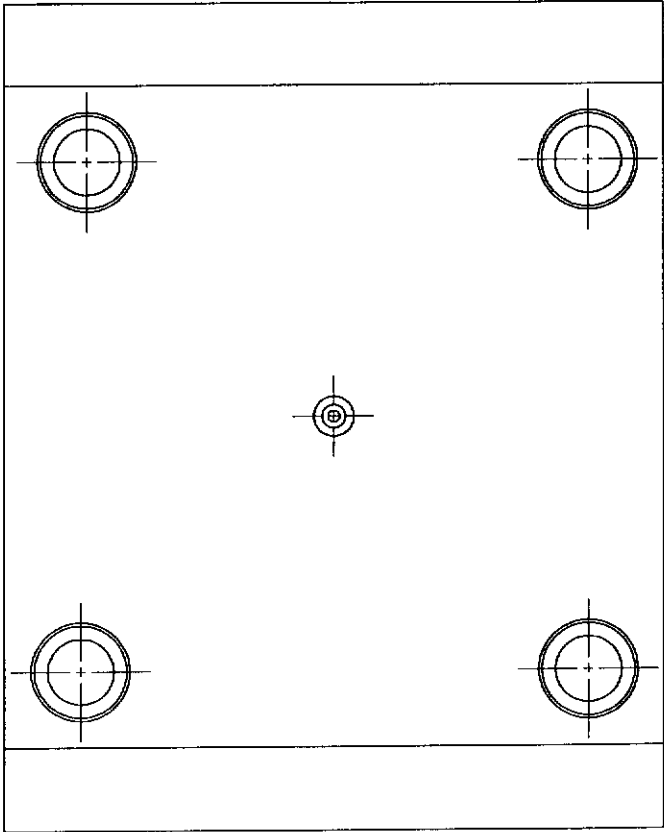
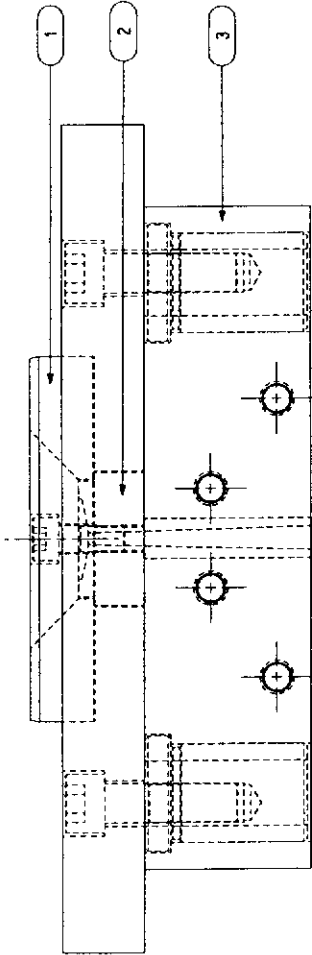


SECTION A-A

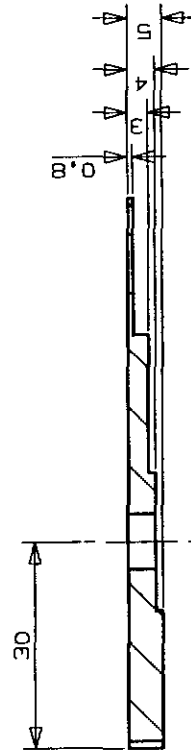
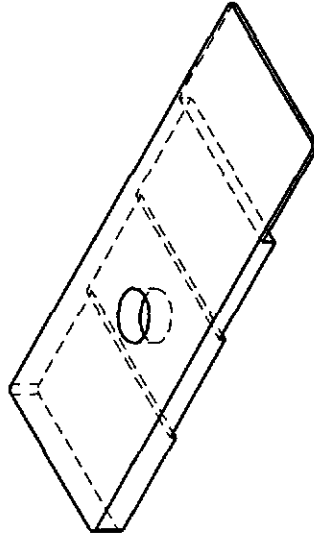
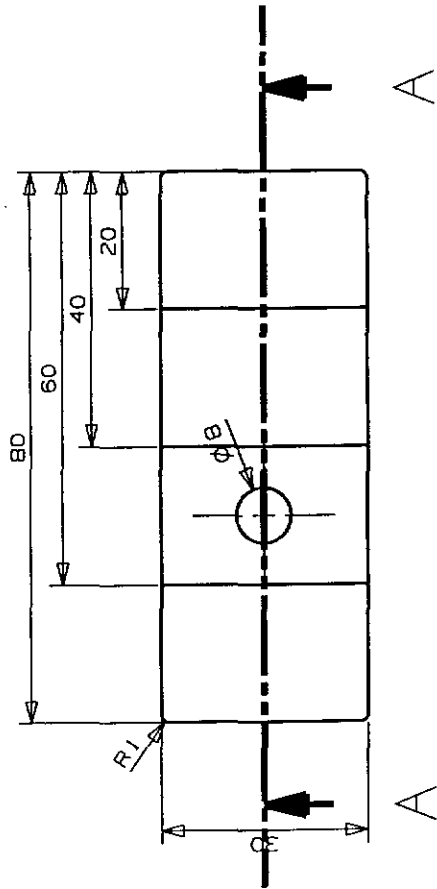
9	INSERT CLOSE RUNNER	S50C	2	14
8	EJECTOR PIN	SKD61	2	13
7	EJECTOR RUNNER PIN	SKD61	2	12
6	RUNNER LOCK PIN	SKD61	1	11
5	EJECTOR PIN	SKD61	2	10
4	INSERT RUNNER2	S50C	2	9
3	SUPPORT PLATE	S50C	2	8
2	INSERT HOLE	S50C	2	7
1	INSERT RUNNER1	S50C	2	6
No		Part Name	Total	Part number
Drawing by		M. ANUSAK		RESEARCH 2
Des. Check by		M. ANUSAK		
Checked by				
Approved by				
Scale	1:1	Word Code	SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
Drawing name		RES-001-45		View

DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

General Tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 630	± 0.70



3	Cavity Plate	S50C	1	3			
2	Sprue Bushing	SKD61	1	2			
1	Locating Ring	SKD11	1	1			
Item	Part name	Material	Total	Part number			
RESEARCH 2							
					Designed by:	Mr .anusak	Date:
					Drawing by:	Mr .anusak	Date:
					Checked by:		Date:
Approved by:		Date:					
Scale:	1:1	SRINAKARINWIROT UNIVERSITY	View:				

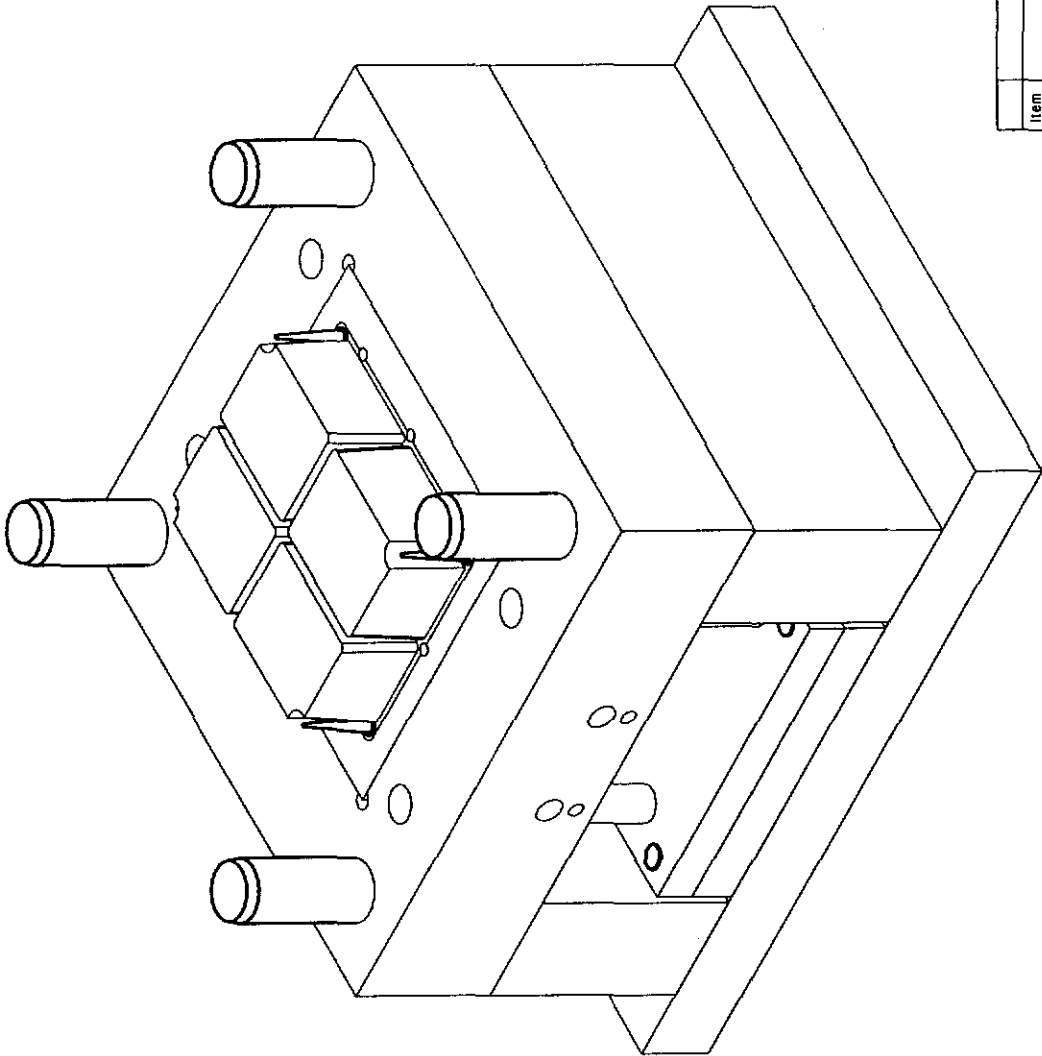


SECTION A - A

1	Modeling part RDT-13		HIPS		
No	Part name		Material	Total	Part number
Drawing by	Mr. ANUSAK			RESEARCH 2	
Designed by	Mr. anusak				
Checked by					
Approved by					
Scale	1:1		SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		Drawing No
					RES-002-45
					View

DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

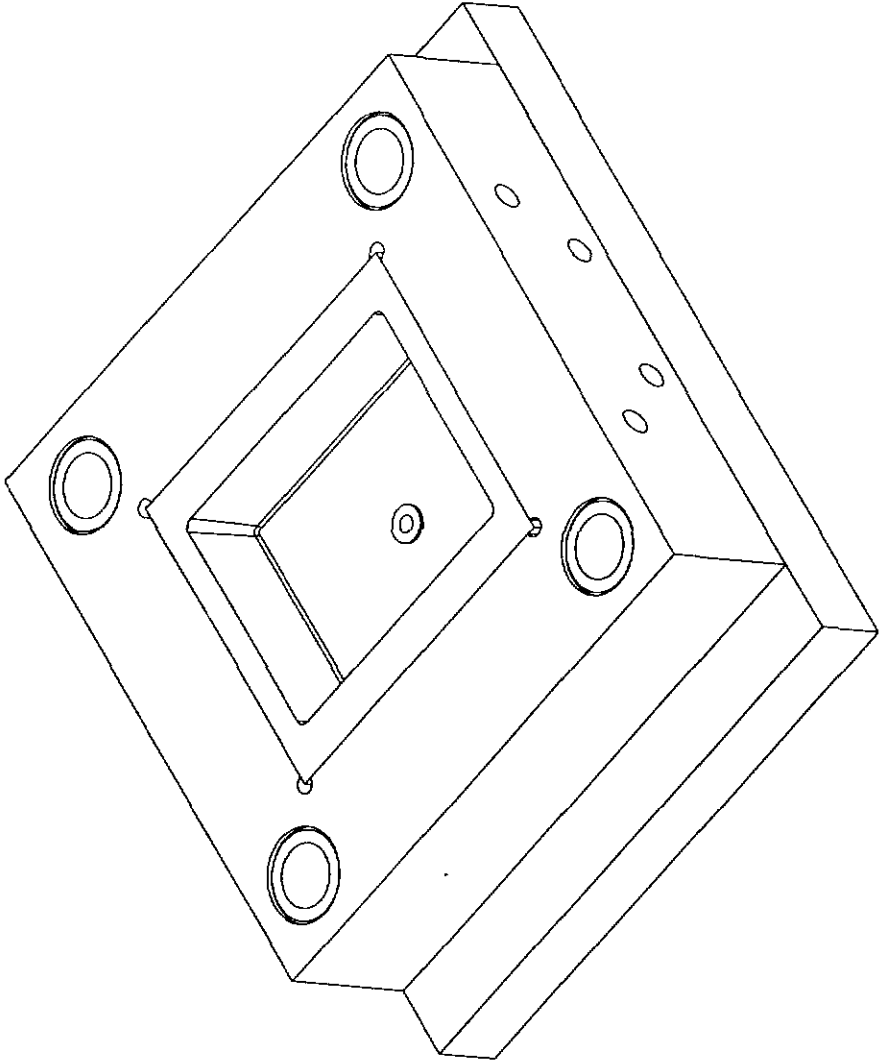
General tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 60	± 0.15
60 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 630	± 0.70



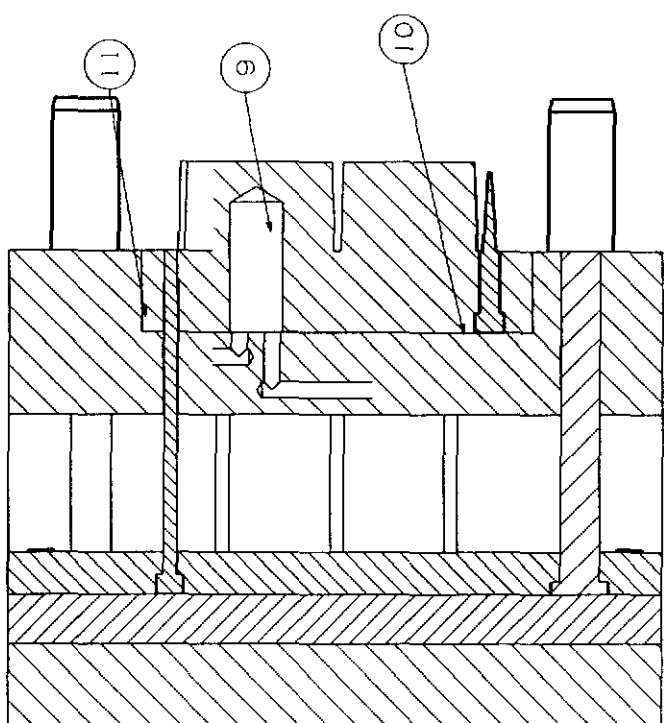
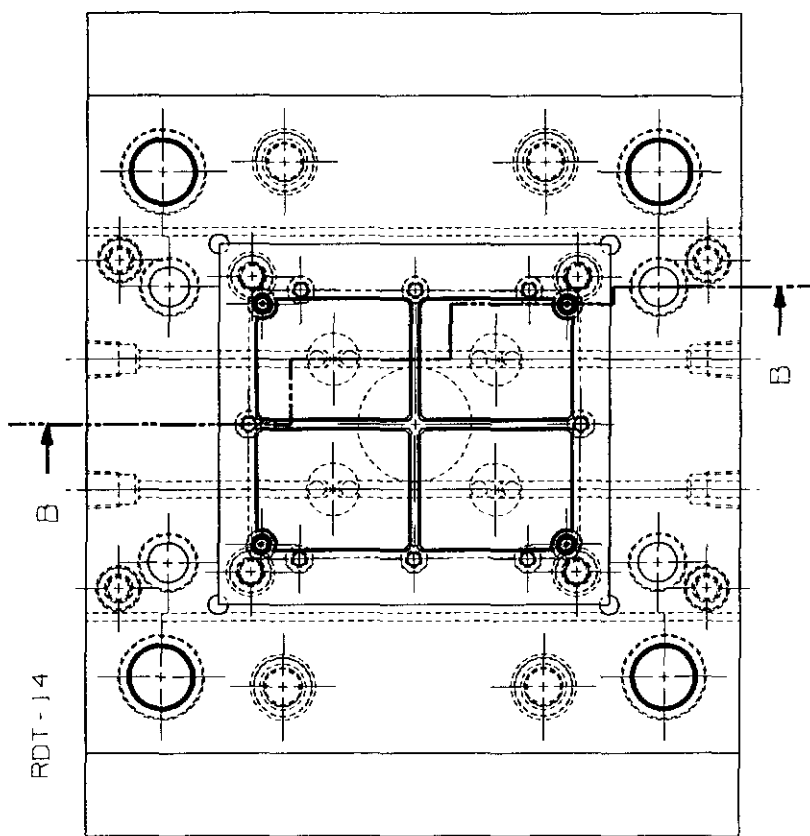
Item	Part name	Material	Total	Part number
Designed by:	MR. ANUSAK			RESEARCH 3
Drawing by:	MR. ANUSAK			
Checked by:				
Approved by:				
Scale:	1:1	SRINAKARINWIROT UNIVERSITY		View:

DOC. No	Issue No.	Revision	Date	Dwg by

General Tolerance	
6	± 0.10
6 - 18	± 0.12
18 - 50	± 0.15
50 - 120	± 0.20
120 - 250	± 0.30
250 - 400	± 0.50
400 - 630	± 0.70

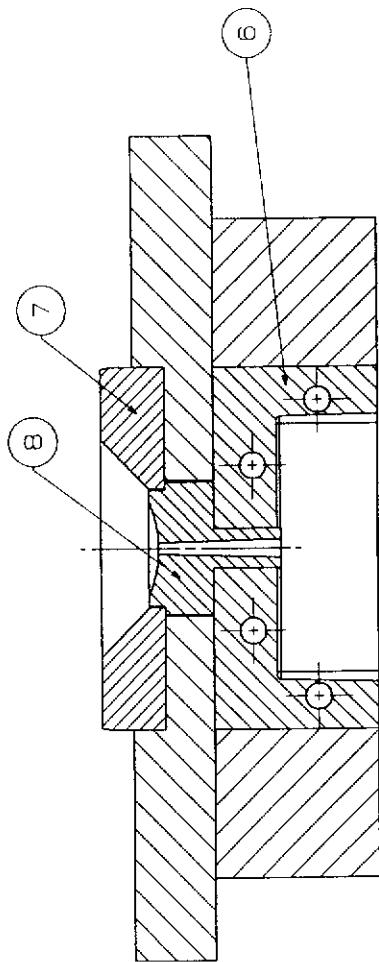


Item	Part name		Material	Total	Part number
Designed by:	MR. ANUSAK	Date:	RESEARCH 3		
Drawing by:	MR. ANUSAK	Date:			
Checked by:		Date:			
Approved by:		Date:			
Scale:	1:1		SRINAKH RINWIROT UNIVERSITY		View:

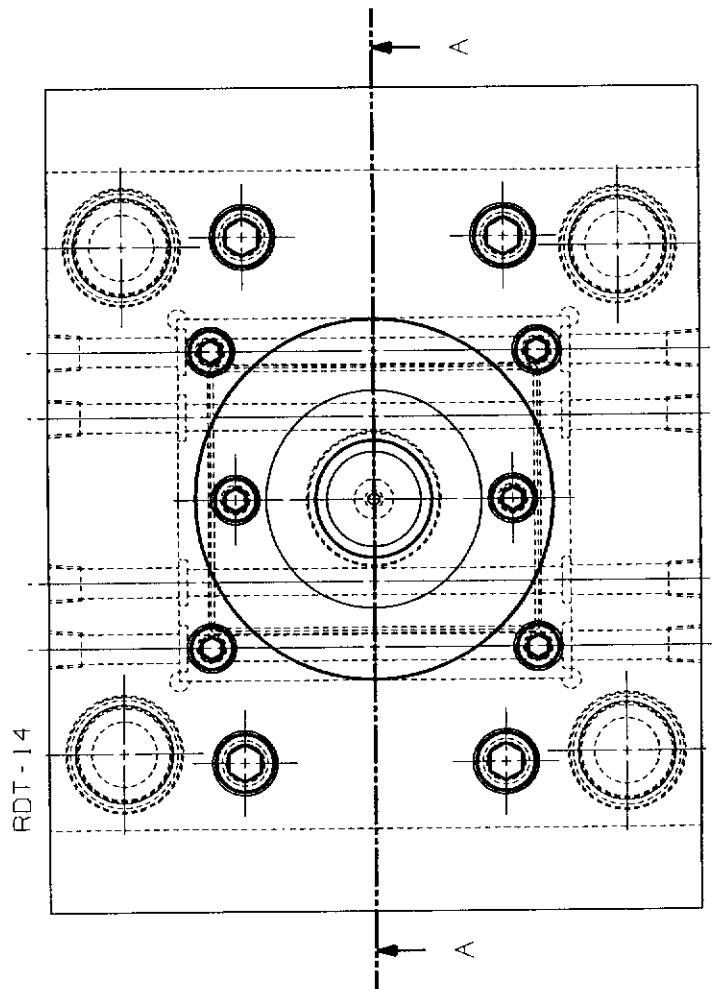


SECTION B-B

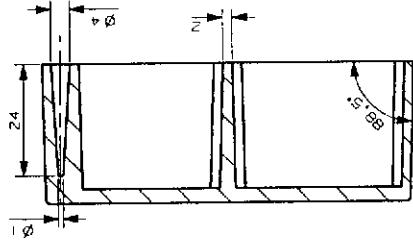
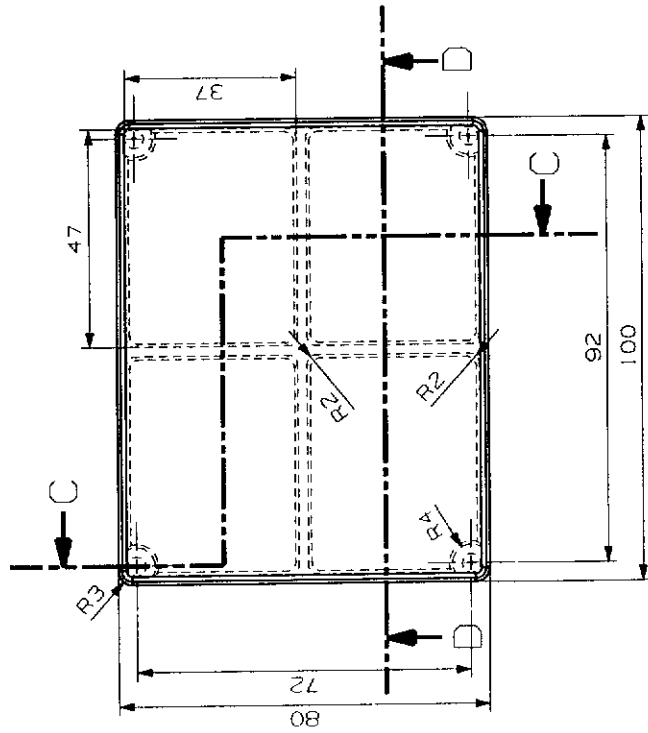
3	EJECTOR PIN	SKDBL	8	11
2	INSERT CORE	DHAI	4	10
1	CORE	DHAI	1	9
Part name		Material	Total	Port number
No	Drawing by			
	Designed by	Mr. ANUSAK		
	Checked by			
	Approved by			
Scale	1:1			
		Drawing No	View	
		RDT-14-1044-07		



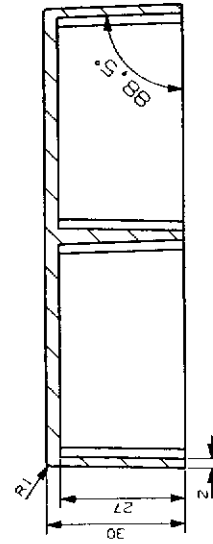
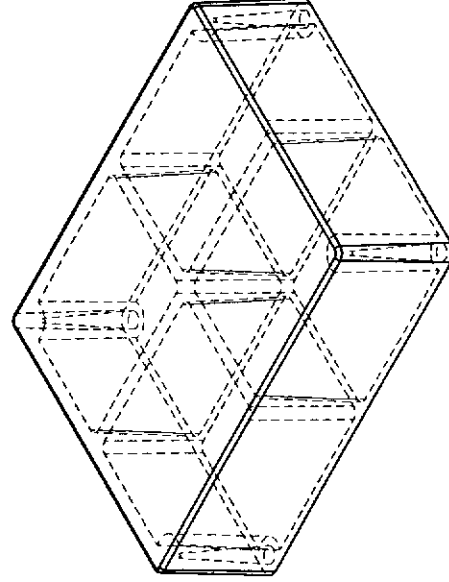
SECTION A - A



3	SPRUE BUSHING	SKDB1	1	
2	LOCATING RING	S55C	1	
1	CAVITY	DHAI	1	
No	Part name	Material	Total	Part number
	Drawing by	Mr. ANUSAK		
	Designed by	Mr. ANUSAK		
	Checked by			
	Approved by			
Scale	1:1			
SRINAKHARINWIRIT		RESEARCH 3		
UNIVERSITY		Drawing No	View	
		RDT-14-1044-07		



SECTION C - C



SECTION D - D

1	Modeling RDT-14		P5		1	
No	Part name		Material		Total	Part number
Drawing by	Mr. ANUSAK				RESEARCH 3	
Designed by	Mr. ANUSAK					
Checked by						
Approved by						
Scale	1:1		SRINAKHARINIRIT UNIVERSITY		Drawing No PDT-14-0844-05	View 

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

คู่มือ

การใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

คำนำ

คู่มือการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จัดทำขึ้นเพื่อให้ท่านผู้สนใจและปฏิบัติการใช้ชุดแม่พิมพ์พลาสติก ได้ศึกษาเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ก่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ซึ่งภายในคู่มือประกอบด้วยข้อมูลเฉพาะของชุดแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ การปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ การบำรุงรักษาชุดแม่พิมพ์และความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

ผู้วิจัยหวังว่า คู่มือการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จะช่วยให้ผู้อ่านได้รับความเข้าใจและความสะดวก สามารถใช้งานชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ต่อไป

อนุศักดิ์ กาญจนี

สารบัญ

	หน้า
ข้อมูลเฉพาะของชุดแม่พิมพ์	1
การปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์	3
การเตรียมการปฏิบัติงาน	3
การติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	4
การใส่วัตถุดิบ	4
การตั้งค่าในการฉีด	4
การบำรุงรักษาชุดแม่พิมพ์	5
ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	5

ข้อมูลเฉพาะของชุดแม่พิมพ์

ชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องของงานฉีดพลาสติกที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกจำนวน 3 แม่พิมพ์ดังนี้

แม่พิมพ์ตัวที่ 1: ฉีดงานพลาสติกแบบจำลองแสดงข้อบกพร่อง ที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานที่เป็นการโค้งงอ การหดตัวและรอยการไหลของน้ำพลาสติก ซึ่งมีลักษณะดังนี้คือ

- เป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น (2 plate)
- มีจำนวน 1 คาวิตี
- ขนาดแม่พิมพ์กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.
- ทางเข้าของน้ำพลาสติกแบบสปรูเกจ (Sprue Gate) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 มม. ยาว 36 มม. เรียว 3 องศา
- ใช้ระบบน้ำหล่อเย็นใต้ฐานคอล์และคาวิตี เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.
- ระบบปลดชิ้นงานใช้เข็มกระทุ้ง
- เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีดคือ ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)

แม่พิมพ์ตัวที่ 2: ฉีดชิ้นงานพลาสติกเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ชิ้นงานเกิดครีบ และรอยประสานของน้ำพลาสติก ซึ่งมีลักษณะดังนี้คือ

- เป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น (2 plate)
- มีจำนวน 2 คาวิตี
- ขนาดแม่พิมพ์กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.
- ทางเข้าของน้ำพลาสติกแบบเข้าด้านข้าง โดยออกแบบให้สามารถแยกได้ 2 ทาง โดยเข้าทางหัวชิ้นงานและตรงตำแหน่งกลางชิ้นงาน จุดทางเข้าทำเป็นอินเสิร์ตบล็อก สามารถถอดเข้าออกและกลับทางเข้าของน้ำพลาสติกให้อยู่ในตำแหน่งเปิดหรือปิดก็ได้
- ใช้ระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ที่แผ่นแม่พิมพ์ด้านบ่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.
- ระบบปลดชิ้นงานแบบใช้เข็มกระทุ้งที่ทางวิ่งน้ำพลาสติกและที่ตัวชิ้นงาน
- รูทางเข้าน้ำพลาสติก (Sprue bush) ยาว 70 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มม.
- ทางเข้าของน้ำพลาสติกเข้าสู่ชิ้นงานทางด้านข้าง และเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ความกว้างด้านบน 4 มม. ความกว้างด้านล่าง 3 มม. ระยะทางวิ่งของน้ำพลาสติกยาว 90 มม.
- เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีดคือ HIPS (High Impact Polystyrene)

แม่พิมพ์ตัวที่ 3: ฉีดขึ้นงานพลาสติกเป็นแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่เป็นรอยยุบและฟองอากาศ ซึ่งมีลักษณะดังนี้คือ

- เป็นแม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น (2 plate)
- มีจำนวน 1 คาวิตี
- ขนาดของแม่พิมพ์กว้าง 200 มม. ยาว 250 มม. สูง 220 มม.
- ทางเข้าของน้ำพลาสติกเป็นแบบสปรูเกจ (Sprue Gate)
- ระบบน้ำหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ มีทั้งในส่วนของแผ่นแม่พิมพ์ด้านบ้ำและแผ่นแม่พิมพ์ด้านคอร์ โดยทางน้ำวิ่งผ่านด้านแผ่นเพลท (Core Plate) ทะลุขึ้นด้านบนหมุนเวียนภายในตัวคอร์ (Core)
- ระบบปลดชิ้นงานใช้แกนกระทุ้งปลดชิ้นงานออก
- เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการฉีดคือ PS (Polystyrene)

การปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์

ในการปฏิบัติงานฉีดสำหรับแม่พิมพ์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 กำหนดให้ใช้เครื่องฉีดพลาสติกที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ใช้เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก แนวนอน ขนาด 40 ตัน (แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์)
- เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 25 มม. (mm)
- ปริมาตรภายในกระบอกฉีด 43.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)
- ความดันฉีดจำเพาะ 1153 บาร์ (bar)

สำหรับตัวแม่พิมพ์ตัวที่ 3 กำหนดให้ใช้เครื่องฉีดพลาสติกที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ใช้เครื่องฉีดพลาสติกระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก แนวนอน ขนาด 80 ตัน (แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์)
- เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 40 มม. (mm)
- ปริมาตรภายในกระบอกฉีด 201 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)
- ความดันฉีดจำเพาะ 1575 บาร์ (bar)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. การเตรียมการปฏิบัติงาน

- 1.1. ตรวจสอบสภาพและขนาดของแม่พิมพ์รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ การตรวจสอบขนาดของแม่พิมพ์เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องฉีดพลาสติกสามารถทำงานได้ โดยสิ่งที่ควรตรวจสอบมีดังนี้
 - ความหนาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - ความสูงของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - ความกว้างของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - เส้นผ่านศูนย์กลางของแหวนประกอบศูนย์ (Locating Ring)
 - ข้อต่อน้ำ
- 1.2. ตรวจสอบวัตถุดิบที่จะใช้ฉีด ต้องมีการอบก่อนการผลิตหรือไม่
- 1.3. ตรวจสอบสภาพและขนาดของเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อให้อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะผลิตชิ้นงานพลาสติกและมีความสอดคล้องกับขนาดของแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการฉีด โดยการตรวจสอบมีดังนี้
 - ตรวจสอบผนังยึดแม่พิมพ์ของเครื่องฉีดพลาสติก (Machine plate) ว่ามีขนาดที่ใช้กับแม่พิมพ์ได้หรือไม่ และขนาดครุเกลียวที่จะใช้ยึดแม่พิมพ์
 - ระยะความกว้างของเพลานำเลื่อน (Tie bar) สามารถนำแม่พิมพ์เข้ามายึดภายในผนังยึดภายในเครื่องฉีดได้หรือไม่
 - ตรวจสอบหัวฉีดว่าอยู่ในสภาพใช้งานได้หรือไม่

- อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องฉีด เช่น เครื่องทำอุณหภูมิของน้ำ (Mold Temperature Controller) ถังใส่เม็ดพลาสติก (Hopper)

2. การติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.1. การยกหรือการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์

เมื่อเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ควรป้องกันแม่พิมพ์ไม่ให้แม่พิมพ์ผิวดำ และผิวดำที่แยกออกจากกัน

2.2. การยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีด

- ตรวจสอบสภาพของสกรู (Screw) ก่อนใช้งาน
- รุกลีวของแผ่นผนังยึดของเครื่องฉีดพลาสติก ถ้าเสียหายไม่สามารถยึดได้ ควรทำเกลียวใหม่หรือย้ายรูเกลียวที่จะยึดแม่พิมพ์
- การขันสกรูต้องตรงไม่เอียง และไม่ใช้แรงมากเกินไป หลังจากยึดแม่พิมพ์แล้วควรต่อสายน้ำหล่อเย็น และอุปกรณ์อื่นๆ ให้เรียบร้อย

3. การใส่วัตถุดิบ

- เตรียมวัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก) ที่จะใช้ในการฉีดโดยตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบ เช่น อุณหภูมิในช่วงการหลอมละลายของเม็ดพลาสติก อุณหภูมิของแม่พิมพ์ แรงดันฉีดที่ควรใช้กับวัตถุดิบชนิดนั้น เป็นต้น
- ตรวจสอบสภาพและความจุของถังใส่วัตถุดิบ
- ทำความสะอาดภายในถังวัตถุดิบ เพื่อป้องกันสิ่งปลอมปน

4. การตั้งค่าในการฉีด

ข้อมูลที่สำคัญในการตั้งค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไขของการฉีดพลาสติกมีดังนี้

4.1. กระบอกฉีดพลาสติก (Injection Screw Cylinder)

- ช่วงชักสูงสุด (Maximum Stroke)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Screw diameter)
- แรงดันฉีดสูงสุด (Maximum Injection pressure)
- ความเร็วในการฉีดสูงสุด (Maximum Injection Speed)
- น้ำหนักฉีดสูงสุด (Maximum Injection weight)
- ปริมาตรในการฉีดสูงสุด (Maximum Injection Capacity)

4.2. ชนิดของพลาสติก และน้ำหนักของชิ้นงานพลาสติกโดยประมาณ

การบำรุงรักษาชุดแม่พิมพ์

1. หลังจากการฉีดพลาสติกให้ได้ชิ้นงานพลาสติกครบตามจำนวนที่ต้องการแล้ว ก่อนที่จะทำการถอดแม่พิมพ์ควรใช้น้ำยากันสนิมฉีดพ่นตามหน้าสัมผัสของแผ่นด้านหน้าของแม่พิมพ์ทั้ง 2 ด้าน รวมทั้งชิ้นส่วนคอและชิ้นส่วนควาดีเพื่อป้องกันสนิม
2. หลังการถอดยกแม่พิมพ์ลงมาจากเครื่องฉีดพลาสติก ควรใช้ลมเป่าไล่น้ำหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ออกให้หมด
3. การจัดเก็บแม่พิมพ์ควรเก็บไว้ในสถานที่จัดเก็บ เช่น ชั้นวางแม่พิมพ์ (Mold Rack) หรือบนพื้นไม้ ไม้ควรวางแม่พิมพ์บนพื้นคอนกรีตเพราะแม่พิมพ์อาจดูดซึมความชื้นทำให้เกิดสนิมได้ง่าย และใช้เทปปิดรูฉีดป้องกันเศษผงหรือน้ำเข้า
4. การจัดเก็บควรมีป้ายรายชื่อแม่พิมพ์ หรือรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมถึงชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดครั้งล่าสุดเก็บไว้เป็นข้อมูลในการซ่อมบำรุงรักษา
5. การซ่อมบำรุงรักษาควรมีใบบันทึกประวัติ เพื่อเป็นข้อมูลในการค้นหารายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ตัวนั้นๆ

ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

1. ผู้ปฏิบัติงานควรปฏิบัติตามข้อแนะนำในคู่มือการใช้งานแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกอย่างเคร่งครัด
2. ผู้ปฏิบัติงานควรสวมใส่ชุดป้องกันความร้อน เช่น ปลอกแขน ถุงมือ เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้

พารามิเตอร์ในการฉีดขึ้นงานพลาสติกจากแม่พิมพ์ตัวที่ 1 ด้วยพลาสติก ABS

Code	Description	Unit	Value	Code	Description	Unit	Value
F01F	CLOSING			F006F	TEMPERATURE		
	1. Mold safety program	0/1	1		51. Zone 1 (Nozzle)	C	210
	2. Mould open	mm.	280		52. Zone 1	C	220
	3. Closing speed 1	%	20		53. Zone 2	C	210
	4. Closing stroke 1	mm.	220		54. Zone 3 (Hopper)	C	195
	5. Closing speed	%	40	F06F	METERING DECOMPRESSION		
	6. Closing stroke 2	mm.	180		55. Metering delay	Sec.	0.1
	7. Closing speed 3	%	20		56. Screw speed	RPM	—
	8. Mould safety stroke	mm.	80		57. Decompression stroke 1	Bar	—
	9. Mould safety speed	%	15		58. Back pressure 1	mm.	30
	10. Mould safety pressure	Bar	15		59. Back pressure stroke 1	Bar	20
	11. Mould safety time	Sec.	1		60. Back pressure 2	mm.	50
	12. Zero-offset mould	mm.	—		61. Back pressure stroke 2	Bar	35
	13. Mould close	mm.	65		62. Metering speed 1	%	55
	14. Clamping high pressure	Bar	100		63. Metering stroke 1	mm.	35
F02F	NOZZLE FORWARD				64. Metering speed 2	%	55
	15. Nozzle forward delay	Sec.	0.2		65. Metering stroke	mm.	75
	16. Nozzle back stroke	mm.	—		66. Decompression program	0/1	1
	17. Nozzle forward speed 1	%	30		67. Decompression stroke 2	mm.	76
	18. Nozzle forward pressure	Bar	50	F07F	NOZZLE BACK		
	19. Nozzle forward stroke	mm.	65		68. Nozzle back delay	Sec.	—
	20. Nozzle forward speed 2	%	20		69. Nozzle back speed	%	50
	21. Zero-offset nozzle	mm.	—		70. Nozzle back pressure	Bar	20
	22. Nozzle touching point	mm.	62		71. Nozzle back stroke	mm.	—
F03F	INJECTION			F08F	OPENING		
	23. Injection delay	Sec.	0.1		72. Opening speed 1	%	12
	24. Max. injection pressure	Bar	80		73. Opening pressure 1	Bar	55
	25. Decompression stroke	mm.	76		74. Opening stroke 1	mm.	110
	26. Metering stroke	mm.	75		75. Opening speed 2	%	30
	27. Injection speed 1	%	35		76. Opening stroke 2	mm.	250
	28. Injection stroke 1	mm.	55		77. Opening speed 3	%	280
	29. Injection speed 2	%	45		78. Mould open time	Sec.	0.5
	30. Injection stroke 2	mm.	12	F09F	EJECTOR		
	31. Injection speed 3	%	20		79. Ejector V + P program	0/1	1
	32. Injection stroke 3	mm.	8		80. Ejector stroke	mm.	1
	33. Injection speed 4	%	—		81. Start ejector forward	mm.	200
	34. Injection stroke 4	mm.	—		82. Ejector forward speed 1	%	20
	35. Injection speed 5	%	—		83. Ejector forward stroke 1	mm.	55
F04F	SWITCHOVER TO FOLLOW UP PRESS.				84. Ejector forward pressure	Bar	35
	36. Follow-up pressure stroke-dep.	0/1	1		85. Ejector forward speed 2	%	30
	37. Follow-up press stroke	mm.	8		86. Ejector forward stroke	mm.	65
	38. Follow-up pressure time-dep.	0/1	20		87. Ejector back delay	Sec.	0.1
	39. Follow-up pressure time	Sec.	—		88. Ejector back speed 1	%	55
F05F	FOLLOW-UP PRESSURE				89. Ejector back stroke 1	mm.	35
	40. Follow-up pressure 1	Bar	20		90. Ejector back speed 2	%	55
	41. Follow-up press. 1 time	Sec.	0.5		91. Ejector back pressure	%	35
	42. Follow-up pressure 2	Bar	44		92. Cushion	mm.	5
	43. Follow-up press. 2 time	Sec.	1	F001F	93. Operating mode	0-1-2-3	1
	44. Follow-up pressure 3	Bar	20	F29F	94. Cycle time	Sec.	25
	45. Follow-up press. 3 time	Sec.	0.2	Remark:			
	46. Follow-up pressure 4	Bar	—				
	47. Follow-up press. 4 time	Sec.	—				
	48. Follow-up pressure 5	Bar	—				
	49. Follow-up press. 4 time	Sec.	—				
	50. Cooling time	Sec.	18				

พารามิเตอร์ในการฉีดขึ้นงานพลาสติกจากแม่พิมพ์ตัวที่ 2 ด้วยพลาสติก HIPS

Code	Description	Unit	Value	Code	Description	Unit	Value
F01F	CLOSING			F006F	TEMPERATURE		
	1. Mold safety program	O/I	1		51. Zone 1 (Nozzle)	C	210
	2. Mould open	mm.	250		52. Zone 1	C	220
	3. Closing speed 1	%	20		53. Zone 2	C	210
	4. Closing stroke 1	mm.	240		54. Zone 3 (Hopper)	C	200
	5. Closing speed	%	50	F06F	METERING DECOMPRESSION		
	6. Closing stroke 2	mm.	150		55. Metering delay	Sec.	0.1
	7. Closing speed 3	%	14		56. Screw speed	RPM	-
	8. Mould safety stroke	mm.	68		57. Decompression stroke 1	Bar	-
	9. Mould safety speed	%	12		58. Back pressure 1	mm.	6
	10. Mould safety pressure	Bar	12		59. Back pressure stroke 1	Bar	25
	11. Mould safety time	Sec.	1.2		60. Back pressure 2	mm.	6
	12. Zero-offset mould	mm.	-		61. Back pressure stroke 2	Bar	35
	13. Mould close	mm.	82		62. Metering speed 1	%	50
	14. Clamping high pressure	Bar	120		63. Metering stroke 1	mm.	20
F02F	NOZZLE FORWARD				64. Metering speed 2	%	50
	15. Nozzle forward delay	Sec.	0.2		65. Metering stroke	mm.	30
	16. Nozzle back stroke	mm.	-		66. Decompression program	O/I	1
	17. Nozzle forward speed 1	%	25		67. Decompression stroke 2	mm.	68
	18. Nozzle forward pressure	Bar	85	F07F	NOZZLE BACK		
	19. Nozzle forward stroke	mm.	60		68. Nozzle back delay	Sec.	-
	20. Nozzle forward speed 2	%	35		69. Nozzle back speed	%	30
	21. Zero-offset nozzle	mm.	-		70. Nozzle back pressure	Bar	30
	22. Nozzle touching point	mm.	74		71. Nozzle back stroke	mm.	-
F03F	INJECTION			F08F	OPENING		
	23. Injection delay	Sec.	0.1		72. Opening speed 1	%	12
	24. Max. injection pressure	Bar	68		73. Opening pressure 1	Bar	35
	25. Decompression stroke	mm.	58		74. Opening stroke 1	mm.	55
	26. Metering stroke	mm.	56		75. Opening speed 2	%	35
	27. Injection speed 1	%	12		76. Opening stroke 2	mm.	120
	28. Injection stroke 1	mm.	52		77. Opening speed 3	%	250
	29. Injection speed 2	%	65		78. Mould open time	Sec.	0.2
	30. Injection stroke 2	mm.	20	F09F	EJECTOR		
	31. Injection speed 3	%	12		79. Ejector V + P program	O/I	1
	32. Injection stroke 3	mm.	8		80. Ejector stroke	mm.	1
	33. Injection speed 4	%	-		81. Start ejector forward	mm.	210
	34. Injection stroke 4	mm.	-		82. Ejector forward speed 1	%	12
	35. Injection speed 5	%	-		83. Ejector forward stroke 1	mm.	35
F04F	SWITCHOVER TO FOLLOW UP PRESS.				84. Ejector forward pressure	Bar	25
	36. Follow-up pressure stroke-dep.	O/I	1		85. Ejector forward speed 2	%	20
	37. Follow-up press stroke	mm.	6		86. Ejector forward stroke	mm.	55
	38. Follow-up pressure time-dep.	O/I	12		87. Ejector back delay	Sec.	0.1
	39. Follow-up pressure time	Sec.	-		88. Ejector back speed 1	%	35
F05F	FOLLOW-UP PRESSURE				89. Ejector back stroke 1	mm.	35
	40. Follow-up pressure 1	Bar	34		90. Ejector back speed 2	%	35
	41. Follow-up press. 1 time	Sec.	1		91. Ejector back pressure	%	30
	42. Follow-up pressure 2	Bar	48		92. Cushion	mm.	6
	43. Follow-up press. 2 time	Sec.	1	F001F	93. Operating mode	0-1-2-3	1
	44. Follow-up pressure 3	Bar	30	F29F	94. Cycle time	Sec.	35
	45. Follow-up press. 3 time	Sec.	0.2		Remark:		
	46. Follow-up pressure 4	Bar	-				
	47. Follow-up press. 4 time	Sec.	-				
	48. Follow-up pressure 5	Bar	-				
	49. Follow-up press. 4 time	Sec.	-				
	50. Cooling time	Sec.	15				

พารามิเตอร์ในการฉีดขึ้นงานพลาสติกจากแม่พิมพ์ตัวที่ 3 ด้วยพลาสติก PS

Code	Description	Unit	Value	Code	Description	Unit	Value
F01F	CLOSING			F006F	TEMPERATURE		
	1. Mold safety program	0/1	1		51. Zone 1 (Nozzle)	C	200
	2. Mould open	mm.	300		52. Zone 1	C	210
	3. Closing speed 1	%	25		53. Zone 2	C	200
	4. Closing stroke 1	mm.	280		54. Zone 3 (Hopper)	C	190
	5. Closing speed	%	50	F06F	METERING DECOMPRESSION		
	6. Closing stroke 2	mm.	220		55. Metering delay	Sec.	0.1
	7. Closing speed 3	%	20		56. Screw speed	RPM	—
	8. Mould safety stroke	mm.	95		57. Decompression stroke 1	Bar	—
	9. Mould safety speed	%	12		58. Back pressure 1	mm.	10
	10. Mould safety pressure	Bar	12		59. Back pressure stroke 1	Bar	35
	11. Mould safety time	Sec.	1.5		60. Back pressure 2	mm.	10
	12. Zero-offset mould	mm.	—		61. Back pressure stroke 2	Bar	45
	13. Mould close	mm.	93		62. Metering speed 1	%	65
	14. Clamping high pressure	Bar	150		63. Metering stroke 1	mm.	35
F02F	NOZZLE FORWARD				64. Metering speed 2	%	65
	15. Nozzle forward delay	Sec.	0.2		65. Metering stroke	mm.	68
	16. Nozzle back stroke	mm.	—		66. Decompression program	0/1	—
	17. Nozzle forward speed 1	%	20		67. Decompression stroke 2	mm.	72
	18. Nozzle forward pressure	Bar	50	F07F	NOZZLE BACK		
	19. Nozzle forward stroke	mm.	55		68. Nozzle back delay	Sec.	—
	20. Nozzle forward speed 2	%	25		69. Nozzle back speed	%	35
	21. Zero-offset nozzle	mm.	—		70. Nozzle back pressure	Bar	45
	22. Nozzle touching point	mm.	60		71. Nozzle back stroke	mm.	—
F03F	INJECTION			F08F	OPENING		
	23. Injection delay	Sec.	0.1		72. Opening speed 1	%	10
	24. Max. injection pressure	Bar	65		73. Opening pressure 1	Bar	50
	25. Decompression stroke	mm.	72		74. Opening stroke 1	mm.	150
	26. Metering stroke	mm.	68		75. Opening speed 2	%	35
	27. Injection speed 1	%	20		76. Opening stroke 2	mm.	280
	28. Injection stroke 1	mm.	50		77. Opening speed 3	%	300
	29. Injection speed 2	%	35		78. Mould open time	Sec.	0.2
	30. Injection stroke 2	mm.	10	F09F	EJECTOR		
	31. Injection speed 3	%	8		79. Ejector V + P program	0/1	1
	32. Injection stroke 3	mm.	6		80. Ejector stroke	mm.	1
	33. Injection speed 4	%	—		81. Start ejector forward	mm.	250
	34. Injection stroke 4	mm.	—		82. Ejector forward speed 1	%	15
	35. Injection speed 5	%	—		83. Ejector forward stroke 1	mm.	45
F04F	SWITCHOVER TO FOLLOW UP PRESS.				84. Ejector forward pressure	Bar	30
	36. Follow-up pressure stroke-dep.	0/1	1		85. Ejector forward speed 2	%	25
	37. Follow-up press stroke	mm.	8		86. Ejector forward stroke	mm.	65
	38. Follow-up pressure time-dep.	0/1	15		87. Ejector back delay	Sec.	0.1
	39. Follow-up pressure time	Sec.	—		88. Ejector back speed 1	%	45
F05F	FOLLOW-UP PRESSURE				89. Ejector back stroke 1	mm.	35
	40. Follow-up pressure 1	Bar	48		90. Ejector back speed 2	%	45
	41. Follow-up press. 1 time	Sec.	0.8		91. Ejector back pressure	%	35
	42. Follow-up pressure 2	Bar	64		92. Cushion	mm.	5
	43. Follow-up press. 2 time	Sec.	1.2	F001F	93. Operating mode	0-1-2-3	1
	44. Follow-up pressure 3	Bar	33	F29F	94. Cycle time	Sec.	40
	45. Follow-up press. 3 time	Sec.	0.5	Remark:			
	46. Follow-up pressure 4	Bar	—				
	47. Follow-up press. 4 time	Sec.	—				
	48. Follow-up pressure 5	Bar	—				
	49. Follow-up press. 4 time	Sec.	—				
	50. Cooling time	Sec.	20				

ภาคผนวก ค

**แบบสอบถามประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก**

**แบบสอบถามประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก**

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย
โดยให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินตรวจสอบชิ้นงานพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงาน
ฉีดพลาสติก 3 ด้านดังนี้

- 1.1 ด้านลักษณะของการเกิดปัญหาข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติก
 - 1.2 ด้านการนำชิ้นงานพลาสติกไปออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลอง
ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก
 - 1.3 ด้านความเหมาะสมของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกทั้ง 3 แม่พิมพ์
2. แบบประเมินแบ่งออกเป็น 2 ตอน
- ตอนที่ 1 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบชิ้นงานพลาสติก และลักษณะการ
ออกแบบสร้างชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ใน
งานฉีดพลาสติก มี 30 ข้อ
- ตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดที่เกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ มี 6 ข้อ

ตอนที่ 1:

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 1 มีทั้งหมด 30 ข้อ
 2. โปรดขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็น
ของท่าน โดยมีเกณฑ์การให้ค่าระดับคะแนนที่กำหนดไว้ดังนี้
- | | |
|---|--|
| 5 | หมายถึง ผลการประเมินเห็นด้วยอย่างยิ่ง |
| 4 | หมายถึง ผลการประเมินเห็นด้วย |
| 3 | หมายถึง ผลการประเมินไม่แน่ใจ |
| 2 | หมายถึง ผลการประเมินไม่เห็นด้วย |
| 1 | หมายถึง ผลการประเมินไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง |

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
1	ชิ้นงานพลาสติกที่บิดเบี้ยวผิดรูปร่าง เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า การโก่งงอ (Warpage)					
2	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ (Warpage) เกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดความเค้นตกค้างในเนื้อชิ้นงาน					
3	การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นในชิ้นส่วนคอร์และควิตี้ของแม่พิมพ์มีความแตกต่างกันไม่ทั่วถึง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการโก่งงอ (Warpage)					
4	ชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดที่เล็กลงต่ำกว่าขนาดในแบบที่ต้องการเป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า การหดตัว (Shrinkage)					
5	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว (Shrinkage) เกิดจากการอัดตัวของเนื้อพลาสติกไม่แน่น แรงดันฉีดไม่เพียงพอ					
6	การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีขนาดความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันมาก และจุดที่มีขนาดบางสุดอยู่ปลายสุดแนวการไหลของน้ำพลาสติก เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องการหดตัว (Shrinkage)					
7	ชิ้นงานพลาสติกที่มีผิวบนชิ้นงานบริเวณทางน้ำพลาสติกเข้า มีรอยเป็นคลื่นเหมือนรอยวงปีของต้นไม้ เป็นลักษณะข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า รอยการไหลของน้ำพลาสติก (Flow Mark)					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
8	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก (Flow Mark) เกิดจากประสิทธิภาพของการไหลไม่ดี หรือการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำเกินไป					
9	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ขนาดทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็ก และไม่มีบ่อตกน้ำพลาสติกเย็น (Cold Slag Well) ในแม่พิมพ์บริเวณใต้ผนังชิ้นงาน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก					
10	ชิ้นงานพลาสติกที่มีริ้วรอยผิวบนชิ้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของน้ำพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า รอยฟัน (Jetting)					
11	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน (Jetting) เกิดจากการฉีดน้ำพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์บริเวณส่วนที่หนาผ่านช่องทางเข้าที่มีขนาดเล็กด้วยความเร็วฉีดที่สูงเกินไป					
12	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ขนาดทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็กมากโดยไม่เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงานพลาสติก เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยฟัน					
13	ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยแหวนตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของน้ำพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า ชิ้นงานไม่เต็ม (Short Shot)					

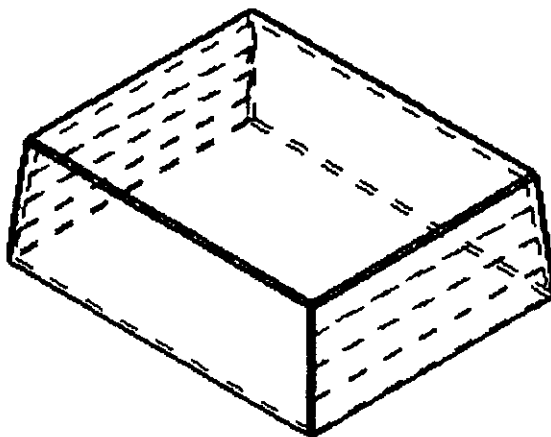
ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
14	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม (Short Shot) เกิดจากการไหลของน้ำพลาสติกเข้าไปในเบ้าของแม่พิมพ์ช้า ใช้แรงดันต่ำ ในขณะที่ชิ้นงานเย็นตัวเร็วหรือแม่พิมพ์ไม่ร้อน					
15	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ให้ชิ้นงานมีความบางและอยู่ส่วนปลายของความยาวท้ายสุดของแนวการไหลของน้ำพลาสติก เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม					
16	ชิ้นงานพลาสติกเกิดลักษณะเป็นแผ่นบาง ยื่นออกมาจากขอบของชิ้นงานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า ครีป (Flashing)					
17	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง ครีป (Flashing) เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป หรือความดันในการฉีดสูงเกินไป แรงดันภายในแม่พิมพ์อ่อนกว่าแรงดันทำให้แม่พิมพ์ปิดไม่สนิทแยกออกตามแนวประกบของแม่พิมพ์					
18	การออกแบบแม่พิมพ์ให้มีรอยช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนภายในแม่พิมพ์ที่มีขนาดช่องว่างมากเกินไป หรือมีแนวประกบของแม่พิมพ์ไม่สนิท เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องครีป					
19	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะเป็นรอยต่อของน้ำพลาสติกไหล มาบรรจบกัน เกิดเป็นรอยที่เนืองานของชิ้นงานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า รอยประสาน (Weld Line)					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
20	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน (Weld Line) เกิดจากสภาพการไหลของน้ำพลาสติกเหลวไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ หรืออุณหภูมิของน้ำพลาสติกแม่พิมพ์เหลวลดลง และใช้ความเร็วในการฉีดต่ำเกินไป					
21	การออกแบบแม่พิมพ์ให้มีลักษณะให้น้ำพลาสติกเหลวสองกระแสไหลมาบรรจบกันภายใต้สภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนหนาทบางของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยประสาน					
22	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะมีรอยเว้าลึกลงในเนื้อพลาสติก โดยส่วนใหญ่จะเกิดกับชิ้นงานที่มีผนังความหนาโดยรวมที่ไม่เท่ากัน เกิดบริเวณจุดที่มีความหนาแตกต่างกันมากกับบริเวณจุดอื่นๆ เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า รอยยุบ (Sink Mark)					
23	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ (Sink Mark) เกิดจากการฉีดพลาสติกเหลวที่ใช้ความดันอัดย้ำที่ไม่เพียงพอทำให้เนื้อพลาสติกภายในไม่แน่นพอ ประกอบกับพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง ทำให้เกิดรอยยุบได้					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
24	การออกแบบแม่พิมพ์ให้ชิ้นงานมีความหนาบางไม่เท่ากัน และทำให้การไหลของน้ำพลาสติกมีอัตราการไหลตัวช้า เช่น การไหลภายในช่องแคบๆ มีระบบหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าผิวชิ้นงาน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยยุบ					
25	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะโพรงช่องว่างตกค้างภายในเนื้องานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า ฟองอากาศ (Air Bubble)					
26	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ (Air Bubble) เกิดจากอากาศภายในแม่พิมพ์ระบายออกไม่ทันกับแรงดันที่ฉีดน้ำพลาสติกเข้ามาในช่องที่แคบๆ อย่างรวดเร็ว					
27	การออกแบบแม่พิมพ์ให้มีช่องทางการไหลเล็กๆ และจุดปลายสุดของเส้นทางการไหลของน้ำพลาสติกไม่สร้างช่องระบายอากาศ (Air Vent) ไว้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องฟองอากาศ					
28	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกัน จุดที่บางที่สุดอยู่ปลายสุดของแนวการไหล ช่องทางน้ำเข้าพลาสติกมีขนาดเล็ก และมีระบบหล่อเย็นไม่สมดุล แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก					

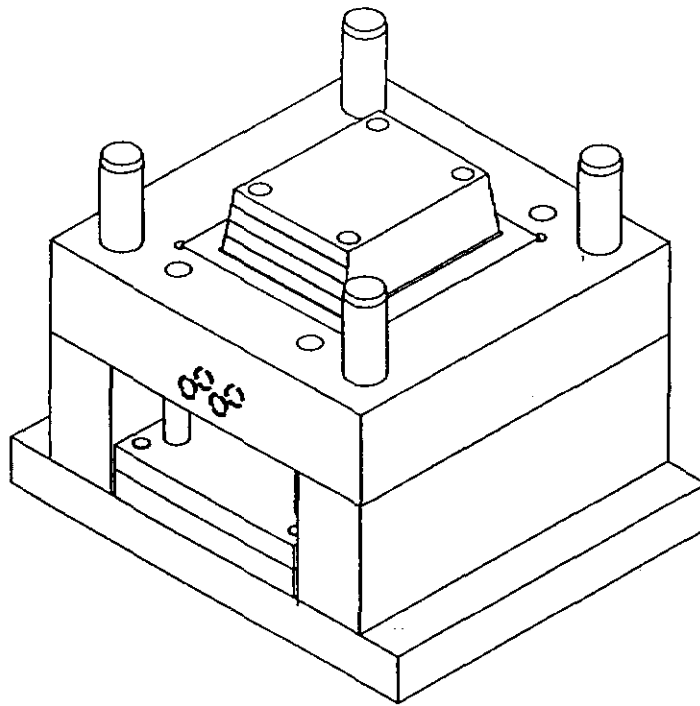
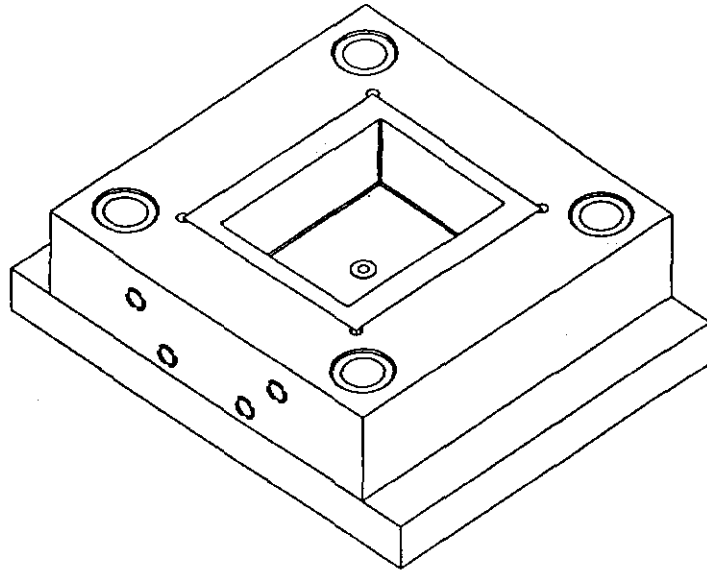
ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5)	เห็นด้วย (4)	ไม่แน่ใจ (3)	ไม่เห็นด้วย (2)	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)
29	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกันเป็นชั้นๆตามแนวความยาวของชิ้นงาน และทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็กเข้าจุดที่หนาที่สุด แนวการไหลไปตกทิศทางความยาวของชิ้นงาน พร้อมกับให้ชิ้นงานมีรูอยู่ตรงกลาง แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยฟ่น ครีบ ชิ้นงานไม่เต็ม และรอยประสาน					
30	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม แล้วมีผนังกันตรงกลางแบ่งกล่องออกเป็น 4 ช่อง ผนังกันมีความหนาไม่เท่ากัน และที่มุมกล่องมีความหนามากกว่าความหนาของผนังโดยรวม และไม่ได้ทำรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยยุบ และฟองอากาศ					

ตอนที่ 2: ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ



1. ลักษณะแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก ตามลักษณะชิ้นงานพลาสติกรูปด้านบน จะสามารถทำให้เกิดข้อบกพร่องในเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก ขอความคิดเห็นของท่านในด้านความเหมาะสมในการออกแบบลักษณะชิ้นงานตามรูปนี้

[illegible]



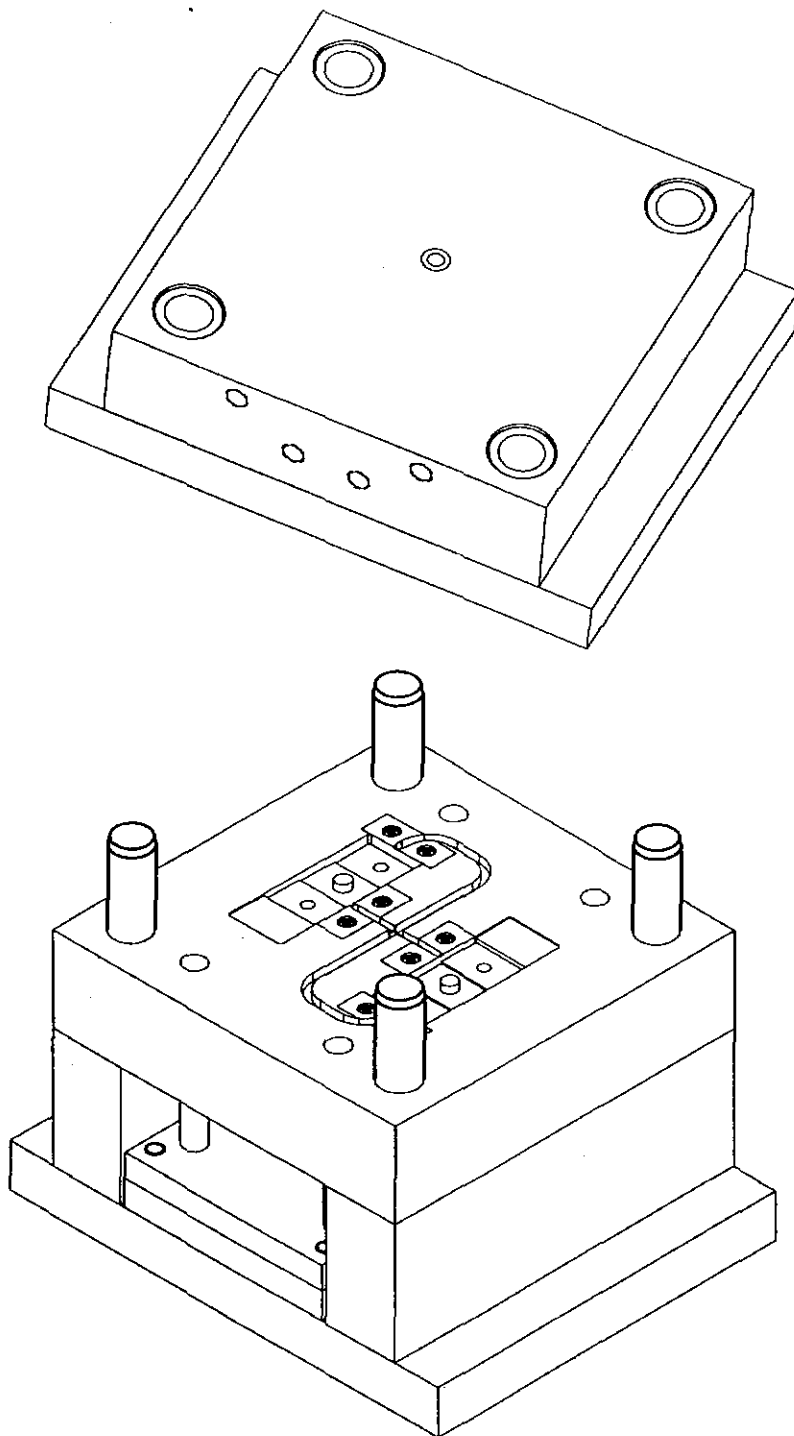
4. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่อง การโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก ขอความคิดเห็นของท่านในด้านความเหมาะสม ในการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังรูปนี้

.....

.....

.....

.....



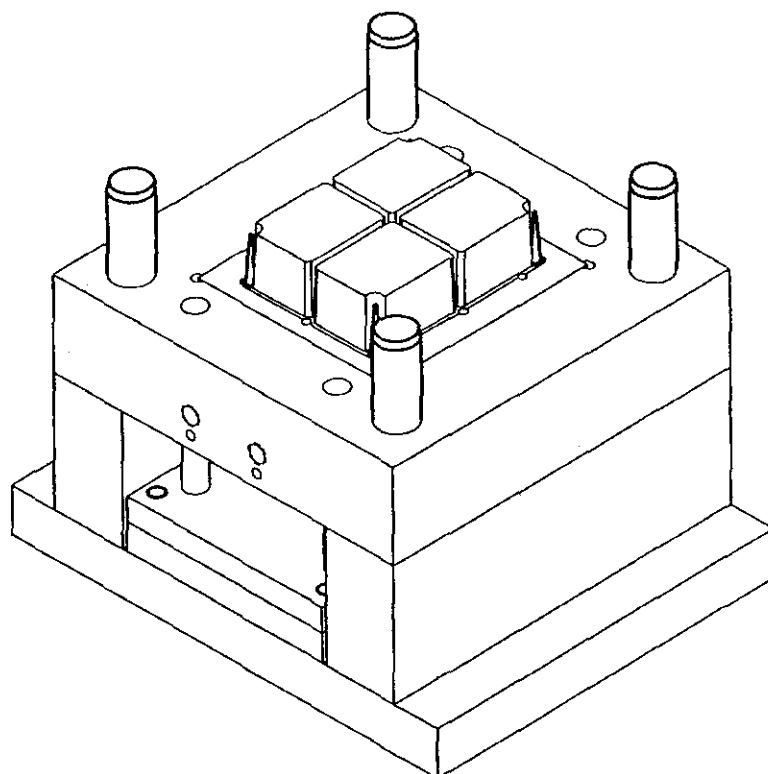
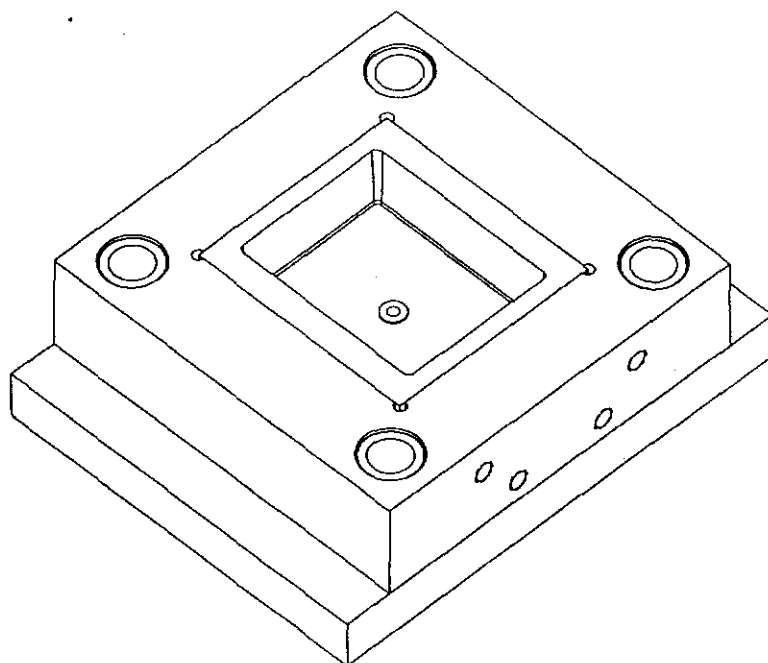
5. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอย
 ฟัน ชิ้นงานไม่เต็ม ครีบ และรอยประสาน ขอความคิดเห็นของท่านในด้านความเหมาะสมในการสร้าง
 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังรูปนี้

.....

.....

.....

.....



6. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ และฟองอากาศ ขอความคิดเห็นของท่านในด้านความเหมาะสมในการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังรูปนี้

.....

.....

.....

.....

ตาราง 15 การประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
1	ชิ้นงานพลาสติกที่บิดเบี้ยวผิดรูปร่าง เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า การโก่งงอ (Warpage)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
2	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง การโก่งงอ (Warpage) เกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดความเค้นตกค้างในเนื้อชิ้นงาน	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
3	การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นในชิ้นส่วนคอและกาวัดตัวของแม่พิมพ์มีความแตกต่างกันไม่ทั่วถึง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการโก่งงอ (Warpage)	5	4	5	4	5	23	107	529	4.6	0.55
4	ชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเล็กลงต่ำกว่าขนาดในแบบที่ต้องการเป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า การหดตัว (Shrinkage)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
5	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว (Shrinkage) เกิดจากการอัดตัวของเนื้อพลาสติกไม่แน่น แรงดันฉีดไม่เพียงพอ	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
6	การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีขนาดความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันมาก และจุดที่มีขนาดบางสุดอยู่ปลายสุดแนวการไหลของน้ำพลาสติก เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องการหดตัว (Shrinkage)	5	5	5	4	5	24	116	576	4.8	0.45

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
7	ชั้นงานพลาสติกที่มีผิวบน ชั้นงานบริเวณทางน้ำพลาสติก เข้า มีรอยเป็นคลื่นเหมือนรอย วงปีของต้นไม้ เป็นลักษณะ ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า รอยการไหลของน้ำ พลาสติก (Flow Mark)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
8	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีด พลาสติกเรื่องรอยการไหลของ น้ำพลาสติก (Flow Mark) เกิดจาก ประสิทธิภาพของการไหลไม่ดี หรือการใช้ความเร็วในการฉีดต่ำ เกินไป	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
9	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ขนาด ทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาด เล็ก และไม่มีบอดักน้ำพลาสติก เย็น (Cold Slag Well) ในแม่พิมพ์ บริเวณใต้ผนังชั้นงาน เป็น สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหา เรื่องรอยการไหลของน้ำ พลาสติก	4	5	5	4	5	23	107	529	4.6	0.55
10	ชั้นงานพลาสติกที่มีรอยผิวบน ชั้นงานบริเวณใกล้ทางเข้าของ น้ำพลาสติก เป็นลักษณะของ ข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า รอยฟัน (Jetting)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
11	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีด พลาสติกเรื่องรอยฟัน (Jetting) เกิดจากการฉีดน้ำพลาสติกเข้า ไปในแม่พิมพ์บริเวณส่วนที่หนา ผ่านช่องทางเข้าที่มีขนาดเล็ก ด้วยความเร็วฉีดที่สูงเกินไป	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
12	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ขนาด ทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาด เล็กมากโดยไม่เหมาะสมกับ ขนาดของชั้นงานพลาสติก เป็น สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหา เรื่องรอยฟัน	5	4	5	5	4	23	107	529	4.6	0.55

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
13	ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยแห้วตรงตำแหน่งสุดท้ายของการไหลของน้ำพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า ชิ้นงานไม่เต็ม (Short Shot)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
14	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม (Short Shot) เกิดจากการไหลของน้ำพลาสติกเข้าไปในเบ้าของแม่พิมพ์ช้า ใช้แรงดันต่ำ ในขณะที่ชิ้นงานเย็นตัวเร็วหรือแม่พิมพ์ไม่ร้อน	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
15	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ให้ชิ้นงานมีความบางและอยู่ส่วนปลายของความยาวท้ายสุดของแนวการไหลของน้ำพลาสติก เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
16	ชิ้นงานพลาสติกเกิดลักษณะเป็นครีดยื่นออกมาจากขอบของชิ้นงานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรียกว่า ครีบก (Flashing)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
17	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบก (Flashing) เกิดจากการใช้ความเร็วในการฉีดสูงเกินไป หรือความดันในการฉีดสูงเกินไป แรงดันภายในแม่พิมพ์อ่อนกว่าแรงดันทำให้แม่พิมพ์ปิดไม่สนิทแยกออกตามแนวประกบของแม่พิมพ์	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
18	การออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่มีรอยช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนภายในแม่พิมพ์ที่มีขนาดช่องว่างมากเกินไป หรือมีแนวประกอบของแม่พิมพ์ไม่สนิท เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องครีบ	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
19	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะเป็นรอยต่อเชื่อมประสาน เกิดเป็นรอยที่เนื่องมาจากชิ้นงานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า รอยประสาน (Weld Line)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
20	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน (Weld Line) เกิดจากสภาพการไหลของน้ำพลาสติกเหลวไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ หรืออุณหภูมิของน้ำพลาสติกแม่พิมพ์เหลวลดลง และใช้ความเร็วในการฉีดต่ำเกินไป	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
21	การออกแบบแม่พิมพ์ให้มีลักษณะให้น้ำพลาสติกเหลวสองกระแสไหลมาบรรจบกัน ภายใต้สภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนหนาทบางของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยประสาน	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
22	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะมีรอยยุบบุ๋มลงในเนื้อพลาสติก โดยส่วนใหญ่จะเกิดกับชิ้นงานที่มีผนังความหนาโดยรวมที่ไม่เท่ากัน เกิดบริเวณจุดที่มีความหนาแตกต่างกันมากกับบริเวณจุดอื่นๆ เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า รอยยุบ (Sink Mark)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
23	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ (Sink Mark) เกิดจากการฉีดพลาสติกเหลวที่ใช้ความดันอัดยัดที่ไม่เพียงพอ ทำให้เนื้อพลาสติกภายในไม่แน่นพอ ประกอบกับพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง ทำให้เกิดรอยยุบได้	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
24	การออกแบบแม่พิมพ์ให้ชิ้นงานมีความหนาบางไม่เท่ากัน และทำให้การไหลของน้ำพลาสติกมีอัตราการไหลตัวช้า เช่น การไหลภายในช่องแคบๆ มีระบบหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าผิวชิ้นงาน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องรอยยุบ	5	5	5	5	4	24	116	576	4.8	0.45
25	ชิ้นงานพลาสติกที่มีลักษณะฟองอากาศคั่งค้างภายในเนื้องานพลาสติก เป็นลักษณะของข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก เรียกว่า ฟองอากาศ (Air Bubble)	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
26	ปัญหาข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ (Air bubble) เกิดจากอากาศภายในแม่พิมพ์ระบายออกไม่ทันกับแรงดันที่ฉีดน้ำพลาสติกเข้ามาในช่องที่แคบๆอย่างรวดเร็ว	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0
27	การออกแบบแม่พิมพ์ให้มีช่องทางการไหลเล็กๆ และจุดปลายสุดของเส้นทางการไหลของน้ำพลาสติกไม่สร้างช่องระบายอากาศ (Air Vent) ไว้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องฟองอากาศ	5	5	5	5	5	25	125	625	5	0

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
28	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกัน จุดที่บางที่สุดอยู่ปลายสุดของแนวการไหล ช่องทางน้ำเข้าพลาสติกมีขนาดเล็ก และมีระบบหล่อเย็นไม่สมดุล แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก	4	5	4	5	5	23	107	529	4.6	0.55
29	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีผนังหนาแตกต่างกันเป็นชั้นๆตามแนวความยาวของชิ้นงาน และทางเข้าของน้ำพลาสติกมีขนาดเล็กเข้าจุดที่หนาที่สุด แนวการไหลไปทิศทางความยาวของชิ้นงาน พร้อมกับให้ชิ้นงานมีรูอยู่ตรงกลาง แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยพ่น ครีบก้น ชิ้นงานไม่เต็ม และรอยประสาน	5	4	5	4	5	23	107	529	4.6	0.55
30	ลักษณะของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถ้าออกแบบให้ชิ้นงานมีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม แล้วมีผนังกันตรงกลางแบ่งกล่องออกเป็น 4 ช่อง ผนังกันมีความหนาไม่เท่ากัน และที่มุมกล่องมีความหนา มากกว่าความหนาของผนังโดยรวม และไม่ได้ทำรูระบายอากาศในแม่พิมพ์ แล้วนำแม่พิมพ์ไปทดลองฉีด จะมีแนวโน้มให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดรอยยุบ และฟองอากาศ	5	5	4	5	4	23	107	529	4.6	0.55

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน									
		ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum x$	$\sum x^2$	$(\sum x)^2$	$\bar{x}$	SD
		1	2	3	4	5					
	รวม									4.9	0.14

การประเมินการออกแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก อยู่ในเกณฑ์ดีคือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.9

สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

- ข้อ 1. ลักษณะแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่แสดงเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก
- ข้อ 2. ลักษณะแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่แสดงเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก
- ข้อ 3. ลักษณะแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกที่แสดงเรื่องรอยยุบ และ ฟองอากาศ
- ข้อ 4. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก
- ข้อ 5. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอย ฟัน ชันงานไม่เต็ม กรีบ และรอยประสาน
- ข้อ 6. จากแบบภาพชุดแม่พิมพ์ข้างบนที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอย ยุบ และฟองอากาศ

ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านมีความคิดเห็นว่าเหมาะสม

ภาคผนวก ง
แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพใน 5 หัวข้อดังนี้

- 1.1 ลักษณะกายภาพทั่วไป
- 1.2 ลักษณะการใช้งาน
- 1.3 ลักษณะการบำรุงรักษา
- 1.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน
- 1.5 ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2. แบบประเมินแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดที่เกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1:

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 1 มีทั้งหมด 30 ข้อ
2. โปรดขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่านหลังจากทดสอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยการนำไปฉีด โดยมีเกณฑ์การให้ค่าระดับคะแนนที่กำหนดไว้ดังนี้

5	หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก
4	หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี
3	หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้
2	หมายถึง ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง
1	หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

ตอนที่ 2: แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้องปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
1	ลักษณะทางกายภาพ					
	1.1 ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้					
	1.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้					
	1.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน					
2	ลักษณะการใช้งาน					
	2.1 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง					
	2.2 มีคู่มือการปฏิบัติงานของชุดแม่พิมพ์					
	2.3 ในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก					
3	ลักษณะการบำรุงรักษา					
	3.1 สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้					
	3.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย					
	3.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้ โดยง่าย					
4	ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน					
	4.1 ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้สะดวกไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้อง ปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ ได้ (1)
	4.2 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถฉีดขึ้นงานพลาสติกให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้					
	4.3 มีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงานฉีดพลาสติก					
5	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก					
	5.1 ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริงแม่พิมพ์ตัวที่ 1					
	5.1.1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ					
	5.1.2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว					
	5.1.3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก					
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>					
	5.1.4 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟัน					
	5.1.5 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม					
	5.1.6 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบ					
	5.1.7 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน					
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u>					
	5.1.8 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ					
	5.1.9 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้อง ปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ ได้ (1)
	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก					
	5.2 ประเมินผลโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม					
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 1</u>					
	5.2.1 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ					
	5.2.2 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว					
	5.2.3 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก					
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>					
	5.2.4 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟัน					
	5.2.5 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม					
	5.2.6 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ					

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้อง ปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ ได้ (1)
	5.2.7 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีด พลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิง วิศวกรรมเรื่องรอยประสาน					
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u> 5.2.8 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีด พลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิง วิศวกรรมเรื่องรอยยุบ					
	5.2.9 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีด พลาสติกแสดงผลจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิง วิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ					

ตอนที่ 3: ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

3.1 ด้านสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

.....

.....

.....

.....

3.2 ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

.....

.....

.....

.....

3.3 อื่นๆ

.....

.....

.....

.....

หมายเหตุ กำหนดเกณฑ์การแปลความหมายทางด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

คะแนน	แปลความ	
5	ผลการประเมินในระดับดีมาก	= ผ่านเกณฑ์
4	ผลการประเมินในระดับดี	= ผ่านเกณฑ์
3	ผลการประเมินในระดับพอใช้	= ไม่ผ่านเกณฑ์
2	ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง	= ไม่ผ่านเกณฑ์
1	ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้	= ไม่ผ่านเกณฑ์

ภาคผนวก จ
แบบตรวจสอบความเที่ยงตรงของ
แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แบบตรวจสอบความเที่ยงตรงของ แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ตอนที่ 1: คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพดังนี้

ด้านสมรรถนะของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

- 1.1 ลักษณะกายภาพทั่วไป
- 1.2 ลักษณะการใช้งาน
- 1.3 ลักษณะการบำรุงรักษา
- 1.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

ด้านประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

- 1.5 การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง
- 1.6 การแสดงผลแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม

2. แบบประเมินแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ตอนที่ 2: แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีทั้งหมด 30 ข้อ

ตอนที่ 3: แบบสอบถามปลายเปิดที่เกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมี 3 ข้อ

3. ให้ท่านพิจารณาเนื้อหาของข้อคำถามของแบบสอบถามแต่ละข้อว่ามีความสอดคล้องกับเนื้อหาในภาคพิเศษเฉพาะด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สร้างขึ้นตรงกันหรือไม่ โดยกำหนดให้คะแนนเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

- | | | |
|-----|---------|---|
| + 1 | หมายถึง | แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับเนื้อหานั้น |
| 0 | หมายถึง | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับเนื้อหานั้น |
| - 1 | หมายถึง | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับเนื้อหานั้น |

4. ให้ท่านทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องตารางระดับคะแนนของเกณฑ์ในการพิจารณาข้อถามแต่ละข้อว่ามีความสอดคล้องกับเนื้อหาตามความคิดเห็นของท่านตามความเป็นจริง

ขอขอบคุณท่านที่ให้ความอนุเคราะห์มา ณ โอกาสนี้

นายอนุศักดิ์ กาญจน์

ข้อที่	รายละเอียด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		1	0	-1
1	ลักษณะทางกายภาพ			
	1.1 ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้			
	1.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้			
	1.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน			
2	ลักษณะการใช้งาน			
	2.1 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง			
	2.2 มีคู่มือการปฏิบัติงานของชุดแม่พิมพ์			
	2.3 ในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก			
3	ลักษณะการบำรุงรักษา			
	3.1 สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้			
	3.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย			
	3.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย			
4	ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน			
	4.1 ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้สะดวกไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน			
	4.2 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติกให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้			
	4.3 มีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงานฉีดพลาสติก			
	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก			
	5.1 ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง <u>แม่พิมพ์ตัวที่ 1</u>			
	5.1.1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโก่งงอ			

ข้อที่	รายละเอียด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		1	0	-1
	5.1.2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง การหดตัว			
	5.1.3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง รอยการไหล ของน้ำพลาสติก			
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>			
	5.1.4 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง รอยพ่น			
	5.1.5 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง ชิ้นงานไม่เต็ม			
	5.1.6 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง ครีบ			
	5.1.7 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง รอยประสาน			
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u>			
	5.1.8 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง รอยยุบ			
	5.1.9 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่อง ฟองอากาศ			
	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก			
	5.2 ประเมินผลโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดง ข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับแบบจำลองแสดงผล จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม			
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 1</u>			
	5.2.1 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม เรื่องการโก่งงอ			
	5.2.2 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม เรื่องการหดตัว			
	5.2.3 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม เรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก			

ข้อที่	รายละเอียด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		1	0	-1
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>			
	5.2.4 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟ่น			
	5.2.5 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม			
	5.2.6 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ			
	5.2.7 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน			
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u>			
	5.2.8 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ			
	5.2.9 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ			

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ด้านสมรรถนะของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

.....

.....

ด้านประสิทธิภาพของชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

.....

.....

อื่นๆ

.....

.....

**ค่าความเที่ยงตรงของ
แบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก**

ข้อที่	รายละเอียด	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	ผล
		1	2	3	4	5		
1	ลักษณะทางกายภาพ							
	1.1 ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความเหมาะสมสามารถนำไปฉีดกับเครื่องฉีดพลาสติกที่กำหนดไว้ได้	1	1	1	1	1	1	ดี
	1.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้	1	1	0	1	1	0.8	ดี
	1.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงและความปลอดภัยในการใช้งาน	1	1	0	1	0	0.6	ดี
2	ลักษณะการใช้งาน							
	2.1 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถทำการฉีดได้อย่างต่อเนื่อง	0	1	1	0	1	0.6	ดี
	2.2 มีคู่มือการปฏิบัติงานของชุดแม่พิมพ์	1	1	1	1	1	1	ดี
	2.3 ในการปฏิบัติงานฉีดของชุดแม่พิมพ์ สามารถทำงานได้ไม่ซับซ้อนและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	0	1	1	0	1	0.6	ดี
3	ลักษณะการบำรุงรักษา							
	3.1 สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกก่อนและหลังการปฏิบัติงานฉีดได้	1	0	1	1	1	0.8	ดี
	3.2 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถถอดประกอบในการซ่อมบำรุงรักษาได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย	1	1	1	1	1	1	ดี
	3.3 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถซ่อมและสร้างมาทดแทนได้โดยง่าย	1	1	1	1	1	1	ดี
4	ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน							
	4.1 ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไปใช้งานได้อย่างสะดวกไม่ยุ่งยากในการปฏิบัติงาน	1	0	0	1	1	0.6	ดี

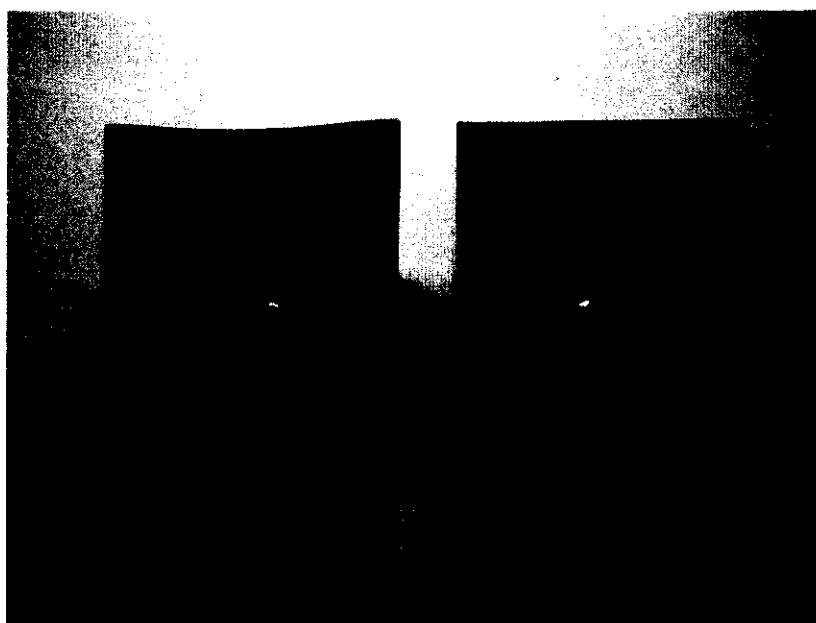
ข้อที่	รายละเอียด	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	ผล
		1	2	3	4	5		
	4.2 ในการฉีดพลาสติกของชุดแม่พิมพ์สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติกให้เกิดข้อบกพร่องตามที่กำหนดไว้ได้	0	0	1	1	0	0.6	ดี
	4.3 มีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงานฉีดพลาสติก	1	1	0	1	0	0.6	ดี
5	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก							
	5.1 ประเมินผลจากแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการฉีดจริง							
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 1</u>							
	5.1.1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโค้งงอ	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.2 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.3 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำพลาสติก	1	1	1	1	1	1	ดี
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>							
	5.1.4 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยพ่น	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.5 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.6 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบก	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.7 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยประสาน	1	1	1	1	1	1	ดี
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u>							
	5.1.8 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยยุบ	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.1.9 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ	1	1	1	1	1	1	ดี

ข้อที่	รายละเอียด	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	ผล
		1	2	3	4	5		
	ประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก							
	5.2 ประเมินผลโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แสดง ข้อบกพร่องที่ได้จากชิ้นงานที่ฉีดจริงกับ แบบจำลองแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรม							
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 1</u>							
	5.2.1 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการโก่งงอ	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.2.2 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.2.3 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยการไหล ของน้ำพลาสติก	1	1	1	1	1	1	ดี
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 2</u>							
	5.2.4 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยฟัน	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.2.5 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.2.6 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องครีบ	1	1	1	1	1	1	ดี
	5.2.7 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน	1	1	1	1	1	1	ดี
	<u>แม่พิมพ์ตัวที่ 3</u>							
	5.2.8 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ	1	1	1	1	1	1	ดี

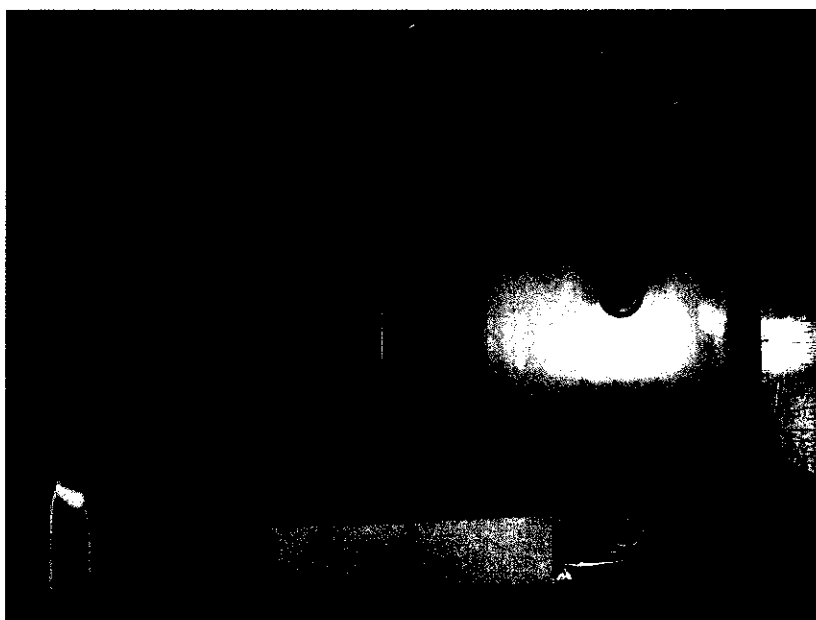
ข้อที่	รายละเอียด	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	ผล
		1	2	3	4	5		
	5.2.9 แบบจำลองข้อบกพร่องในงานฉีดพลาสติก แสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย วิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ	1	1	1	1	1	1	ดี

ภาคผนวก จ

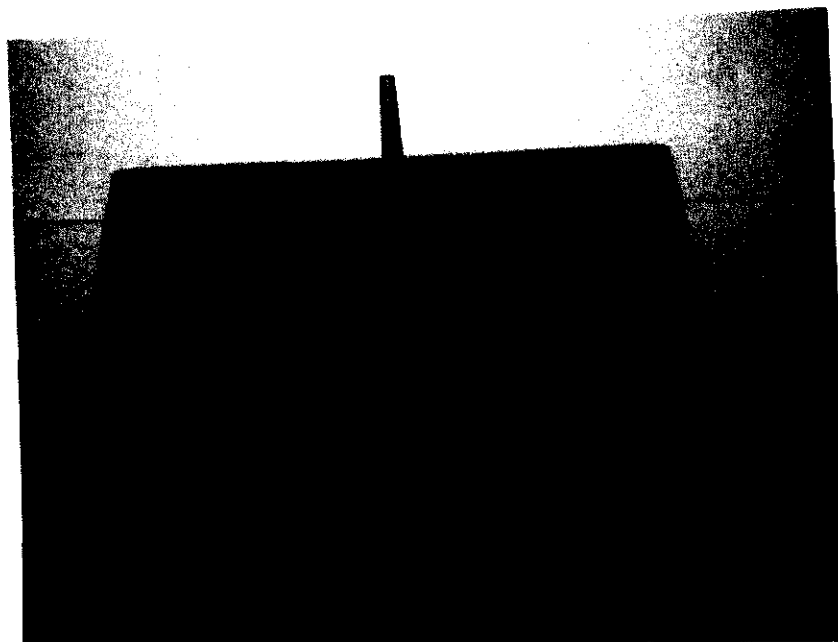
**รูปภาพแสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก
และชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก**



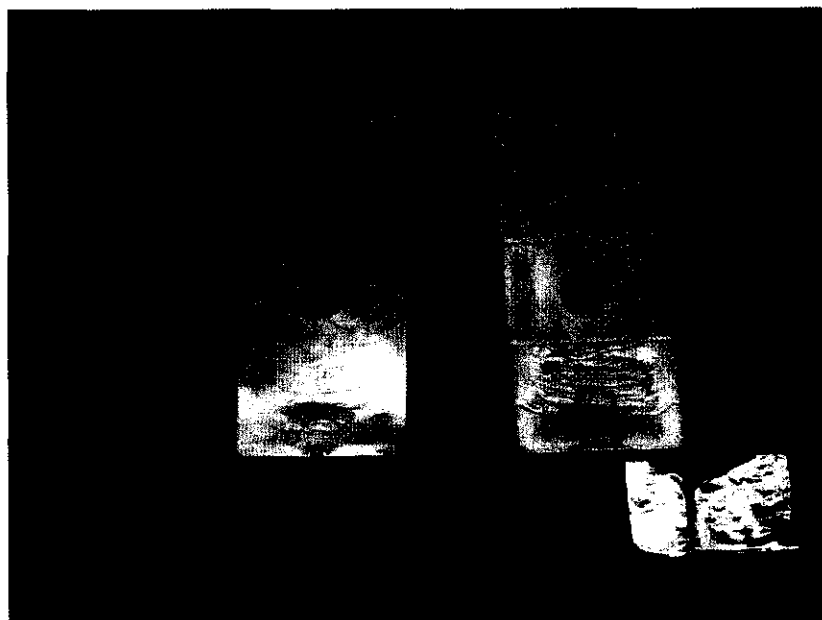
ภาพประกอบ 68 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการ โกงงอ



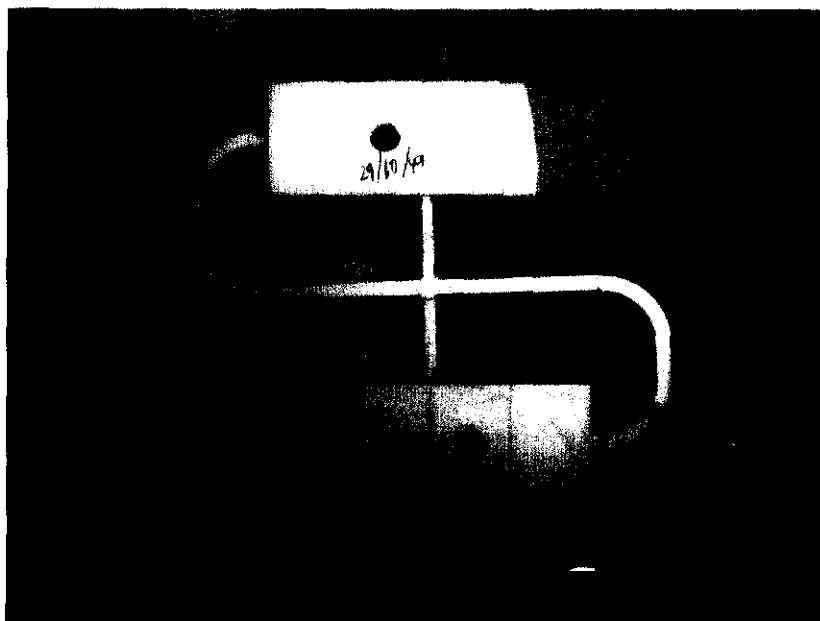
ภาพประกอบ 69 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการหดตัว



ภาพประกอบ 70 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยการไหลของน้ำ
พลาสติก



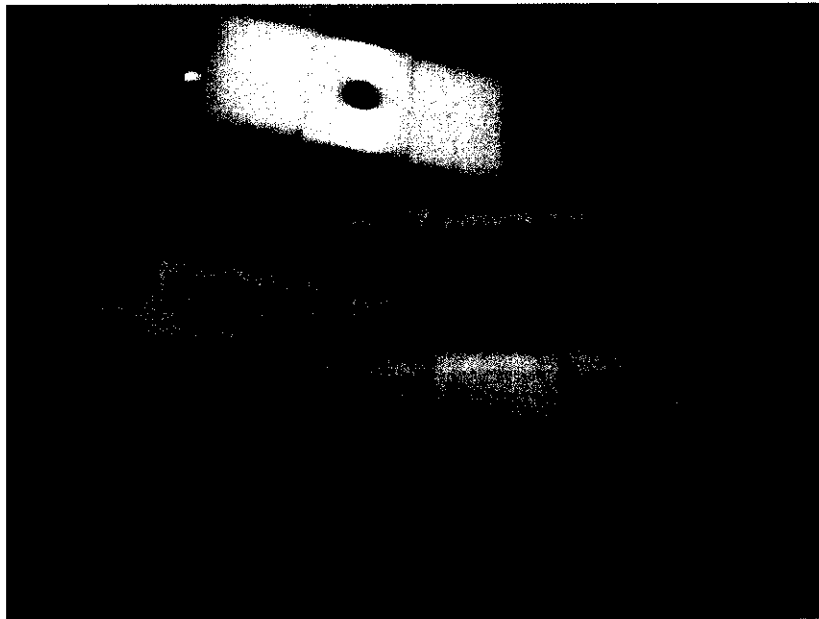
ภาพประกอบ 71 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องรอยฟ่น



ภาพประกอบ 72 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องชิ้นงานไม่เต็ม



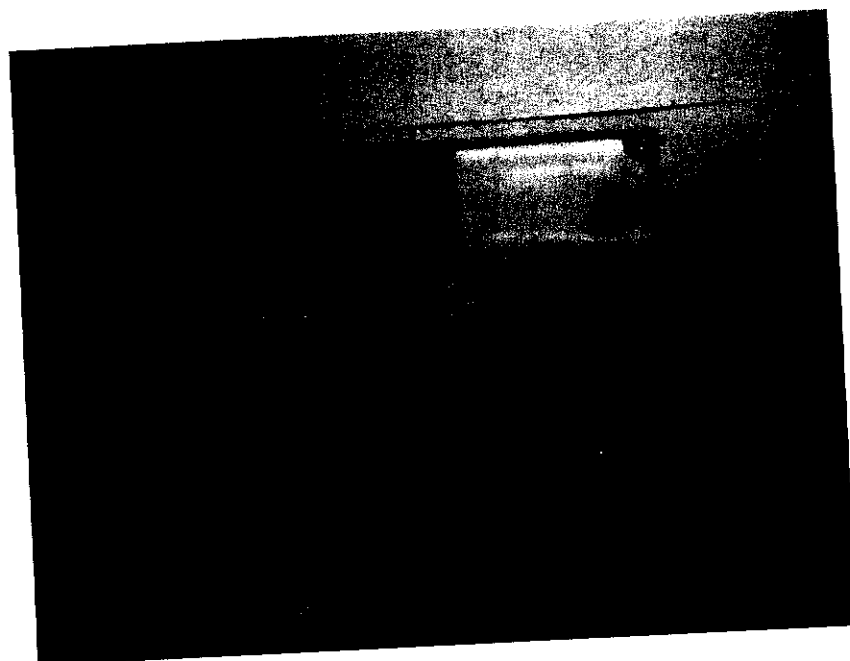
ภาพประกอบ 73 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องครีบก



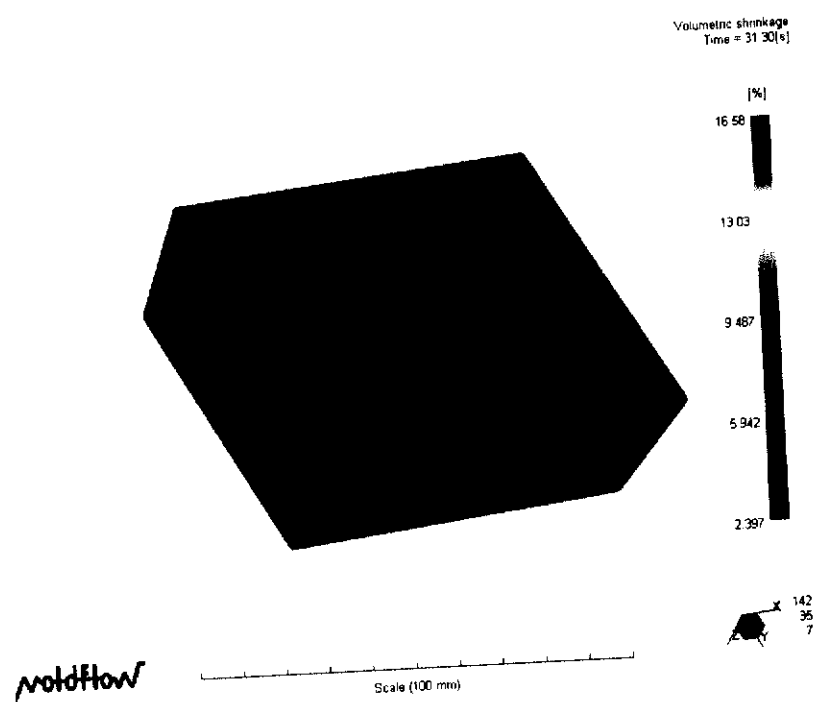
ภาพประกอบ 74 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเครื่องรียประสาน



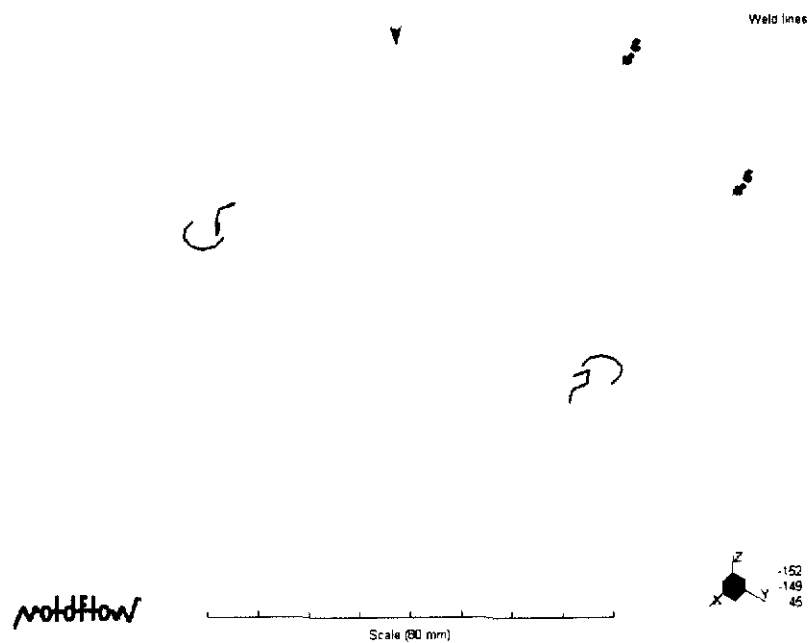
ภาพประกอบ 75 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเครื่องรียยุบ



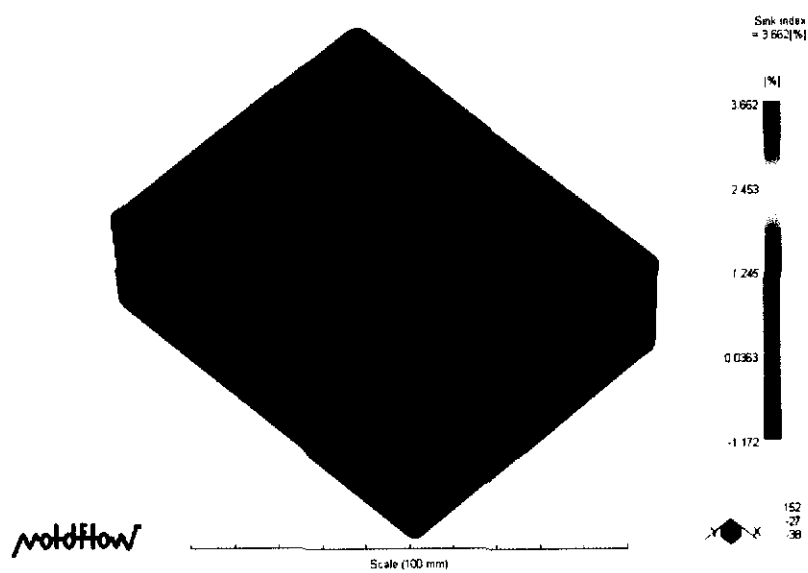
ภาพประกอบ 76 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องฟองอากาศ



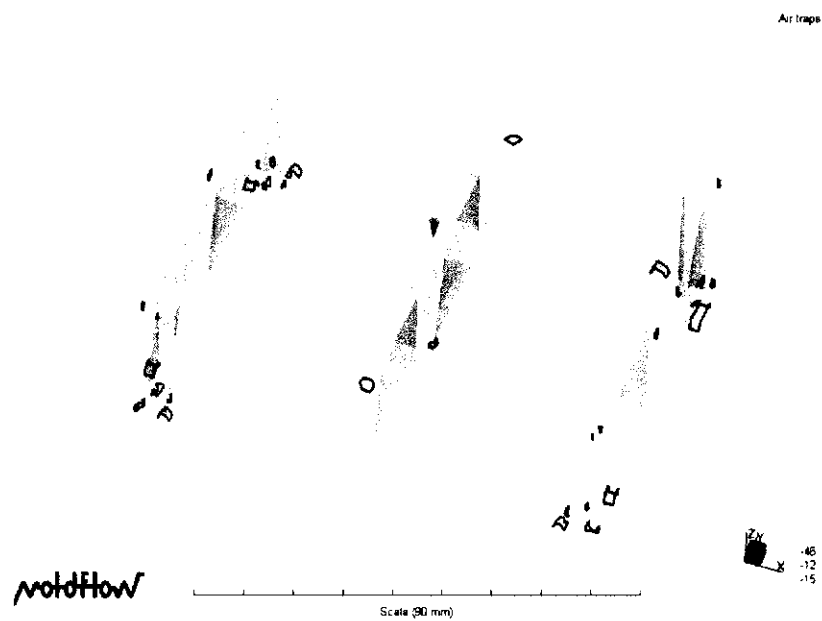
ภาพประกอบ 77 แสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องการหดตัว



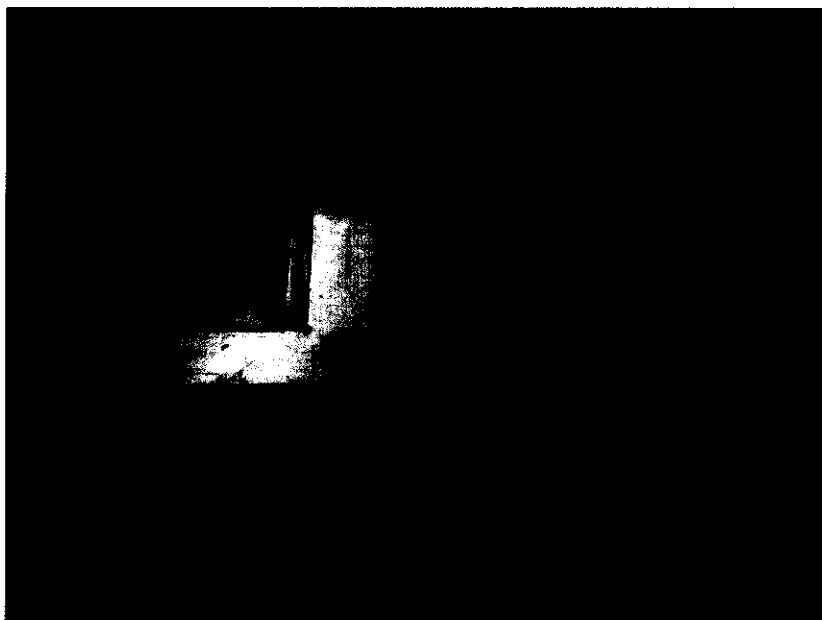
ภาพประกอบ 78 แสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยประสาน



ภาพประกอบ 79 แสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องรอยยุบ



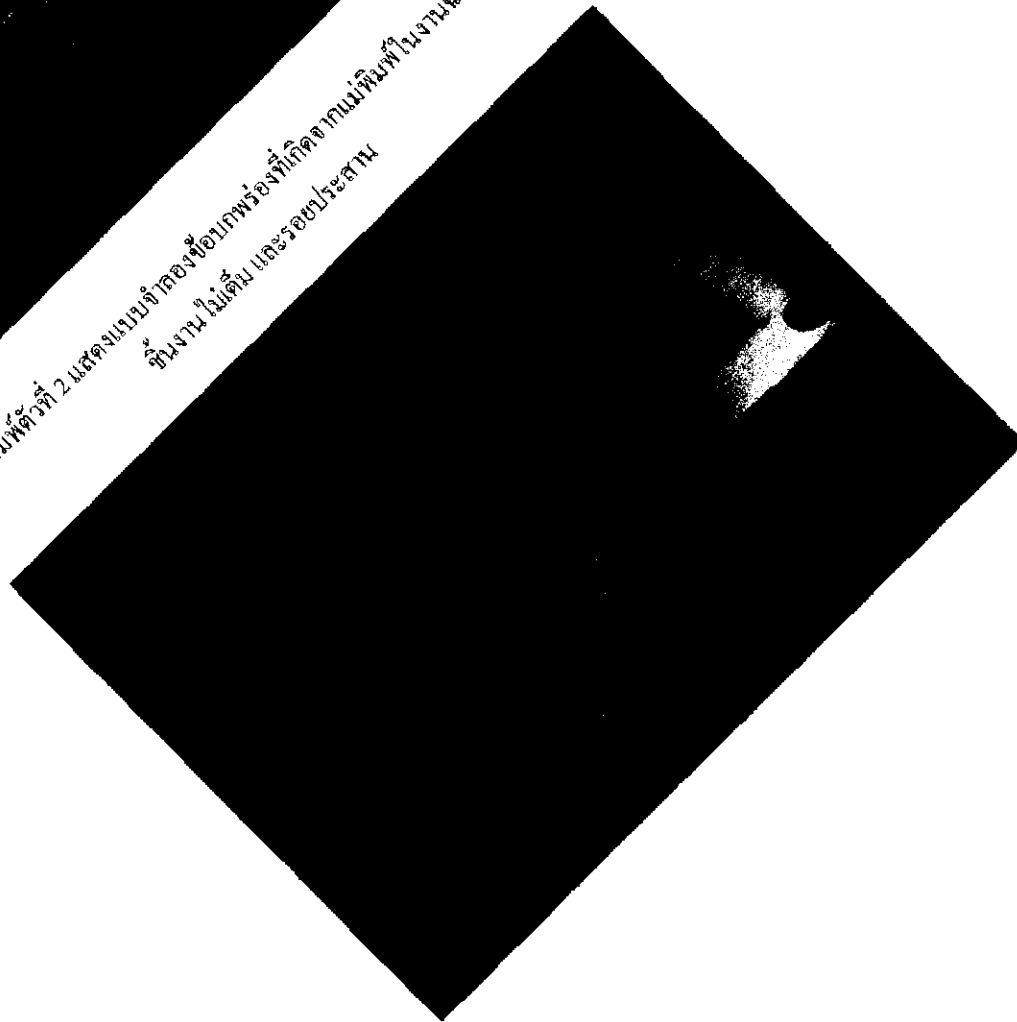
ภาพประกอบ 80 แสดงแบบจำลองที่แสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกแสดงผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลเชิงวิศวกรรมเรื่องฟองอากาศ



ภาพประกอบ 81 แม่พิมพ์ตัวที่ 1 แสดงแบบจำลองข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติกเรื่องการโค้งงอ การหดตัว และรอยการไหลของน้ำพลาสติก



ภาพประกอบ 82 แผ่นพับที่ 2 แสดงแบบจำลองของชื่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีฉุกเฉิน
 จำนวน 10 แผ่น และรูปประกอบ



ภาคผนวก ข
หนังสือขอความอนุเคราะห์

ที่ ศธ 0519.12/3119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน กรรมการผู้จัดการ บริษัท เลิกเซ่งเทรดดิ้ง จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจนี นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุทัย สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายกมล วัฒนฉะยาน ผู้จัดการผลิตภัณฑ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจนี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศธ 0519.12/ 3119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน กรรมการผู้จัดการ บริษัท สยามโมลด์ แอนด์ พาร์ท จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจนี นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายดุสิต จันทร์เพ็ญ ผู้จัดการผลิตภัณฑ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจนี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศธ 0519.12/ 31/19



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน กรรมการผู้จัดการ บริษัท อยุธา โพลีเมอร์ จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจน์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจน์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทญสิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศธ 0519.12/ 3119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน กรรมการผู้จัดการ บริษัท พี แอนด์ พี พลาสติก เทค จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจนี นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์ไอลาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจนี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญสุรี จีระเชษฐกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศธ 0519.12/3/19



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจนี นิตยระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ ผู้อำนวยการสถาบันฯ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจนี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศธ 0519.12/๖11๗



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจนี นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายชัยรัตน์ แก้วด้วง วิศวกร 7 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจนี และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิติ โทรศัพท 02-9428567 ต่อ 305



ที่ ศธ 0519.12/3/1๙

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจน์ นิติระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายสมปอง อินทอง หัวหน้าฝ่ายโพลีเมอร์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจน์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิติ โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ที่ ศร 0519.12/347



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม

เนื่องด้วย นายอนุศักดิ์ กาญจน์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์อัญชนา วงษ์โค เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการสร้างแบบจำลองแสดงข้อบกพร่องที่เกิดจากแม่พิมพ์ในงานฉีดพลาสติก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามให้ นายอนุศักดิ์ กาญจน์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เพ็ญศิริ จิระเดชากุล)

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-9428567 ต่อ 305

ภาคผนวก ข
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และตรวจแบบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
 - 1.1. นายกมล วัฒนธนาณ ผู้เชี่ยวชาญด้านพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 10 ปี
ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายผลิต
สถานที่ทำงาน บริษัท เลียกเซ่งเทรตติ้ง จำกัด
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเคมีอุตสาหกรรม
 - 1.2. นายดุสิต จันทร์เพ็ญ ผู้เชี่ยวชาญด้านการฉีดพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 15 ปี
ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายผลิต
สถานที่ทำงาน บริษัท สยามโมลด์ แอนด์ พาร์ท จำกัด
 - 1.3. นายพิสิฐ ธีรศิลป์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการฉีดพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 10 ปี
ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ
สถานที่ทำงาน บริษัท อยุธยาโพลีเมอร์ จำกัด
 - 1.4. นายปิยรักษ์ ปิยพันธุ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการฉีดพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 10 ปี
ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ
สถานที่ทำงาน บริษัท พี แอนด์ พี พลาสติกเทค จำกัด
วุฒิการศึกษา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีการผลิต
 - 1.5. ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
ประสบการณ์ในการทำงาน 12 ปี
ตำแหน่ง ผู้อำนวยการ
สถานที่ทำงาน บริษัท สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

2. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

- 2.1. นายชัยรัตน์ แก้วด้วง ผู้เชี่ยวชาญด้านแม่พิมพ์
ประสบการณ์ในการทำงาน 18 ปี
ตำแหน่ง วิศวกร 7
สถานที่ทำงาน สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรม
ส่งเสริมอุตสาหกรรม
วุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรม-
อุตสาหกรรม
- 2.2. นายสมปอง อินทอง ผู้เชี่ยวชาญด้านการฉีดพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 15 ปี
ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายโพลีเมอร์
สถานที่ทำงาน สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต
ทางอุตสาหกรรม
- 2.3. ดร.อัญชนา วงษ์โต ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีดพลาสติก
ประสบการณ์ในการทำงาน 10 ปี
ตำแหน่ง อาจารย์ ระดับ 6
สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายอนุศักดิ์ กาญจนี
เกิดวันที่	5 มกราคม 2509
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	219/85 หมู่ 4 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทร. 0-2973-3360
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	หัวหน้าฝ่ายแม่พิมพ์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2942-8567-70, โทรสาร. 0-2942-8571
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ช่างกลโรงงาน) วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย
พ.ศ. 2529	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างเทคนิคการผลิต) วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์
พ.ศ. 2539	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิต) มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
พ.ศ. 2548	การศึกษามหาบัณฑิต (อุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ