

การปรับลดขนาดความหนาของปีกบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก
สำหรับติดตั้งประตูปิวีซีของห้องน้ำ

นายพงศ์เทพ วีระพงศ์ วศ.ม. (วิศวกรรมกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์)
นายนราพงศ์ ช่วยชัย คศ.ม. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)	การปรับลดขนาดความหนาของปีกบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก สำหรับติดตั้งประตูพีวีซีของห้องน้ำ
ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย)	นายนราพงศ์ ช่วยชัย นายพงศ์เทพ วีระพงศ์
หน่วยงาน	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ปีงบประมาณ	2555

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการปรับลดขนาดความหนาของปีกบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปต่อความคงทนและความสะดวกในการติดตั้งใช้งานกับประตูห้องน้ำพีวีซี ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดความหนาของปีกบานพับพลาสติก ผลการทดลองพบว่า ในกระบวนการ ออกแบบแม่พิมพ์เพื่อฉีดขึ้นรูปบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักออกแบบให้มีทางเข้าแบบ ด้านข้างจำนวน 4 ทางโดยมีการปรับขนาดทางวิ่งให้มีรูปแบบการไหลอย่างสมดุลหน้าตัดทรงกลม สามารถป้องกันการเกิดการต้านทานการไหล การไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการ จัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของพลาสติกโดยใช้แบบจำลองวิเคราะห์การไหลของพลาสติก หลอมเหลวด้วยคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างแม่พิมพ์จริงเพื่อฉีดขึ้นรูป บานพับพลาสติกโดยพลาสติกที่เลือกใช้ในการฉีดขึ้นรูปบานพับมี 2 เกรด คือ พอลิโพรพิลีนเกรด RP 440 N และ POLENE 2300 NCA และจากการศึกษาการเปรียบเทียบความทนทานต่อการพับงอ ที่ขนาดความหนาปีกบานพับดังต่อไปนี้ 3.75, 4.25 และ 5.25 มิลลิเมตร พบว่า บานพับที่ฉีดขึ้นรูป ด้วยพอลิโพรพิลีนเกรด RP 440 N และ POLENE 2300 NCA สามารถพับงอได้มากกว่า 100,000 ครั้ง ซึ่งเทียบเท่ากับมาตรฐานอุตสาหกรรมของการทดสอบการพับงอของบานพับโลหะ จากนั้นเมื่อ ทำการทดลองใช้บานพับพลาสติกที่มีขนาดความหนาของปีก 3.75 มิลลิเมตร กับประตูห้องน้ำพีวีซีใน สถานะการใช้งานจริง ณ โรงเรียนท่าศาลาประสิทธิ์ศึกษา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า สามารถใช้ งานได้ทนทาน ง่ายในการติดตั้งและมีประสิทธิภาพการใช้งานอีกทั้งยังหลีกเลี่ยงการเกิดสนิม การกัด กร่อนจากปฏิกิริยาทางเคมีและไม่เกิดเสียงดังในระหว่างการเปิด-ปิดประตู

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน, การฉีดขึ้นรูป, บานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก, การต้านทานการไหล

Thesis Title	The Resize Thickness of The Wing's Plastic Pinless Butt Hinge for Lavatory's PVC Door Application
Candidate	Mr. Narapong Chuaychai Mr. Pongtep Weerapong
Organization	Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University
Fiscal Year	2012

Abstract

This aim of this study was to reduce thickness of wing's plastic pinless butt hinges, that have been installed with restroom's PVC Door with injection molding process. Thickness of wing region's plastic pinless butt hinge was the main issue to be considered in which the variable thickness of wing parts were range from 3.75, 4.25 to 5.25 mm respectively In addition, the designs were analyzed and simulated by Finite Element Method in order to determine the proper gate location, the runner dimension, and injection molding tryouts were also conducted. Due to the increase of fluidity resistance at hinges during molding, several defects such as hesitation effects, short shot or premature failure can occur with the improper selection of gate location. The analytical results were used in mold fabrication and plastic injection molding. It was found that four side gates systems injection mold with balanced runner were the most appropriate design and gave the most effectiveness. Polypropylene grade MOPLEN RP 440N and POLENE 2300 NCA were chosen for injection molding. Plastic pinless butt hinge prototypes were tested and found that it can resist to bending more than 100,000 times without any changes observed same as Thai industrial standards of commercial metal butt hinge standard.As expected, 3.75 mm thickness was the most durable and effectiveness. Finally, plastic pinless butt hinges have been installed with the PVC restroom's doors in Thasala Prasit Suksa School, Nakhon Sri Thammarat. The result found that it was the easiest for installation, as well as its advantages in the resistance of rusting and chemical corrosion and also the reduction of the unwanted sound.

Keywords : Polypropylene, Injection Molding, Plastic Pinless Butt Hinge, Hesitation

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความรู้ คำแนะนำต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในระหว่างการทำวิจัย รวมถึงการได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยจาก รศ.ดร.เพลินพิศ บุชาธรรม และ ผศ.จุลศิริ ศรีงามผ่อง ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. พีระวัฒน์ สมนึก ผู้เชี่ยวชาญกระบวนการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ สำหรับความรู้และคำแนะนำในการทำงานวิจัย สำหรับข้อเสนอแนะในการจัดทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณกิตติศักดิ์ แพทย์ดี ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมแม่พิมพ์พลาสติก บริษัท ไทยซัมมิท โมล แมนูแฟคเจอร์ จำกัด สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานซอฟต์แวร์ Moldflow ขอขอบคุณ คุณจิรเดช ธนวรพงศ์ วิศวกร บริษัท Rally Tasker.Co ,LTD สำหรับคำแนะนำในการออกแบบแม่พิมพ์ ขอขอบคุณ คุณสนอง บุญฟู บริษัท เค บี เอส อินเตอร์โมลด์ จำกัด สำหรับการให้คำแนะนำการทำแม่พิมพ์พลาสติก สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ และครอบครัว สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ มาด้วยดีเสมอมา

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฎ
รายการรูปประกอบ	ช
รายการสัญลักษณ์	ต
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 แนวโน้มของอุตสาหกรรมพลาสติกของประเทศไทยในปัจจุบัน	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บานพับ	5
2.1.1 บานพับสองปีก	5
2.1.1.1 บานพับโลหะ	5
2.1.1.2 บานพับพลาสติก	6
2.1.2 บานพับปรับมุมชนิดฝืด	6
2.1.3 บานพับสปริง	8
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก	8

	หน้า
2.2.1 การแบ่งประเภทของพลาสติก	8
2.2.1.1 Thermoplastic	8
2.2.1.2 Thermosetting	8
2.2.2 สมบัติที่สำคัญของพลาสติก	9
2.2.2.1 เทอร์โมพลาสติกประเภทอสัณฐาน	9
2.2.2.2 เทอร์โมพลาสติกประเภทกึ่งผลึก	11
2.2.3 การเลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม	12
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของพลาสติกหลอมเหลว	14
2.3.1 การไหลของพลาสติกหลอมเหลว	14
2.3.1.1 การไหลในรูปแบบที่เกิดจากแรงดึงหรือแบบยืด	14
2.3.1.2 การไหลในรูปแบบที่เกิดจากแรงเฉือน	14
2.3.2 สมบัติของพลาสติกหลอมเหลวในการไหลแบบเฉือน	14
2.3.2.1 ของไหลนิวโตเนียน	14
2.3.2.2 ของไหลนอนนิวโตเนียน	15
2.3.3 การไหลของเทอร์โมพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป	17
2.3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลของพลาสติกหลอมเหลว	17
2.3.4.1 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์หลอมเหลว	17
2.3.4.2 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล	17
2.3.4.3 ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์	18
2.3.4.4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	18
2.3.4.5 อุณหภูมิ	18
2.3.4.6 ความดัน	18
2.3.4.7 สารเติมแต่ง	19
2.3.4.8 ความเค้นเฉือน	19
2.3.4.9 อัตราเฉือน	19
2.4 การเกิดการต้านทานการไหล	19

	หน้า
2.4.1 การหลีกเลี่ยงการไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่ทำให้เกิด การต้านทานการไหล	21
2.5 กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลวขั้นรูป	21
2.5.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดขั้นรูปพลาสติกหลอมเหลว	21
2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก	22
2.6.1 อิทธิพลของชนิดพลาสติก	22
2.6.2 อิทธิพลของการออกแบบ	23
2.6.3 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก	23
2.7 การออกแบบแม่พิมพ์	23
2.7.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	23
2.7.1.1 แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น	24
2.7.1.2 แม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น	25
2.7.2 คาวีตี้และคอร์	25
2.7.3 ระบบทางวิ่ง	25
2.7.3.1 ทางวิ่ง	26
2.7.3.2 ทางเข้า	27
2.7.4 การปลดชิ้นงาน	29
2.7.5 แผ่นปลดชิ้นงาน	31
2.7.6 ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์	32
2.7.7 ช่องระบายอากาศ	34
2.8 การใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE)	34
2.8.1 การใช้ CAE ในการวิเคราะห์การออกแบบ	35
2.8.2 การวิเคราะห์แบบ Fusion™ Modeling and analysis	38
2.8.3 การวิเคราะห์แบบ Mid-plane 2 ½ shells	39
2.9 การคำนวณจำนวนตัวอย่างเพื่อให้ใช้ประมาณค่าประชากร	40
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41

	หน้า
3. การออกแบบและวิธีการทดลอง	42
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	42
3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	43
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	44
3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์	44
3.3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์	44
3.3.1.2 ซอฟต์แวร์ Mold Wizard	45
3.3.1.3 ซอฟต์แวร์ CATIA P3 V5R14	45
3.3.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์	45
3.3.2.1 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Mold base	45
3.3.2.2 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Inserts	45
3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดพลาสติก	46
3.3.3.1 ซอฟต์แวร์ Moldflow Plastic Insight 5.0	46
3.3.3.2 เครื่องฉีดพลาสติก	46
3.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกล	46
3.3.4.1 การทดสอบการพับงอ (Flexibility Testing)	46
3.4 การคำนวณหาจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการพับงอของชิ้นงาน	47
3.5 การออกแบบการทดลอง	47
3.6 วิธีการทดลอง	49
3.6.1 การออกแบบบานพับพลาสติก	49
3.6.2 การสร้างโมเดลด้วย CATIA	50
3.6.2.1 ออกแบบวาดรูปเรขาคณิต 2 มิติ	50
3.6.2.2 ออกแบบสร้างรูปทรง 3 มิติ	50
3.6.2.3 สร้างตำแหน่งรูสกรู	51
3.6.2.4 วาดแบบโครงร่าง 2 มิติจากรูปทรง 3 มิติที่ออกแบบไว้	51
3.7 การวิเคราะห์ชิ้นงานโดยใช้ CAE	52
3.7.1 เข้าสู่โปรแกรม CAD model	53

	หน้า
3.7.2 การแปร CAD model (สร้างเมช)	53
3.7.3 การหาความหนาแน่นเมท	54
3.7.4 การจัดระเบียบการเมชชิ้นงาน	54
3.7.5 การเลือกใช้วัสดุ	55
3.7.6 การเลือกตำแหน่งทางเข้า	56
3.7.6.1 การพิจารณาตำแหน่งทางเข้า	56
3.7.6.2 การคำนวณหาขนาดของทางเข้า	59
3.7.7 การเลือกเครื่องฉีดพลาสติก	60
3.7.8 การกำหนดค่า molding condition	61
3.7.9 การกำหนดค่า Analysis parameter	61
3.7.10 ทำการวิเคราะห์	62
3.7.11 การแก้ปัญหาการเติม	63
3.7.12 การควบคุมทางวิ่งให้มีการไหลของพอลิเมอร์ไหลอย่างสมดุล	63
3.7.12.1 การกำหนดขนาดของทางวิ่ง	63
3.7.12.2 การออกแบบระบบทางวิ่ง	63
3.7.13 การกำหนด packing profile	66
3.8 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการ	66
3.8.1 เวลาการเติมและความดันที่ใช้ในการเติมพลาสติกในคาวิตี	66
3.8.2 Pack/Hold pressure and time	67
3.8.3 Pack/Hold time	67
3.9 การออกแบบระบบหล่อเย็น	68
3.9.1 ระบบหล่อเย็น	68
3.9.2 การวิเคราะห์การหล่อเย็น	69
3.10 การออกแบบแม่พิมพ์	72
3.10.1 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์	72
3.10.2 การสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	76

	หน้า
4. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	79
4.1 การวิเคราะห์แบบจำลองการไหลด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์	79
4.1.1 การตรวจสอบคุณภาพเมทของบานพับพลาสติก	80
4.2 การใช้โปรแกรม Moldflow ในการวิเคราะห์การฉีดพลาสติกหลอมเหลว	81
4.2.1 พอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA	81
4.2.2 พอลิโพรพิลีน เกรด Moplen RP 440 N	85
4.3 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดที่เหมาะสม	89
4.4 เวลาใน 1 รอบการผลิต	91
4.5 การทดสอบสมบัติบานพับพลาสติก	91
4.5.1 สมบัติการทนต่อการพับงอ	91
4.6 การทดลองการติดตั้งบานพับพลาสติก	93
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการทดลอง	94
5.2 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก	100
ก มูลค่าการส่งออกและการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่าง ๆ ประจำปี 2554	101
ข ขนาดระบุ มิติและเกณฑ์ ความคลาดเคลื่อน จำนวนรูตะปูเกลียว และขนาด ตะปูเกลียวของบานพับสองปีก ตาม มอก.759-2531	104
ค เทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ ชื่อทางการค้า สมบัติ การประยุกต์ และเกรด	107
ง คุณสมบัติของเครื่องฉีดพลาสติก	111
จ แบบแม่พิมพ์ฉีดและแบบขึ้นงาน	114
ประวัติผู้วิจัย	119

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	7
2.2	10
2.3	11
2.4	13
2.5	36
3.1	43
3.2	44
3.3	45
3.4	47
3.5	56
3.6	57
3.7	64
3.8	70
3.9	71
4.1	80
4.2	81
4.3	82
4.4	83

ตาราง(ต่อ)	หน้า
4.5 ลักษณะการกระจายค่าความดันและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร	84
4.6 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีน POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร	85
4.7 สมบัติของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N ที่ใช้ในการพิจารณาการฉีดด้วย แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	85
4.8 ค่าสภาวะเงื่อนไขค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีด พอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร	86
4.9 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าคุณภาพของชิ้นงาน ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร	87
4.10 ลักษณะการกระจายค่าความดันและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร	88
4.11 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีด พอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร	89
4.12 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดที่เหมาะสมของพอลิโพรพิลีน เกรด Moplen RP 440 N และ เกรด POLENE 2300 NCA โดยซอฟต์แวร์ Moldflow	89
4.13 ค่าเวลา1รอบการผลิตของการฉีดขึ้นรูปบานพับโดยใช้พอลิโพรพิลีน เกรด Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA ของการฉีดขึ้นรูป บานพับพลาสติกที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร	91
4.14 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับงอของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด	92

ตาราง(ต่อ)	หน้า
4.15 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับเท่ากับ 4.25 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด	92
4.16 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับเท่ากับ 5.25 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด	92
4.17 ผลการทดสอบจำนวนครั้งของการพับของบานพับแต่ละชนิดที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร	93
ก.1 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ประจำปี 2554	102
ก.2 มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ประจำปี 2554	103
ข.1 แสดงขนาดระบุ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน จำนวนรูตะปูเกลียว และขนาดตะปูเกลียวของบาน พับเหล็กกล้า บานพับเหล็กกล้าไร้สนิม บานพับทองเหลืองและบานพับทองบรอนซ์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.759-2531)	106
ค.1 แสดงเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ชื่อทางการค้า สมบัติ การประยุกต์ และเกรด	108
ง.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องฉีดพลาสติก	112

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของบานพับสองปีกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	5
2.2	บานพับปรับมุมชนิดฝืดแบบต่างๆ	6
2.3	บานพับสปริงชนิดต่างๆ	8
2.4	เทอร์โมพลาสติกประเภทอัญฐาน	9
2.5	เทอร์โมพลาสติกประเภทกึ่งผลึก	11
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกแบบต่างๆ	13
2.7	การไหลแบบ fountain flow	14
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของของไหลนิวโตเนียน	15
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความหนืดกับเทียบกับอัตราเฉือนของ Bingham Fluid	15
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความหนืดเทียบกับอัตราเฉือนของ Dilatant Fluid	16
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความหนืดกับอัตราเฉือนของ Pseudoplastic Fluid	16
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับเวลาของ Thixotropic และ Rheopectic fluid	17
2.13	การไหลของพลาสติกหลอมเหลวในตำแหน่งทางเข้าที่ต่างกัน	20
2.14	กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลวขึ้นรูป	21
2.15	ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	24
2.16	โครงสร้างของแม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น	24
2.17	โครงสร้างของแม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น	25
2.18	โครงสร้างของคาวีตีและคอร์	25
2.19	โครงสร้างของระบบทางวิ่ง	26
2.20	การเลือกขนาดของทางวิ่งให้เหมาะสมกับชิ้นงาน	26
2.21	การแก้ไขของชิ้นงานที่มีความบางและความหนา	27
2.22	การปรับขนาดของวิ่งให้มีการเติมพลาสติกหลอมเหลวที่สมดุล	27

รูป (ต่อ)	หน้า
2.23 ทางเข้าแบบต่างๆ	28
2.24 ทางเข้าแบบพัด	29
2.25 การปลดชิ้นงานแบบการปลดพื้น	30
2.26 การปลดชิ้นงานแบบการปลด Boss Ejection	30
2.27 การปลดกระบอกสวม	31
2.28 การปลดชิ้นงานแบบการปลดไฮดรอลิก	31
2.29 ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพ	32
2.30 ตำแหน่งของช่องหล่อเย็นของควาวิตี	33
2.31 การแก้ไขการหล่อเย็นของคอร์	33
2.32 การหล่อเย็นของคอร์ขนาดต่างๆ	34
2.33 การจัดเรียงตัวตามแนวแรงดึงที่เกิดจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลว	36
2.34 การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลตามความสัมพันธ์ของความหนืดและอัตราเฉือน	37
2.35 การถ่ายเทความร้อนของพลาสติกหลอมเหลวที่เกิดระหว่างการไหลในแม่พิมพ์	37
2.36 ผลกระทบที่เกิดจากอัตราเร็วของการฉีดพลาสติกหลอมเหลวที่มีผลต่อการเกิดชั้นที่ แข็งตัวกับผนังแม่พิมพ์	38
2.37 Fusion TM Modeling	39
2.38 Mid-plane 2 ½ shells	40
3.1 เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA	43
3.2 เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N	44
3.3 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Mold base	45
3.4 เครื่องฉีดพลาสติก ENGEL รุ่น ES 200/50 HL	46
3.5 เครื่องทดสอบการพียงของบานพับ	46
3.6 แผนผังการดำเนินงานการศึกษาการผลิตบานพับพลาสติก	48
3.7 แบบและขนาดของบานพับชนิดต่างๆ	49
3.8 การเลือกรายการ Sketcher และเลือกระนาบYZ และกำหนดขนาดของชิ้นงาน	50
3.9 ขั้นตอนการเอาทรงกลม 3 มิติออกจากทรงตัน 3 มิติสี่เหลี่ยมโดยเครื่องมือ remove	50
3.10 การสร้างตำแหน่งรูตะปูโดยการวาดวงกลมตามตำแหน่งที่กำหนด	51

รูป (ต่อ)	หน้า
3.11 แบบที่ผ่านการ edge fillet Definition ตามค่าที่กำหนด	51
3.12 โครงร่าง 2 มิติจากรูปทรง 3 มิติที่ออกแบบไว้	51
3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบชิ้นงาน	52
3.14 CAD Model จาก ซอฟต์แวร์ CATIA	53
3.15 Model ที่ import จากไฟล์ STL เข้าสู่ ซอฟต์แวร์ Moldflow	53
3.16 การเมทชิ้นงาน	54
3.17 ชุดคำสั่งของเครื่องมือเมท	55
3.18 การตรวจสอบคุณภาพของการ mesh	55
3.19 ตำแหน่งทางเข้าบนชิ้นงาน	59
3.20 ลักษณะของทางเข้า แบบ Edge gate	59
3.21 การเลือกใช้เครื่องฉีดในการทดลอง	60
3.22 การเลือกใช้ Molding Condition ในการวิเคราะห์	61
3.23 การพิจารณาค่าสภาวะที่เหมาะสมของการฉีดขึ้นรูป	61
3.24 การตั้งค่า Process Setting Wizard ของการวิเคราะห์ Flow	62
3.25 การตั้งค่า Filling Control Profile Setting	63
3.26 แสดงลักษณะของพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่ง	63
3.27 แสดงลักษณะของระบบทางวิ่งที่ออกแบบในการทดลอง	64
3.28 แสดงการกำหนดโครงร่างการฉีดพลาสติก (Packing profile)	66
3.29 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการเติมและความดัน	67
3.30 การคำนวณการออกแบบระบบหล่อเย็น	68
3.31 การออกแบบระบบหล่อเย็นแบบต่างๆ	69
3.32 แสดงขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์	72
3.33 ระบบทางวิ่งที่ใช้ในการทดลอง	74
3.34 การจับตัวของอากาศที่เกิดในแม่พิมพ์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	75
3.35 ลักษณะของระบบหล่อเย็นในระบบแม่พิมพ์	75
3.36 การพิจารณาและการคำนวณการเผื่อขนาดการหดตัว	76
3.37 ชุดแม่พิมพ์ Mold Base สำเร็จรูป	77

รูป (ต่อ)	หน้า
3.38 การผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง	77
3.39 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปที่ประกอบสำเร็จ	78
4.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม	79
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดและอัตราเฉือน ของ POLENE 2300 NCA	82
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและอัตราเฉือน ของ Moplen RP 440 N	86
4.4 ชิ้นงานที่มีการใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้ในการฉีดขึ้นรูป บานพับพลาสติก	90
4.5 แสดงการนำบานพับไปใช้ในการติดตั้งประดู่พีวีซี	93
ข.1 มิติของบานพับ	105
จ.1 แบบบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก	115
จ.2 แบบแม่พิมพ์บานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก	116
จ.3 แบบทางฉีดพลาสติก	117
จ.4 Insert ประกอบแม่พิมพ์	118

รายการสัญลักษณ์

a	=	ระยะห่างระหว่างผิวชิ้นงานกับจุดศูนย์กลางของช่องหล่อเย็น
b	=	ระยะห่างของจุดศูนย์กลางระหว่างของช่องหล่อเย็น
n	=	จำนวนตัวอย่างที่ใช้: การทดสอบ
W	=	ความกว้างของทางเข้า
H	=	ความหนาของทางเข้า
A	=	พื้นที่ผิวของชิ้นงานทั้งหมด
t	=	ความหนาของชิ้นงาน
T_m	=	อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลว
ΔH_{melt}	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึกของพอลิเมอร์
%	=	เปอร์เซ็นต์
η	=	ความหนืด
μ	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
τ	=	ความเค้นเฉือน
ϕ	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
γ	=	อัตราเฉือน
D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
α	=	ค่าอัตราการหดตัว
σ	=	ค่าการกระจายปกติ

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

P	=	Poor
G	=	Good
RP	=	Random Polymer
g/cm ³	=	gram per cubic centimeter
N/mm ²	=	Newton per Square millimeter
kJ/m ²	=	per Square meter
cm ³	=	cubic centimeter
mm	=	millimeter
s	=	second
°C	=	Centigrade
CAD	=	Computer Aided Design
CAM	=	Computer Aided manufacturing
PP	=	Polypropylene
ABS	=	Acrylonitrile butadienstyrene
POM	=	Polyoxymethylene
PA	=	Polyamide
PMMA	=	Polymethylmethacrylaat
PC	=	Polycarbonate
HDPE	=	High Density Polyethylene
LDPE	=	Low Density Polyethylene
PVC	=	Polyvinyl chloride
PS	=	Polystyrene
CAE	=	Computer Aided Engineering
STL	=	Stereolithography
DSC	=	Differential Scanning Calorimetry

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวโน้มของอุตสาหกรรมพลาสติกของประเทศไทยในปัจจุบัน

เนื่องจากสภาวะราคาน้ำมันในตลาดโลกปรับราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้รับผลกระทบอย่างต่อเนื่อง ผู้ประกอบการต้องพยายามลดต้นทุนในการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในขณะที่โครงสร้างของอุตสาหกรรมพลาสติกของไทยยังอ่อนแออยู่ ดังนั้นอุตสาหกรรมพลาสติกจึงควรผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าและมีการส่งเสริมการส่งออกให้มากยิ่งขึ้น แนวโน้มการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติกไทยในอนาคตจึงขึ้นอยู่กับ การปรับปรุงพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกของไทยให้มีการสร้างมูลค่าเพิ่มและมีการพัฒนาอย่างครบวงจร ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำไปถึงปลายน้ำตลอดจนด้านการตลาดและการรักษาสิ่งแวดล้อม

สำหรับภาพรวมของอุตสาหกรรมของไทย พบว่าในไตรมาสแรกปี 2554 ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีมูลค่าการส่งออกรวม 467 ล้านดอลลาร์สหรัฐ แต่ลดลงร้อยละ 2.40 เมื่อเทียบกับไตรมาสที่แล้ว แต่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.56 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และกลุ่มประเทศในอาเซียน สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าส่งออกสูงสุด คือ แผ่นฟิล์ม พอยล์และแถบพลาสติก รองลงมาได้แก่ ถุงและกระสอบพลาสติก (ภาคผนวก ก)

สำหรับการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกมีมูลค่าการนำเข้ารวม 548 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.22 เมื่อเทียบกับไตรมาสเดียวกันของปีก่อนและเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.66 เมื่อเทียบกับไตรมาสที่แล้ว แหล่งนำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น จีน สหรัฐอเมริกา เกาหลีใต้ และกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการนำเข้าสูงสุด คือ แผ่นฟิล์ม พอยล์และแถบพลาสติก รองลงมาคือ หลอดและท่อพลาสติก (ภาคผนวก ก) ดังนั้นประเทศไทยควรที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกโดยมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกให้มีคุณภาพดีขึ้น และมีความหลากหลายในการนำไปใช้ อีกทั้งต้องพัฒนารูปแบบการดีไซน์ของผลิตภัณฑ์พลาสติกให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคอีกด้วย นอกจากนี้ควรจะต้องหาตลาดใหม่ๆ เพื่อขยายตลาดส่งออกของไทยต่อไปในอนาคตและศึกษากฎระเบียบใหม่ๆ ของประเทศผู้นำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์พลาสติก [1]

1.2 ความเป็นมา

ปัจจุบันบานพับโลหะแบบสองปีกเป็นบานพับที่นิยมใช้กันมากในการติดตั้งอุปกรณ์ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับบานพับโลหะที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การเกิดสนิม เสียงดังที่เกิดจากการเปิดปิดประตู แต่ในบางกรณีปัญหาเหล่านี้ควรจะหลีกเลี่ยง เช่น ในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ ในโรงพยาบาล ในโรงงานอุตสาหกรรม ในเรือเดินสมุทร และแม้แต่ในอาคารที่พักอาศัย เป็นต้น การนำพลาสติกมาใช้ในการผลิตบานพับแบบสองปีก เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการเกิดสนิม การกันกร่อนจากสารเคมีต่างๆ และลดเสียงดังที่เกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการหมุนและยังลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

พฤติกรรมการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องจะพิจารณา เนื่องจากลักษณะของบานพับจะมีส่วนที่บางเชื่อมระหว่างส่วนที่หนาทั้งสองด้าน การไหลของพลาสติกจะไหลจากส่วนที่หนาไปยังส่วนที่บางและไหลไปยังส่วนที่หนาอีกด้าน ทำให้พลาสติกไหลช้าลง เนื่องจากเกิดการต้านทานการไหล (Hesitation effect) เพิ่มขึ้น และทำให้ความหนืดของพลาสติกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การไหลของพลาสติกเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์และอาจทำให้พลาสติกหลอมเหลวไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short shot)

โครงสร้างของการจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ควรพิจารณา เพราะความแข็งแรงและความทนทานของบานพับจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลซึ่งควรเป็นระเบียบตามแนวทิศทางการไหล เมื่อพลาสติกหลอมเหลวไหลอย่างไม่สมดุลผ่านส่วนที่พับงอ หรือเกิดรอยเชื่อมประสาน (Weld lines) ของแนวขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า จะทำให้บานพับไม่แข็งแรง พลาสติกที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นบานพับควรมีโครงสร้างแบบกิ่งผลึกเพราะโครงสร้างโมเลกุลมีความสม่ำเสมอและมีความยืดหยุ่นได้ดี เนื่องจากบานพับจะมีการใช้งานมากในส่วนที่พับงอที่ใช้ในการปิดเปิด

การนำโปรแกรมแบบจำลองการไหลมาวิเคราะห์ชิ้นงาน มีความจำเป็นต้องทราบสถานะของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของพลาสติก รูปแบบการไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่เกิดขึ้น อีกทั้งจะต้องคำนึงถึงลักษณะของแม่พิมพ์อีกด้วย

งานวิจัยที่ผ่านมา นั้น เป็นการออกแบบบานพับพลาสติกสองปีกไม่มีสลัก โดยใช้ความรู้ในเรื่องกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก การออกแบบแม่พิมพ์ สมบัติต่างๆ ของพลาสติก จนสามารถสร้างออกมาเป็นชิ้นงานที่เป็นบานพับพลาสติก ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบพบว่าสามารถใช้งานได้จริงสามารถทนต่อการพับงอ 100,000 ครั้ง เทียบเท่ากับจำนวนครั้งของการพับงอที่ใช้ทดสอบกับบานพับโลหะตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.759-2531 โดยไม่เกิดการเปลี่ยนสภาพและติดตั้งใช้งานจริง ก็สามารถใช้งานได้ดี แต่ประเด็นของปัญหาคือในการติดตั้งใช้งานจริงได้เฉพาะวงกลมไม้เพราะในการติดตั้งจะต้องมีการตัดแต่งเนื้อไม้ของวงกลมบริเวณที่จะใช้ในการติดตั้งบานพับพลาสติกเนื่องจากส่วนปีกของบานพับมีความหนาอยู่ งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นถึง การปรับลดขนาดความหนาในส่วนของปีกบานพับ เลือกใช้พลาสติกและ

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีความคงทนที่เกิดจากการพับงอและความแข็งแรงในการรับน้ำหนักประตูพีวีซี ความสะดวกในการใช้งานสามารถทำการติดตั้งได้ง่ายวงกลบทุกประเภท

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความทนทานในการพับงอเมื่อมีการติดตั้งใช้งานของบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักที่ขนาดความหนาของปีก เท่ากับ 3.75, 4.25 และ 5.25 มิลลิเมตร

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ด้านขนาดมิติของบานพับพลาสติก

1.4.1.1 ขนาดมิติกว้าง x ยาวของบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักเท่ากับ 100 x 75 มิลลิเมตร ความหนาปีกของบานพับขนาด อยู่ในช่วง 6.25-3.75 มิลลิเมตร โดยเทคโนโลยี CAD

1.4.2 ด้านวัสดุ

1.4.2.1 พลาสติกที่ถูกใช้ในการขึ้นรูปบานพับพลาสติกคือ พอลิพอฟิลีน

1.4.2.2 เหล็กที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ Mold Base และ insert ได้แก่ เกรด S45C และ P20 ตามลำดับ

1.4.3 ด้านเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

1.4.3.1 สร้างแม่พิมพ์บานพับพลาสติกตามแบบของชิ้นงานโดยใช้เทคโนโลยี CAD-CAM

1.4.3.2 เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้มีขนาด 50-100 ตัน

1.4.3.3 เครื่องทดสอบพับงอสามารถพับงอได้ 25 รอบต่อนาทีและมุมของการพับงอไม่เกิน 75 องศา

1.4.4 ด้านการทดสอบ

1.4.4.1 ทดลองติดตั้งบานพับพลาสติกกับประตูพีวีซีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 700 x 1800 x 35 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบความทนทานต่อการพับงอ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ด้านพาณิชย์

1.5.1.1 สามารถนำไปใช้งานได้ดีในสถานที่ต่างๆ เช่น แถบชายทะเล บริเวณที่มีความชื้นหรือสารเคมี เป็นต้น โดยปราศจากข้อกังวลเรื่องสนิมหรือเกิดการกัดกร่อน เสียงที่เกิดจากการเสียดสีของบานพับระหว่างการเปิดปิดประตู

1.5.1.2 รูปแบบเป็นชั้นเดียวเนื่องจากมีความพิเศษที่ไม่มีสลัก ไม่ต้องประกอบเหมือนบานพับโลหะ

1.5.1.3 ไม่ต้องคอยเพิ่มสารหล่อลื่นจึงไม่ต้องดูแลรักษา

1.5.1.4 น้ำหนักเบา ช่วยลดภาระการขนส่งเมื่อเทียบกับบานพับโลหะ

1.5.1.5 เป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

1.5.1.6 ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.5.2 ด้านสิ่งแวดล้อม

1.5.2.1 เป็นการลดการใช้ทรัพยากรประเภทโลหะ

1.5.2.2 บานพับพลาสติกที่ผ่านการใช้งานสามารถกลับมารีไซเคิลเพื่อใช้ใหม่ได้

1.5.3 ด้านวิชาการ

1.5.3.1 ได้ความรู้เรื่องกระบวนการขึ้นรูปบานพับพลาสติก

1.5.3.2 การได้องค์ความรู้ใหม่ในการสร้างผลิตภัณฑ์บานพับพลาสติก

1.5.3.3 การออกแบบบานพับพลาสติก

1.5.3.4 การออกแบบแม่พิมพ์

1.5.4 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.5.4.1 การใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของพลาสติกหลอมเหลวมาพิจารณาออกแบบแม่พิมพ์

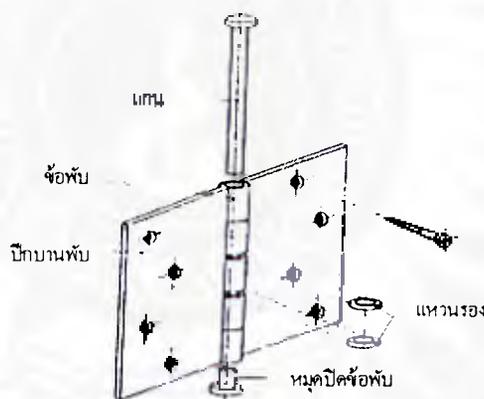
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บานพับ (Hinge)

บานพับเป็นอุปกรณ์ที่สามารถโค้งงอได้โดยหมุนรอบเดือยหรือแกน ใช้สำหรับติดบานประตูหน้าต่าง โน้ตบุ๊ก เป็นต้น เพื่อให้พับเข้ามาหรือเปิดออกได้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [2] แบ่งประเภทของบานพับตามลักษณะการใช้งานไว้ 3 ชนิด ได้แก่ บานพับสองปีก (Butt hinge) บานพับปรับมุมชนิดฝืด (Friction hinge) และบานพับสปริง (Spring hinge)

2.1.1 บานพับสองปีก

บานพับสองปีกเป็นบานพับสำหรับประตูและหน้าต่าง ตาม มอก. 759-2531 [3] ได้แบ่งประเภทของบานพับสองปีกตามวัสดุที่ใช้ทำได้ 2 ประเภท คือ บานพับโลหะ (Metal butt hinge) และบานพับพลาสติก (Plastic butt hinge) ขนาดระบุ มิติและเกณฑ์ ความคลาดเคลื่อน จำนวนรูตะปูเกลียว และขนาดตะปูเกลียวของบานพับชนิดต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบบานพับสองปีกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.1.1.1 บานพับโลหะ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แบ่งประเภทของบานพับโลหะที่เป็นบานพับสองปีกไว้ใน มอก. 759-2531 ดังนี้

แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำบานพับ ได้แก่ บานพับเหล็กกล้า บานพับเหล็กกล้าไร้สนิม บานพับทองเหลือง บานพับอะลูมิเนียมและบานพับทองบรอนซ์

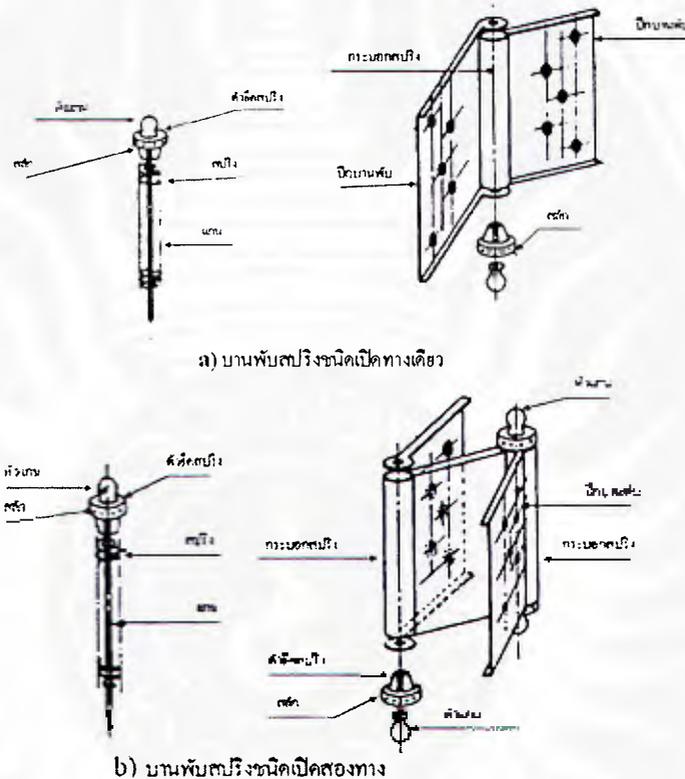
ตารางที่ 2.1 บานพับพลาสติก วัสดุที่ใช้ทำ และการใช้งาน [5-9]

Manufacturer	Product codes	Figure	Material used	Application	Maintenance required	Water resistant	Oil resistant	Solvent resistant	UV resistant	Conductive
Reel Precision Manufacturing Corporation	MH14 Hinge		Engineered plastic housing, hardened steel, mineral oil based lubricant	Office equipment, medical cabinets, computer peripherals, access panels, industrial enclosures	YES	-	G	G	G	G
Monroe Engineering Products, Inc.	CFC Hinge		Glass-fiber reinforced polyamide-based (PA), mineral oil based lubricant	Hygienic, climatic, and environmental factor need the absolute absence of materials subject to corrosion	YES	P	G	G	G	G
Austin Hardware & Supply Inc.	Nylon Hinge		15% glass-filled nylon self-lubricating, Mineral oil based lubricant	Customer requirements	YES	P	G	G	G	G
C.E. Shepherd Company	Pinless Butt Hinge		Modified polyolefin copolymer	cabinet door, shutters lids, covers, hatches	NO	G	G	G	G	G
Allen company	Multi-hinge		Choose material as needed such as rigidity, impact resistance	Customer requirements	YES	G	G	G	G	G

หมายเหตุ (P=Poor, G=Good)

2.1.3 บานพับสปริง

บานพับสปริงเป็นบานพับสำหรับประตูโดยมีกระบอกสปริงเป็นตัวบังคับการเปิดปิด ตามมอก. 992-2533 [10] แบ่งบานพับสปริงเป็น 2 แบบ คือ บานพับสปริงแบบเปิดทางเดียวและบานพับสปริงแบบเปิดสองทาง



รูปที่ 2.3 บานพับสปริงชนิดต่างๆ

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

2.2.1 การแบ่งประเภทของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุวิศวกรรมขั้นพื้นฐานที่สำคัญ เพราะมีคุณสมบัติค่อนข้างกว้าง ง่ายต่อการทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการและมีราคาถูก วัสดุพลาสติกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้นเกาะกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลังจากรูปใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ ขวดน้ำ ชัน เป็นต้น

2.2.1.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลแบบเส้นเกาะกันเป็นตาข่าย มีรูปทรงถาวรผลิตโดยใช้ความร้อน แรงอัด หรือการหล่อขึ้นแล้วจะไม่สามารถนำมาหลอมละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเทอร์โมเซตติงได้แก่ ถ้วยชาม เมลามีน เป็นต้น

2.2.2 สมบัติที่สำคัญของพลาสติก

เทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุพอลิเมอร์แบบเส้นตรงหรือแบบมีกิ่งสาขาที่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวใหม่เมื่อถูกความเย็น กระบวนการของวัสดุเทอร์โมพลาสติกเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ดังนั้นวัสดุประเภทนี้จึงนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยอาศัยการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์หรืออสัณฐานวิทยา สามารถแบ่งวัสดุเทอร์โมพลาสติกได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบอสัณฐาน (Amorphous) และแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) [11]

2.2.2.1 เทอร์โมพลาสติกประเภทอสัณฐาน (Amorphous thermoplastic) เป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่จำเพาะเจาะจง และเป็นแบบสุ่ม (Random configuration) ดังรูปที่ 2.4 เมื่อถูกความร้อน โมเลกุลที่ยึดเหนี่ยวกันอยู่จะคลายตัวออก และเคลื่อนที่ได้มากขึ้นทำให้สายโซ่โมเลกุลแยกออกจากกัน พลาสติกจึงอ่อนตัวและเกิดการไหลอันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลงในขณะที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ชนิดนี้เกิดเป็นรูปร่างแบบใดก็ได้ในระหว่างการเติมลงในแม่พิมพ์ (Mold filling) และเมื่อพอลิเมอร์เย็นตัวลงจะได้รับความแข็งแรงกลับคืนมาเนื่องจากขณะที่เคลื่อนที่ระยะทางของโมเลกุลลดลง คุณสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์ชนิดนี้ได้แก่ พอลิสไตรีน พอลิคาร์บอเนต เป็นต้น

A morphous polymer



รูปที่ 2.4 เทอร์โมพลาสติกประเภทอสัณฐาน (Amorphous thermoplastic)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพลาสติกประเภทอสัณฐาน [12]

AMORPHOUS PLASTICS GENERAL PROPERTIES		
AMORPHOUS POLYMERS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soften over a wide range of temperatures ▪ Lower Specific Gravity ▪ Lower Tensile Strength and Tensile Modulus ▪ Higher Ductility 	<p>Random molecular orientation in both molten and solid phases.</p> 
	AMORPHOUS PERFORMANCE PLASTICS	
	<p>KEY PROPERTIES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ High cost ▪ High strength and good stiffness ▪ High impact and temperature resistance ▪ Good chemical resistance and Hot water and steam resistance 	<p>EXAMPLES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ POLYSULPHONE (PSU) ▪ POLYETHERIMIDE (PEI) ▪ POLYETHERSULPHONE (PES) ▪ POLYARYLSULPHONE (PAS)
	AMORPHOUS ENGINEERING PLASTICS	
	<p>KEY PROPERTIES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Moderate cost and Moderate temperature resistance ▪ Moderate strength and stiffness ▪ Good impact resistance ▪ Good dimensional stability and Typically translucent 	<p>EXAMPLES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PC ▪ MODIFIED PPO ▪ MODIFIED PPE ▪ THERMOPLASTIC URETHANE
AMORPHOUS COMMODITY PLASTICS		
<p>KEY PROPERTIES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Low cost and Low temperature resistance ▪ Low strength and stiffness ▪ Good dimensional stability 	<p>EXAMPLES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PMMA (ACRYLIC) ▪ PS ▪ ABS 	

2.2.2.2 เทอร์โมพลาสติกประเภทกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastic) พอลิเมอร์ชนิดนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความสม่ำเสมอและมีความยืดหยุ่น บริเวณที่เป็นผลึกมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบโดยเกิดขึ้นเมื่อกึ่งเทอร์โมพลาสติกหลังการหลอมเย็นตัวลง เมื่อให้ความร้อนใหม่จนถึงจุดหลอมเหลว จะมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่มเกิดขึ้นจึงมีทั้งส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึกปนอยู่ระหว่างโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดัชนีของความเป็นผลึกขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์สภาวะการผลิต และอัตราการเย็นตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลว คุณสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 พอลิเมอร์ชนิดนี้ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น

Semi-crystalline polymer



รูปที่ 2.5 เทอร์โมพลาสติกประเภทกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastic)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของพลาสติกประเภทกึ่งผลึก [12]

SEMI-CRYSTALLINE PLASTICS GENERAL PROPERTIES		
Semi-crystalline thermoplastic	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distinct & Sharp melting point ▪ Higher Specific Gravity ▪ Higher Tensile Strength and Tensile Modulus ▪ Lower Ductility ▪ Higher Creep Resistance 	<ul style="list-style-type: none"> Random molecular orientation in molten phase but densely packed crystallites in solid phase.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tend to be Translucent or opaque ▪ Good for bearing and wear, as well as for structural applications 	

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของพลาสติกประเภทกึ่งผลึก [12] (ต่อ)

SEMI-CRYSTALLINE PERFORMANCE PLASTICS	
KEY PROPERTIES <ul style="list-style-type: none"> ■ High cost and High strength ■ High temperature resistance ■ Outstanding electrical properties ■ Outstanding chemical resistance and good toughness ■ Low co-efficient of friction 	EXAMPLES <ul style="list-style-type: none"> ■ PVDF - PTFE ■ ECTFE - FEF ■ PFA - PPS ■ PEEK
SEMI-CRYSTALLINE ENGINEERING PLASTICS	
KEY PROPERTIES <ul style="list-style-type: none"> ■ Moderate cost and temperature resistance and strength ■ Good impact and chemical resistance ■ Good bearing and wear properties ■ Low co-efficient of friction and difficult to bond 	EXAMPLES <ul style="list-style-type: none"> ■ PA (NYLON) - POM (ACETAL) ■ PET - PBT ■ PE-UHMW
SEMI-CRYSTALLINE COMMODITY PLASTICS	
KEY PROPERTIES <ul style="list-style-type: none"> ■ Low cost ■ Low temperature resistance and Low strength ■ Good toughness and electrical properties ■ Excellent chemical resistance 	EXAMPLES <ul style="list-style-type: none"> ■ PE-LD ■ PE-HD ■ PP ■ POLYMETHYLPENTENE (TPX)

2.2.3 การเลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม

ในปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์ได้นำมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพิ่มขึ้น การทราบสมบัติของพลาสติกทำให้สามารถเลือกใช้พลาสติกตรงตามต้องการของการใช้งาน [12] ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ค โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 อย่างคือ สมบัติของวัสดุที่ถูกเลือกมาใช้งาน กระบวนการผลิต และรูปทรงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ สมบัติทางกลเป็นสมบัติของวัสดุที่ต้องมีการระบุและศึกษาเพื่อการเลือกใช้งานวัสดุที่ต้องการ [13] พลาสติกแต่ละประเภทจะมีสมบัติทางกลหรือการตอบสนองต่อแรงกระทำที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2 .4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางด้านความเค้นและความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ [13]

ประเภทของพลาสติก	มอดูลัส	ความเค้น ณ จุด คราก	ความเค้น สูงสุด	ระยะการยืดตัว ณ จุดขาด
นิ่มและไม่แข็งแรง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง
นิ่มและเหนียว	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
แข็งเปราะ	สูง	ไม่ชัดเจน	ปานกลาง	ต่ำ
แข็งแรง	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง
แข็งและเหนียว	สูง	สูง	สูง	สูง

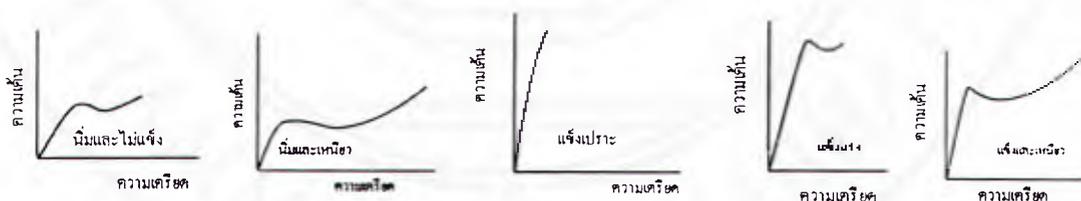
พลาสติกสามารถแบ่งตามความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความเค้นและความเครียด [13] ออกเป็นกลุ่ม ดังนี้ พลาสติกที่มีสมบัตินิ่มและไม่แข็งแรง (Soft and weak) พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดคราก (Yield point) ต่ำ ค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าปานกลาง ได้แก่ เทฟลอน พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน

พลาสติกที่มีสมบัตินิ่มและเหนียว (Soft and tough) พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดครากต่ำ ค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าสูง ได้แก่ พอลิเอทิลีน

พลาสติกที่มีสมบัติแข็งเปราะ (Hard and brittle) พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสสูง และค่าความเครียด ณ จุดขาดต่ำ วัสดุอาจจะเกิดจุดครากหรือไม่ก็ได้ ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน

พลาสติกที่มีสมบัติแข็งแรง (Hard and strong) พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดครากสูงและค่าความเค้น ณ จุดขาดสูง แต่มักจะมีค่าความเครียด ณ จุดขาดปานกลาง ได้แก่ พอลิเอทิล

พลาสติกที่มีสมบัติแข็งและเหนียว (Hard and tough) พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดครากต่ำ ค่าความเค้น ณ จุดขาดและค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าสูง ได้แก่ พอลิคาร์บอนเนต



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกชนิดต่างๆ

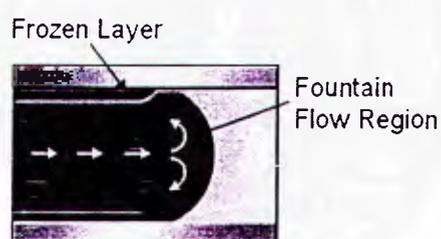
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพฤติกรรมไหลของพลาสติกหลอมเหลว

2.3.1 การไหลของพลาสติกหลอมเหลว

การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวเป็นไปตามการไหลของของไหล (Fluid flow) โดยทั่วไปการพิจารณาการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบได้แก่

2.3.1.1 การไหลในรูปแบบที่เกิดจากแรงดึงหรือแบบยืด (Elongation flow)

การไหลในรูปแบบที่เกิดจากแรงดึงหรือแบบยืด เป็นการไหลที่เกิดจากพอลิเมอร์หลอมเหลวได้รับแรงกระทำจนทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการยืดออกโดยไม่ต้องอาศัยผนังระหว่างเกิดการไหลในการเสียรูปพื้นที่หน้าตัดจะลดลงชดเชยกับความยาวที่เพิ่มขึ้นของโซ่โมเลกุล การเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพลาสติกจะหมุนไปตามแนวแรงที่ได้รับและมีการยืดตัวเมื่อมีการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่หน้าตัดใหญ่ไปเล็กหรือจากเล็กไปใหญ่ [15] เมื่อพลาสติกหลอมเหลวไหลออกจากหัวฉีด (Nozzle) แล้วเข้าสู่ควิตี้ (Cavity) ผ่านทางเข้า (Gate) พบว่าส่วนที่อยู่ด้านหน้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลจากเดิมในทิศทางเดียวกับการฉีดมาเป็นทิศตั้งฉากกับการฉีด เรียกว่า "Fountain flow" ซึ่งการเปลี่ยนทิศทางดังกล่าวทำให้เกิดการเสียรูปแบบยืด [14] ดังรูป 2.7



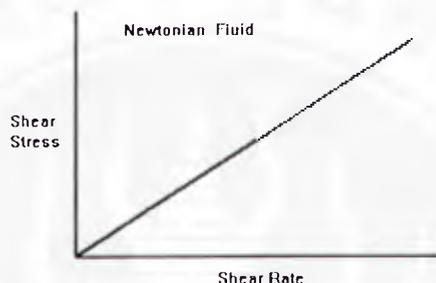
รูปที่ 2.7 การไหลแบบ Fountain flow [16]

2.3.1.2 การไหลในรูปแบบที่เกิดจากแรงเฉือน (Shear flow)

เป็นการไหลที่เกิดจากพอลิเมอร์หลอมเหลวได้รับแรงกระทำในแนวขนานกับทิศทางไหล ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดและความยาวของโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ โดยการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพลาสติก จะหมุนไปตามแนวแรงที่ได้รับและไม่มีการยืดตัว [17]

2.3.2 สมบัติของพลาสติกหลอมเหลวในการไหลแบบเฉือน

2.3.2.1 ของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) เป็นของไหลที่เป็นไปตามกฎของนิวตัน โดยจะมีความหนืดในรูปของแรงเฉือนที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออัตราเฉือนเปลี่ยนไป ซึ่งความหนืดในรูปของแรงเฉือน (η , Shear viscosity) คือ อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือน (τ) กับอัตราเฉือน ($\dot{\gamma}$) ดังรูป 2.8

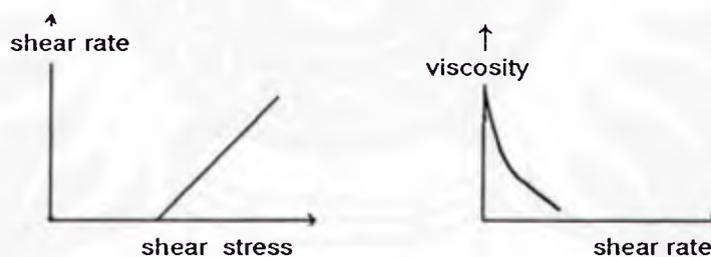


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของของไหลนิวโตเนียน [14]

2.3.2.2 ของไหลนอนนิวโตเนียน (Non newtonian fluid) เป็นของไหลที่ไม่เป็นไปตามกฎของนิวตันและให้ค่าความหนืด (Viscosity) ของของไหลเปลี่ยนไปตามเวลาและอัตราเฉือน แบ่งได้ 2 ประเภท คือ Time independent fluid และ Time dependent fluid

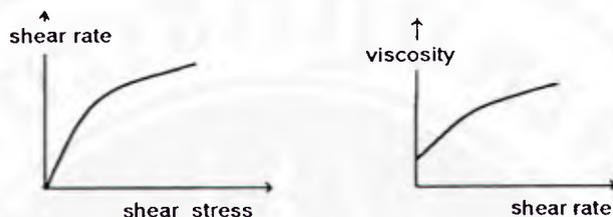
Time independent fluid

Bingham fluid เป็นของไหลที่ไหลได้ก็ต่อเมื่อมีแรงมากกระทำ ที่มีค่าความเค้นเฉือนสูงกว่าค่าค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Yield stress และเมื่อของไหลไหลได้ก็จะมีกรไหลแบบนิวโตเนียน เช่น ยาสีฟัน สี เป็นต้น



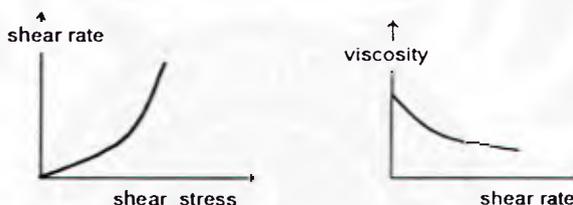
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและความหนืดเทียบกับอัตราเฉือนของ Bingham fluid [14]

Dilatant fluid เป็นของไหลที่มีค่าความหนืดเฉือนสูงขึ้น เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่โมเลกุลจับตัวเข้าด้วยกัน หรือโมเลกุลเกี่ยวพันกันหนาแน่นขึ้นเมื่อได้รับแรงกระทำ



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความหนืดเทียบกับอัตราเฉือนของ Dilatant fluid [14]

ซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluid) เป็นของไหลที่มีค่าความหนืดเฉือนลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น

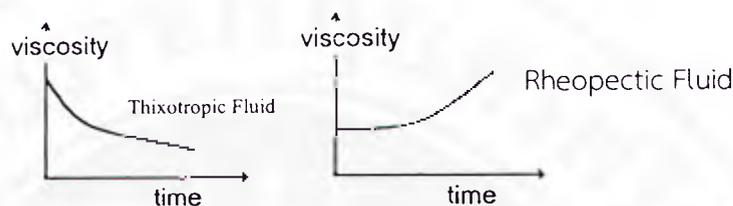


รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความหนืดกับอัตราเฉือนของ Pseudoplastic fluid [14]

Time dependent fluid

Thixotropic fluid คือ เมื่อมีแรงกระทำต่อของไหลเป็นเวลานานขึ้น ความหนืดเฉือนจะมีค่าลดลง จนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งและหากหยุดให้แรงกระทำต่อของไหลของไหลนั้นจะกลับมีความหนืดสูงขึ้นอีกครั้ง

Rheopectic fluid คือ เมื่อมีแรงกระทำต่อของไหลเป็นเวลานานขึ้น ความหนืดเฉือนจะมีค่าสูงขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งและหากหยุดให้แรงกระทำต่อของไหลของไหลนั้นจะกลับมีความหนืดลดลงอีกครั้ง



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับเวลาของThixotropic และ Rheopectic fluid [14]

2.3.3 การไหลของเทอร์โมพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

การไหลของเทอร์โมพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป เป็นกระบวนการที่มีเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเทอร์โมพลาสติกภายใต้ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมไหลในแม่พิมพ์ซึ่งมีความซับซ้อนมาก การไหลของเทอร์โมพลาสติกในแม่พิมพ์สามารถแบ่งออกเป็นสองบริเวณ คือ การไหลของพลาสติกหลอมเหลวในระบบทางวิ่ง (Runner system) และการไหลของพลาสติกหลอมเหลวในคาวีตี้ที่เกิดระหว่างผนังแม่พิมพ์ เป็นการไหลของพลาสติกหลอมเหลวจากทางเข้ามีรูปแบบการเติมเป็นแนวรัศมีจากจุดที่พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์คาวีตี้ การเติมพลาสติกจะถูกเติมจากพื้นที่ส่วนที่หนากว่าซึ่งจะมีการไหลในปริมาณที่สูงกว่าเพราะความดันที่ใช้เพื่อผลักให้พลาสติกหลอมเหลวผ่านผนังจะต่ำกว่า บริเวณที่มีผนังบางกว่าจะมีความดันลด (Pressure drop) มากกว่าเพราะมีการจำกัดของการไหลเนื่องจากการลดความหนาของช่องทางไหล ยังมีพื้นที่ที่มีความดันลดมากก็จะทำให้เกิดการลดลงของอัตราการไหล และเกิดการต้านทานการไหล ทำให้ชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปเกิดการไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ [17]

2.3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการการไหลของพลาสติกหลอมเหลว [14, 15, 17] จะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.3.4.1 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Molecular Weight)

ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก สายโซ่โมเลกุลมีน้ำหนักมากกว่าจะมีโอกาสสั้นหรือเคลื่อนตัวได้ยากกว่า รวมถึงสายโซ่โมเลกุลที่มีขนาดยาวกว่าจะมีโอกาสเกิดการเกาะเกี่ยวกัน (Entanglement) ของสายโซ่โมเลกุลได้มากกว่า ส่งผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดการไหลได้ยากขึ้น

2.3.4.2 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Distribution)

การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล มีผลอย่างมากต่อสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว ในกรณีของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลน้อย กล่าวคือ พอลิเมอร์จะ

มีความยาวของสายโซ่โมเลกุลค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยแต่ละสายโซ่โมเลกุลจะรับแรงที่กระทำในปริมาณที่เท่าๆ กัน ส่งผลให้ต้องใช้แรงกระทำที่มากขึ้นเพื่อให้พอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดการไหลได้ ในขณะที่พอลิเมอร์มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลมากในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน จะใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่า

2.3.4.3 ลักษณะ โครงสร้างของพอลิเมอร์ (Structure)

ลักษณะความเป็นกิ่งก้านสาขาของสายโซ่โมเลกุล (Chain Branching) กล่าวคือ หากความยาวของกิ่งก้านมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดการกระจายสายโซ่โมเลกุล จะส่งผลให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากความยาวของกิ่งก้านมีค่าน้อยจะส่งผลให้ความหนืดมีค่าต่ำลงเนื่องจากรูปร่างของสายโซ่โมเลกุลมีลักษณะเป็นก้อนมากขึ้น

2.3.4.4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กลีเซอริน ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$) จะมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดได้มาก จึงทำให้มีความหนืดในระดับเดียวกัน กับพอลิเมอร์หลายๆ ชนิด และในทำนองเดียวกัน พอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยหมู่ซึ่งทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วของ Cl^- และ H^+ ในพอลิเมอร์ประเภท PVC ย่อมส่งผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวมีความหนืดสูงไปด้วย

2.3.4.5 อุณหภูมิ (Temperature)

ความหนืดของพอลิเมอร์ก็เช่นเดียวกับของเหลวส่วนใหญ่ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดจะมีค่าลดลง เนื่องจากพลังงานความร้อนทำให้โมเลกุลสั่นหรือเคลื่อนที่ได้มากขึ้นนั่นเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 10°C จะทำให้ความหนืดลดลง 1 เท่าตัว

2.3.4.6 ความดัน (Pressure)

ในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์โดยมากจะใช้ความดันสูงตั้งแต่ $10^6 - 10^8 \text{ N/m}^2$ ซึ่งผลของความดันที่มีต่อสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว จะตรงข้ามกับผลของอุณหภูมิ กล่าวคือความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้จากทฤษฎีของช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล (Free volume) ที่ลดลงเมื่อความดันสูงขึ้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นอยู่ชิดกันมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถของสายโซ่โมเลกุลที่จะไหลผ่านกันเป็นไปได้อย่างขึ้น อย่างไรก็ตาม ขณะที่กำลังเกิดความดันนั้น อุณหภูมิภายในระบบจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำให้ความหนืดลดลง โดยจากงานวิจัยพบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความหนืด จะมีมากกว่าอิทธิพลของความดันที่มีต่อค่าความหนืด

2.3.4.7 สารเติมแต่ง (Additives)

เป็นวัสดุที่ผสมลงในพอลิเมอร์ในขณะที่ทำการผลิต โดยปกติแล้ว การใส่สารตัวเติมประเภทสารเสริมแรง มักจะทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวมีความหนืดสูงขึ้น และจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นอีกหากการกระจายตัวของสารตัวเติมไม่ดี วัตถุประสงค์หลักของใช้สารแต่ง ได้แก่ เพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านต่างๆ ของพอลิเมอร์ เช่น สมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพ เป็นต้น โดยสารเติมแต่งประเภทนี้ ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เขม่าดำ (Carbon black) ซิลิกา (Silica) เป็นต้น และเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต (Processing) รวมถึงกระบวนการผสม (Mixing) โดยสารตัวเติมประเภทนี้ ได้แก่ สารหล่อลื่น (Lubricants) และสารที่ทำให้อ่อนนุ่ม (Plasticizers)

2.3.4.8 ความเค้นเฉือน (Shear stress)

คือค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์หลอมเหลว โดยเป็นค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความดันที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเมื่อค่าความเค้นเฉือนเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวมีความหนืดลดลงและสามารถใช้ค่านี้ในการทำนายคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตได้ เช่น พฤติกรรมการบวมตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Die swell) พฤติกรรมการเกิดริ้วรอยบริเวณผิวชิ้นงาน (Sharkskin) พฤติกรรมการเสียรูปทรงของพอลิเมอร์ (Melt fracture)

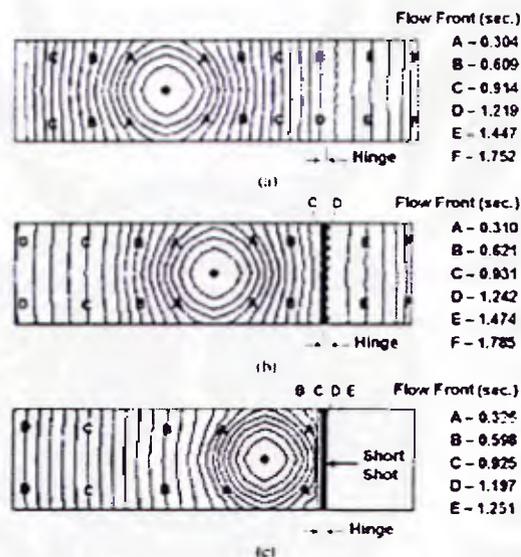
2.3.4.9 อัตราเฉือน (Shear rate)

อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลต่อระยะทางที่เปลี่ยนไป โดยเมื่ออัตราเฉือนหรือความเร็วในการไหลเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าความหนืดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดการไหลจะเกิดการเสียดสีกันของสายโซ่โมเลกุล (Frictional/Internal heat) ทำให้อุณหภูมิภายในเพิ่มสูงขึ้น ความหนืดจึงมีค่าลดลง

2.4 การเกิดการต้านทานการไหล

การไหลของพลาสติกหลอมเหลวขณะที่มีการเติมเข้าสู่แม่พิมพ์ ในบริเวณที่มีความหนาและบางในชิ้นงานเดียวกัน พลาสติกหลอมเหลวจะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีความต้านทานการไหลต่ำกว่าก่อน ปัญหาที่มักเกิดขึ้นของการเติมพลาสติกหลอมเหลวในชิ้นงานประเภทนี้ คือ การเกิดการเติมพลาสติกหลอมเหลวไม่เต็มแม่พิมพ์ เพราะเกิดการแข็งตัวในบริเวณที่บางของชิ้นงานก่อนที่จะเกิดการไหลผ่าน เพื่อป้องกันการเกิดการต้านทานการไหล การเกิดการต้านทานการไหลระหว่างที่มีการเติมพลาสติกหลอมเหลวลงในแม่พิมพ์จะเกิดมากในบริเวณทางเข้าของชิ้นงาน เนื่องจากพลาสติกหลอมเหลวที่ถูกเติมในชิ้นงานที่มีลักษณะบางซึ่งใกล้กับทางเข้า พลาสติกหลอมเหลวส่วนที่เหลือมีการไหลอย่างต่อเนื่องผ่านส่วนที่มีความต้านทานต่ำในบริเวณที่ชิ้นงานหนา ผลของการเกิดการต้านทานการไหลจะดำเนินต่อไป การ

เกิดความดันเพื่อขับเคลื่อนพอลิเมอร์เข้าสู่ส่วนที่บางจะเกิดอย่างช้าๆ เนื่องจากพลาสติกส่วนที่เหลือนำกำลังจะถูกเติม เมื่อชิ้นงานถูกเติมควาวิตีจะมีแรงดันเท่ากันทุกทิศทางและแรงดันสูง สามารถทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลเติมในส่วนที่บางได้ โดยช่วงนี้พลาสติกหลอมเหลวในส่วนที่บางจะใกล้แข็ง ในทางตรงข้ามส่วนที่บางคือ บริเวณที่ใกล้จะสิ้นสุดการเติม พอลิเมอร์หลอมจะเริ่มเกิดการต้านทานการไหลเมื่อมันเติม บริเวณที่บาง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้มีเวลาน้อยจนกระทั่งควาวิตีถูกเติม และความดันในควาวิตีเกือบจะคงที่ (Hydrostatic) พอลิเมอร์หลอมในส่วนที่บางมีเวลาน้อยที่จะเย็นตัว ดังนั้นในส่วนที่บางนี้จะร้อนกว่า มีความหนืดต่ำกว่า และสามารถขับไปข้างหน้าได้ง่ายกว่าส่วนที่บางกว่า [17]



รูปที่ 2.13 การไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่ตำแหน่งทางเข้าที่แตกต่างกัน [18]

จากรูปที่ 2.13 (a) แสดงการไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนที่บางของบานพับ โดยพิจารณาจากแนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า (Melt front) พบว่าการไหลผ่านส่วนที่บางโดยไม่เกิดการต้านทานการไหล ส่วนรูปที่ 2.13 (b) แสดงการไหลของแนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า พบว่าเกิดการต้านทานการไหลขึ้นในบริเวณส่วนที่บาง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างส่วนที่บางและส่วนที่หนา และรูปที่ 2.13 (c) แสดงการเกิดการต้านทานการไหลที่ส่งผลให้เกิดเติมไม่เต็ม ชิ้นงานอันเนื่องมาจากการหยุดไหลของการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา เพื่อให้มีการเติมเต็มในส่วนที่มีความหนาก่อนที่จะมีการเติมส่วนที่บาง เมื่อพลาสติกหยุดไหล จะเกิดการแข็งตัวเร็วกว่าในระหว่างที่เกิดการไหล [18]

2.4.1 การหลีกเลี่ยงการไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่ทำให้เกิดการต้านทานการไหล

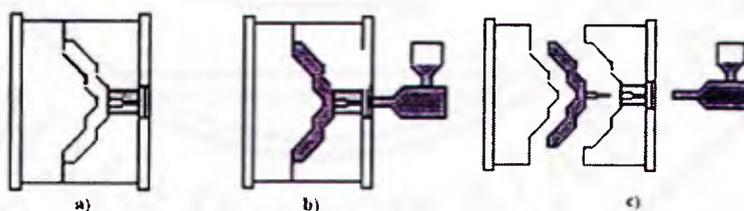
พลาสติกหลอมเหลวจะไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ตามเส้นทางที่มีความต้านทานน้อยที่สุด เมื่อพลาสติกเดินทางไปถึงส่วนที่บาง (พื้นที่ที่มีความต้านทานสูง) มันจะเกิดการไหลที่ช้าลง ถ้ามันมีบริเวณทางเลือกที่หนากว่าก็จะเลือกการไหลในส่วนนั้นก่อน ความหนืดของการหลอมเหลวซึ่งมันจะไหลช้าลงช่องทางไหลในส่วนที่บางการต้านทานการไหลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมันสูญเสีย Non-Newtonian shear thinning เกิดความร้อนเจือปนน้อยและเย็นตัวเร็วเกินไปโดยอิทธิพลจากผนังที่เป็นโลหะ นี่จะเป็นการรวมความแตกต่างของความเร็วการไหลระหว่างบริเวณที่บางและหนา ซึ่งจะมีผลต่อการเติมไม่เต็มแม่พิมพ์ การจับตัวกับอากาศ และรูปแบบการเติมที่ซับซ้อน ในชิ้นงานที่มีความแตกต่างของความหนาจะทำได้ยาก หากไม่มีการวิเคราะห์การเติมแม่พิมพ์ในการออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงของความหนา จะมีโอกาสเกิดการไหลช้าลงซึ่งควรที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหานี้ อาจจะมีการแก้ไขโดยการปรับตำแหน่งทางเข้าให้ไกลจากบริเวณที่เป็นส่วนที่บาง เพื่อลดปัญหาการเกิดการต้านทานการไหล [17]

2.5 กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลวขึ้นรูป

กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลว เป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการหล่อแบบพลาสติกซึ่งใช้อย่างกว้างขวางสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องหล่อแบบออกมาในปริมาณมาก และทำให้ได้ชิ้นส่วนที่ผลิตมีคุณภาพสูงที่ราคาต้นทุนต่ำ และใช้เวลาน้อย

2.5.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลว

เมื่อเม็ดพลาสติกถูกลำเลียงเข้าไปในเครื่องด้วยสกรูหมุน เม็ดพลาสติกจะถูกทำให้หลอมเหลวและเคลื่อนที่ไปตามสกรู ถ้าตรงปลายสกรูมีพลาสติกมากพอสกรูก็จะหยุดหมุน สกรูจะถูกดันไปข้างหน้าโดยตัวดัน (Plunger) จะทำให้พลาสติกเหลวถูกฉีดออกไปทางช่องที่เปิดไว้สู่แบบ หลังจากนั้นสกรูจะถอยกลับเมื่อสิ้นสุดการฉีด ส่วนที่เป็นพลาสติกหล่อจะหลุดออกมา แล้วจะกลับเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเหลวขึ้นรูป [19]

ในกระบวนการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบนั้น เม็ดพลาสติกจะถูกส่งมาจาก Hopper เข้าไปในกระบอกฉีดซึ่งมีสกรูหมุนไปรอบๆ พร้อมกันนั้นเม็ดพลาสติกจะถูกให้ความร้อนจนหลอมเหลว เมื่อพลาสติกเหลวที่ปลายสกรูมีมากพอ สกรูจะหยุดหมุน และจะทำหน้าที่เป็นตัวอัดฉีดจากช่องเข้าสู่แบบ ให้ความดันคงที่จนวัสดุเริ่มแข็งตัว สกรูจะถอยออกมา แบบที่ใช้หล่อจะมีน้ำเย็นเข้าไปหล่อ เพื่อให้พลาสติกแข็งตัวเร็ว ขึ้นสุดท้ายแบบจะเปิดออก พลาสติกจะหลุดออกมาจากแบบโดยใช้เข็มกระทุ้งหรืออากาศดันออกมาแล้วแบบจะประกบเข้าไปใหม่พร้อมฉีดต่อไป [17]

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก

คุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อิทธิพลของพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบ และอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ตัวแปรแต่ละประเภทจะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไปไม่ว่าจะมีอิทธิพลโดยตรงหรือโดยทางอ้อม

2.6.1 อิทธิพลของชนิดพลาสติก

ในงานฉีดพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติกกับพาร์เซียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก พบว่าเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นคือ เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะ และค่าพลังงานจำเพาะที่ผลึกเริ่มหลอมเหลว (Glass Transition Temperature) ในพลาสติกพาร์เซียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก พบว่าค่าปริมาตรจำเพาะและค่าพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้แล้วค่าการนำความร้อนของพาร์เซียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของผลึก แต่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวของผลึกแล้วค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นทันที ส่วนค่าความจุความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้จุดผลึกหลอมเหลวและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสิ้นสุดช่วงผลึกหลอมเหลวค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว พาร์เซียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกจะต้องการความร้อนส่วนหนึ่งเพื่อช่วยในการหลอมเหลวผลึกนั่นเอง สำหรับมวลโมเลกุลที่ต่างกันของพลาสติกแม้ว่าจะเป็นโพลิเมอร์ชนิดเดียวกัน โพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิในการอ่อนตัวต่ำและความหนืดในสารละลายที่จะต่ำด้วย ความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุลกับดัชนีการละลาย (Melt Index) กับความหนืด คือ ถ้าหากดัชนีการละลายสูงความหนืดก็จะน้อย แสดงว่ามีการไหลได้ดีเมื่อมีการหลอมละลาย นั้นหมายความว่าพลาสติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำก็จะมีค่าดัชนีการละลายสูงนั่นเอง นอกจากนี้ความหนืดของพลาสติกเหลวยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเฉือนอีกด้วย โดยที่อัตราการไหลขณะที่พลาสติกไหลจะมีค่าสูงเมื่อความเร็วการไหลสูง

2.6.2 อิทธิพลของการออกแบบ

เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติการแปรรูป ค่าการไหลของพลาสติก (Flowability) รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีดดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้าระบบทางวิ่งของพลาสติกหรือแม้กระทั่งระบบหล่อเย็น ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) ความหนาของชิ้นงานความยาวของชิ้นงาน (Taper) รัศมีระหว่างผิวต่อ (Fillet) ครีบ (Rib) ส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ส่วนที่เป็นคอคอดของชิ้นงาน (Undercut) รอยต่อ (รอยการไหล หรือ Knit Line) ระบบทางไหลของพลาสติก ระบบทางเข้าของพลาสติก ความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) และช่องระบายอากาศในชิ้นงาน (Air ventilation) เป็นต้น

2.6.3 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานก็มีเพียงการปรับตั้งพารามิเตอร์เท่านั้น ซึ่งมีผลมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วในการฉีด ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้า เวลาในการรักษาความดันฉีดย้า เวลาในการหล่อเย็น เวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลว อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ และความดันไฮดรอลิก เป็นต้น การปรับตั้งค่าเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทดลองฉีดไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาและต้นทุนในการฉีดเป็นอย่างมาก หากผู้ปรับตั้งมีความรู้และความเข้าใจจะช่วยให้ฉีดได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและยังประหยัดเวลาและต้นทุนในการทดลองอีกด้วย [20]

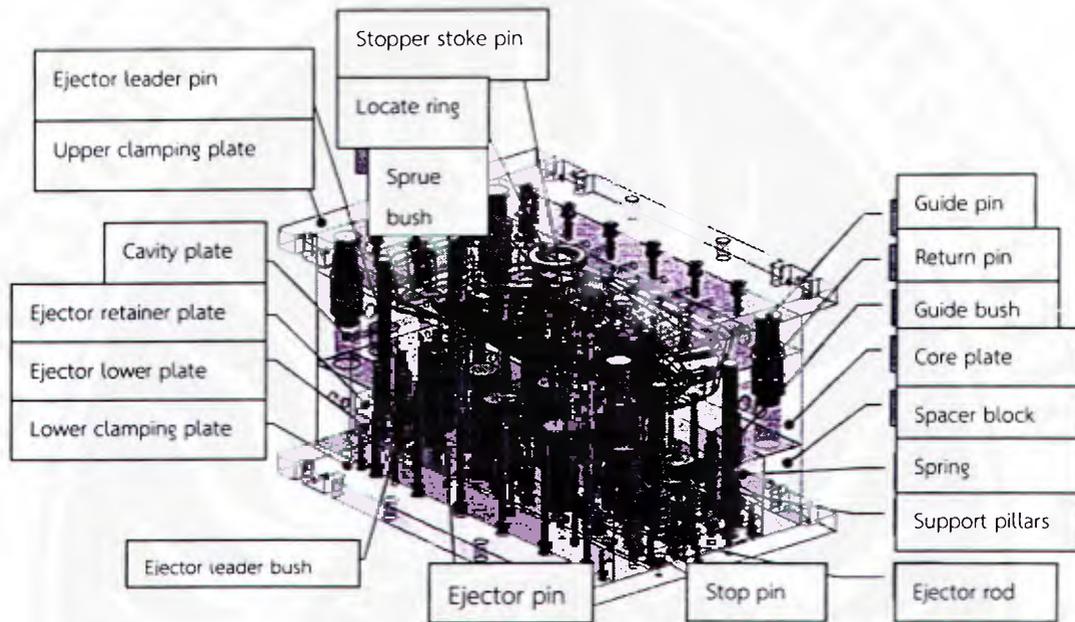
2.7 การออกแบบแม่พิมพ์

ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ ในปัจจุบันมีการผลิตเป็นจำนวนมาก แม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตนอกเหนือจากการควบคุมการผลิต เครื่องมือและเครื่องจักรทันสมัย ทักษะของบุคลากร ดังนั้นอุตสาหกรรมแม่พิมพ์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโทรคมนาคม เป็นต้น

2.7.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

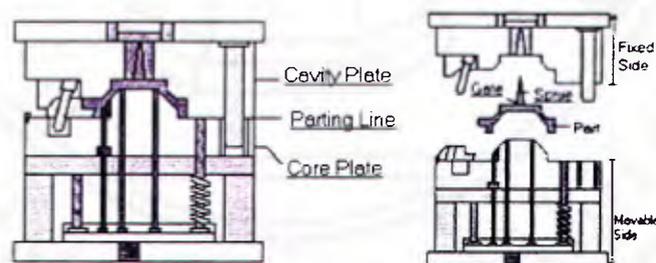
ใช้สำหรับทำเป็นแม่พิมพ์ของชิ้นงานโดยจะต้องทำให้พลาสติกหลอมเหลวเสียก่อนด้วยวิธีการให้ความร้อนและความดัน แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนี้สามารถใช้กับวิธีการทำแม่พิมพ์ได้อย่างหลากหลาย เช่น

กระบวนการฉีดขึ้นรูป กระบวนการเอ็กซ์ทรูด กระบวนการกดอัด เป็นต้น โดยทั่วไปชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ได้แก่ แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น และแม่พิมพ์แบบฉีดแบบสามแผ่น



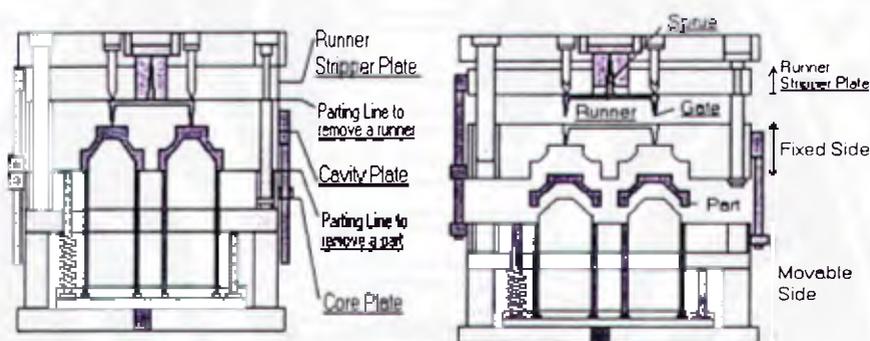
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [21]

2.7.1.1 แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น (Two-Plate) จะมีเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (PL) เพียงเส้นเดียว ซึ่งจะแบ่งในส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่ออกจากกัน มีการเลือกใช้ทางเข้าได้หลายแบบ เช่น แบบเข้าด้านข้าง ทางเข้าแบบรูฉีดยึด และทางเข้าใต้ผิวแม่พิมพ์ซึ่งทางเข้าแบบเข้าใต้ผิวแม่พิมพ์นี้ตัวขึ้นงานกับชุดทางวิ่งจะแยกออกจากกันทางเข้าแบบเข้าด้านข้างและแบบทางเข้าแบบรูฉีดยึด ตัวขึ้นงานจะติดมากับชุดทางวิ่งทำให้เสียเวลาในการตัดแยกส่วนขึ้นงานออกจากชุดทางวิ่ง [19]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของแม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น [19]

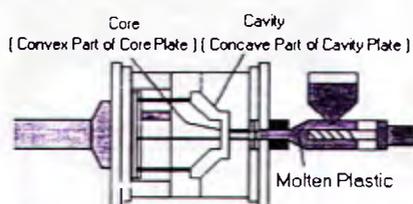
2.7.1.2 แม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น (Three-Plate) กำหนดเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์สองเส้น เป็นแม่พิมพ์ที่ต้องการแยกชิ้นงานออกจากรูปร่างและทางเข้าโดยอัตโนมัติ โครงสร้างแม่พิมพ์จะซับซ้อนมากกว่าแม่พิมพ์สองแผ่น ในชิ้นส่วนประกอบของโครงสร้างแบ่งออกเป็น ด้านที่อยู่กับที่ ด้านที่เคลื่อนที่ และแผ่นปลดทางวิ่ง แม่พิมพ์ชนิดนี้ชิ้นงานกับทางวิ่งสามารถแยกออกจากกันโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของแม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น [19]

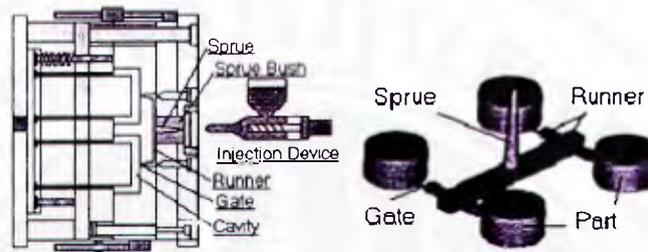
2.7.2 คาวิตีและคอร์ (Cavity and core)

คาวิตี คือ ส่วนที่เว้า ส่วนคอร์ คือ ส่วนที่นูน พลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในส่วนระหว่างส่วนคอร์ และ คาวิตี



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของคาวิตีและคอร์ [19]

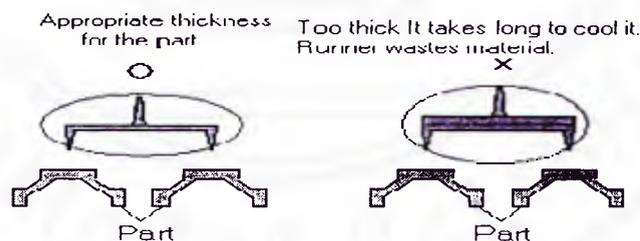
2.7.3 ระบบทางวิ่ง ประกอบด้วย ทางฉีด คือ ส่วนช่องทางตรงส่งพลาสติกเหลวจากหัวฉีดไปยังแม่พิมพ์ทางวิ่ง ส่วนทางวิ่ง คือ ช่องทางวิ่งของพลาสติกหลอมเหลวเข้าไปยังแม่พิมพ์ และ ทางเข้า คือ ทางที่พลาสติกเหลวเข้ายังส่วนของชิ้นงาน ทางฉีด ทางวิ่งและทางเข้า จะถูกตัดทิ้งหลังจากได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้ว อย่างไรก็ตาม ทางเข้าและทางวิ่งเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งมีผลต่อปริมาณและ ราคาของผลิตภัณฑ์ [19]



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของระบบทางวิ่ง [19]

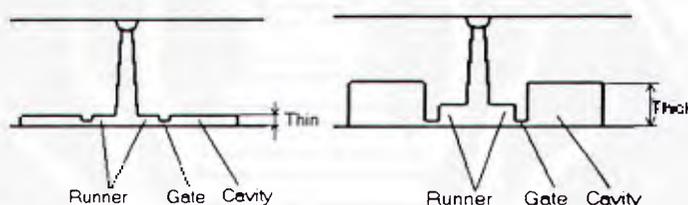
2.7.3.1 ทางวิ่ง (Runner) จะต้องกำหนด รูปร่าง ทิศทาง และ ตำแหน่ง ของทางวิ่ง โดยพิจารณาจากคุณภาพและลักษณะวัสดุของชิ้นงาน จำนวนของชิ้นงาน เพื่อให้ความดันของการฉีดและอุณหภูมิของพลาสติกเหลวไม่ลดลง การเลือกทางวิ่งให้มีแรงเสียดทานน้อยและอุณหภูมิที่ลดลงเมื่อพลาสติกเหลวไหลผ่านเข้าไปในชิ้นงานแม่พิมพ์ ลักษณะกลมเป็นลักษณะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่จะต้องควบคุมการสร้างให้ดี แบบวงกลมจะมีครึ่งหนึ่งอยู่ด้านคอร์และอีกครึ่งอยู่ด้านควาวิตี ทำให้มีความซับซ้อนมาก เพราะฉะนั้นลักษณะ สี่เหลี่ยมคางหมู จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ [22 , 23]

ขนาดของวิ่ง เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการออกแบบแม่พิมพ์ ความหนาของทางวิ่งถูกกำหนดบนพื้นฐานของวัสดุหรือลักษณะของชิ้นงาน ถ้าทางวิ่งใหญ่จะทำให้เวลาในการหล่อเย็นมาก และทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากสำหรับทางวิ่งที่เหลือ ในอีกด้านหนึ่งทางวิ่งที่เล็กเกินไปทำให้เกิดปัญหา เช่น การไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ หรือการเกิดรอยบวม ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ความยาวของทางวิ่ง ถ้าทางวิ่งยาว จะต้องขยายขนาดของทางวิ่ง เพื่อลดการเสียดทาน อย่างไรก็ตามจะทำให้ใช้เวลาในการหล่อเย็นมากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย [24] การทำให้ทางวิ่งสั้นเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับตำแหน่งของทางวิ่ง จะต้องกำหนดให้ระยะทางของทางวิ่งมีความยาวเท่ากันในแต่ละชิ้นงานในแม่พิมพ์ เมื่อมีชิ้นงานหลายชิ้น เพื่อให้แรงดันพลาสติกไหลมเกลวที่เท่ากันในทุกส่วนของชิ้นงาน



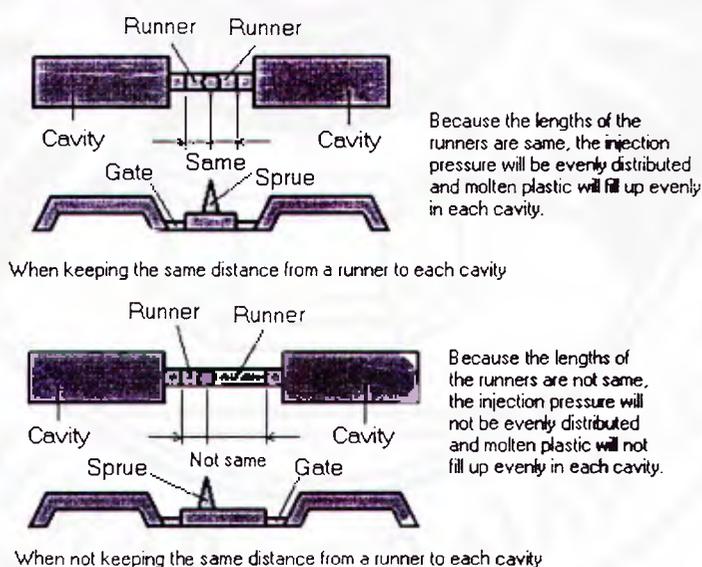
รูปที่ 2.20 การเลือกขนาดของทางวิ่งให้เหมาะสมกับชิ้นงาน [19]

การแก้ไขสำหรับชิ้นงานที่มีความบาง ควรเพิ่มความเร็วในการฉีดและเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ และสร้างทางวิ่งให้เล็กเพื่อให้อัตราเร็วของการไหล ของพลาสติกเหลวเพิ่มขึ้นโดยทำให้ความหนืดลดลง ส่วนชิ้นงานที่มีความบางควรเพิ่มความเร็วในการฉีดที่ละน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่ผิวหน้าของ ชิ้นงาน เช่น รอยฟองอากาศ รอยยุบ และทำการคงแรงดันของพลาสติกเหลว และ เพิ่มขนาดของทาง วิ่งเพื่อลด รอยยุบ ของชิ้นงาน [19]



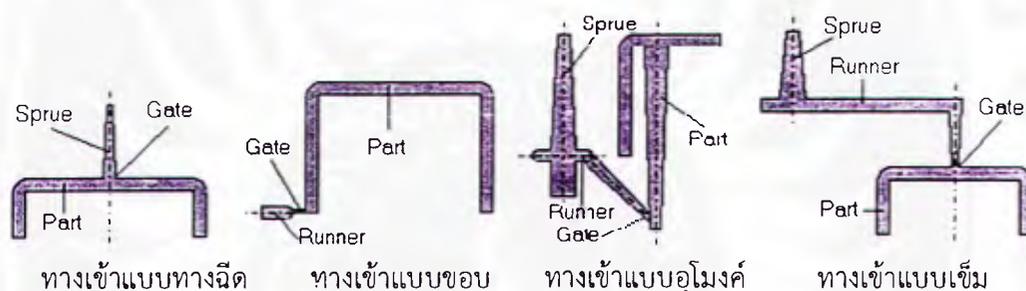
รูปที่ 2.21 การแก้ไขของชิ้นงานที่มีความบางและความหนา

2.7.3.2 ทางเข้า เป็นบริเวณที่พลาสติกเหลวไหลเข้าไปยังส่วนของชิ้นงาน โดยทำหน้าที่ จำกัดการไหลของพลาสติกหลอมเหลว ทางเข้ามีการเย็นตัวเร็วและแข็งตัว เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลกลับของ พลาสติกหลอมเหลวเมื่อเข้าไปในชิ้นงาน [23] การเลือกชนิดของทางเข้าขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิต ปริมาณของเครื่องจักรที่ใช้ในการตกแต่ง ศักยภาพในการพุ่งของวัสดุ (Jetting) และชนิดของแม่พิมพ์ที่ ต้องการ เป็นต้น ชนิดของทางเข้า มีอยู่หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่ต้องการออกแบบ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การปรับขนาดของวิ่งให้มีการเติมพลาสติกหลอมเหลวที่สมดุล [19]

ทางเข้าแบบทางฉีด (Sprue gate) นิยมใช้กับพลาสติกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และมีความหนืดสูง ทางเข้านี้ควรอยู่ตรงส่วนหนาที่สุดตรงชิ้นงานเพื่อป้องกันการพุ่งของพลาสติก ทางเข้าชนิดนี้ใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และสมมาตรกับแกน ไม่ควรใช้ทางเข้าที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เกินไป เพราะพลาสติกไหลมั่วเย้นตัวข้ามมากและอาจนำไปสู่การเกิดรอยยุบ (Sink mark) ช่องว่าง (Void) และรอยที่บริเวณใกล้ทางเข้า หากเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงทางฉีดแบบยาวๆ เนื่องจากมีการสูญเสียแรงดันเพิ่มขึ้นและพลาสติกจะเย็นตัวเร็วเกินไป [23] ช่วยในการกำจัดหรือการลดการเกิดชิ้นแบบ (Cold slug) โดยอาจใช้หัวฉีดสำหรับการฉีดแบบเรียวกลับ (Reverse taper injection nozzle) โดยเฉพาะกับชิ้นงานที่มีความสมมาตรจะสามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างประหยัดและมีคุณภาพ แต่จะต้องเพิ่มระยะเวลาในการหล่อเย็นหลังกระบวนการฉีดจะมีรอยตำหนิขนาดใหญ่บนผิวชิ้นงาน [24]



รูปที่ 2.23 ทางเข้าแบบต่างๆ [19]

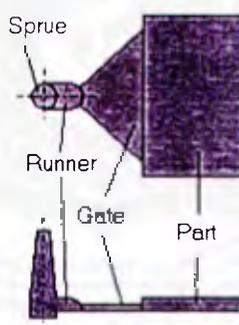
ทางเข้าแบบขอบ (Edge gate) ทางเข้าชนิดนี้นิยมเข้าทางด้านข้าง ด้านบนสุด หรือล่างสุดของชิ้นงานดังรูปที่ 2.23 ใช้มากในแบบแม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น การใช้งานเหมาะสำหรับชิ้นงานที่พื้นผิวใหญ่และผนังบางโดยวัสดุที่ออกจากทางฉีดจะเข้าไปยังช่องกระจายขยายตัวซึ่งอยู่ติดกับโพรงแบบในพื้นที่แคบๆ ทางเข้าชนิดนี้ช่วยลดความเสี่ยงการพุ่งของพอลิเมอร์ได้ [23]

ทางเข้าแบบอุโมงค์หรือทางเข้าแบบใต้น้ำ (Tunnel gate or submarine gate) มักจะใช้กับแม่พิมพ์ที่มีหลายคาวิตี สำหรับการผลิตชิ้นงานขนาดเล็กซึ่งสามารถเข้าทางด้านข้างได้ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับการแยกทางเข้าออกจากทางวิ่งโดยอัตโนมัติในระหว่างที่มีการปลดชิ้นงาน ในผลิตภัณฑ์บางชนิดจำเป็นต้องมีเบ้าอยู่ตรงขอบทางเข้า เพื่อช่วยทำความสะอาดโดยทางเข้าจะต้องมีลักษณะเป็นมุมเพื่อให้การปลดชิ้นงานได้ง่ายขึ้น จะใช้เมื่อพื้นผิวที่ถูกฉีดไม่สามารถทนต่อพื้นผิวภายนอก ของผลิตภัณฑ์ การเติมปลั๊ก (plug) จะช่วยทำให้เกิดการอัดแบบอัตโนมัติ และช่วยทำให้

สามารถทำซ้ำได้ (Repeatability of cycle) สามารถตัดทางเข้าได้โดยอัตโนมัติ แต่สามารถใช้ได้เฉพาะชิ้นงานที่มีรูปร่างง่ายๆ เท่านั้น เพราะมีการสูญเสียแรงดันสูงมาก [24]

ทางเข้าแบบเข็ม (Pin gate) ทางเข้านี้เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก และผลิตเป็นจำนวนมาก ทำได้ในแม่พิมพ์คาวิตีเดียวหรือหลายคาวิตี ซึ่งสามารถกำหนดให้ทางเข้าเข้าตรงกลางได้ ทางเข้าจะมีลักษณะป้อนเข้าทางด้านใต้ของชิ้นงาน เนื่องจากทางเข้านี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างเล็ก ดังนั้นจึงนิยมใช้มากกว่าทางเข้าแบบทางฉีดซึ่งต้องปรับแต่งผิวภายหลัง ในการออกแบบชิ้นงานที่ใช้ทางเข้าแบบนี้มักจะแนะนำให้เพิ่มขนาดความหนาของชิ้นงานด้านที่อยู่ตรงข้ามกับทางเข้าเพื่อให้การไหลของพอลิเมอร์หลอมเข้าโพรงแบบเป็นไปอย่างอิสระ สามารถตัดทางเข้าได้โดยอัตโนมัติ อาจจะมีเศษพลาสติก (Scrap) จำนวนมาก [24]

ทางเข้าแบบพัด (Fan gate) ทางเข้าแบบนี้จะให้พอลิเมอร์ไหลเข้าโพรงแบบที่มีพื้นที่ตรงทางเข้าค่อนข้างใหญ่จึงเหมาะกับการอัดแบบที่มีลักษณะแบนราบ (Flat molding) เช่น ถาด หน้าปิด ก่อ และฝาปิด เป็นต้น ทางเข้าแบบนี้จะช่วยทำให้เกิดการแพร่ของการไหลของพอลิเมอร์ไปยังการอัดแบบและลดรอยไหล (Flow lines) และช่วยลดผลที่เกิดจากการเรียงตัว แต่ทางเข้าชนิดนี้เวลาปลดทางเข้า (Dagging) ทำได้ยากจึงควรพิจารณาถึงข้อเสียส่วนนี้เวลาเลือกใช้ [22]



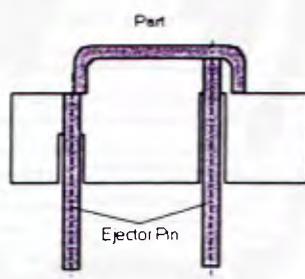
รูปที่ 2.24 ทางเข้าแบบพัด [19]

2.7.4 การปลดชิ้นงาน (Ejecting Parts)

การพิจารณาดำเนินการที่จะปลดชิ้นงานจะระมัดระวังไม่ให้เกิดรอยแตก รอยบิดเบี้ยว และความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานเมื่อปลดชิ้นงานออก โดยปกติแล้วชิ้นงานจะอยู่ติดกับแผ่นคอร์ในการเปิดแม่พิมพ์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะโดยปกติแล้วแผ่นคาวิตีจะอยู่บนตำแหน่งด้านคาวิตี และแผ่นคอร์อยู่ด้านคอร์ ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานติดกับคอร์เนื่องจากการหดตัวของชิ้นงานที่เย็นตัวลง [19]

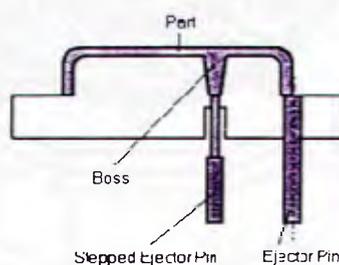
โดยทั่วไป เมื่อพลาสติกหลอมเหลวจะถูกฉีดเข้าด้านแผ่นควาวิตี้ แผ่นปลดชิ้นงานจะถูกติดตั้ง ด้านแผ่นคอร์ควรพิจารณาวิธีการปลดชิ้นงานหรือกำหนดตำแหน่งของตัวปลดชิ้นงานที่เป็นสลักเพื่อที่จะปลดชิ้นงานออกจากแผ่นปลดชิ้นงานซึ่งไม่สร้างความเสียหายต่อชิ้นงาน [24] โดยทั่วไปวิธีการปลดชิ้นงานได้แก่

การปลดด้วยสลัก (Pin Ejection) ตำแหน่งที่จะปลด จะมีความต้านทานสูง ถ้าความต้านทานเท่ากัน ตำแหน่งปลดจะทำได้ทุกตำแหน่ง [23]



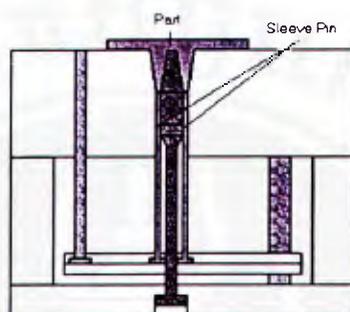
รูปที่ 2.25 การปลดชิ้นงานแบบการปลดสลัก [19]

Boss Ejection ถ้ามี Boss หรือ rib ตำแหน่งสลักที่ด้านล่าง ของ boss หรือ rib จะแทนที่ตำแหน่ง การกำหนดตำแหน่งสลักรอบๆ boss และ rib เพราะว่าการขึ้นงานจะเกิดรอยเมื่อปลดชิ้นงานด้วยสลัก [22]



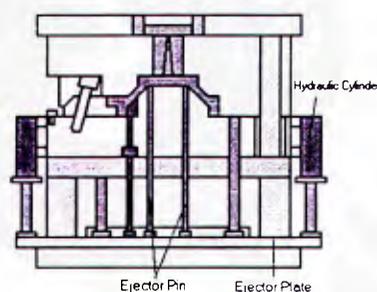
รูปที่ 2.26 การปลดชิ้นงานแบบการปลด Boss Ejection [19]

การปลดด้วยกระบอกสวม (Sleeve Ejection) การปลดชิ้นงาน จะต้องกระทำอย่างเหมาะสม เพราะจะต้องปลดชิ้นงานอย่างสม่ำเสมอกับขอบ [23]



รูปที่ 2.27 การปลดกระบอกสวม [19]

การปลดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Ejection) จะใช้เครื่องมือไฮดรอลิกเพื่อปลดชิ้นงาน มีประโยชน์มาก เช่น การยืดหยุ่นในการติดตั้ง เวลาการปลดหรือความเร็วในการปลดชิ้นงาน และใช้เครื่องมือที่ปลอดภัยในการป้องกันขอบตัวปลดชิ้นงานที่เป็นสลักจากการรบกวนจากความดันจากความดันไฮดรอลิกที่ลดลงเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ โดยการหยุดกระบวนการในสภาพ Overload เช่น การเพิ่มขึ้นของความต้านทานในแผ่นปลด



รูปที่ 2.28 การปลดชิ้นงานแบบการปลดไฮดรอลิก [19]

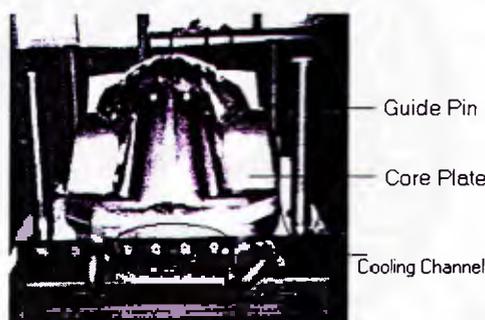
2.7.5 แผ่นปลดชิ้นงาน (Ejector Plate)

แผ่นปลดชิ้นงานทำหน้าที่เคลื่อนตัวปลดชิ้นงานที่เป็นสลัก Push rod จะเป็นตัวผลักเครื่องจักรที่ใช้ทำแม่พิมพ์เพื่อปลดแผ่นปลดชิ้นงาน โดยตัวปลดชิ้นงานที่เป็นสลักและจะผลักชิ้นงานออก จะใช้ Return pin เพื่อหมุนแผ่นปลดชิ้นงานไปยังตำแหน่งเดิม โดยวิธีการนี้ขอบของ return pin จะสัมผัสกับพื้นที่ผิวของ cavity plate ในขณะที่แม่พิมพ์ปิดและผลักแผ่นปลดชิ้นงาน แต่วัฏจักรของการทำแม่พิมพ์ (molding cycle) จะลดลงและนานขึ้น แม่พิมพ์ขนาดเล็กมักจะใช้ Return spring เพื่อที่จะหมุน แผ่น

ปลดชิ้นงาน ก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดหลังจากปลดชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งจะลดวัฏจักรของการขึ้นรูป (molding cycle) [21]

2.7.6 ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ (Mold cooling)

อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีผลกระทบอย่างมากต่อการขึ้นรูป ถ้าหากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ มีค่าต่ำมากเกินไปพลาสติกที่หลอมเหลวจะไหลอย่างไม่สม่ำเสมอผ่านทางวิ่งหรือทางเข้า ทำให้ไม่สามารถเติมได้ในคาวิตี หรือถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงเกินไป จะใช้เวลานานในการทำให้เย็นตัวลง และการแข็งตัวของพลาสติกหลอมเหลว [23] ดังนั้น วัฏจักรในการขึ้นรูป (Molding cycle) จะมีรอบที่ยาวนานขึ้นวัฏจักรในการขึ้นรูปจะสั้นลงโดยการลดลงของเวลาและการแข็งตัวของพลาสติกที่หลอมเหลว ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมได้ จะทำให้คุณภาพของพื้นผิว หรือ วิธีการวัดค่าความแม่นยำของชิ้นส่วน สามารถทำได้โดยปรับปรุงความสามารถของแม่พิมพ์ที่ดีกว่า และการเกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน (Warpage) หรือ ความเค้นในชิ้นงานสามารถหลีกเลี่ยงได้ เมื่อเกิดการหดตัวของแม่พิมพ์ (Mold shrinkage) ซึ่งเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเค้น [19]



รูปที่ 2.29 ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์จะมีประสิทธิภาพ [19]

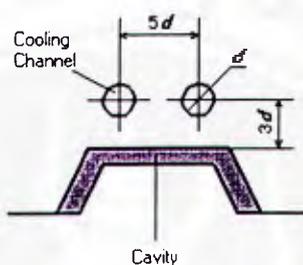
การเลือกตำแหน่งของช่องหล่อเย็นที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาดังนี้

1) ปรับอุณหภูมิของแม่พิมพ์โดยการให้น้ำในปริมาณมาก ที่มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการในการขึ้นรูป

2) เพิ่มจำนวนช่องหล่อเย็นหรือเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการหล่อเย็น

3) ใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์ที่มีค่าการนำความร้อนสูงๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อ

การพิจารณาตำแหน่งของช่องการหล่อเย็นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และรูปร่างของการขึ้นรูป น้ำหล่อเย็นควรไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกสูงกว่า (ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของทางเข้า) ในทิศทางไหลเดียวกันกับพอลิเมอร์หลอมเหลว [24]

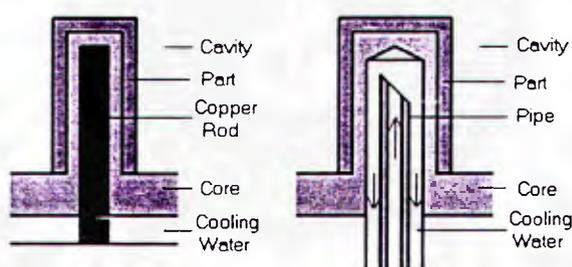


รูปที่ 2.30 ตำแหน่งของช่องหล่อเย็นของควาวิตี [19]

การหล่อเย็นของคอร์ จะต้องพิจารณา ดังนี้

ถ้าคอร์เล็กเกินไปสำหรับช่องการหล่อเย็นจะไหลผ่าน ให้ลดอุณหภูมิของคอร์โดยการเพิ่มแท่งทองแดง หรือท่อนำความร้อนซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการนำไฟฟ้าเข้าสู่คอร์และจะทำให้อุณหภูมิของแท่งทองแดงและท่อความร้อนลดลง

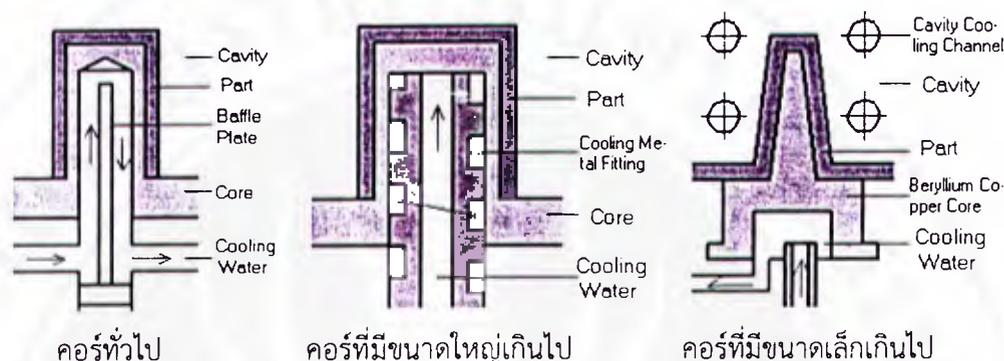
ถ้าคอร์มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับช่องการหล่อเย็นจะไหลผ่าน ให้ลดอุณหภูมิโดยให้วิธีการ jet method ซึ่งน้ำหล่อเย็นจะไหลพุ่งผ่านท่อที่ต่ออยู่กับช่องหล่อเย็น



คอร์มีขนาดเล็กเกินไป คอร์มีขนาดใหญ่เกินไป

รูปที่ 2.31 การแก้ไขการหล่อเย็นของคอร์ [21]

การหล่อเย็นของคอร์โดยทั่วไปทำได้โดยลดอุณหภูมิโดยวิธี Baffle method ซึ่งจะมีแผ่น dividing plate ติดอยู่กับช่องหล่อเย็นบนคอร์และน้ำหล่อเย็นจะไหลผ่านแผ่นดังกล่าว ถ้าช่องการหล่อเย็นในคอร์มีขนาดใหญ่ ลดอุณหภูมิได้โดยเพิ่มข้อต่อโลหะในช่องการหล่อเย็นและน้ำหล่อเย็นจะไหลผ่านเป็นวงก้นหอย ถ้าคอร์เล็กเกินไปสำหรับช่องการหล่อเย็นหรือท่อนำความร้อน แก้ไขโดยใช้คอร์ที่ทำมาจากเบอริลเลียมคอปเปอร์ (Beryllium copper) และทำให้อุณหภูมิเย็นตัวลง



รูปที่ 2.32 การหล่อเย็นของคอร์แบบต่างๆ [19]

2.7.7 ช่องระบายอากาศ (Degassing and Air Venting)

เมื่อพลาสติกหลอมเหลวถูกเติมเข้าสู่คาวิตี อากาศและพอลิเมอร์หลอมที่เหลืออยู่ในแม่พิมพ์จะทำให้เกิดก๊าซ ซึ่งจะต้องนำออกจากคาวิตี กระบวนการนี้เรียกว่า การระบายอากาศ ถ้าการระบายอากาศไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดปัญหาได้ [23] การไหลเข้าของพลาสติกหลอมเหลว จะทำให้อากาศภายในแม่พิมพ์ ถูกกักอัดความร้อนที่ถูกอัดจะทำให้อุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลวสูงขึ้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสี ผิดเพี้ยน หรือรอยไหม้ ถ้าแรงดันการปลดอากาศในเครื่องฉีดสูง พลาสติกหลอมเหลวจะไหลออกมาบน เส้นแบ่งเนื่องจากความต้านทานของอากาศภายในแม่พิมพ์ทำให้ชิ้นงานแลบ (Flash) ความต้านทานของ อากาศภายในแม่พิมพ์ จะทำให้เกิดการไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ทำให้เกิดความเสียหายต่อการขึ้นรูป เช่น รอยการไหล การแก้ปัญหาข้างต้นสามารถแก้ไขได้โดยการลดความเร็วการฉีด อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิ ของแม่พิมพ์ตั้งค่าไว้ค่อนข้างสูง วัฏจักรการขึ้นรูปก็จะใช้เวลามากขึ้น [22]

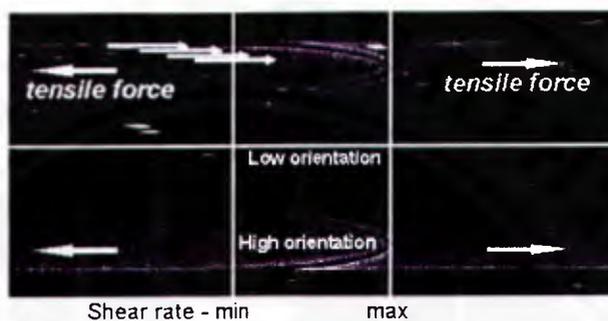
2.8 การใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE)

Computer Aided Engineering: CAE เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี อื่นได้มากมาย การวิเคราะห์แบบจำลองกระบวนการ (process simulation) มีความสำคัญอย่างมากใน การยกระดับความสามารถในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกให้มีความประสบความสำเร็จและมีความ รวดเร็วมากขึ้น การพัฒนาการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างและกระบวนการด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ผู้ออกแบบสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์และประเมินสมรรถนะโครงสร้างและความสามารถของ กระบวนการผลิตได้ CAE มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เช่น การ

ลดต้นทุน การสร้างแม่พิมพ์โดยไม่ต้องมีการลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่ต้องการ ช่วยลดความเสี่ยง และสร้างชิ้นงานที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ การวิเคราะห์ของโปรแกรมจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาประมาณค่าแทนค่าที่เกิดขึ้นจริงที่ได้จากการทดลอง ในการใช้เทคโนโลยี CAE นี้ จะต้องเริ่มจากการสร้างรูปทรงแบบเรขาคณิตโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งการสร้างแบบจำลองของกระบวนการฉีดขึ้นรูปในปัจจุบันนี้ ขึ้นกับการสร้างเมช

2.8.1 การใช้ CAE ในการวิเคราะห์การออกแบบ

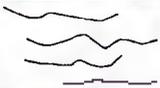
โปรแกรมวิเคราะห์การเติมพลาสติกหลอมเหลวเข้าแม่พิมพ์ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี 1975 ซึ่งโปรแกรมนี้เป็นแบบสองมิติซึ่งยังไม่สมบูรณ์ เป็นเทคโนโลยีแบบ “Layflat” เนื่องจากการใช้เวลานานในการคำนวณ ในช่วงแรกจะมีการวิเคราะห์เพื่อแสดงผลของค่าที่คำนวณได้เท่านั้นแต่จะไม่มีกราฟฟิก ซึ่งโมเดลที่เกิดจากค่าที่วิเคราะห์เชิงตัวเลขจะประกอบด้วย ความยาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความกว้าง และความหนาของช่องทางการไหลที่เกิดในแม่พิมพ์ [25] เทคโนโลยี CAE ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการไหลกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบใน CAD เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเมื่อมีการนำไปขึ้นรูปจริง ทำให้มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อนำมาทำการผลิต โดยนำลักษณะของแม่พิมพ์ ชนิดของวัสดุ ตำแหน่งทางเข้าและสภาวะเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปมาวิเคราะห์การไหลของพลาสติกหลอมเหลวโดยโปรแกรม 3 มิติ เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิในการขยายตัวของพลาสติกส่วนหน้า เวลาหล่อเย็น และความดันรวมที่ใช้เติม เป็นต้น ผลจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบกราฟฟิกที่เป็นสีต่างๆ Contour กราฟ และ animation เป็นต้น ดังนั้นผู้วิเคราะห์สามารถแปรผลที่เกิดจากรูปแบบการเติมจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมนี้ทำให้สามารถเข้าใจค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ความดันที่เกิดจากการไหล การไหลของพลาสติกหลอมเหลว ตำแหน่งการเกิดรอยประสาน และสามารถตรวจสอบความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนสถานะของพลาสติก ดังนั้นเพื่อให้ได้รูปแบบการไหลที่เหมาะสมวิศวกรได้นำเอาหลักการทางกลศาสตร์ของไหลมาเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกหลอมเหลว โปรแกรมนี้สามารถพิจารณาการถ่ายเทความร้อน และการไหลของพลาสติกหลอมเหลว [16] โดยการใช้สูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ (ภาคผนวก ข) เช่น สมการการถ่ายเทความร้อนและสมการการไหลของของไหล เพื่อใช้วิเคราะห์ค่าที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน

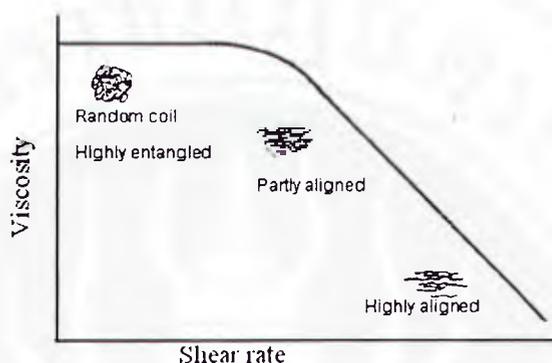


รูปที่ 2.33 การจัดเรียงตัวตามแนวแรงดึงที่เกิดจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลว [16]

การพิจารณาการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่เกิดขึ้นงาน ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการไหลมีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ดังตารางที่ 2.7 กรณีที่เกิดความเค้นเฉือนของการไหลสูงกว่าจะเกิดการการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นแนวได้ดีกว่า โดยทั่วไปจะจัดในทิศทางการไหล รูปแบบของการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นกับความเค้นที่เกิดขึ้นภายในพลาสติกหลอมเหลว คุณสมบัติทางกลจะลดลงที่แนวที่ตั้งฉากกับแนวการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ดังรูปที่ 2.34 ถ้าบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวมีความจำเป็นต้องการให้เกิดความต้านทานความเค้นก็ควรออกแบบการเติมให้จุดนั้นมีการจัดเรียงตัวต่ำเนื่องจากความแข็งแรงทางกลในทิศทางการไหลจะสูงกว่าในแนวตั้งฉากกับการไหลสามารถใช้ได้ดีเมื่อทราบค่าแรงที่จะกระทำทางกล การจัดเรียงตัวสามารถทำให้เป็นแนวในทิศทางการไหลได้ตามหลักทฤษฎีความเค้น [17]

ตารางที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลตามความสัมพันธ์ของความหนืดและอัตราเฉือน [17]

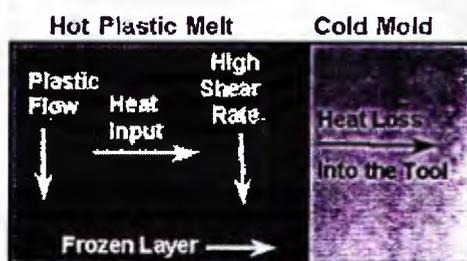
ลักษณะการจัดเรียงตัว	ความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล	การพันของสายโซ่โมเลกุล	ค่าความหนืด	อัตราเฉือน
	สูง	ไม่เกิด	ต่ำ	สูง
	ปานกลาง	เกิดน้อย	ปานกลาง	ปานกลาง
	ต่ำ	เกิดมาก	สูง	ต่ำ



รูปที่ 2.34 ลักษณะสายโซ่โพลิเมอร์เลกุลตามความสัมพันธ์ของความหนืดและอัตราเฉือน [17]

สิ่งที่มีความสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์การไหลที่เป็นตัวเลือกของสภาวะเงื่อนไขการฉีดขึ้นรูป ผลกระทบของการไหลของพลาสติก โดยสภาวะเงื่อนไขพื้นฐานของการขึ้นรูปเป็นผลกระทบของการไหล โดยการพิจารณาระหว่างการไหลของไหลและการเกิดความร้อนในการเติมชิ้นงานที่มีความหนาอย่างรวดเร็วการถ่ายเทความร้อนมีผลกระทบเล็กน้อยต่อการไหลส่วนการเติมชิ้นงานที่มีความบางอย่างช้าๆ การถ่ายเทความร้อนไม่สามารถควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ในส่วนที่บาง การไหลในส่วนที่หนาและส่วนที่บางจะมีการใช้สภาวะเงื่อนไขในการเติมที่แตกต่างกัน

ชิ้นงานอาจจะประกอบด้วยส่วนที่บางและส่วนที่หนา ดังนั้นถ้าชิ้นงานถูกเติมอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ผลกระทบเกี่ยวกับความร้อนจะมีผลน้อยมากและพลาสติกจะไหลอย่างรวดเร็วและจะไหลเข้าสู่ส่วนที่บางได้ง่าย ในกรณีอัตราการเติมเป็นไปอย่างช้าๆ และอุณหภูมิต่ำ จะมีผลกระทบมากและส่วนที่บางจะถูกเติมอย่างช้าๆ ทำให้มีโอกาสเกิดการไหลไม่เต็มแม่พิมพ์หรือทำให้ติดกับอากาศ [16]



รูปที่ 2.35 การถ่ายเทความร้อนของพลาสติกหลอมเหลวที่เกิดระหว่างการไหลในแม่พิมพ์ [16]

การเปรียบเทียบอัตราการฉีดกับความหนาของชั้น Frozen Layer อัตราการฉีดมีผลอย่างมากกับความหนาของชั้นของพลาสติกหลอมเหลวที่แข็งตัวระหว่างที่มีการเติม ในขณะที่ชิ้นงานกำลังถูกเติม จะเกิดความร้อนเนื่องซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเติม ยิ่งอัตราการเติมมากกว่าหรือยิ่งเวลาการเติมน้อยความร้อนก็จะยิ่งมากขึ้นและความชื้นของพลาสติกที่แข็งตัวจะยิ่งบางลง ยิ่งอัตราการฉีดต่ำลงความหนาของชั้นที่แข็งตัวก็จะยิ่งหนาขึ้น เมื่อชั้นที่แข็งตัวค่อยๆ หนาขึ้นช่องการไหลสำหรับพลาสติกจะค่อยๆ เล็กลงและต้องการความดันที่มากขึ้นสำหรับอัตราการไหลที่กำหนด ในกรณีที่ชั้นที่พลาสติกแข็งตัวบางผลที่เกิดในทางตรงกันข้ามกับความหนา [25]



รูปที่ 2.36 ผลกระทบที่เกิดจากอัตราเร็วของการฉีดพลาสติกหลอมเหลวที่มีผลต่อการเกิดชั้นที่แข็งตัวกับผนังแม่พิมพ์ [16]

2.8.2 การวิเคราะห์แบบ Fusion™ Modeling and analysis

โปรแกรม Moldflow มีประโยชน์มากในการแปรผลแบบ 3 มิติเพื่อใช้กับผลการไหลแบบ 2 มิติเดิม วิธีนี้ใช้รูปแบบมาตรฐานแบบ STL 3 มิติ โดยจะสร้างเมชแบบ Mid-plane ที่ด้านนอกของพื้นผิวขอลรูปร่างแบบ 3 มิติ element บนพื้นผิวตรงข้ามของผนังจะจับคู่กันและอยู่ในแนวเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบหลายชั้นหรือการไหลแบบชั้นเดียวจะต้องมีการคำนวณความร้อนที่เมชทั้งสอง การเมชแบบ STL จะจัดระเบียบอัตโนมัติโดยรหัสวิเคราะห์เพื่อสร้างเมชสามเหลี่ยมแบบเดียวกันที่ด้านนอกของพื้นผิวด้านนอกของชิ้นงาน การเมชแบบ STL ส่วนใหญ่จะสร้างโดยระบบ CAD โดยที่ต้องแน่ใจว่าไม่มีช่องว่างในการเชื่อมต่อในการเมชระหว่างการวิเคราะห์เพราะจะทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่ถูกต้อง

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ดูเหมือนจะแสดงเป็นรูปร่างแบบ 3 มิติ และผลการวิเคราะห์จะปรากฏมากกว่า 3 มิติ การอธิบายยังคงขึ้นอยู่กับ shell geometry และการใช้สมมติฐาน as with more traditional shell model นอกจากนี้ยังมีการใช้ Node-hopping scheme เพื่อทำนายการดำเนินไปของการขยายตัวของพลาสติกส่วนหน้า แต่ปัจจุบันนี้มีการรวมกระบวนการ Node-hopping ทั้งสองด้านของช่องการไหลหรือความหนาของควาวิตี้ ซึ่งถือว่าซับซ้อนกว่า mid-plan node-hopping ซึ่งถูกควบคุม

โดยการเชื่อมต่อ เทคนิคการ Dual Domain node-hopping นี้การไหลจะต้องผ่านช่องความหนาเมื่อต้องการเติมพอลิเมอร์ลงในคาวิตีเมื่อมองจากด้านใดด้านหนึ่งของความหนาของคาวิตี hopping จะผ่านความหนาของช่องการไหลและไม่อนุญาตให้ไหลผ่านช่องด้านนอกของชิ้นงาน เช่น thin slot นอกจากนี้โปรแกรมนี้ใช้เพื่อกำหนดความหนาของพลาสติกที่สัมพันธ์กับแต่ละโหนดของชิ้นงานเพื่อกำหนดความดันลด pressure drop และการดำเนินไปของการขยายตัวของพลาสติกส่วนหน้า นี่เป็นจุดด้อยของการวิเคราะห์แบบ Dual Domain และเหตุผลหนึ่งของการวิเคราะห์ชิ้นงานในส่วนที่หนาและในตำแหน่งที่หนากว่าหรือบางกว่าขาดความน่าเชื่อถือในการทำนาย [17]



รูปที่ 2.37 Fusion™ Modeling [16]

2.8.3 การวิเคราะห์ แบบ Mid-plane 2 ½ shells

การวิเคราะห์ชิ้นงานทดสอบโดยการเมชแบบ Mid-plane มีมาตรฐานของการวิเคราะห์การไหล โดยมีการแก้ปัญหาการไหลแบบ 2 มิติในแนวระนาบ X-Y ซึ่งประกอบด้วย การเมชแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ การเมชสามารถทำให้เป็นรูปร่างแบบ 3 มิติได้ ดังนั้นจะอ้างอิงเหมือนคำตอบของการไหลแบบ 2 ½ มิติ อุณหภูมิในแนวแกน Z จะถูกคำนวณที่แต่ละโหนด โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบไฟไนต์ การคำนวณอุณหภูมิคำนวณที่เส้นสมมาตรของเส้นกึ่งกลางของแนวการไหลโดยขึ้นอยู่กับสภาวะขอบเขตที่ใช้ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ผู้ใช้จะกำหนดขึ้น สภาวะขอบเขตที่เหมาะสมและการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์ที่ใช้ในการจำลองการวิเคราะห์การฉีดแม่พิมพ์จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง [16]



รูปที่ 2.38 Mid-plane 2 ½ shells [16]

2.9 การคำนวณจำนวนตัวอย่างเพื่อให้ใช้ประมาณค่าประชากร

ในการทดสอบชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจะต้องหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบแต่ละประเภท เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดจากความเป็นจริง [34] โดยพิจารณาจาก

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{x} \pm \frac{Z\sigma}{\sqrt{n}} \\ \mu - \bar{x} &= \frac{Z\sigma}{\sqrt{n}} \\ \sqrt{n} &= \frac{Z\sigma}{\mu - \bar{x}} \\ n &= \left[\frac{Z\sigma}{\mu - \bar{x}} \right]^2\end{aligned}$$

โดยที่ $Z = 1.96$ ในการทดสอบต้องการระดับความเชื่อมั่น 95% (หาจากตารางเส้นโค้งปกติ)

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เป็นค่าที่อ้างอิงจากผลงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องหรือการเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวนหนึ่ง (มากกว่า 30 ตัวอย่าง) จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างคือ s แล้วนำไปแทนค่าใน σ

μ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากร

n = จำนวนตัวอย่าง

$\mu - \bar{x}$ = ค่าคลาดเคลื่อนของ x จาก μ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำโปรแกรมแบบจำลองการไหลมาวิเคราะห์ชิ้นงานเพื่อศึกษาการผลิตบานพับมีความจำเป็นที่ต้องทราบสภาวะของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของพลาสติก รูปแบบการไหล และลักษณะของแม่พิมพ์

Kim F .S.และคณะ (2003) [18] ได้ศึกษาการไหลของเรซินที่ขึ้นกับตำแหน่งรูเข้าหลายตำแหน่ง ได้ทำการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์แบบวิธีเชิงตัวเลข ของ Simple strip กับบานพับ ปรากฏว่าเรซินที่บานพับ จะไม่ไหลจนกระทั่งอีกด้านหนึ่งของ simple strip ถูกเติม และเกิดจากแนว ไหลไม่เป็นแนวเดียวกัน จนทำให้เกิดการแข็งตัวของพลาสติก ผลมาจากการชะลอของการไหลของพลาสติกเหลือทางด้านทานการไหล ที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาไปสู่ส่วนที่บางของบานพับส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความไม่สมบูรณ์

Brannon P.J.และคณะ (2000) [26] ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบที่มีผลต่อสมรรถนะความแข็งแรงของบานพับ ที่เชื่อมระหว่างกล่องกับฝา พบว่าปัจจัยของการเติมที่ทำให้บานพับมีคุณภาพ มี 3 ลักษณะ คือ การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลจากการพิจารณาจากผิวการขยายตัวของพลาสติกส่วนหน้าที่เกิด และเปอร์เซ็นต์เวลาการเติมของพลาสติกหลอมเหลวเต็มส่วนที่บางของบานพับพบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ เวลาการเติมพลาสติกหลอมเหลวในบานพับ

นอกจากนี้บริษัทเซฟเฟิร์ด (C.E. Shepherd Company) (2005) [6] ได้ทำการผลิตบานพับไม่มีสลักแบบสองปีก (Pinless butt hinge) และทำการทดสอบ flex-tested พบว่ามีการนำ modified polymer copolymer มาขึ้นรูปบานพับและทดสอบการใช้งานได้มากกว่าล้านครั้ง โดยถือเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการทดลอง

เนื่องจากลักษณะบานพับพลาสติกเป็นชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการขึ้นรูปบานพับ โดยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตบานพับพลาสติก โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ของบานพับพลาสติกไม่มีสลักแบบสองปีก ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูป และชนิดของพลาสติกที่ความเหมาะสมในการผลิตบานพับไม่มีสลักแบบสองปีก ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมานั้น เป็นสร้างแบบบานพับพลาสติกสองปีกไม่มีสลักตามรูปที่ หลังได้ชิ้นงานที่มีความหนาในส่วนพับงอที่ขนาดเท่ากับ 0.5 mm ดังนั้นเพื่อให้ง่ายในการติดตั้งการใช้งาน ผู้วิจัยจึงการปรับลดความหนาในส่วนปีกของบานพับพลาสติกที่เหมาะสมที่สุด

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ลำดับขั้นตอนของการทำงานมีดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาค้นคว้าตำรา วารสาร สิ่งพิมพ์ต่างๆ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการดำเนินงาน เพื่อเป็นแนวคิดในการสร้างบานพับไม่มีสลักแบบสองปีก รวมทั้งศึกษาการใช้งานโปรแกรมที่นำมาทำการวิจัย

3.1.2 นำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาเลือกใช้ชนิดของพลาสติกที่เหมาะสม

3.1.3 นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาออกแบบและสร้างแบบของบานพับ โดยปรึกษากับผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์และอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย เพื่อตรวจสอบและให้คำแนะนำ

3.1.4 นำแบบที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการฉีดขึ้นรูป เพื่อลดต้นทุนการผลิต และลดเวลาการพัฒนาชิ้นงาน

3.1.5 ปรับปรุงแบบชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปในแบบจำลองเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน

3.1.6 ออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ เช่น ตำแหน่งทางเข้า ทางวิ่ง ระบบหล่อเย็น เป็นต้น เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดกับชิ้นงานและแม่พิมพ์ และลดเวลาในการลองแม่พิมพ์

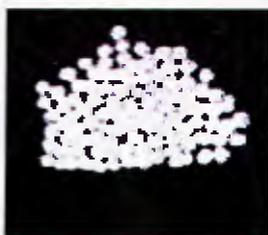
3.1.7 ทำแม่พิมพ์จริง แล้วนำไปฉีดขึ้นรูปด้วยพลาสติกที่กำหนด

3.1.8 ทำการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน ได้แก่ การทดสอบการพับงอ (Flexibility Testing) และการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Testing)

3.1.9 เก็บข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล

3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

โดยทั่วไปชิ้นงานที่มีบานพับเป็นส่วนประกอบจะผลิตจากพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) และมีคุณสมบัติแข็งและเหนียว (Ductile) เนื่องจากการขึ้นรูปของบานพับพลาสติกแบบสองปีกจะมีส่วนที่บางอยู่ในตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนที่หนาทั้งสองด้านของปีกบานพับและสามารถยืดหยุ่นได้เพื่อให้สามารถเปิดปิดไปมาได้ พลาสติกที่จะเลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พลาสติกที่มีคุณสมบัติของความเป็นผลึก โดยความแข็งแรงและความทนทานของบานพับจะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่จัดเรียงตัวตามแนวทิศทางการไหล สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พอลิเมอร์ 2 ชนิดในการฉีดขึ้นรูป ได้แก่ พอลิโพรพิลีนแบบบล็อกโคพอลิพอลิเมอร์เกรด POLENE 2300 NCA ของบริษัท IRPC คุณสมบัติเฉพาะของพลาสติกนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และพอลิโพรพิลีน (PP) เกรด Moplen RP 440 N ของบริษัท HMC Polymers คุณสมบัติเฉพาะของพอลิโพรพิลีนได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

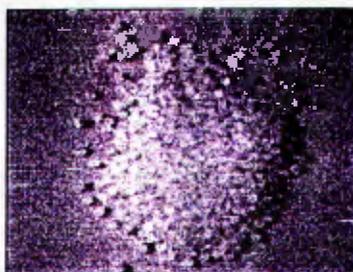


รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด POLENE 2300 NCA

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีน เกรด POLENE 2300 NCA

Resin Properties	POLENE 2300 NCA	ASTM METHOD
Density, g/cm ³	0.9	D 1238
Tensile strength at yield, N/mm ²	30	D 638
Elongation at yield, %	17	D 638
Flexural modulus, MPa	1450	D 790
Charpy notched impact strength at 23°C, kJ/m ²	7.5	D 53453
Heat distortion temperature, at 455 kPa, °C	120	D 648

พอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440 N เป็นพอลิเมอร์ที่มีความใส สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความเหนียวมาก และมีความต้านทานต่อสารเคมีได้ดี [32] การจัดเรียงตัวเป็นแบบสายโซ่โมเลกุลกิ่งผลึก ความต้านต่อแรงกระแทก (Impact strength) สูง ระดับความเป็นผลึกสูง มีความแข็ง (Hardness) สูง และต้านทานต่อการขีดข่วนได้ดี มีความต้านทานต่อความชื้นและสารเคมีได้ดี [17]



รูปที่ 3.2 เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N [32]

Resin Properties	Moplen RP440N	ASTM METHOD
Melt flow rate, dg/min	11	D1238
Density, g/cm ³	0.90	D792B
Tensile strength at yield, MPa	33	D638
Elongation at yield, %	11	D638
Flexural modulus, MPa	1400	D790A
Notched izod impact strength at 23°C, kJ/m ²	37	D256A
Deflection temperature, at 455 kPa, °C	99	D648

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์

3.3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานออกแบบและวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ออกแบบ CAD และ CAE โดยมีฟังก์ชันเป็นแบบ AMD Athlon (tm) 64 processors 3500+ 2.21GHz, RAM 2.00 GB

3.3.1.2 ซอฟต์แวร์ Mold Wizard ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกในกระบวนการฉีดพลาสติก Mold wizard ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการออกแบบควาวิดี คอ์ ซึ่งจะให้ผลเป็น Solid 3D เพื่อเป็นแบบในการสร้างแม่พิมพ์จริง พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Unigraphics Solutions

3.3.1.3 ซอฟต์แวร์ CATIA P3 V5R14 (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) เป็นโปรแกรมช่วยแก้ปัญหาทางงานทางด้าน CAD/CAM/CAE ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Dassault Systems

3.3.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์

3.3.2.1 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Mold base เป็นเหล็กเกรด 1820 SCT A20 B30 C50Y-L ผลิตโดยบริษัทไฟร์สตาร์เทคโนโลยี



รูปที่ 3.3 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Mold base

3.3.2.2 เหล็กที่ใช้ในการสร้าง Inserts เป็นเหล็กเกรด TOOL STEEL P-20 ของบริษัท Bohler มีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3

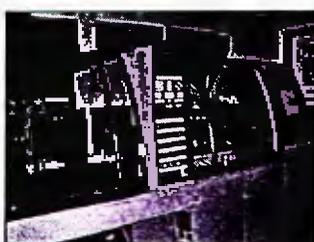
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของเหล็กเกรด TOOL STEEL P-20 ที่ใช้สร้าง Inserts [17]

Property	Units	Value
Mold density	g/cm ³	7.80
Mold specific heat	J/kgC	460
Mold thermal conductivity	W/mC	29
Elastic Modulus	Mpa	200,000
Poissons ratio	-	0.33
Coefficient of thermal expansion	1/c	1.2e ^{0.005}

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดพลาสติก

3.3.3.1 ซอฟต์แวร์ Moldflow Plastic Insight 5.0 ช่วยในการออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชั้นสูง ช่วยในการจำลองและวิเคราะห์การไหลของสำหรับงานฉีดพลาสติก

3.3.3.2 เครื่องฉีดพลาสติก เป็นเครื่องจักรสำหรับนำแม่พิมพ์เข้าไปประกอบเข้ากับเครื่องฉีดเพื่อทำการฉีดพลาสติก ยี่ห้อ ENGEL รุ่น ES 200/50 HL ขนาดแรงดันปิดแม่พิมพ์สูงสุดขนาด 50 ตัน ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์รุ่น EC 88 AO2 ดังแสดงในรูป 3.3 คุณสมบัติแสดงไว้ในภาคผนวก ง



รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดพลาสติก ENGEL รุ่น ES 200/50 HL

3.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกล

3.3.4.1 การทดสอบการพับงอ (Flexibility Testing) เป็นการทดสอบสมรรถนะในการใช้งานเมื่อทำการติดตั้งบานพับ บานพับจะต้องเปิดปิดได้อย่างคล่องตัว ไม่ติดขัดและไม่สั่นคลอน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการสึกหรอเมื่อมีการเปิดปิดบานพับทดสอบที่มีขนาดน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม ความเร็วในการเปิดปิดจำนวน 15 ± 1 ครั้งต่อนาที มุมเปิดปิดของบานเปิดมีขนาด 70 ± 5 องศา โดยขั้นตอนการเตรียมการทดสอบเริ่มต้นจากการติดตั้งตัวอย่างกับเสาและบานเปิดปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทดสอบโดยการเปิดปิดบานพับจำนวน 100,000 ครั้ง



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการพับงอ

3.4 การคำนวณหาจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการพังของชิ้นงาน

การหาจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการพังของชิ้นงานจะพิจารณาจากการนำชิ้นงานขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 75 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x (3.75, 4.25, 5.25) มิลลิเมตร ความหนาในส่วนที่พังหนา 0.5 มิลลิเมตร มาทดสอบการดึงอย่างละ 5 ชิ้น หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง แล้วนำไปแทนค่าใน σ โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้เพื่อคำนวณหาชิ้นงานที่เหมาะสมตามสมการที่ 3.1 โดยจะพิจารณาที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % เพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนโดยจำนวนการพังที่ตั้งเป็นไว้เท่ากับ $100,000 \pm 100$ ครั้ง ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบการเปิดปิดบานพับพลาสติก นำ $\mu - x = 100$ $Z = 1.96$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างชิ้นงานที่ความหนาในส่วนพัง 0.5 มิลลิเมตรซึ่งมีขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร ของพลาสติก Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA

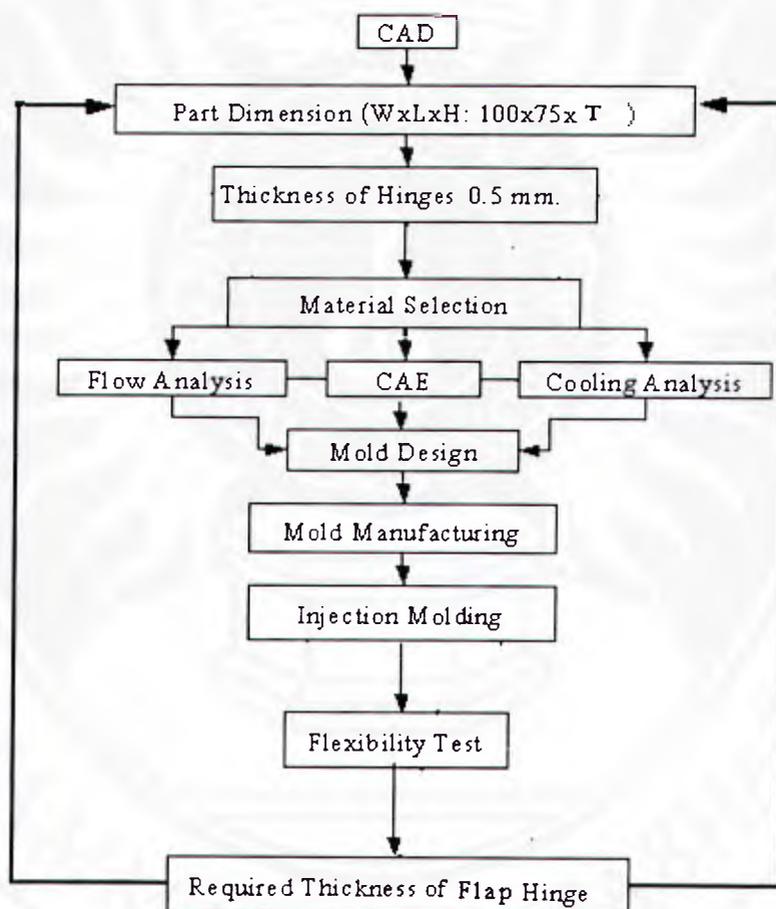
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง					
ขนาดความหนาปีกบานพับของ Moplen RP 440 N (มิลลิเมตร)			ขนาดความหนาปีกบานพับของ POLENE 2300 NCA (มิลลิเมตร)		
3.75	4.25	5.25	3.75	4.25	5.25
21.21	23.87	21.9	19.24	25	23

การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของจำนวนครั้งการพังของชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้น จะพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการพังของบานพับที่มีขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร และขนาดของส่วนที่พัง 0.5 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยพลาสติกโพลีโพรพิลีนทั้งสองเกรดคือ Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA ซึ่งใช้ชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 1 ชิ้น

3.5 การออกแบบการทดลอง

จากรูปที่ 3.6 แสดงแผนการดำเนินงานศึกษาการผลิตบานพับพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยออกแบบชิ้นงานบานพับพลาสติกโดยใช้ซอฟต์แวร์ CATIA P3 V5R14 ให้มีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 75 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x (3.75, 4.25, 5.25) มิลลิเมตร และกำหนดให้ความหนาของ

บานพับพลาสติกในส่วนที่บางที่สุด เป็น 0.5 มิลลิเมตร เลือกชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปบานพับและชนิดของเหล็กที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ นำแบบของชิ้นงานไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Moldflow Plastic Insight 5.0 คือ Flow analysis และ Cooling analysis เพื่อช่วยในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการฉีดขึ้นรูป หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ UG ฟังก์ชันของ Mold Wizard แล้วนำไปสร้างแม่พิมพ์จริง แล้วฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบการพับงอและการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC หลังจากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาหาขนาดที่เหมาะสมของบานพับในส่วนที่บางที่สุดเพียงความหนาเดียว แล้วนำความหนาที่ได้ไปทดสอบซ้ำด้วยกระบวนการเดียวกันตามแผนผังกับพลาสติกชนิดอื่นๆ เพื่อศึกษาชนิดของพลาสติกที่มีความเหมาะสมในการสร้างบานพับต่อไป

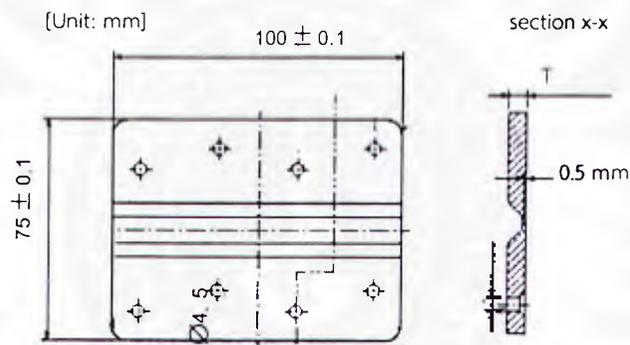


รูปที่ 3.6 แผนผังการดำเนินการศึกษาการผลิตบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก

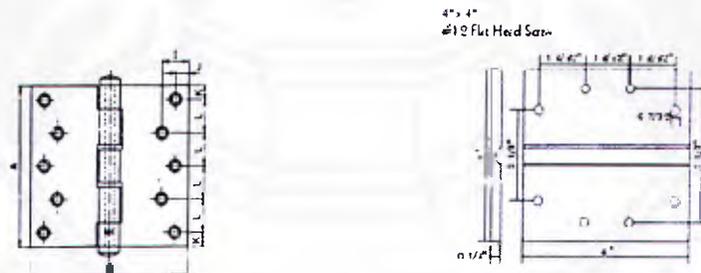
3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การออกแบบบานพับพลาสติก

ผู้วิจัยได้ออกแบบของบานพับพลาสติกโดยใช้ความรู้ทางด้านกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์และปรึกษากับผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อตรวจสอบและให้คำแนะนำ ผู้วิจัยได้ออกแบบบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD ให้มีขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ $75 \times 100 \times T$ มิลลิเมตร ซึ่งกำหนดให้ความหนาของบานพับพลาสติกส่วนปีก (T) มีขนาดต่างกัน คือ 5.25, 4.25 และ 3.75 มิลลิเมตร และขนาดความหนาของส่วนที่พับงอมีความคงทนและง่ายต่อการพับงอคือ 0.5 มิลลิเมตร นอกจากนี้ความกว้างและความยาวของชิ้นงาน ตำแหน่ง ขนาด และจำนวนรูสกรูเป็นไปตามแบบของพับโลหะสองปีกตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.759-2531 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ใช้กันในปัจจุบัน



a) แบบของบานพับพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง



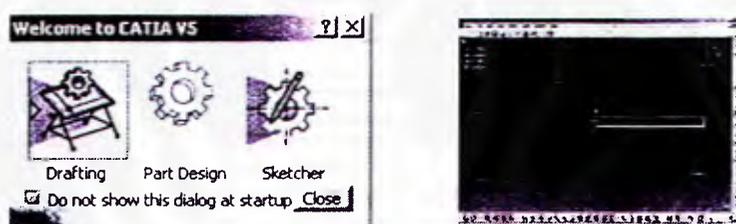
b) แบบของบานพับสองปีกตามมอก.759-2531 [2] c) แบบของบานพับพลาสติกในต่างประเทศ [6]

รูปที่ 3.7 แสดงแบบและขนาดของบานพับชนิดต่างๆ

3.6.2 การสร้างโมเดลด้วย CATIA

ขั้นตอนการออกแบบชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์ CATIA มีดังนี้

3.6.2.1 ออกแบบวาดรูปเรขาคณิต 2 มิติ โดยเลือกโปรแกรมน้อยจาก Workbench แล้วเลือกรายการ Sketcher และเลือกระนาบ YZ



รูปที่ 3.8 การเลือกรายการ Sketcher และเลือกระนาบ YZ และกำหนดขนาดของชิ้นงาน

3.6.2.2 ออกแบบสร้างรูปทรง 3 มิติ โดยเลือกรายการ Part Design จาก workbench แล้วเอาทรงกลม 3 มิติออกจากทรงตัน 3 มิติสี่เหลี่ยมโดยเครื่องมือ remove จากเครื่องมือ Boolean operation



a) การสร้างรูปทรงตัน 3 มิติ โดยใช้เครื่องมือ Pad b) การวาดรูปวงกลมจาก 2 มิติแล้ว Pad เป็น 3 มิติ



c) ทรงกลม 3 มิติสี่เหลี่ยมที่ได้

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเอาทรงกลม 3 มิติออกจากทรงตัน 3 มิติสี่เหลี่ยมโดยเครื่องมือ remove

3.6.2.3 สร้างตำแหน่งรูสกรู โดยการวาดวงกลมตามตำแหน่งที่กำหนดใน 2 มิติ แล้ว Pad เป็น 3 มิติในชิ้นงาน หลังจากนั้น remove ออกจากเครื่องมือ Boolean operation

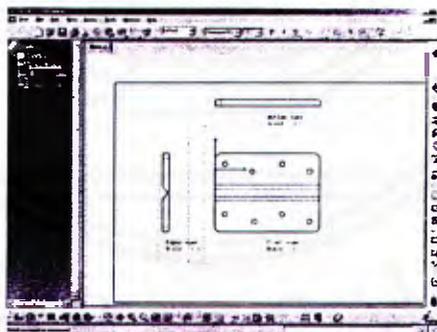


รูปที่ 3.10 การสร้างตำแหน่งรูสกรูโดยการวาดวงกลมตามตำแหน่งที่กำหนด



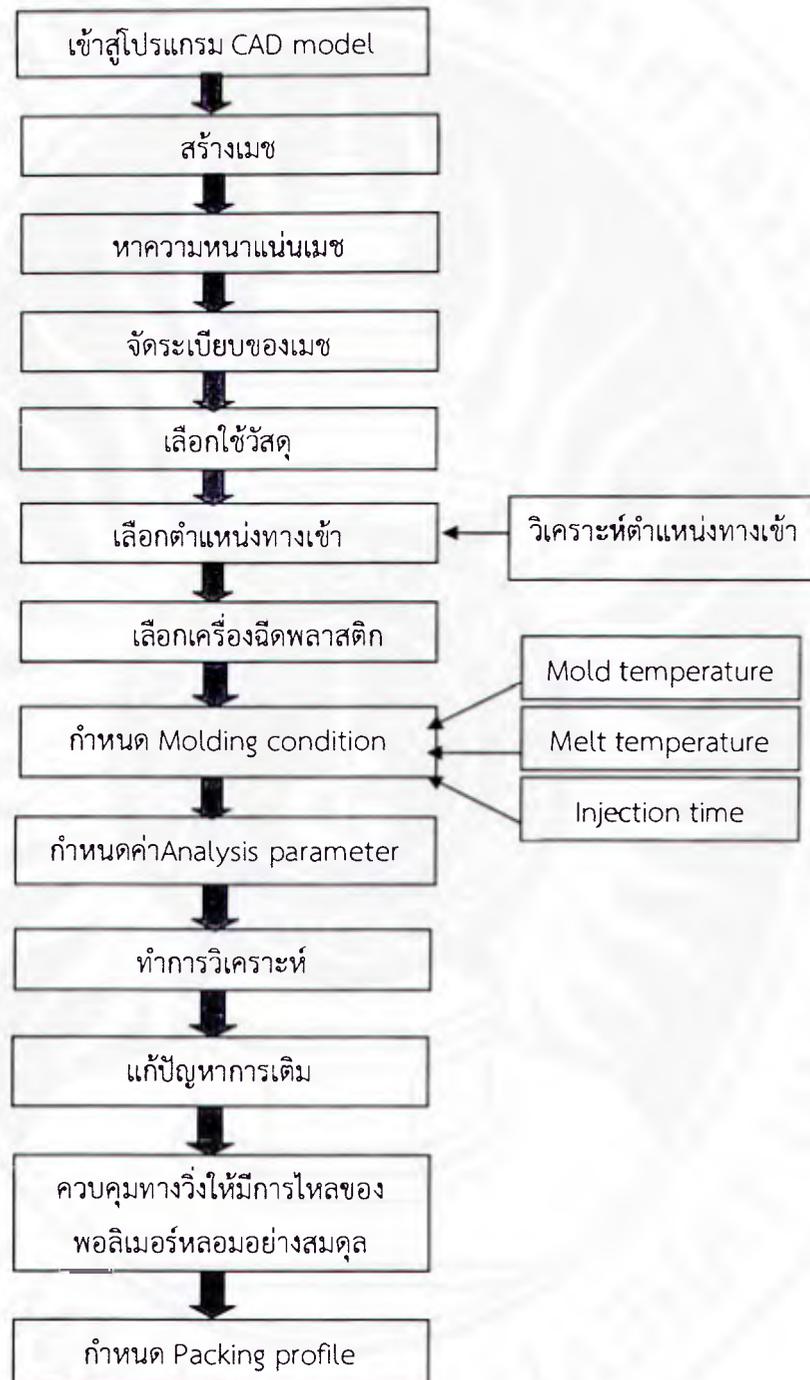
รูปที่ 3.11 แบบที่ผ่านการ edge fillet definition ตามค่าที่กำหนด

3.6.2.4 วาดแบบโครงร่าง 2 มิติจากรูปทรง 3 มิติที่ออกแบบไว้ โดยเลือกรายการ Drafting



รูปที่ 3.12 โครงร่าง 2 มิติจากรูปทรง 3 มิติที่ออกแบบไว้

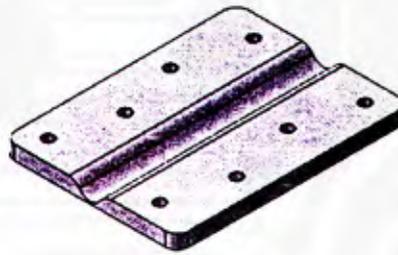
3.7 การวิเคราะห์ชิ้นงานโดยใช้ CAE



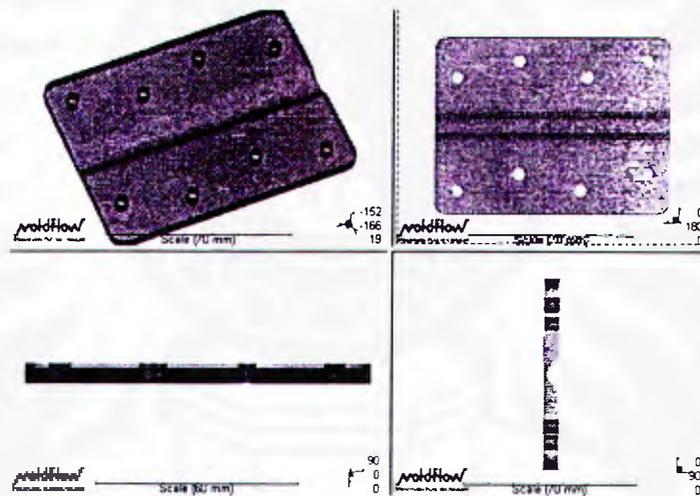
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบชิ้นงาน

3.7.1 เข้าสู่โปรแกรม CAD model (Import the CAD model)

เป็นการอ่านข้อมูลในกรณีของ MPI การอ่านโดยใช้รูปแบบเป็น STL หรือ IGES แต่ไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้จนกว่าจะถูกเมชเสียก่อน ในกรณีที่เป็นการแบบการเมช เช่น Patran เมชจะถูกจัดระเบียบและโปรแกรมจะพร้อมที่จะวิเคราะห์เมื่อมีการกำหนดตำแหน่งการฉีก สภาวะของวัสดุและกระบวนการ



รูปที่ 3.14 CAD Model จากซอฟต์แวร์ CATIA



รูปที่ 3.15 Model ที่ import จากไฟล์ STL เข้าสู่ ซอฟต์แวร์ Moldflow

3.7.2 การแปล CAD model (Translate the CAD model or Generate mesh)

เมื่อรูปแบบข้อมูลเป็นแบบ STL และ IGES ไฟไนต์เอลิเมนต์เมชจะถูกสร้างขึ้นโดยการระบุ Global edge length ของเอลิเมนต์ edge length ใช้ในการหาความหนาแน่นเมชของชิ้นงาน หลังจากเมชใหม่ถูกสร้างขึ้นและมีการตรวจสอบ เมชเดิมจะถูกลบและ global edge length ใหม่จะถูกกำหนด

ขั้น หลังจาก Import ชิ้นงานที่ออกแบบโดย CAD เข้าสู่ซอฟต์แวร์ MOLDFLOW เพื่อทำการวิเคราะห์ ชิ้นงาน แล้วเริ่มต้น การ Mesh ชิ้นงานดังรูป 3.16



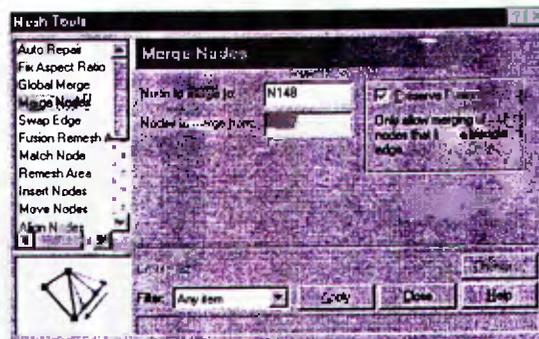
รูปที่ 3.16 การเมชชิ้นงาน

3.7.3 การหาความหนาแน่นเมช (Refine the mesh density)

เมชจะมีความหนาแน่นในพื้นที่ที่มีความสำคัญและต้องการความแม่นยำในการคำนวณของ โปรแกรม เช่น บริเวณส่วนที่บาง เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานทำให้พอลิเมอร์เกิดการต้านทานการไหลได้ จึงต้องสร้างเมชให้ละเอียด ในส่วนที่เป็นบานพับจะออกแบบให้เมชเป็นอย่างน้อย สามแถวเพื่อใช้เป็นระยะห่างระหว่างความหนาทั้งสองด้าน โดยให้แถวกลางเป็นความหนาที่แท้จริง ส่วน บริเวณรูสกรู เป็นบริเวณที่เกิดการไหลของแนวพอลิเมอร์หลอมมาชนกัน ทำให้เกิดการรอยเชื่อม จึงต้องสร้าง เมชให้หนาแน่น

3.7.4 การจัดระเบียบการเมชชิ้นงาน (Clean up the model)

เมชจะต้องถูกจัดระเบียบและมีการใช้เมชสถิติเพื่อตรวจสอบคุณภาพการเมช เครื่องมือเมชใช้เพื่อ แก้ไขปัญหาของเมชที่เกิดขึ้น และใช้สำหรับการจัดระเบียบเมช นอกจากนี้ยังมีเครื่องมืออัตโนมัติ เช่น ชุดการแก้ไขอัตโนมัติ และชุดแก้ไข Aspect Ratio โดยค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของ Aspect ratio ควรมีค่าน้อยกว่า 3:1 และ 6:1 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 ชุดคำสั่งของเครื่องมือเมช

Mesh Statistics	
Runner volume	18.5883 cm ³
Mesh area	178.485 cm ²
Edge details	
Free edges	0
Manifold edges	16599
Non-manifold edges	0
Orientation details	
Elements not oriented	0
Intersection details	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
Surface triangle aspect ratio	
Minimum aspect ratio	1.155648
Maximum aspect ratio	2.700065
Average aspect ratio	1.341655
Match ratio	
Match ratio	89.7%
Reciprocal ratio	77.9%

รูปที่ 3.18 การตรวจสอบคุณภาพของการเมช

3.7.5 การเลือกใช้วัสดุ (Select the material)

วัสดุที่จะเลือกใช้สามารถศึกษาได้จากฐานข้อมูลวัสดุ ซึ่งในฐานข้อมูลวัสดุจะประกอบด้วยข้อมูลการเลือกชนิดของวัสดุ การประเมินคุณภาพของวัสดุ การหาวัสดุทดแทน และการเปรียบเทียบวัสดุในแคตตาล็อกการเลือกวัสดุ การเลือกวัสดุในการทดลองนี้ได้พิจารณาจากสมบัติทางเคมี ได้แก่ สูตรโครงสร้างโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ประเภทของการจัดเรียงตัว การต้านทานสารเคมีและตัวทำละลาย เป็นต้น สมบัติทางกายภาพที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ ความหนาแน่น อัตราการไหล อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิปลดชิ้นงาน เป็นต้น และสมบัติเชิงกลที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ สมบัติความต้านทานแรงดึงสูงสุด โมดูลัสของแรงอัด ระยะการยืดตัวสูงสุด และความต้านทานแรงกระแทก

จากตารางที่ 3.5 เมื่อพิจารณาค่าการยืดตัวสูงสุดและความแข็งแรง พบว่ามีวัสดุ 3 ชนิดที่เหมาะสมกับการฉีดขึ้นรูปบานพับ ได้แก่ พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน และพอลิเอไมด์-6, 6 ส่วนพอลิคาร์บอเนตมีความเหมาะสมด้านสมบัติเชิงกล แต่โครงสร้างโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน

ตารางที่ 3.5 สมบัติทางกลของวัสดุประเภทต่างๆ [13]

พลาสติก	มอดูลัสของแรงดัด (GPa)	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด(MPa)	มอดูลัสของแรงดึง (GPa)	การยืดตัวสูงสุด (%)
ABS	1.4-2.9	27-55	1.4-2.9	5-200
POM	2.6-2.8	69	2.8-3.6	25-75
PA6,6	1.2-2.8	59-87	2.6-3.3	60-300
PC	2.1-2.4	59-62	2.2-2.3	90-115
PMMA	1.9-3.5	38-69	1.6-3.4	2-7
PP	1.2-1.7	33-38	1.1-1.5	30->200
HDPE	0.6-1.0	37	0.7-1.0	500-100
LDPE	0.007-0.2	6-17	0.1- 0.2	80-725
PVC	2.6-4.0	38-55	2.4-2.7	2-10
PS	2.7-3.4	35-60	3.0-4.0	1-4

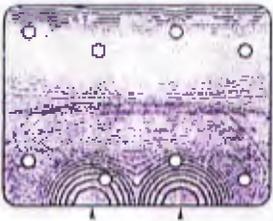
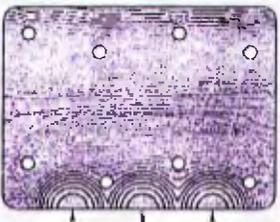
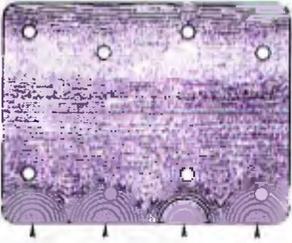
3.7.6 การเลือกตำแหน่งทางเข้า (Select the gate location)

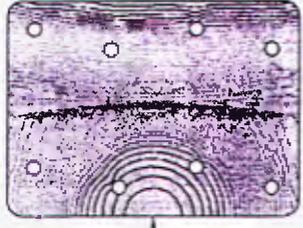
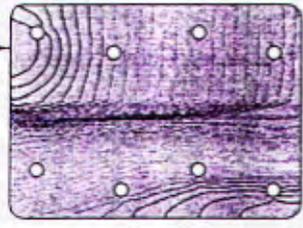
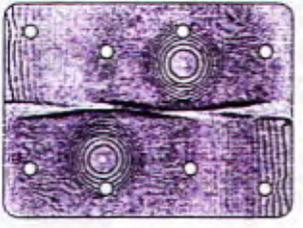
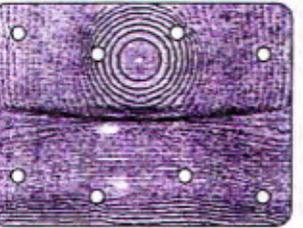
3.7.6.1 การพิจารณาตำแหน่งทางเข้า

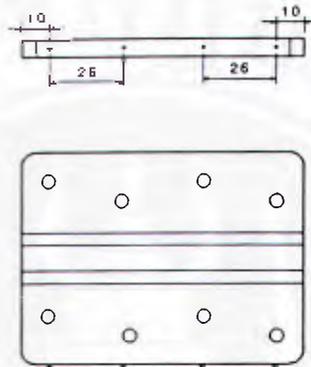
ตำแหน่งทางเข้าบนชิ้นงานอาจจะมีการกำหนดแบบแน่นอน หรือบางครั้งก็อาจจะมีหลายตัวเลือก ซึ่งถือว่าเป็นงานหลักในกระบวนการวิเคราะห์ ในบางกรณีตำแหน่งการฉีดควรจะมีการกำหนดตำแหน่งก่อน ซึ่งจะต้องมีการทำกระบวนการวิเคราะห์การเติมซ้ำหลายๆ ครั้งหรือแม้แต่การวิเคราะห์การไหลเพื่อหาตำแหน่งทางเข้า จากตารางที่ 3.6 เป็นผลการวิเคราะห์การเติมพลาสติกจากตำแหน่งทางเข้าชิ้นงานทั้ง 6 แบบ การวิเคราะห์หาตำแหน่งทางเข้าที่ไม่ทำให้การไหลของพลาสติกหลอมเหลวเกิดการต้านทานการไหลโดยการพิจารณาจากแนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า ที่ไหลควรจะอยู่เป็นแนวเดียวกัน เพื่อแก้ปัญหา

การเติมพลาสติกหลอมเหลวไม่เต็มแม่พิมพ์ในชิ้นงานที่เป็นบานพับ ที่เกิดในช่วงการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา และพิจารณาความแข็งแรงของส่วนที่บางของบานพับ โดยพิจารณาจากทิศทางการไหลที่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเพื่อให้ได้บานพับที่แข็งแรงที่สุด [34] โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบการไหลในแบบที่ 3 ได้ส่วนที่บางของบานพับแข็งแรงที่สุด เมื่อได้ตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสมแล้วก็ทำการติดตั้งตำแหน่งทางเข้าที่ตำแหน่ง ดังรูป 3.19

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์การเติมพลาสติกจากตำแหน่งทางเข้าชิ้นงานทั้ง 8 แบบ

ตำแหน่งทางเข้า	วิเคราะห์การไหลด้วยซอฟต์แวร์ Moldflow	ผลการวิเคราะห์
1		แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหล ทำให้ความแข็งแรงของบานพับต่ำที่บริเวณพับงอโดยสังเกตจากทิศทางการไหลผ่านส่วนที่บางแนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า ไหลผ่านส่วนที่บางไม่พร้อมกันตลอดทั้งแนว
2		แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหล ทำให้ความแข็งแรงของบานพับต่ำบริเวณตรงกลางโดยสังเกตจากทิศทางการไหลผ่านส่วนที่บางแนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า ไหลผ่านส่วนที่บางไม่พร้อมกันตลอดทั้งแนว
3		แสดงลักษณะการไหลที่เหมาะสมความแข็งแรงของบานพับสูงบริเวณตรงกลางโดยสังเกตจากทิศทางการไหลผ่านส่วนที่บาง แนวการขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า ไหลผ่านส่วนที่บางพร้อมกันตลอดทั้งแนว

ตำแหน่ง ทางเข้า	วิเคราะห์การไหลด้วย ซอฟต์แวร์ Moldflow	ผลการวิเคราะห์
4		ไม่แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหล สังเกตจากทิศทางการไหลผ่านส่วนที่บางของบานพับ ทำให้บานพับมีความแข็งแรงแต่ยังไม่สมบูรณ์เท่าแบบที่ 3
5		แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหลในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา และทำให้มีความแข็งแรงของบานพับต่ำที่บริเวณตรงกลางโดยสังเกตจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลวผ่านส่วนที่บาง
6		ทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลวจะไหลในแนวขนานกับส่วนที่บางทำให้สายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวขนานกับแนวการพับเมื่อมีการใช้งาน ส่งผลให้เกิดความเสียหายง่าย
7		แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหลในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา และทำให้มีความแข็งแรงของบานพับต่ำที่บริเวณตรงกลางโดยสังเกตจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลวผ่านส่วนที่บาง
8		แสดงผลในการเกิดการต้านทานการไหลในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา และทำให้มีความแข็งแรงของบานพับต่ำที่บริเวณตรงกลางโดยสังเกตจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลวผ่านส่วนที่บาง



รูปที่ 3.19 ตำแหน่งทางเข้าบนชิ้นงาน

3.7.6.2 การคำนวณหาขนาดของทางเข้า (Gate Size)

ทางเข้าเป็นส่วนประกอบของระบบทางวิ่งซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าสู่ควิตี้ ซึ่งการออกแบบทางวิ่งก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของพลาสติก โดยขนาดทางวิ่งที่เหมาะสมที่สุดคือขนาดทางวิ่งที่ไม่ทำให้อัตราเฉือนของพลาสติกสูงได้เพราะจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของพลาสติก



รูปที่ 3.20 ลักษณะของทางเข้าแบบ Edge gate

$$\begin{aligned} \text{จาก } H &= n \times t \\ \text{ความกว้างของทางเข้า (W)} &= \frac{n\sqrt{A}}{30} \\ \text{เมื่อ } H &= \text{ความหนาของ gate (mm)} \\ t &= \text{ความหนาของชิ้นงาน (mm)} \\ n &= \text{Material constant} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta(\text{polypropylene}) &= 0.7 \\ A &= \text{พื้นที่ผิวทั้งหมดของชิ้นงาน} \end{aligned}$$

แทนค่า $H = 0.7 \times 6 = 4.2$ มิลลิเมตร

*ค่าความหนาของชิ้นงานเป็นค่าความหนาเฉลี่ย

$$A = 16790.5 \text{ มม}^2$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{n\sqrt{A}}{30} \\ &= \frac{0.7(16790.5)^{1/2}}{30} \\ &= 3.02 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

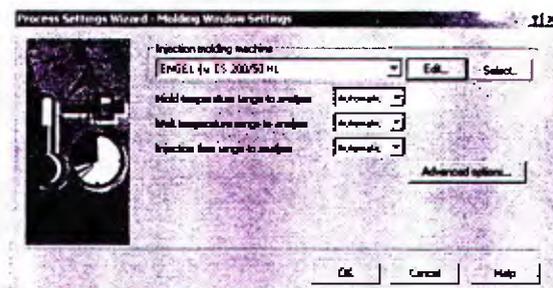
ขนาดของทางเข้าที่เลือกใช้

ความกว้าง 3 มิลลิเมตร ความยาว 2 มิลลิเมตร และความหนา 3 มิลลิเมตร โดยทั่วไปขนาดความยาวของทางเข้ามีค่าประมาณ 0.25 - 3.00 มิลลิเมตร

3.7.7 การเลือกเครื่องฉีดพลาสติก

การเลือกเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกทำได้โดยการแก้ไขค่าที่กำหนดสำหรับเครื่องฉีดพลาสติกสำหรับการศึกษาโดยเฉพาะ เมื่อมีการศึกษาจำลองค่าที่กำหนดจะเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาครั้งใหม่หรือเลือกเครื่องฉีดโดยเฉพาะจากฐานข้อมูลเครื่องฉีด ถ้ามีความจำเป็นให้เลือกเครื่องฉีดโดยทั่วไปจากฐานข้อมูลเครื่องฉีดและเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

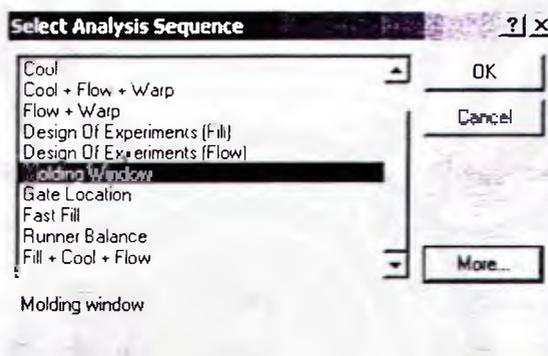
สำหรับค่าความดันของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้คือ 200 MPa ถ้าเครื่องฉีดพลาสติกจริงกำหนดค่าความดันสูงกว่าเครื่องฉีดพลาสติกมาตรฐาน หรือค่าน้ำหนักสูงกว่าที่กำหนด ควรเลือกเครื่องฉีดพลาสติกโดยเฉพาะ



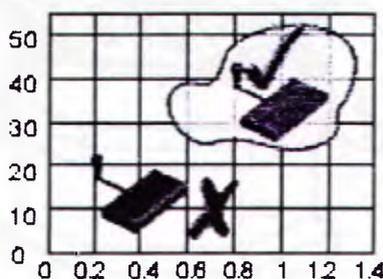
รูปที่ 3.21 การเลือกใช้เครื่องฉีดในการทดลอง

3.7.8 การกำหนดค่าสภาวะที่เหมาะสมของการฉีดขึ้นรูป (Molding condition)

สภาวะการทำแม่พิมพ์ที่จะใช้ควรมีการกำหนดอย่างน้อยตั้งแต่จุดเริ่มต้นโดยการวิเคราะห์ด้วย Mold window ซึ่งสามารถใช้เป็นการวิเคราะห์แบบเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบวัสดุที่จะใช้และตำแหน่งทางเข้าเพื่อให้ได้สภาวะการทำแม่พิมพ์ที่เหมาะสมที่สุด ถ้ากำหนดสภาวะของกระบวนการได้อย่างถูกต้อง จะช่วยประหยัดเวลาของกระบวนการได้ นอกจากนี้ Molding window ยังเป็นตัวบอกลimitของสภาวะการฉีดขึ้นรูป ถ้าสภาวะการฉีดขึ้นรูปอยู่ในขอบเขตขึ้นงานได้จะมีคุณภาพดี จากรูปที่ 3.23 จะสังเกตได้ว่า ชิ้นงานที่ดี (ระบุด้วยเครื่องหมาย ✓) อยู่ใน ขอบเขตของ process window ส่วนชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดี (ระบุด้วยเครื่องหมาย X)อยู่นอกขอบเขตของ process window



รูปที่ 3.22 การเลือก Molding window



รูปที่ 3.23 การพิจารณาค่าสภาวะที่เหมาะสมของการฉีดขึ้นรูป

3.7.9 การกำหนดค่าการวิเคราะห์ (Analysis parameter)

การกำหนดค่าตัวแปรเพื่อที่จะกำหนดสภาวะของการทำแม่พิมพ์ประกอบด้วย Velocity /pressure switch-over, packing profile, cooling time, การกำหนดการแก้ปัญหา (Solver

settings), การกำหนดค่าควบคุมกระบวนการ (Process controller settings) วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ เป็นต้น ค่าที่กำหนดสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปกติจะยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ในตอนต้น แต่อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับปัญหาที่พบในตอนต้นของการวิเคราะห์และจุดประสงค์ของการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

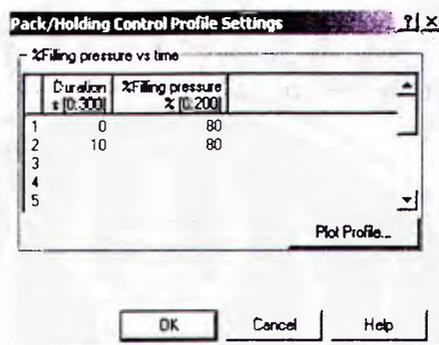
3.7.10 ทำการวิเคราะห์

การทำการวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์การเติมหรือการวิเคราะห์การไหล การวิเคราะห์การเติมจะหยุดเมื่อปริมาตรของชิ้นงานถูกเติมเกือบ 100% การวิเคราะห์การไหลเป็นการวิเคราะห์การเติมแบบต่อเนื่องในกระบวนการ packing หรือ แม้แต่การ cooling ของวัฏจักรการทำแม่พิมพ์ การวิเคราะห์ส่วนใหญ่ มีหลายประเด็นที่ถูกแสดงและถูกแก้ปัญหาคือการวิเคราะห์การเติมก่อนที่จะดำเนินการวิเคราะห์การไหล การวิเคราะห์การไหลด้วย Flow (Fill + Pack) จะทำหลังจากที่ได้ค่าต่างๆ จากการวิเคราะห์ Molding Window Analysis มาแล้ว ก็สามารถวิเคราะห์ Flow โดยนำตัวเลขที่ได้มากำหนดใน Process Setting Wizard จากการทดลองได้ค่า Condition injection time Mold temperature และ Melt temperature [13]

Filling control สามารถตั้งค่าได้หลายแบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับเครื่องฉีดที่สามารถควบคุมแบบใดได้บ้าง เช่น สามารถควบคุมเป็นแบบ "Ram speed profile" โดยกำหนดเป็น %Shot volume vs. %flow rate ซึ่งเครื่องฉีดส่วนใหญ่สามารถทำการควบคุมแบบนี้ได้ และในการวิเคราะห์เราก็จะใช้ Injection Time ที่ได้จากการวิเคราะห์ Molding Window Analysis มากำหนด การกำหนดเงื่อนไขอื่นๆ เช่น Velocity/pressure switch-over เป็นการกำหนดเงื่อนไขในการเปลี่ยนจาก Filling เป็น Packing, Pack/Holder Control หมายถึงการกำหนดเงื่อนไขเวลาและแรงดันที่ใช้ในการฉีด



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างแสดงการตั้งค่า Process Setting Wizard ของการวิเคราะห์ Flow



รูปที่ 3.25 การตั้งค่า Filling Control Profile Setting [13]

3.7.11 การแก้ปัญหาการเติม

เป็นกระบวนการทำซ้ำเมื่อการวิเคราะห์การเติมครั้งแรกสิ้นสุด ผลการวิเคราะห์จะถูกตรวจสอบอีกครั้ง ปัญหาจะถูกระบุและจะมีการแก้ปัญหา กระบวนการนี้อาจจะมีการทำซ้ำหลายๆ ครั้ง ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ปัญหาการเติมกระบวนการทำซ้ำจะเกิดขึ้นเพื่อแก้ปัญหาอื่นๆ แต่จะเกิดขึ้นหลังจากมีการเติมอย่างเหมาะสม

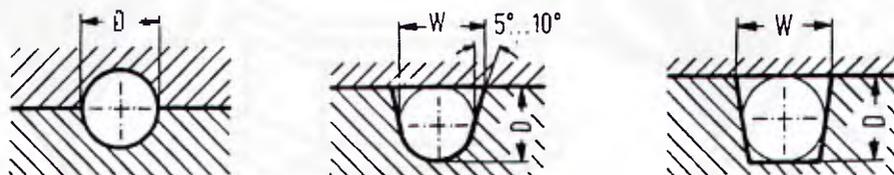
3.7.12 การควบคุมทางวิ่งให้มีการไหลของพอลิเมอร์หลอมอย่างสมดุล

3.7.12.1 การกำหนดขนาดของทางวิ่ง (Runner Size)

ขนาดของทางวิ่งควรมีขนาดโตกว่าส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงาน

$$D = T_{\text{Max}} + 1.5 = 6.25 + 1.5 \text{ mm} = 7.75 \text{ mm}$$

ดังนั้น $D \approx 7-8 \text{ mm}$ $W = 1.25D$

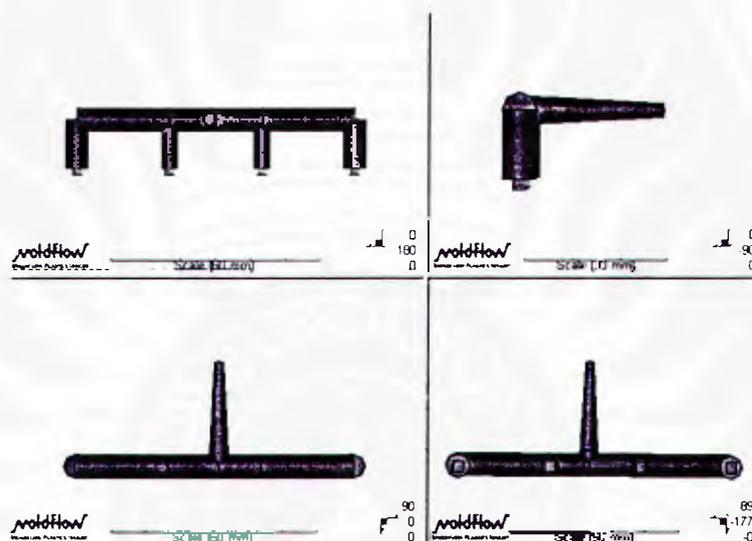


รูปที่ 3.26 ลักษณะของพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่ง

3.7.12.2 การออกแบบระบบทางวิ่ง (Runner system)

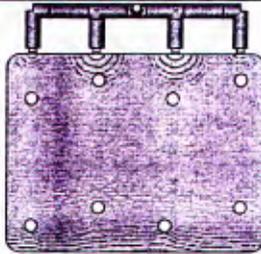
การออกแบบและนำแบบระบบทางวิ่งที่ออกแบบแตกต่างกันไปวิเคราะห์ เพื่อให้ได้รูปแบบการเติมและการฉีดอัดของพลาสติกหลอมเหลวอย่างเหมาะสม การหารูปแบบการไหลที่สมดุลโดย

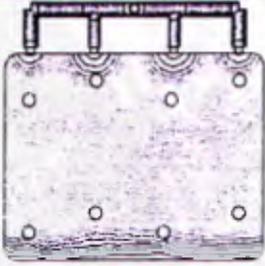
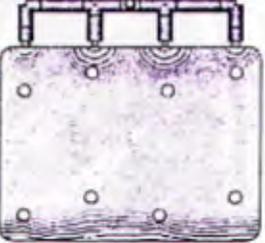
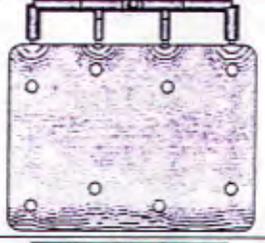
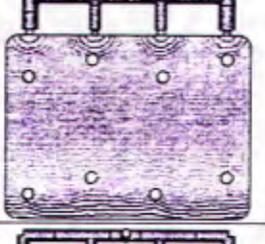
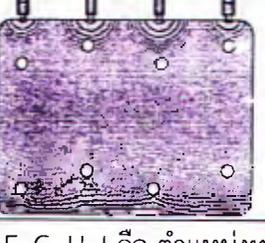
สามารถพิจารณาได้จากแนว การขยายตัวของพลาสติกด้านหน้า เพื่อให้ได้ขนาดของทางวิ่งที่เหมาะสมที่สุด การทดสอบจะใช้ตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสมที่ผ่านการทดสอบมาแล้วข้างต้นจากตารางที่ 3.3 และขนาดของทางเข้าและทางวิ่งที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.4 กระบวนการจะเสร็จสิ้นเมื่อรูปแบบการเติมได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยกำหนดให้ A B C และ D แทนตำแหน่งของทางเข้า E แทนตำแหน่งของ Sprue และ F G H I แทนตำแหน่งของทางวิ่ง



รูปที่ 3.27 ลักษณะของระบบทางวิ่งที่ออกแบบในการทดลอง

ตารางที่ 3.7 การออกแบบและผลการวิเคราะห์การไหลของระบบทางวิ่ง

No.	ขนาดของทางเข้า (mm) กว้าง X หนา				φ ของ Sprue (mm)	φ ของทางวิ่ง (mm)				ผลการวิเคราะห์การไหล
	A	B	C	D		E	F	G	H	
1	3x3	3x3	3x3	3x3	4,3°	6	6	6	6	

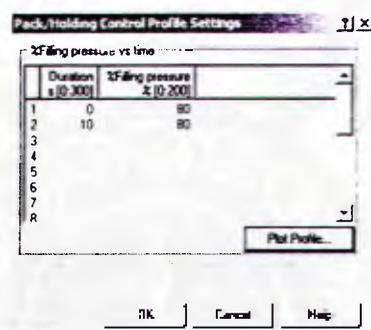
No.	ขนาดของทางเข้า (mm) กว้าง X หนา				φ ของ Sprue (mm)	φ ของทางวิ่ง (mm)				ผลการวิเคราะห์การไหล
	A	B	C	D		E	F	G	H	
2	3x2	3x2	3x2	3x2	4,3°	6	5	5	6	
3	3x3	2x3	2x3	3x3	4,3°	6	4	4	6	
4	2x3	2x3	2x3	2x3	4,3°	6	4	4	6	
5	3x3	3x3	3x3	3x3	4,3°	7	5	5	7	
6	2x3	2x3	2x3	2x3	4,3°	5	4	4	5	

หมายเหตุ A, B, C, D คือ ตำแหน่งทางเข้า E คือ ตำแหน่ง Sprue และ F, G, H, I คือ ตำแหน่งทางวิ่ง

ปรากฏว่าระบบทางวิ่งในแบบที่ 5 ซึ่งมีขนาดดังรูปในตารางที่ 3.7 มีรูปแบบการไหลที่สมบูรณ์ที่สุด จึงเลือกขนาดของแบบที่ 5 มาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.7.13 การกำหนดโครงร่างการฉีดพลาสติก (Packing profile)

การกำหนดโครงร่างการฉีดพลาสติกเป็นการเปลี่ยนแปลงของความดันฉีดย้ำ (Packing Pressure) ซึ่งเป็นความดันที่กระทำกับควาวิต์ภายหลังการเติมพลาสติกหลอมเหลวเพื่อเป็นการชดเชยการหดตัวของพลาสติกเมื่อเย็นตัวกับเวลา (Packing time) เป็นระยะเวลาของความดันฉีดย้ำ ซึ่งควรจะเหมาะสมกับเวลาที่ทำให้ทางเข้าแข็งตัว

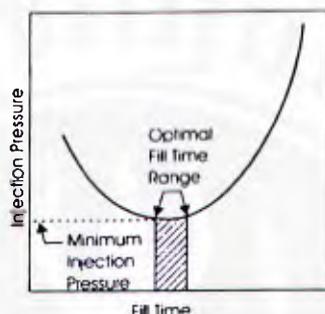


รูปที่ 3.28 การกำหนดโครงร่างการฉีดพลาสติก (Packing profile)

3.8 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดขึ้นรูป

3.8.1 เวลาการเติมและความดันที่ใช้ในการเติมพลาสติกในควาวิต์

เวลาการเติมพลาสติกหลอมเหลวที่เหมาะสมค่าความดันเติมที่เกิดจากการใช้เวลาการเติมในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เวลาการเติมที่น้อยจะใช้ความดันเติมสูง ทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนจากแรงเฉือนที่เกิดจาก เวลาเติมที่มากขึ้นจะทำให้ระบบความร้อนที่เกิดจากแรงเฉือนน้อยลง และความดันที่ใช้ก็ลดลงด้วยเวลาที่ที่ใช้ในการเติมนานเกินไปความดันที่ใช้เพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากการเกิดชั้นที่แข็งตัวที่ผนังชิ้นงานเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นด้วย จึงควรหาค่าความดันที่เกิดในการเติมต่ำที่ใช้เวลาการเติมที่เหมาะสมดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ของเวลาการเติมและความดัน

3.8.2 Pack/Hold pressure and time

ค่าความดันและเวลาที่ใช้ในการย้ำที่เหมาะสมกับค่าการหดตัว ควรหาช่วงของความดันและเวลาที่ทำให้เกิดการหดตัวต่ำสุดที่เกิดกับชิ้นงานในควาวิต การเกิด overpacking ที่บริเวณใกล้ทางเข้าเนื่องจากเกิดการดันที่ย้ำสูงหรือการคงค่าความดันย้ำ และเมื่อบริเวณใกล้ทางเข้าสูงและบริเวณที่ไกลจากทางเข้าต่ำทำให้มีโอกาสเกิดการหดตัวสูงที่บริเวณไกลจากทางเข้าและมีการหดตัวต่ำที่บริเวณทางเข้า โดยค่าความดันการฉีดย้ำที่มีการใช้ที่ดีเริ่มที่ 80% ของความดันที่ใช้เดิม และความดันการฉีดย้ำจะไม่เกิน clamp tonnage ของเครื่องฉีด

3.8.3 Pack/Hold time

เวลาที่ใช้ของความดันย้ำที่เหมาะสม จะพิจารณาที่เวลาที่ทางเข้าแข็งตัวหรือเส้นทางการไหลที่มีการเกิดการแข็งตัวก่อน ความดันย้ำจะหมดไป ถ้าเส้นทางการไหลไม่แข็งตัวก่อนที่ความดันย้ำจะหมดไป จะมีโอกาสการเกิดการไหลกลับจากควาวิตเข้าสู่ระบบทางวิ่ง ซึ่งอาจทำให้เกิดการหดตัวมากที่บริเวณใกล้ทางเข้า และทำให้บริเวณที่อยู่ไกลจากทางเข้ามีการเกิดการหดตัวต่ำเนื่องได้แรงไหลย้อนกลับตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งพื้นที่บริเวณกว้างกว่าจะเกิดการหดตัวสูงกว่า [18]

โดยปกติความดันจะสามารถใช้ฉีดย้ำชิ้นงานให้มีค่าตามที่กำหนดได้เมื่อทางเข้ายังไม่แข็งตัวจึงวิเคราะห์ ผลจากการคำนวณของโปรแกรมในขณะที่ใช้ความดันย้ำ เพื่อสังเกตค่าความดันที่เท่ากับ 0 MPa ซึ่งหมายความว่าทางเข้าแข็งตัว ณ เวลาที่ความดันเท่ากับศูนย์ [35]

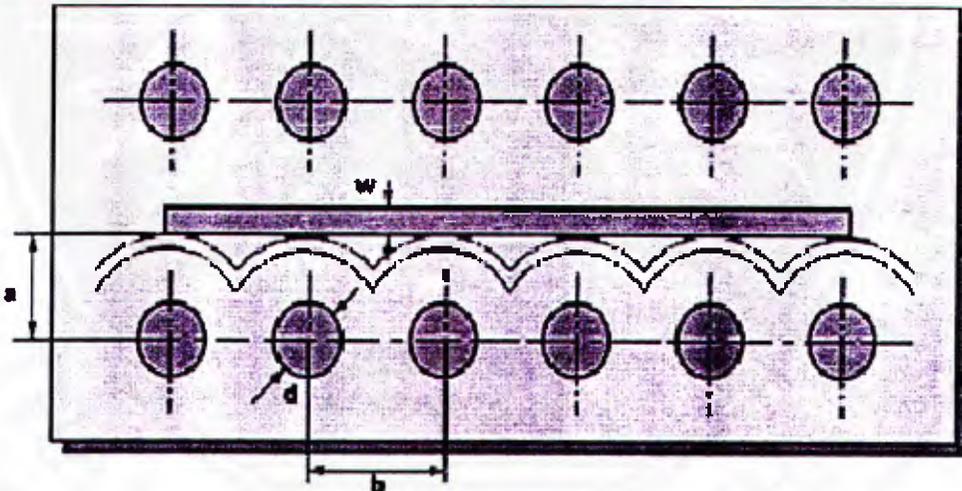
3.9 การออกแบบระบบหล่อเย็น

3.9.1 ระบบหล่อเย็น

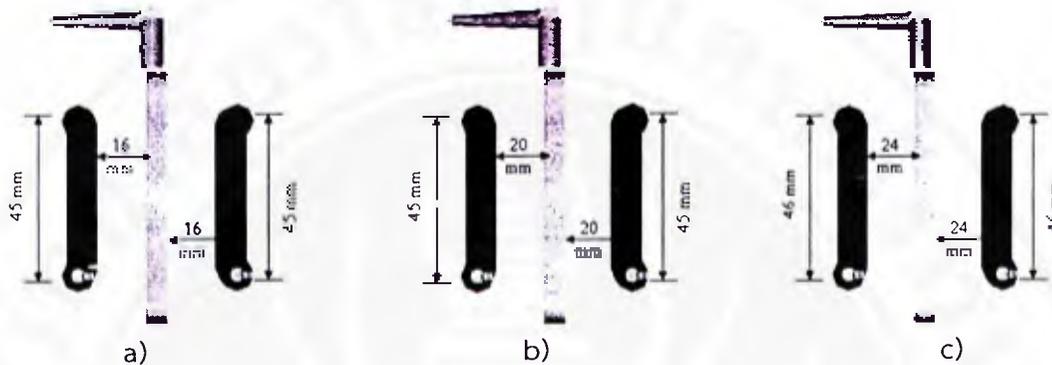
การออกแบบระบบหล่อเย็นที่นำไปทดลองเพื่อหาระบบหล่อเย็นที่เหมาะสมโดยใช้ซอฟต์แวร์ Moldflow ในการวิเคราะห์ การออกแบบเป็นไปตามสูตรการคำนวณ ดังรูปที่ 3.31

การออกแบบระบบหล่อเย็นโดยทั่วไปมักจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแม่พิมพ์ เช่น แกนที่เคลื่อนที่ ส่วนที่ปลดชิ้นงาน และรวมถึงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการพิจารณา ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดได้อย่างตายตัว ในการทดลองนี้ได้ออกแบบขนาดท่อหล่อเย็นให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ในขณะที่ชิ้นงานมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.31 สำหรับความแตกต่างในการออกแบบจะพบว่า รูปที่ 3.31 a) จะมีจำนวนช่องหล่อเย็นน้อยกว่าในรูปที่ 3.31 b) แต่ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นและระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับช่องหล่อเย็นจะมีระยะเท่ากันทั้ง 2 แบบ

w	d	a	b
wall thickness of the product mm (in)	diameter of the cooling channels mm (in)	center distance with respect to mold cavity	center distances between cooling channels
2 (0.08)	8-10 (0.31-0.40)		
2-4 (0.08-0.16)	10-12 (0.40-0.47)	1.5-2d	2-3d
4-6 (0.16-0.24)	12-14 (0.47-0.55)		



รูปที่ 3.30 การคำนวณการออกแบบระบบหล่อเย็น [16]



รูปที่ 3.31 การออกแบบระบบหล่อเย็นแบบต่างๆ

3.9.2 การวิเคราะห์การหล่อเย็น

การวิเคราะห์การหล่อเย็นจะใช้ซอฟต์แวร์ Moldflow ในการวิเคราะห์ [24] ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถแปลความหมายได้ดังนี้

Top Temperature แสดงการกระจายอุณหภูมิบนผิวและผิวล่างของเอลิเม้นต์ในชิ้นงาน เมื่อสิ้นสุดวงจรการทำงาน อุณหภูมิที่เกิดควรไม่เกินอุณหภูมิปลดของวัสดุนั้น

Bottom Temperature แสดงการกระจายอุณหภูมิมวลของเอลิเม้นต์ในชิ้นงาน เมื่อสิ้นสุดวงจรการทำงาน อุณหภูมิที่เกิดควรไม่เกินอุณหภูมิปลดของวัสดุนั้น

Maximum Temperature แสดงการกระจายอุณหภูมิที่สูงที่สุดตลอดความหนาของชิ้นงาน และ Cold runner โดยไม่ควรมีความเกินอุณหภูมิปลดของวัสดุนั้นๆ

Average temperature แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของชิ้นงาน และ Cold runner โดยอุณหภูมิเฉลี่ยควรใกล้เคียงกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ต้องการ

Maximum temperature position แสดงตำแหน่งของเอลิเม้นต์ที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในความหนาโดยบริเวณล่างมีค่าเป็น 0 และบริเวณบนมีค่าเป็น 1 โดยค่าควรจะมีค่าใกล้เคียงผิวกลางที่สุด (0.5) ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอของการหล่อเย็น

Coolant temperature rise แสดงอุณหภูมิของสารหล่อเย็นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลผ่านแม่พิมพ์โดยค่าอุณหภูมิไม่ควรเกิน 3°C สำหรับชิ้นงานปกติและไม่ควรเกิน 1 สำหรับชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง

Time to freeze แสดงเวลาที่พลาสติกใช้ในการแข็งตัวในชิ้นงาน ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น ชิ้นงาน เป็นส่วนที่เป็นชิ้นงานและ Cold runner เป็นส่วนที่เป็นระบบทางวิ่งของพลาสติกหลอมเหลว โดยค่าที่มากที่สุดแสดงถึงเวลาที่พลาสติกในส่วนนั้นๆ แข็งตัวอย่างสมบูรณ์

Percentage frozen layer แสดงการแข็งตัวของชิ้นงานโดยเริ่มตั้งแต่ผิวของชิ้นงาน อัตราการแข็งตัวควรจะเท่ากันทั้งบนและล่างของชิ้นงาน เพื่อหลีกเลี่ยงโอกาสการบิดของชิ้นงาน

Reynolds number แสดงสภาพการไหลของของไหลในระบบหล่อเย็น โดยการไหลที่มีค่า Re มากกว่า 3500 จะมีการนำความร้อนที่ดีกว่าระบบ ที่ Re ต่ำกว่า

Pressure drop แสดงความดันที่ตกลงเนื่องจากการไหลผ่านระบบหล่อเย็น อันเนื่องมาจากข้อต่อต่างๆ ในระบบและท่อที่ต่อออกจากแม่พิมพ์ โดยความดันตกควรมีค่าไม่เกิน 10% ของความดันรวมทั้งระบบ และไม่ควรมากเกิน 0.7 bar ซึ่งความดันตกมีค่ามากจะทำให้การไหลของสารหล่อเย็นไม่ตรงตามต้องการ

ในการพิจารณาว่าจะเลือกใช้ระบบหล่อเย็นแบบ A หรือแบบ B ในการออกแบบแม่พิมพ์จึงนำเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็นมาพิจารณาดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 เกณฑ์การประเมินผลสำหรับประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็น [24]

ตัวแปร	ค่าที่แนะนำ
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิผิวล่างของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิผิวบนของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดตลอดความหนาของชิ้นงานจากผิวล่างถึงผิวบน	ไม่ควรเกิน 10°C
เปอร์เซ็นต์ที่น้อยที่สุดของผนังที่แข็งตัวบนผิวบนและผิวล่างของชิ้นงาน	ปริมาณการแข็งตัวต้องแข็งก่อนปลดชิ้นงาน
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิชิ้นงานเฉลี่ยกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของสารหล่อเย็นกับอุณหภูมิผิวบนของแต่ละวงจร	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
ค่าอุณหภูมิที่มากที่สุดของสารหล่อเย็นตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด	ไม่ควรเกิน 5°C สำหรับงานทั่วไป

ตัวแปร	ค่าที่แนะนำ
ค่าความดันที่ต้องการสำหรับวงจรหล่อเย็น	ไม่เกินค่าความดันของระบบการจ่ายสารหล่อเย็น
ระยะเวลาของการทำงานทั้งวงจร	น้อยที่สุด
ค่าที่น้อยที่สุดของ Reynolds number ของทั้งวงจร	3,500
ความดันตรวรวมของทั้งระบบ	ไม่ควรมืค่าเกินความดันของระบบเครื่องฉีด แต่ไม่ควรเกิน 0.7 Bar
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิย่อยในระบบหล่อเย็น	ไม่ควรเกิน $\pm 30^{\circ}\text{C}$

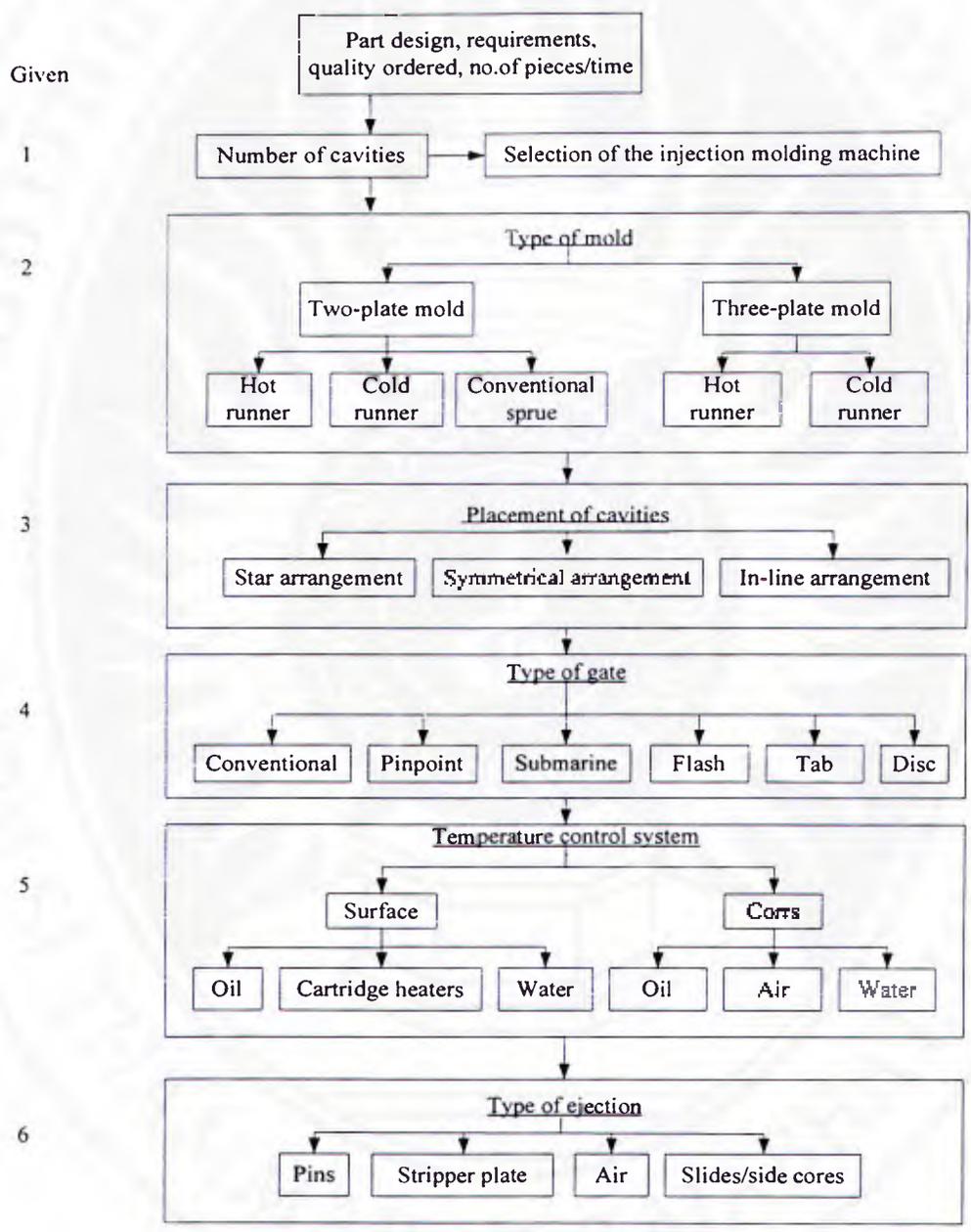
ตารางที่ 3.9 ค่าที่พิจารณาการหล่อเย็นจากผลการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Moldflow

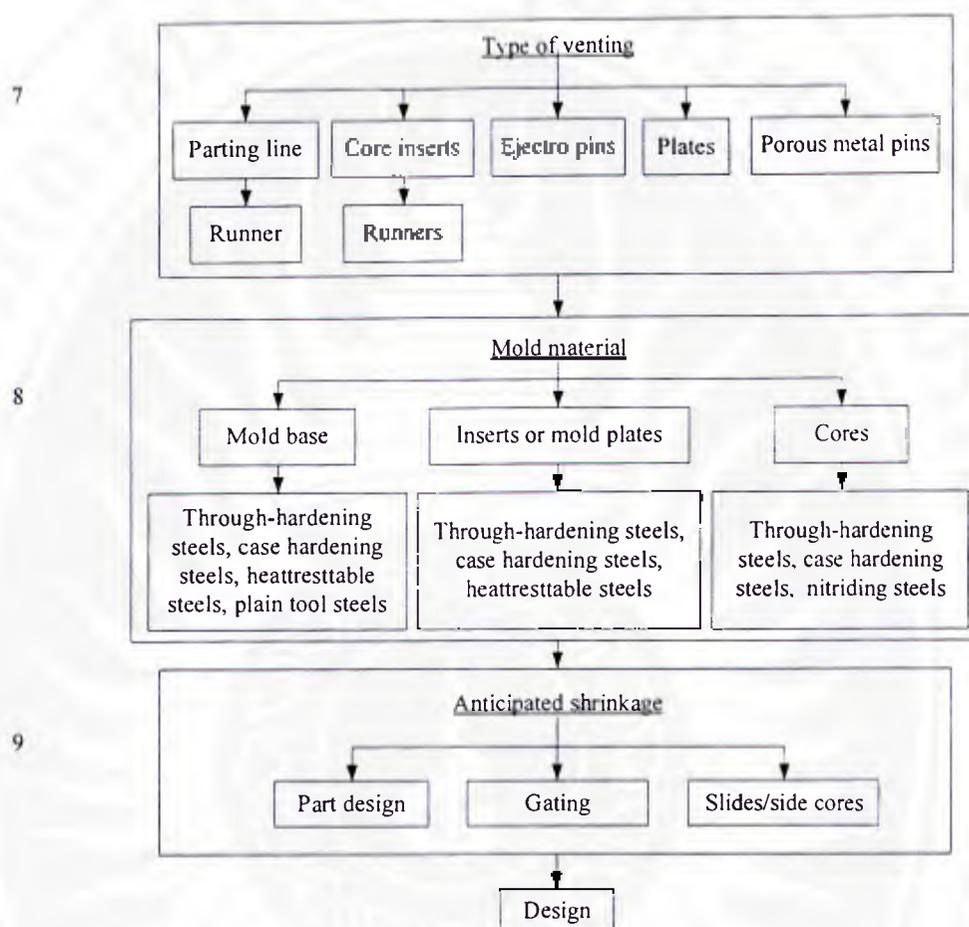
ค่าตัวแปร	ค่าที่ได้จากการทดลอง		
	แบบ A	แบบ B	แบบ C
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิผิวล่างของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	3	3	3
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิผิวบนของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	7.48	7.84	8.16
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดตลอดความหนาของชิ้นงานจากเปอร์เซ็นต์ที่น้อยที่สุดของผนังที่แข็งตัวบนผิวบนและผิวล่างของชิ้นงาน	7.48	10.8	11.16
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิชิ้นงานเฉลี่ยกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต้องการ	100	100	100
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของสารหล่อเย็นกับอุณหภูมิผิวบนของแต่ละวงจร	0.773	0.4	0.074
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของสารหล่อเย็นกับอุณหภูมิผิวบนของแต่ละวงจร	4.54	5	5.33
ค่าอุณหภูมิที่มากที่สุดของสารหล่อเย็นตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดวงจร	87	87	87
ค่าความดันที่ต้องการสำหรับวงจรหล่อเย็น	0.0005	0.0003	0.0002
ค่าที่น้อยที่สุดของ Reynolds number ของทั้งวงจร	10000	10000	10000

3.10 การออกแบบแม่พิมพ์

3.10.1 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์จะต้องพิจารณาขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์มีดังนี้



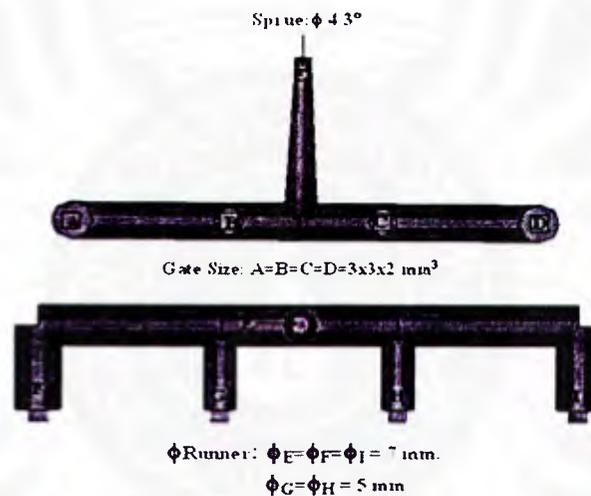


รูปที่ 3.32 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาองค์ประกอบต่างๆ เพื่อสร้างแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพมากที่สุด ได้แก่ จำนวนเบ้า ชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ชนิดของระบบทางวิ่ง ระบบปลดชิ้นงาน ระบบระบายอากาศ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก การเผื่อขนาดการหดตัว โดยพิจารณา ดังนี้

- 1) จำนวนเบ้า ใช้เพียง 1 เบ้า เนื่องจากไม่ต้องการอัตราการผลิตที่สูง และง่ายต่อการออกแบบ
- 2) การเลือกเครื่องฉีดที่เหมาะสมกับจำนวนคาวิตี้
- 3) การหาคำนวนแรงยึดแม่พิมพ์ คิดแรงยึดเกินทฤษฎี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 23.44 ตัน
- 4) การคำนวณหาน้ำหนักของพลาสติกที่จะใช้ฉีดเข้าแม่พิมพ์
- 5) น้ำหนักของบานพับพลาสติกใน 1 Shot มีค่าเท่ากับ 40 กรัม

- 6) การพิจารณาแผนผังของเครื่องฉีด
- 7) การพิจารณาขนาดของสกรูที่เหมาะสมของเครื่องฉีด
- 8) ขนาดของสกรูที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 29- 42 มิลลิเมตร
- 9) ชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เป็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบสองแผ่น
- 10) ชนิดของระบบทางวิ่ง ใช้ทางเข้าแบบขอบ โดยกำหนดตำแหน่งของทางเข้าด้านข้าง และนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการฉีดด้วยคอมพิวเตอร์มาพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์ โดยใช้ทางเข้าที่มีความยาว 2 มิลลิเมตรจำนวน 4 ทาง ขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็น กว้าง x หนา เป็น 3 x 3 มิลลิเมตร ทางวิ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 และ 7 มิลลิเมตร ขนาดทางฉีด (Sprue) เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรและทำมุมเอียง 3° ดังรูปที่ 3.33



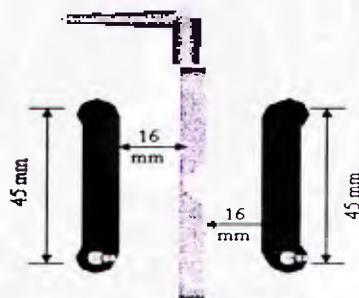
รูปที่ 3.33 ระบบทางวิ่งที่ใช้ในการทดลอง

- 12) ระบบปลดชิ้นงาน การปลดชิ้นงานเลือกใช้เข็มกระทุ้ง (Ejector pin) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร จำนวน 6 มิลลิเมตร ตามตำแหน่งในภาคผนวก ข
- 13) ระบบระบายอากาศ มีการระบายอากาศที่บริเวณส่วนที่พียงอเพราะเป็นส่วนที่เสริมชิ้นงาน (Insert) เข้าไปเพื่อปรับความหนาของชิ้นงานให้บางและง่ายในการพียงอ และบริเวณที่ทำระบบระบายอากาศดังรูป 3.34



รูปที่ 3.34 การจับตัวของอากาศที่เกิดในแม่พิมพ์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

14) ระบบหล่อเย็น เป็นแบบขนานมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องหล่อเย็นเป็น 12 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นเป็น 45 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับช่องหล่อเย็นเป็น 18 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.35 ระบบหล่อเย็นที่ใช้ในแม่พิมพ์

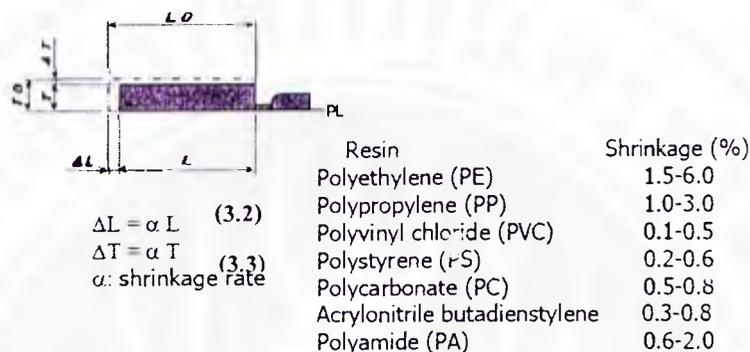
15) วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

Mould Base : S50C ตามมาตรฐานของ Futaba

Insert : P20

16) การเผื่อขนาดการหดตัว

การคำนวณการหดตัวของชิ้นงานเพื่อพิจารณาในการสร้างแม่พิมพ์จะพิจารณาตามรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 การพิจารณาและการคำนวณการเผื่อขนาดการหดตัว [22]

ในการทดลองนี้ได้ใช้พลาสติก 2 ชนิด คือ โพลีเอไมด์และโพลีโพรพิลีน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.36 จะได้เปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลีเอไมด์อยู่ระหว่าง 0.6-2.0 ส่วนโพลีโพรพิลีนมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวอยู่ระหว่าง 1.0-3.0 โดยที่ค่าอัตราการหดตัว (α) ที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 1.5 เนื่องจากพิจารณาตามข้อมูลของพลาสติกทั้งสองชนิดจากซอฟต์แวร์ Moldflow และเมื่อแทนค่าลงในสมการ 3.2 และ 3.3

จะได้ การเผื่อการหดตัวด้านยาว = $100 \times 0.015 = 0.15$ มิลลิเมตร

การเผื่อการหดตัวด้านกว้าง = $75 \times 0.015 = 0.1125$ มิลลิเมตร

การเผื่อการหดตัวของความหนา = $6.25 \times 0.015 = 0.094$ มิลลิเมตร

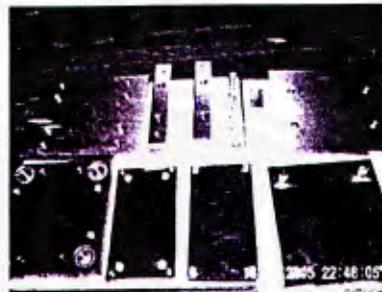
การเผื่อการหดตัวของความหนาในส่วนที่พับงอ = $1 \times 0.015 = 0.015$ มิลลิเมตร

ดังนั้น ขนาดแม่พิมพ์ที่ออกแบบเมื่อกำหนดการเผื่อการหดตัวจะมีขนาดความยาวเท่ากับ 100.15 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 75.11 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 6.35 มิลลิเมตร และความหนาในส่วนที่พับงอเท่ากับ 1.015 มิลลิเมตร

3.10.2 การสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

การสร้างแม่พิมพ์ของบานพับไม่มีสลักแบบสองปีกมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1) เตรียมชุดแม่พิมพ์ Mold Base โดยเตรียมชุดแม่พิมพ์ Mold Base สำเร็จรูปซึ่งพิจารณาจากขนาดที่เหมาะสมกับ insert ที่จะใช้ในการฉีดขึ้นรูปตามแบบมาตรฐาน Futaba เพื่อที่จะไม่ต้องทำการปรับปรุงขนาดของแผ่นเหล็กอีก เช่น top plate bottom plate เป็นต้น ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ชุดแม่พิมพ์ Mold Base สำเร็จรูป

2) การผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง โดยการกัดชิ้นงานที่เป็น Insert ด้วยเครื่อง Milling Machine ตามขนาดที่ต้องการดังรูปที่ 3.38 ส่วนการผลิต Sub-insert ในตำแหน่งที่ต้องการปรับความหนาของชิ้นงานให้บางเพื่อให้สามารถพับงอได้เมื่อผ่านการกัดชิ้นงานด้วยเครื่อง CNC Milling Machine



a) การกัดเหล็กเพื่อสร้างระบบทางวิ่ง



b) การเจาะรูที่เข็มกระทุ้งผ่าน



c) การขัดผิวแม่พิมพ์โดยหินขัดผิวและกระดาษทรายสำหรับขัดเหล็ก



รูปที่ 3.38 การผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง

- 3) เตรียมชุดชิ้นส่วนมาตรฐาน ได้แก่ Support pin Guide bush ejector pin เป็นต้น
- 4) ประกอบแม่พิมพ์เพื่อเตรียมฉีดพลาสติกขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.39
- 5) ลองแม่พิมพ์เพื่อหาจุดบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงาน



รูปที่ 3.39 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปที่ประกอบสำเร็จ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

เมื่อออกแบบบานพับพลาสติกแบบสองปีกไม่มีสลัก ศึกษาชนิดของพลาสติกที่มีความเหมาะสมในการผลิตบานพับแบบสองปีกและปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูป หลังจากนั้นได้ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การไหลด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการลองผิดลองถูก โดยการคำนวณหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับตั้งค่าเครื่องฉีดก่อนฉีดขึ้นรูปจริง เช่น ขนาดสกรู (Diameter Screw) เวลาที่พลาสติกอยู่ในเครื่องฉีด (Resident time) เป็นต้น การตั้งค่าพารามิเตอร์ของการฉีดที่เหมาะสมสามารถลดปัญหาที่จะเกิดกับชิ้นงานและลดความสิ้นเปลือง การลองผิดลองถูกของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องฉีดแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม

ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปใช้พลาสติกพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA แล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบคุณภาพโดยการทดสอบสมบัติทางกลและความร้อน

4.1 การวิเคราะห์แบบจำลองการไหลด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์ผลการทดลองจำเป็นต้องสร้างเมชให้ถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของเมชจึงถือว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากในกระบวนการวิเคราะห์ โดยใช้การทำนายการไหลของพลาสติกหลอมเหลวด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1.1 การตรวจสอบคุณภาพเมชของบานพับพลาสติก

ในการทำนายการไหลของพลาสติกหลอมเหลว เริ่มต้นจากการวิเคราะห์คุณภาพเมชของบานพับพลาสติกโดยใช้เมชสถิติ (Mesh Statistic) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการเมชสถิติของบานพับพลาสติกที่มีความหนาของส่วนที่พับงอ 0.5 มิลลิเมตร

พารามิเตอร์ในการเมช	ความหนาของส่วนที่พับงอ 0.5 มิลลิเมตร
Entity counts-----	
Surface triangles	11032
Nodes	5512
Beams	13
Connectivity regions	1
Mesh volume (cm ³)	40.2913
Runner volume (cm ³)	5.293
Mesh area (cm ²)	178.696
Edge details-----	
Free edges	0
Manifold edges	16548
Non-manifold edges	0
Orientation details-----	
Elements not oriented	0
Intersection details-----	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
Match ratio-----	
Match ratio	88.7%

4.2 การใช้โปรแกรม Moldflow ในการวิเคราะห์การฉีดพลาสติกหลอมเหลว

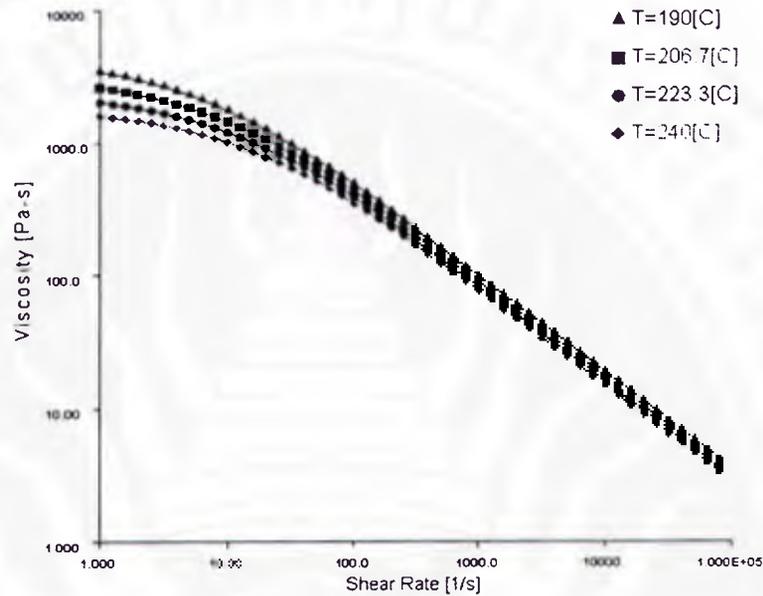
เมื่อสร้างเมชชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ แล้วนำข้อมูลสมบัติพฤติกรรมการไหลและสมบัติทางความร้อนของพลาสติกที่ใช้ในการทดลองมาเติมลงในตารางข้อมูลสมบัติของพลาสติกของโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มทำการวิเคราะห์ชิ้นงาน โดยสมบัติของพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA และ Moplen RP 440N ที่ใช้ในการฉีดด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ 4.7 ตามลำดับ

4.2.1 พอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA

ตารางที่ 4.2 สมบัติของพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ใช้ในการพิจารณาการฉีดด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

Manufacturer: IRPC : POLENE 2300 NCA									
Family	Abbreviation	Material Structure	Recommended melt	Recommended mold surface	Mold temperatures °C	Melt temperatures °C	Ejection temperature °C	Max. Shear stress	Max shear rate 1/s
PP	Cryst.		220	40	Min:20 Max:60	Min: 190 Max:240	115	0.25	100,000

การพิจารณาอุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA จะพิจารณาจาก ค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์และอุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลวดังตารางที่ 4.2 โดยอุณหภูมิพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่แนะนำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 220°C และ 40°C ตามลำดับ นอกจากนี้จะต้องพิจารณาค่าความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนเมื่อพลาสติกหลอมเหลวที่ไหลผ่านส่วนที่พียงจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.2 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Moldflow สำหรับการทดลองได้เริ่มทดลองจากการฉีดพลาสติกที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้สำหรับการหาความหนาที่เหมาะสมและค่าสภาวะเงื่อนไขค่าคุณภาพของชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดและอัตราเฉือนของ POLENE 2300 NCA

- ที่ขนาดความหนาปากบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.3 ค่าสถานะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปากบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร

Condition				Part		Runner system	
No.	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	40	220	0.6	85653	0.2760	85590	0.2022

จากตารางที่ 4.3 เลือกเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเท่ากับ 0.6 วินาที โดยพิจารณาจากค่าอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินค่าที่ข้อมูลของพลาสติกกำหนดตามตารางที่ 4.2 พบว่าที่เวลาการเติม 0.6 วินาที มีการกระจายของความดันการฉีดย้ำที่สม่ำเสมอ

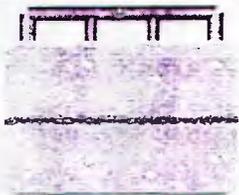
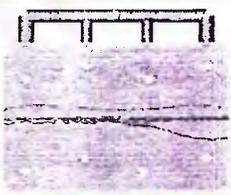
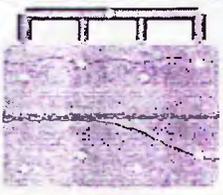
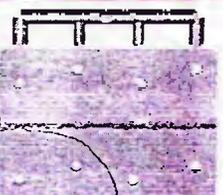
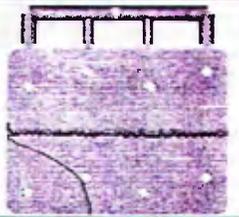
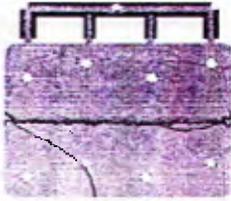
- ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.4 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าคุณภาพของชิ้นงาน ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร

Condition				Quality	Part		Runner system	
No.	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)		Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	40	220	0.3	0.5791	103000	0.3120	100507	0.2664
2.	40	220	0.5	0.4301	82283	0.2432	86208	0.2323
3.	40	220	0.6	0.4001	77605	0.2259	85590	0.2252
4.	40	220	0.7	0.4010	73231	0.2147	85561	0.2022
5.	40	220	0.8	0.4025	60280	0.2076	7520	0.1957
6.	40	220	1.0	0.4091	56226	0.1985	5960	0.1582
7.	40	220	1.5	0.4090	40599	0.1837	3890	0.1066
8.	40	220	5	0.4150	31369	0.1479	1167	0.087

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกหลอมเหลวที่เหมาะสมเป็น 0.6 วินาที เมื่อพิจารณาค่าอัตราเฉือน ทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกหลอมเหลวที่ทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพ โดยค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนที่ใช้จะพิจารณาค่าเวลาการฉีดที่เหมาะสม เป็นไปตามตารางที่ 4.2 ลักษณะการกระจายค่าความดันและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะการกระจายค่าความดันและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร

เวลาการเติม (วินาที)	ลักษณะการกระจายของความดัน	ผลการวิเคราะห์
0.616		การกระจายของความดันการเติมและฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
3.201		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
5.37		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
7.49		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
10.72		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
15.93		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ

- ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีน POLENE 2300 NCA ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร

No.	Condition			Part		Runner system	
	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	40	220	0.6	70040	0.1976	85590	0.2022

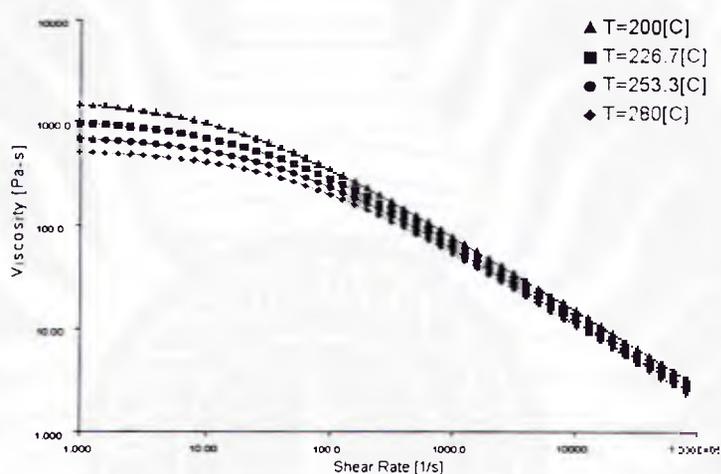
จากตารางที่ 4.6 เลือกเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเท่ากับ 0.6 วินาที โดยพิจารณาจากค่าอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินค่าที่ข้อมูลของพลาสติกกำหนดตามตารางที่ 4.2 พบว่าที่เวลาการเติม 0.6 วินาที มีการกระจายของความดันการฉีดที่สม่ำเสมอ

4.2.2 พอลิโพรพิลีน เกรด Moplen RP440N

ตารางที่ 4.7 สมบัติของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N ที่ใช้ในการพิจารณาการฉีดด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

Manufacturer: Basell Polyolefins: Moplen RP440N								
Family Abbreviation	Material Structure	Recommended melt temperature °C	Recommended mold surface temperature °C	Mold temperatures °C	Melt temperatures °C	Ejection temperature °C	Max. Shear stress	Max. shear rate 1/s
PP	Cryst.	240	50	Min: 20 Max: 80	Min: 200 Max: 280	97	0.25	100,000

การพิจารณาอุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N จะพิจารณาจากค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์และอุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลว ดังตารางที่ 4.7 โดยอุณหภูมิพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่แนะนำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 240°C และ 50°C ตามลำดับ นอกจากนี้จะต้องพิจารณาค่าความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนเมื่อพลาสติกหลอมเหลวที่ไหลผ่านส่วนที่พียงจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.7 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์การไหลของพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Moldflow



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและอัตราเฉือนของ Moplen RP 440 N

- ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.8 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร

Condition				Part		Runner system	
No.	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	50	240	0.7	95700	0.2259	90126	0.1452

จากตารางที่ 4.8 เลือกเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเท่ากับ 0.7 วินาที โดยพิจารณาค่าอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนต้องไม่เกินค่าตามตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของค่าความดันที่เวลาการเติม 0.7 วินาทีที่มีการกระจายของความดันการเติมที่เกิดสม่ำเสมอ

- ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่า กับ 4.25 มิลลิเมตร

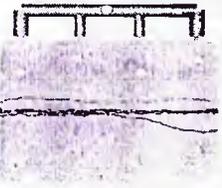
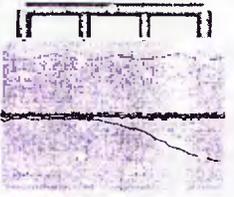
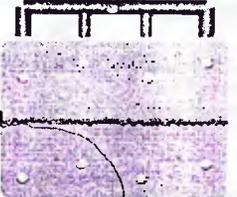
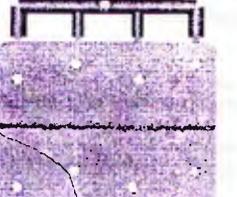
ตารางที่ 4.9 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าคุณภาพของชิ้นงาน ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP440N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร

Condition				Quality	Part		Runner system	
No.	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)		Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	50	240	0.3	0.5791	103000	0.3120	120507	0.1764
2.	50	240	0.5	0.4301	92283	0.2432	122080	0.1523
3.	50	240	0.6	0.4001	85700	0.2259	90126	0.1452
4.	50	240	0.7	0.4010	73231	0.2147	86370	0.1400
5.	50	240	0.8	0.4025	70280	0.2076	75200	0.1357
6.	50	240	1.0	0.4091	66226	0.1985	59600	0.1282
7.	50	240	1.5	0.4090	60599	0.1837	38900	0.1166
8.	50	240	5	0.4150	58136	0.1479	11670	0.087

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้ในการฉีดพลาสติกหลอมเหลวมีค่า 0.7 วินาที อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการฉีดพลาสติกหลอมเหลวมีค่า 50°C และอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวที่เหมาะสมที่จะใช้ในการฉีดพลาสติกหลอมเหลวมีค่า 240°C โดยค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนที่ใช้พิจารณาคควรอยู่ในช่วงที่กำหนดตามตารางที่ 4.7 ลักษณะการกระจายค่าความ

ต้นและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ลักษณะการกระจายค่าความดันและผลการวิเคราะห์ที่เวลาการเติมต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตร

เวลาการเติม (วินาที)	ลักษณะการกระจายของความดัน	ผลการวิเคราะห์
0.7212		การกระจายของความดันการเติมและฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
3.132		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
5.257		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
10.61		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ
16.01		การกระจายของความดันการเติมฉีดยังไม่สม่ำเสมอ

- ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.11 ค่าสภาวะเงื่อนไข ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนต่างๆ ที่ใช้ในการฉีดพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N ที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร

No.	Condition			Part		Runner system	
	Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection time (s)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)	Max Shear rate (MPa)	Max Shear stress (MPa)
1.	50	240	0.7	65700	0.2259	90126	0.1452

จากตารางที่ 4.11 เลือกเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเท่ากับ 0.7 วินาที พิจารณาค่าอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินค่าที่กำหนดตามตารางที่ 4.7 พบว่าที่เวลาการเติม 0.7 วินาที มีการกระจายของความดันการฉีดย้ำที่สม่ำเสมอ

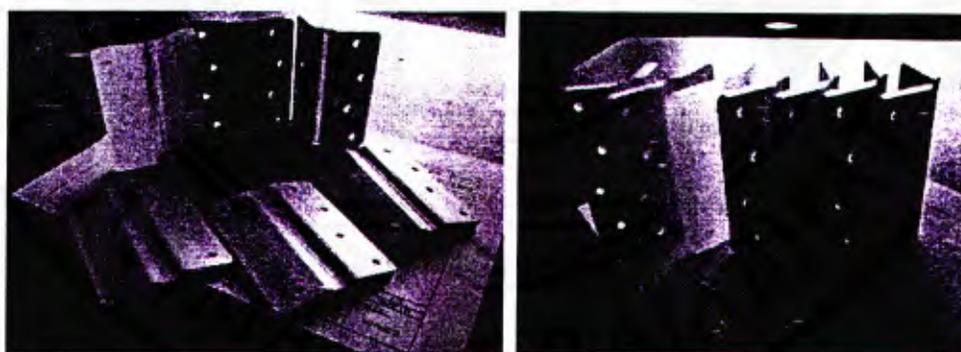
4.3 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.12 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดที่เหมาะสมของพอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N และ เกรด POLENE 2300 NCA โดยซอฟต์แวร์ Moldflow

Parameters	Moplen RP 440 N			POLENE 2300 NCA		
	ความหนาของปีกบานพับ (มิลลิเมตร)			ความหนาของปีกบานพับ (มิลลิเมตร)		
	3.75	4.25	5.25	3.75	4.25	5.25
Melt Temperature (°C)	240	240	240	215	215	215
Mold temperature (°C)	50	50	50	40	40	40
Screw diameter (mm)	28.8-41.59	29-41.8	29.3-42.3	28.8-41.59	29-41.8	29.3-42.3
Barrel temperature (°C)	240,240, 240,240	240,240, 240,240	240,240, 240,240	220,220, 220,220	220,220, 220,220	220,220, 220,220

Parameters	Moplen RP 440 N			POLENE 2300 NCA		
	ความหนาของปีกบานพับ (มิลลิเมตร)			ความหนาของปีกบานพับ (มิลลิเมตร)		
	3.75	4.25	5.25	3.75	4.25	5.25
Metering stroke(mm)	58.7	59.8	61.46	58.7	59.8	61.46
Back pressure (bar)	10	10	10	10	10	10
Switch over(mm)	5.87	5.98	6.15	5.87	5.98	6.15
Cushion(mm)	5	5	5	5	5	5
Injection pressure (bar)	640	640	640	640	640	640
Holding pressure (bar)	500	500	500	500	500	500
Clamping force(ton)	19	19	19	19	19	19
Demold temperature(°C)	97	97	97	115	115	115

จากตารางที่ 4.12 เป็นการแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยจะมีทั้งพารามิเตอร์ที่สามารถคำนวณจากสูตร เช่น ขนาดของสกรูที่เหมาะสม เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น เป็นต้น ส่วนค่าที่ไม่สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรจะตั้งค่าตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ เช่น อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลว เป็นต้น หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปทดลองตั้งค่าเครื่องฉีดเพื่อพิจารณาลักษณะของชิ้นงานที่ได้อีกครั้งหนึ่ง เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการฉีดพลาสติกหลอมเหลวโดยซอฟต์แวร์ Moldflow มาใช้ในการจริงฉีดขึ้นรูปจะทำให้ได้ชิ้นงานดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานที่มีการใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมลิเมตรใช้ในการฉีดขึ้นรูปบานพับพลาสติก

4.4 เวลาใน 1 รอบการผลิต

ตารางที่ 4.13 ค่าเวลา 1 รอบการผลิตของการฉีดขึ้นรูปบานพับโดยใช้พอลิโพรพิลีนเกรด Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA ของการฉีดขึ้นรูปบานพับพลาสติกที่ขนาดความหนาปีกบานพับเท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร

Parameter	ขนาดความหนาปีกบานพับที่ใช้ Moplen RP 440 N (มิลลิเมตร)			ขนาดความหนาปีกบานพับที่ใช้ POLENE 2300 NCA (มิลลิเมตร)		
	3.75	4.25	5.25	3.75	4.25	5.25
Injection time (Sec)	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
Holding time (Sec)	10	10	10	8.25	8.25	8.25
Cooling time (Sec)	60	60	60	44.2	44.2	44.2
Mold-open time (Sec)	2	2	2	2	2	2
Mold-close time (Sec)	2	2	2	2	2	2
Demolding time (Sec)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cycle time (Sec)	75.2	75.2	75.2	57.5	57.5	57.5

4.5 การทดสอบสมบัติบานพับพลาสติก

4.5.1 สมบัติการทนต่อการพับงอ

การทดสอบสมบัติการทนต่อการพับงอของบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักได้ใช้พลาสติกพอลิโพรพิลีนทั้งสองเกรดคือ Moplen RP 440N และ POLENE 2300 NCA ฉีดขึ้นรูป และทดสอบการพับงอโดยที่กำหนดมุมของการพับงอเท่ากับ 70 ± 5 องศา จำนวนครั้งในการทดสอบเป็น 24 ครั้งต่อนาที โดยใช้บานพับทดสอบครั้งละ 1 ชิ้น ตุ่มน้ำหนักถ่วงบานพับในการทดสอบการพับงอหนัก 2.5 กิโลกรัม สุ่มตัวอย่างบานพับในการทดสอบ 5 ตัวอย่าง เพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนโดยจำนวนการพับงอที่ตั้งเป็นไว้เท่ากับ $100,000 \pm 100$ ครั้ง ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบการเปิดปิดบานพับพลาสติก

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด

เกรดของพลาสติก	จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบการพับงอในขณะที่ถ่วงตุ้มหนัก 2,500 กรัม				
	ชั้นงานที่ 1	ชั้นงานที่ 2	ชั้นงานที่ 3	ชั้นงานที่ 4	ชั้นงานที่ 5
RP 440 N	101,150	101,100	101,120	101,100	101,130
POLENE 2300 NCA	101,100	101,140	101,150	101,130	101,120

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 4.25 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด

เกรดของพลาสติก	จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบการพับงอในขณะที่ถ่วงตุ้มหนัก 2,500 กรัม				
	ชั้นงานที่ 1	ชั้นงานที่ 2	ชั้นงานที่ 3	ชั้นงานที่ 4	ชั้นงานที่ 5
RP 440 N	101,200	101,140	101,150	101,150	101,150
POLENE 2300 NCA	101,100	101,130	101,150	101,150	101,000

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการพับของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตรของพลาสติกทั้งสองเกรด

เกรดของพลาสติก	จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบการพับงอในขณะที่ถ่วงตุ้มหนัก 2,500 กรัม				
	ชั้นงานที่ 1	ชั้นงานที่ 2	ชั้นงานที่ 3	ชั้นงานที่ 4	ชั้นงานที่ 5
RP 440 N	101,150	101,130	101,150	101,150	101,000
POLENE 2300 NCA	101,100	101,130	101,150	101,000	101,000

จากตารางที่ 4.14-4.16 จะพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของจำนวนครั้งการพับงอของชั้นงาน ทั้ง 5 ชั้นไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการพับงอของบานพับที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตรที่ขึ้นรูปด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนทั้งสองเกรด คือ Moplen RP 440 N และ POLENE 2300 NCA จึงใช้ชั้นงานทดสอบตัวอย่างละ 1 ชั้นต่อไปดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบจำนวนครั้งของการพับงอของบานพับแต่ละชนิดที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25, 5.25 มิลลิเมตร

น้ำหนักลูกตุ้ม (กรัม)	จำนวนครั้งของการพับงอของบานพับ (ครั้ง)					
	ขนาดความหนาปีกบานพับที่ใช้ Moplen RP 440 N (มิลลิเมตร)			ขนาดความหนาปีกบานพับที่ใช้ POLENE 2300 NCA (มิลลิเมตร)		
	3.75	4.25	5.25	3.75	4.25	5.25
2,500	101,000	101,000	101,000	101,000	101,000	101,000

4.6 การทดลองติดตั้งบานพับพลาสติก

การนำพลาสติกไปติดตั้งการใช้งาน โดยการใช้ประตูขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 700 x 1800 x 35 มิลลิเมตรและมีน้ำหนักเท่ากับ 8,800 กรัม



รูปที่ 4.5 การนำบานพับไปใช้ในการติดตั้งประตูพีวีซี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการผลิตบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลักที่มีขนาดความหนาของส่วนพับงอเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยเลือกใช้พอลิโพรพิลีนเกรด RP 440 N และ POLENE 2300 NCA ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองการวิเคราะห์การไหลโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการคำนวณตามทฤษฎีมาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ ทำให้สามารถลดปัญหาที่จะเกิดกับชิ้นงานและแม่พิมพ์ ช่วยประหยัดเวลาและจำนวนครั้งในการลองแม่พิมพ์ ช่วยเพิ่มคุณภาพของสินค้า เป็นต้น ส่วนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดบานพับพลาสติกที่ขนาดความหนาปีกบานพับ เท่ากับ 3.75, 4.25 และ 5.25 มิลลิเมตร ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีและจากคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำบานพับไปทดสอบการทนต่อการพับงอและใช้งานจริงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมกับการงานในการติดตั้งใช้งานของบานพับพลาสติกสองปีกแบบไม่มีสลัก ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1.1 การออกแบบแม่พิมพ์โดยการเอาโปรแกรมการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกหลอมเหลวด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงขึ้นเนื่องจากผู้วิจัยได้พิจารณาทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเป็นสำคัญเพราะทิศทางการไหลมีผลต่อความแข็งแรงของบานพับพลาสติกในส่วนที่พับงอ โดยแนวขยายด้านหน้าการไหลของพลาสติกหลอมเหลวจะต้องไหลผ่านส่วนที่หนาไปยังส่วนที่บางเป็นแนวเดียวกันเพื่อป้องกันการเกิดการด้านทานการไหล และการเกิดการไหลไม่เต็มชิ้นงาน

5.1.2 แม่พิมพ์ที่มีความเหมาะสมในการฉีดซึ่งรูปบานพับพลาสติกจะต้องออกแบบให้มีทางเข้าแบบด้านข้างจำนวน 4 ทาง และมีการปรับขนาดทางวิ่งให้มีรูปแบบการไหลอย่างสมดุลหลังจากนั้นนำไปออกแบบและสร้างแม่พิมพ์จริง

5.1.3 ระยะเวลาของ 1 รอบการผลิตบานพับพลาสติกที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีนเกรด RP 440 N ใช้เวลามากกว่า POLENE 2300 NCA เท่ากับ 17.7 วินาที

5.1.4 บานพับพลาสติกที่ทำจากพอลิโพรพิลีนทั้งสองเกรดของทุกความหนา สามารถทนต่อการพับงอได้มากกว่า 100,000 ครั้ง โดยสังเกตไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของบานพับไปจากเดิม จากนั้น

นำไปทดสอบใช้จริงโดยการติดตั้งใช้งานกับประตูพีวีซีของของน้ำเพื่อเปรียบเทียบง่ายและสะดวกในการติดตั้ง

5.1.6 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่างการใช้พลาสติก RP 440 N และ POLENE 2300 NCA โดยใช้เวลาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ใน 1 รอบการผลิตปรากฏว่าเกรด RP 440 N ใช้เวลามากกว่า 17.7 วินาที และต้นทุนราคาเม็ดพลาสติกปรากฏว่า RP 440 N มีราคาสูงกว่ากิโลกรัมละ 2.50 บาท ทำให้สรุปได้ว่าพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด POLNE 2300 NCA มีความเหมาะสมในการเลือกนำไปผลิตมากกว่า RP 440 N และเลือกใช้บานพับที่มีขนาดความหนาของปีก เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา หากต้องการให้การวิเคราะห์การไหลด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ค่าที่มีความแม่นยำและถูกต้องมากที่สุด ควรปฏิบัติดังนี้

5.2.1 ควรสร้างเมชให้มีความหนาแน่นอย่างเหมาะสมในบริเวณที่ส่วนบางและในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา

5.2.2 พลาสติกและเครื่องฉีดพลาสติกที่จะใช้ฉีดขึ้นรูปจริงไม่ปรากฏชื่อของชนิดของพลาสติกในซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นควรป้อนค่าสมบัติที่เกี่ยวข้องของพลาสติกและเครื่องฉีดที่ใช้ก่อนดำเนินการวิเคราะห์

5.2.3 เพื่อให้บานพับพลาสติกที่ผ่านการฉีดขึ้นรูป มีความแข็งแรงในส่วนที่พับงอและมีอายุการใช้งานนานยิ่งขึ้น ควรพับงอบานพับ 2-3 ครั้งขณะที่ขึ้นงานยังอุ่นอยู่ เพื่อช่วยให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลดีขึ้น

5.2.4 ชิ้นงานที่ผู้วิจัยทำการออกแบบและทดลอง ต้องใช้เวลาในวงจรการผลิตมาก และทำให้สิ้นเปลืองพลาสติกที่นำมาฉีดขึ้นรูปเนื่องจากชิ้นงานมีความหนา ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง การปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ แนะนำให้สร้างชิ้นงานให้บางลงและสร้าง Rib แทนความหนาในส่วนที่ถูกลดความหนาไป จะสามารถแก้ปัญหาตรงนี้ได้

5.2.5 ก่อนทำการฉีดพลาสติกควรคำนวณค่าพารามิเตอร์และปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เพราะจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและที่สำคัญสามารถลดของเสียได้มากกว่าการฉีดแบบลองผิดลองถูก

5.2.6 ในขณะที่อยู่ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปบานพับพลาสติก ควรทำการตรวจสอบเวลาที่พลาสติกอยู่ในกระบอกลอด (Resident time) ไม่ควรเกิน 10 นาที

เอกสารอ้างอิง

1. Office of Industrial Economics, 2006, **Industrial Situation Report in the first quarter (January -March 2549)** [Online], Available: http://www.oie.go.th/industrystatus1_th.asp [2006, July 2]
2. Thai Industrial Standards Institute, 2006, **TISI Standards Lists** [Online], Available: <http://www.tisi.go.th/standard/catalog.html> [2006, July 19]
3. Thai Industrial Standards Institute, 1988, **Industrial Standard of butt hinge for door and window (TISI 759-1988)** Ministry of industry, Bangkok, pp1-10.
4. Thai Industrial Standards Institute, 1988, **Industrial Standard of friction hinge for door and window (TISI 862-1989)** Ministry of industry, Bangkok, pp1-5.
5. Reel Precision Manufacturing Corporation, 2006, **MH 14 Hinge** [Online] Available: <http://www.reell.com> [2006, June 20]
6. Monroe Engineering Products, Inc., 2006, **CFC Hinge** [Online] Available: <http://www.monroeengineering.com/hinges/CFC.htm> [2006, June 20]
7. Austin Hardware & Supply, Inc., 2006, **Nylon Hinge** [Online] Available: <http://www.austinhardware.com/dept.asp?dept%5Fid=32> [2006, June 20]
8. C.E. Shepherd company, 2006, **Shepherd plastic hinge** [Online], Available: <http://www.ceshepherd.com> [2006, June 20]
9. Allen company, Inc., **Multi-hinge** [Online], Available: <http://www.allenplastics.com/hinges.htm> [2006, June 20]
10. Thai Industrial Standards Institute, 1988, **Industrial Standard of friction hinge for door and window (TISI.992-1990)**, Ministry of industry, Bangkok, pp1-2.
11. Somsak Woramongkolchai, 2005, **Polymer Technology 1**, 5th Edition, Booknet, Bangkok, pp 1-8.
12. Man Amornsit and Somchai Akkaratiwa, 2001, **Material Engineering**, Mcgraw-Hill International Enterprise, Bangkok, pp 273-278.

13. Jintamai Suwanprateep, 2547, **Mechanical Testing of Plastic**, Technology Supporting Association (Thai-Japanese), Bangkok, pp 53-55.
14. Narongrit Sombatsompop and Chakrit Sirisingha, 2001, **Basic polymer rheology and application**, Lecture in King Mongkut's University of Technology, pp 4-19.
15. Dealy & Wissbum, 1990, **Melt Rheology and its Role in Plastic Processing**, Van Nostrand Reinhold, New York, pp.129-135.
16. Moldflow Corporation, 2003, **Moldflow User Manual Release 4.0**, Massachusetts: USA, Moldflow Pty.
17. Beaumont, J.P., Nagel, R. and Sherman, R., 2002, **Successful injection molding: process, design and simulation**, Hanser, Munich, pp. 27-37,56-71,165-166,214,228-229,245,314.
18. Kim, H.S., Son, J.S. and Im, Y.T., 2003, "Gate location design in injection molding of an automobile junction box with integral hinges", **Journal of material processing technology** [Electronic], Vol.140, No. 1, pp. 110-115, Available: Elsevier/ Science Direct [2006,February 13]
19. Wichian Srisawas, 2005, **TEN 572 Injection mold design Lecture**, Lecture in King Mongkut's University of Technology, pp 54-89.
20. Pornnapa Sanongboon, 2000, **A Hybrid Approach to Set-up Critical Parameters of A Plastic Injection Molding**, Master's thesis, Industrial Engineering, King Mongkut's University of Technology, pp10-12.
21. CAMPUS: Computer Aid Material Preselection by Uniform Standard, **Components of injection molding**, [Online] Available: www.campusplastic.com [2006, June1]
22. Somsak Woramongkolchai, 2005, **Polymer Technology 2**, 5th Edition, Booknet, Bangkok, pp 57-61.
23. ซาลี ตระการกุล, 2539, **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ฉบับปรับปรุง**, พิมพ์ครั้งที่ 6,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ,หน้า 121-136
24. Menges Georg, 1986, **How to make injection molds**, Hanser, Munich, pp.45-50.
25. Louis T.Manzione, 1987, **Application of computer aid engineering in injection molding**, Hanser, Munich, p.146

26. Brannon P.J., 2000, "The effects of mold filling on living hinge performance", ANTEC 2000 Conference proceeding (373) vol.3, pp. 3074-3078.
27. Design and Process Strategies for Injection Molding, [Online], Available: <http://www.hansergardner.com/sample/1-56990-347-6pdf#search=%22Design%20and%20Process%20Strategies%20for%20Injection%20Molding%22>[2006, July 8]
28. Pharsit Chusuwan, 2000, Program Development for Investigation of Cooling System Design in Plastic Injection Mold, Master's thesis, Industrial Engineering, King Mongkut's University of Technology, pp 25-28.
29. Dupont Company, 2006, Product guide and properties, [Online], Available: <http://plastics.dupont.com/plastics/dsheets/zytel/.pdf> [2006, July 12]
30. Chareon Nakasan, 2003, Introduction to Plastics Technology, Fourpage, Bangkok, p.67.
31. Product data of POLENE2300NCA
http://www.irpc.co.th/Product/PP/PP_BLOCK/2300NCA.html (accessed on July 2006).
32. HMC Polymers Limited Company, Product data sheet, [Online], Available: http://www.hmcpolymers.com/products/homopolymer/RP_440N [2006, Oct 10]
33. ทรงเกียรติ วิสุทธิพิทักษ์, 2545, การใช้สถิติเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ, โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพฯ, หน้า 184-187
34. Beaumont P. John, 2004, Runner and gating design handbook, Hanser Gardner Publication Inc., Munich, pp 45-47.]
35. Jaruwat Chareonsuk and Akanit Sontrakoon, 2000, "Flow simulation and heat transfer for plastic shrinkage prediction of injection molding ", the 14th conference on mechanical engineering network of Thailand, 2-3 November 2000, Novotel Hotel, Chiang Mai, pp. 34-39.
36. Engel Company, Product information-injection molding, [Online], Available: www.staff.arcada.fi/~kerstinm/Forskning/provfabriken/Engel_e.htm [2006, June 2]
37. Charles L Tucker III (Ed.), 1989, Fundamental of computer aid engineering of polymer processing, Hanser Gardner Publications Inc., Munich, pp 17, 603-610.

38. Schulz, Klaus [Translated] by Wiwat Tuntikachon and Chairat Kaewdueng, 1995, **Plastic injection mould design and manufacture**, Metal-Working and Machinery Industries Development Institute, Industrial Promotion Department, Ministry of Industry, pp 198-200.
39. Ser.ed:Ernest C. Bernhard, Ed:Louis T. Manzione,1987, **Computer aided engineering for polymer processing: Applications of computer aided engineering in injection molding**, New York. pp 162-207.
40. R. Y. F. Liu, Y. S. Hu, D. A. Schiraldi, A. Hiltner. E. Baer, 2004,**Crystallinity and Oxygen Transport Properties of PETBottle Walls**, Published online in Wiley InterScience, pp 671-677.
41. Anupan Tungchareon, 2000, **Temperature and Crystallinity Profile of Wood Sawdust/PP Composite Melt During Cooling**, Master's thesis, Material Technology, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology pp.17-21.
42. Y.Kong, J.N. Hay, 2002, "The measurement of the crystallinity of polymers by DSC ", **Journal of polymer [Electronic]** Vol.1, NO. 43 pp.3873-3878 Available: Elsevier Science Ltd. [2007, April 3]



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ประจำปี 2554

มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ประจำปี 2554

ตารางที่ ก.1 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่าง ๆ ประจำปี 2554 [1]

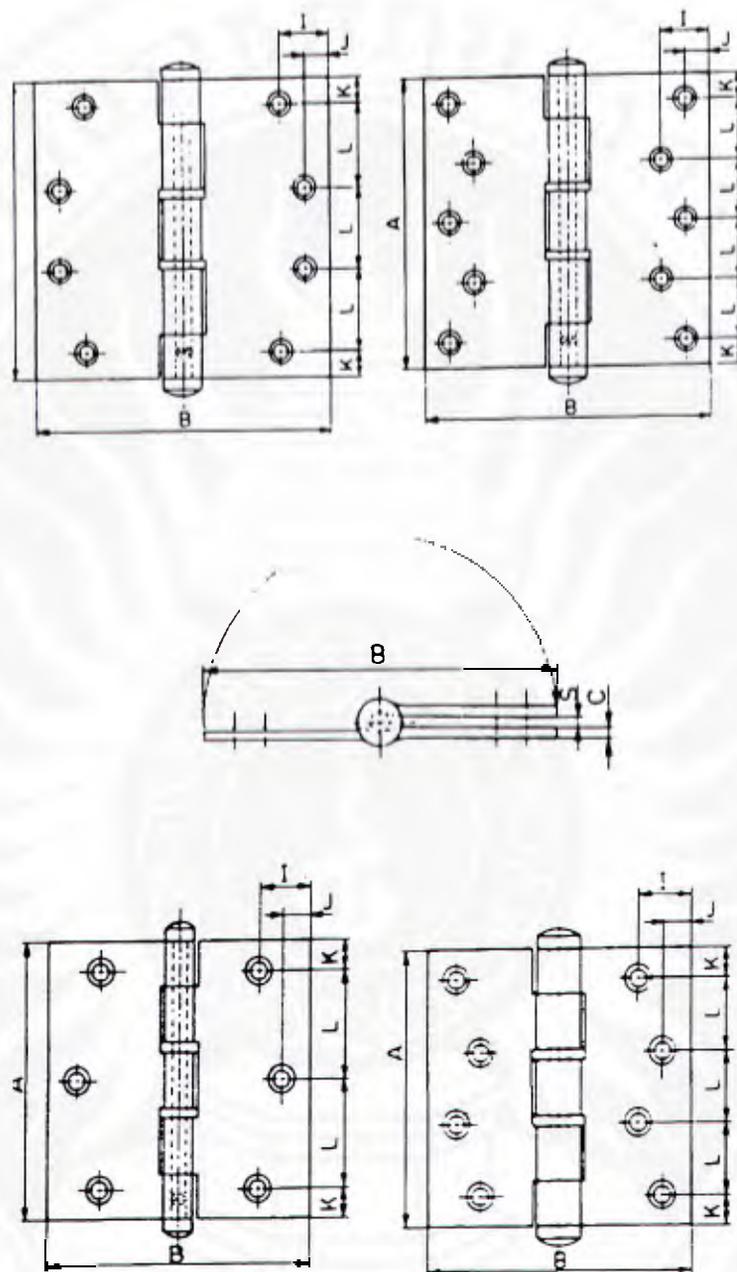
ประเภท ผลิตภัณฑ์	มูลค่าการส่งออก (ล้านเหรียญสหรัฐ ฯ)						Q1/2554 เทียบกับ	Q1/2554 เทียบกับ
	2552	2553	Q1 2552	Q1 2553	Q4 2553	Q1 2554	Q4/2553 (ร้อยละ)	Q1/2553 (ร้อยละ)
ถุงและกระสอบพลาสติก	372.9	521.9	74.7	111.7	133.5	128.9	-3.45	15.40
แผ่นฟิล์มพอยล์	466.1	539.3	106.8	123.9	138.7	130.4	-5.98	5.25
เครื่องแต่งกายและของ ใช้ประกอบ	25.8	22.7	8	5	5.1	4.8	-5.88	-4.00
กล่องหีบที่ทำด้วย พลาสติก	26.3	30.9	6	7.5	8.3	6.5	-21.69	-13.33
เครื่องใช้สำนักงานทำ ด้วยพลาสติก	21.8	22.9	5.6	5.6	5.3	5.1	-3.77	-8.93
หลอดและท่อพลาสติก	32.7	43.5	7.6	10.2	13.3	8.3	-37.59	-18.63
พลาสติกปูพื้นและผนัง	40.1	51.5	9.7	10.6	13.9	10.8	-22.30	1.89
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร พลาสติก	68.9	84.5	16.5	19.1	21	24.9	18.57	30.37
ผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ	493.2	554.1	100.2	128.8	139.4	147.3	5.67	14.36
รวมทั้งสิ้น	1,547.8	1,871.3	335.1	422.4	478.5	467	-2.40	10.56

ตารางที่ ก.2 มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ประจำปี 2554

ประเภท ผลิตภัณฑ์	มูลค่านำเข้า (ล้านเหรียญสหรัฐฯ)						Q1/2554 เทียบกับ Q4/2553 (ร้อยละ)	Q1/2554 เทียบกับ Q1/2553 (ร้อยละ)
	2552	2553	Q1 2552	Q1 2553	Q4 2553	Q1 2554		
หลอดและท่อ พลาสติก	80.5	79.7	20.1	21.6	19.3	22.8	18.13	5.56
แผ่นฟิล์ม ฟอยล์และแถบ พลาสติก	668.9	742.5	167.2	176.8	188.2	195.4	3.83	10.52
ผลิตภัณฑ์ พลาสติกอื่นๆ	1,174.0	1,224.0	272	300.6	316.2	329.8	4.30	9.71
รวมทั้งสิ้น	1,923.4	2,046.1	477.9	492.7	523.6	548.0	4.66	11.22

ภาคผนวก ข

ขนาดระบุ มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน จำนวนรูตะปูเกลียว และขนาดตะปูเกลียวของบานพับสองปีก
ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.759-2531) [3]



รูปที่ ข.1 มิติของบานพับ

ตารางที่ ข.1 แสดงขนาดระบุ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน จำนวนระบุตะปูเกลียว และขนาดตะปูเกลียวของบานพับเหล็กกล้า บานพับเหล็กกล้าไร้สนิม

บานพับของเหล็ก และบานพับของบรอนซ์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 759-2531) [3]

(หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ขนาด ระบุ	A	B	C		I	J	K	L	จำนวน ตะปู เกลียว	ขนาดตะปูเกลียว	
			ชนิดหนา	ชนิดบาง						ชนิดหนา	ชนิดบาง
75x50	76±0.5	51±1.5	2.3±0.13	1.7±0.13	9.0±0.5	7.0±0.5	9.0±0.5	29.0±0.5	6	4.1X25	3.8X25
75x75	76±0.5	76±1.5	2.3±0.13	1.7±0.13	14.0±0.5	8.0±0.5	8.0±0.5	30.0±0.5	6	4.1X25	3.8X25
90x60	89±0.5	64±1.5	3.1±0.13	1.7±0.13	12.0±0.5	8.0±0.5	9.0±0.5	35.5±0.5	6	4.5X25	3.8X2.5
90x90	89±0.5	89±1.5	3.1±0.13	1.7±0.13	17.0±0.5	9.0±0.5	9.0±0.5	35.5±0.5	6	4.5X25	3.8X25
100x75	102±0.5	76±1.5	3.2±0.13	2.0±0.13	17.0±0.5	10.0±0.5	10.0±0.5	27.3±0.5	8	4.8X25	4.1X25
100x100	102±0.5	102±1.5	3.2±0.13	2.6±0.13	19.0±0.5	10.0±0.5	10.0±0.5	27.3±0.5	8	4.8X25	4.1X25
115x115	114±0.5	114±1.5	3.4±0.13	3.2±0.13	24.5±0.5	10.3±0.5	10.5±0.5	31.0±0.5	8	4.8X25	4.5X25
125x100	127±0.5	102±1.5	3.2±0.13	2.6±0.13	19.0±0.5	10.0±0.5	10.5±0.5	26.5±0.5	10	4.8X25	4.1X25
125x125	127±0.5	127±1.5	3.6±0.13	3.2±0.13	24.0±0.5	10.5±0.5	10.5±0.5	26.5±0.5	10	5.5X25	4.8X25
150x100	153±0.5	102±1.5	3.2±0.13	3.0±0.13	19.0±0.5	10.0±0.5	11.5±0.5	32.5±0.5	10	4.8X25	4.5X25

หมายเหตุ 1. เมื่อปรับบานพับให้อยู่ในลักษณะปิดและเปิดทั้งสองขานกัน ระยะศูนย์กลางของปีกบานพับ (S) ต้องเท่ากับ 2±0.5 มิลลิเมตร

2. ไม่กำหนดมิติของข้อพับและแกน



ภาคผนวก ค

เทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ ชื่อทางการค้า สมบัติ
การประยุกต์ และเกรด

ตารางที่ ๓.1 แสดงตัวอย่างโพลีเอทิลีนชนิดต่างๆ ชื่อทางการค้า สมบัติ การประยุกต์และเกรด [12]

Material class	Selected trade names	Selected properties	Selected applications	Grade
Polyethylene (rangs from low-to-high-density grades)	Dowlex Rexene Fortiflex Petrothene	Tough, low strength; low coefficient of friction; good chemical and electrical resistance	Film, pipe, sheet, blow molding, wire and cable insulation	(Raicax) LPDE, GP Mold HMW-HDPE, Blow-mold (Raicax)
Polypropylene	Pro-fax Rexene Fortilene	ough, relatively low strength but better than polyethylene; good fatigue properties; low density; good chemical and electrical resistance	Containers, closure, housewares, toys, fibers and electrical insulation; In autos ,copolymers are used in Interior panels and trim, and batteries	GP homopoly, injection Random copoly, Injection
Polystyrene (crystal clear)	Styron Repley Ladene Styron Valtra Novablend	Optical clarity; fabrication ease; good thermal and dimensional stability; excellent insulator Ease of processing, good impact	Container bottles and lids, toys; disposable medical devices	(Raicax), GP crystal, Hi Heat
Polystyrene Polyvinyl chloride(ngid)	Unichem Ultra Kohnn Plexiglas Acrylite Perspex	Strength and rigidity; good insulator, low cost Strength, elongation; chemical resistance	Packaging; disposables, consumer electronics; toys Pipe and conduit, vinyl siding and windows; floor covering	HIPS Super Hi Imp Fiber-Reinf. (Raicax) GP Homopoly Pipe
Polyvinyl chloride (flexible) Acrylics	Valox Impet Petra	Flexibility, chemical and moisture resistance; colorability; durability; low cost, crystal clarity; good surface hardness; good chemical and environmental resistance; mechanical stability; weather ability	Coatings; artificial fabrics; artificial leather, electrical wire insulation; vinyl sheet, gloves Window glazing and light transmission uses; backlighted signs; auto taillight lenses	Chlorinated PVC pipe compound GP Impact
Polyethylene terephthalate(PET) (engineering grades)	Valox Clenex Ultradur	Reinforced or filled with glass fibers, glass flakes, minerals, or micas to improve property performance for stiffness, strength, and heat resistance; good moldability and chemical resistance	Automotive, electrical/electronic, and appliances; motor housings, lamp sockets, sensors, switches, relays, and coil bobbins; coil forms for microwave oven transformers and small appliance housings	30% glass 55% glass PETG copoly
Polybutylene terephthalate	Magnum Cyclocac	Easily injection-molded, used for electrical connectors for electrical properties, heat and chemical resistance, and ability to be cast in to	Electrical connectors, coil bobbins, terminal blocks, and fuse holders; automotive distributor caps, door and window hardware, pump parts	U-iffilled Hi-impact 30% glass,FR

	Lustran	chemical resistance, and ability to be cast in to thin section		
ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene)	Delinn (homopolymer) Celcon (copolymer) Tenax	Arylonitrile provides chemical resistance and heat stability; butadiene offers toughness and impact strength, styrene provides rigidity and processability at low cost	Automotive instrument panels and consoles; radiator grilles; headlight housings; appliance-extruded and thermoformed door liners, small appliance and computer housings; drain pipes and vents	Med.impact Hi impact Pipe ABS/PC alloy
Acetal	Noryl Prevex	Hard, strong, stiff, some notch sensitivity. good chemical resistance; dimensional stability; low coefficient of friction	Auto fuel system components, gears and window lift mechanisms; handles and cranks; industrial gear, valves, cams, and pumps; pulleys, bolt, nuts, and chain links; plumbing parts such as ball cocks, stems, valves	Homopolymer 20% glass Copolymer 25 glass
Polyphenylene oxide (modified)	Zytel Nylamid	Good electrical properties over wide range of humidity and temperature condition; good impact strength and rigidity with fiber and filler reinforcement good process ability	Automotive instrument panels and seat backs, computer housings and keyboards for computers, pump housings and impellers	Injection 20%glass 30%glass Extrusion
Nylon(linear polyamide)	Lexan Makrolon Calibre	High strength, toughness stiffness, wear and abrasion resistance; low coefficient of friction; absorbs some moisture from environment; high-impact strength and rigidity	Gears, bearings, antifriction parts, mechanical parts subject to elevated temperatures and must resist hydrocarbons and solvents; electrical parts subject to elevated temperatures; caster wheels; housings for power tools	Type 66 Min filled 30%glass Type 6 Min filled 30%glass
Polycarbonate	Udel Ultrason	Clarity, excellent impact resistance; high heat deflection temperature; dimensional stability; good electrical resistance	Glazing, business machine housings and instrument panel, electrical connectors and breakers; laser-read CDs; ophthalmic lens	Injection, mold, 20%glass 30%glass Extrusion Fiber-rein Compact disc
Polysulfone	Ryton Fortron Supec	Transparent, heat-resistant, low flammability, good electrical properties to about 190 C, good thermal rigidity and stability at high temperatures; good impact strength and chemical resistance	Medical instrumentation and trays to hold instruments during sterilization; electrical connectors, coil bobbins, and cores, TV components; chemical processing equipment for corrosion-resistant piping, pumps, filter modules, and support plates, and tower packing.	GP 10% glass 30% glass
Polysulfide	Ultem	Excellent combination of high temperature resistance, chemical resistance, flowability, electrical properties, and Dimensional stability.	Mainly for high-temperature electrical connectors	40% glass 20% glass/

Polyethenimide	Teflon Neoflon Fluorocomp	High strength and rigidity at elevated temperatures; good electrical properties, chemical resistance, and process ability	and components; chemical resistance is used for pumps, valves, pipe fittings, and oil-field parts	35% filler 35% glass/ 35% filler
Polytetrafluoroethylene	Bakelite Durez Plenco Valite	Chemical pipes and valves, seals and rings; antistick coatings; fuel hose linings	Good heat and chemical resistance for fluid and air handling parts; electrical uses which depend on high strength and dimensional stability; electrical connectors and printed circuit boards; under-the-hood sensors	Unrien. 30% glass
Phenolics	Rosite Premi Polyreite	Heat resistant to over 150°C (300°F); good dimensional stability and creep resistance good electrical resistance	Chemically inert in most environments; useful mechanical properties from cryogenic temperatures to 260°C(500°F); low coefficient of friction	Molding compound Reinforced grades
Polyesters (Unsaturated)	Ciba-Geigy (RP-) Fiberite Fiboset	Can be used unfilled, filled, or reinforced(glass) ; rigid, resilient, corrosion and weather-resistant	High-temperature electrical and thermal resistance applications; electrical fixtures; adhesives	GP Ortho Isophthalic
Epoxies	Perstop Cymel Fiberite Plenco	Good mechanical properties, good adhesion and electrical insulative properties	Chair seats, auto exterior parts; boats; shower stalls; electrical components; auto patch compound; matrix for glass-and carbon-fiber-reinforced composites	Bis-A
Ureas and melamines	Silastic Baysilon	Molding compounds; good surface durability and hardness; load bearing strength and resist organic solvents; good electrical resistance	Protective coatings; adhesives; electrical molding, matrix for Carbon-fiber composites	GP Resin Semiconductor Novolac
Silicones	LIM(GE silicones)	Electrometric properties; good electrical insulator; sealant; good chemical resistance	Alpha cellulose-filled molding compounds are used in wiring devices(wall plates, receptacles, and circuit breakers), closures, housings, knobs, and handles	Molding compound Bk & Bw Wh & lv
			Coatings and adhesives; high-temperature insulator	Molding compound Spec. grade Silicon epoxy



ภาคผนวก ง

คุณสมบัติของเครื่องฉีดพลาสติก

ตารางที่ ง.1 คุณสมบัติของเครื่องฉีดพลาสติก [37]

Technical specification for the Engel ES 200/50HL injection molding machine		
Plasticating unit:		
Screw diameter	mm	35
Screw speed	rpm	20-480
Flow velocity * ¹	g/s	20
Specific injection force	bar	200
Injection velocity * ¹	g/s	82
Max. shot volume * ²	cm ³	98
Max. shot weight * ¹	g	88
Metering stroke	mm	140
Injection pressure	bar	1600
Intensification ratio		8
Hydraulic pressure	bar	200
Unit movement	mm	200
Nozzle force	kN	28
Heat capacity	W	4,4
Heating zones		3 + nozzle

Clamping unit:		
Clamping force	kN	500
Opening length	mm	330
Ejector force	kN	25,4
Ejecting length	mm	100
Max. mold height	mm	-
Min. mold height	mm	110
Mold carrier plates	mm	460 x 310
Dry run time	s	1,5
Pump effect	kW	15
Oil volume	l	130

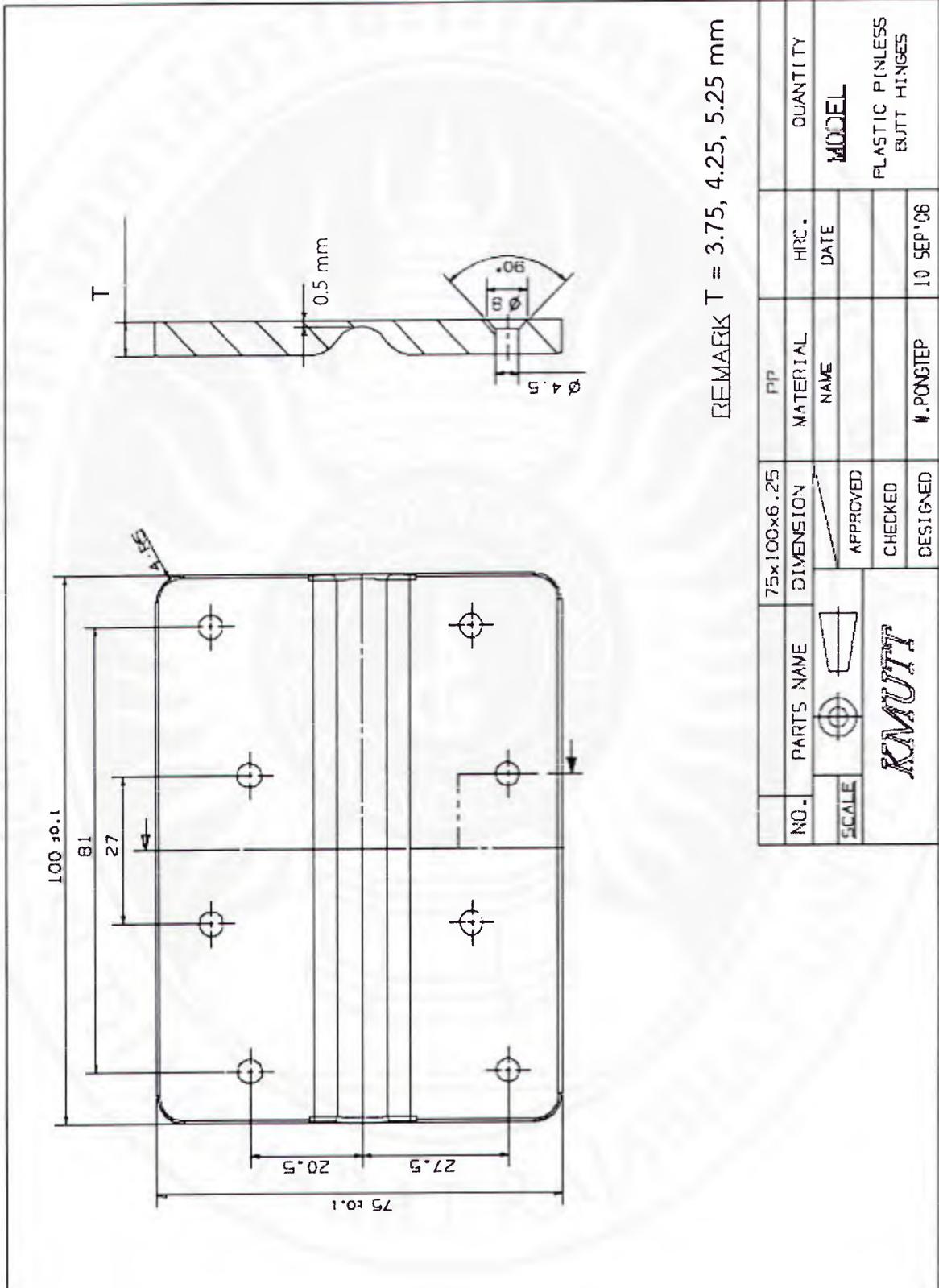
Note:

- 1) Determined for polystyrene, depending on material and working parameters.
- 2) Shot volume in cm^3 at 1000 bar specific injection



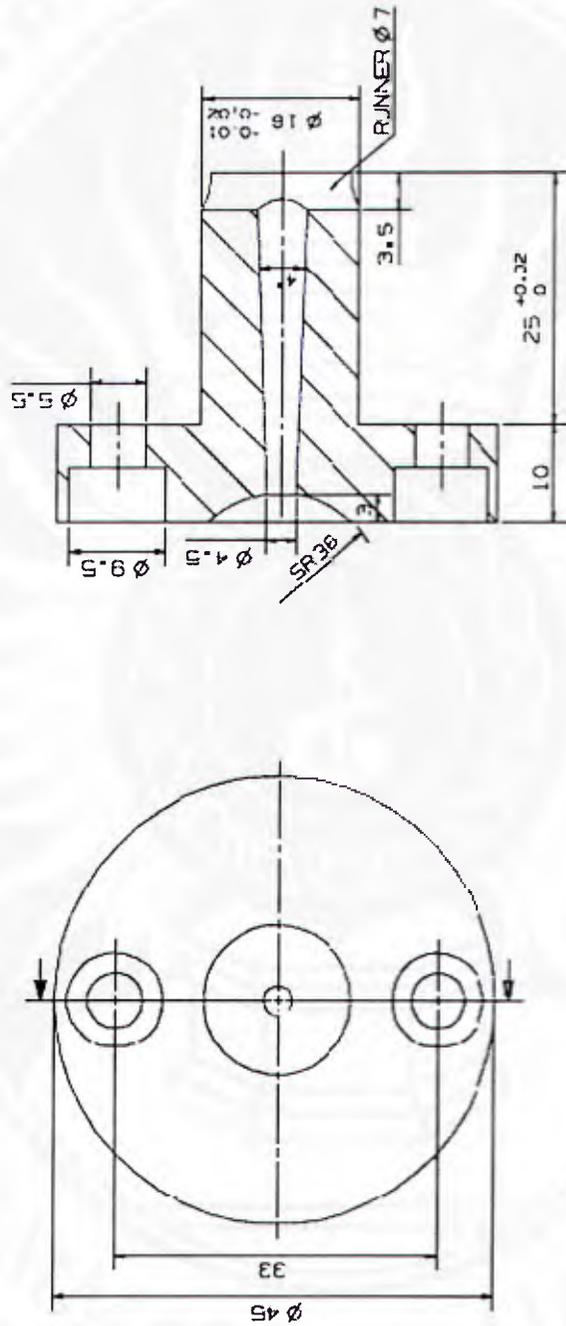
ภาคผนวก จ

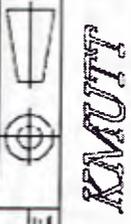
แบบแม่พิมพ์ดีดและแบบขึ้นงาน



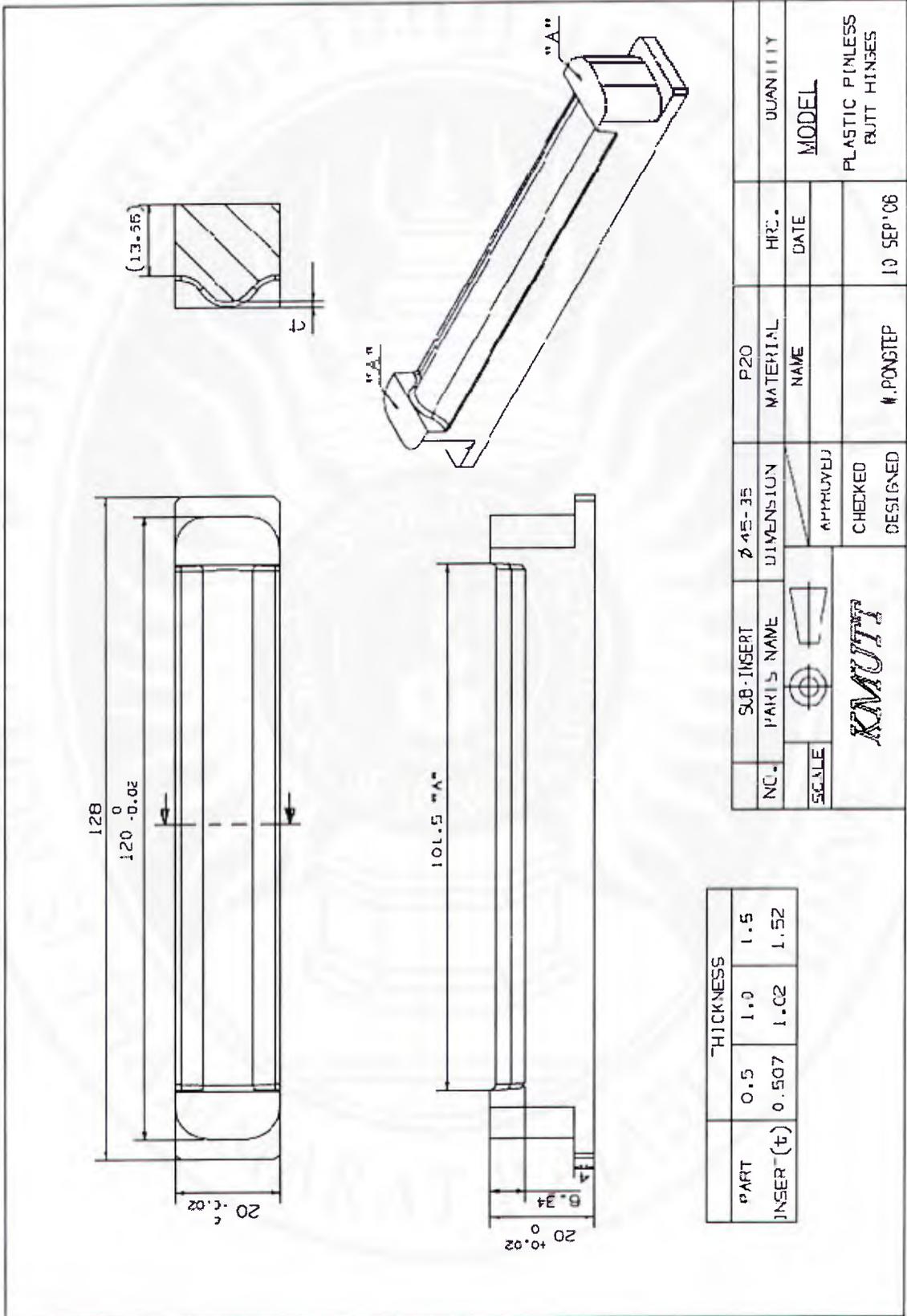
NO.	PARTS NAME	75x100x6.25	PP	HRC.	QUANTITY
SCALE		DIMENSION	MATERIAL NAME	DATE	MODEL
	KAMUTI	APPROVED			PLASTIC PINLESS BUJT HINGES
		CHECKED	#.PONGTEP	10 SEP'06	
		DESIGNED			

รูปที่ จ.1 แบบแม่พิมพ์บานพับพลาสติกสองปีกแบบมีสลัก



SPRUE BUSHING	Ø 45-33	P20	QUANTITY
NO.	DIMENSION	MATERIAL NAME	MODEL
SCALE	APPROVED	HRC.	FLASTIC PINLESS BUTT HINGES
	CHECKED	DATE	
	DESIGNED	M. PONGTEP	10 SEP '08

รูปที่ จ.3 แบบทางฉีดพลาสติก



รูปที่ จ.4 Insert ประกอบแม่พิมพ์



ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ประวัติหัวหน้าโครงการ

นายนราพงศ์ ช่วยชัย

Mr. Narapong Chuaychai

สัดส่วนงาน

ร้อยละ 55

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3 8013 00982 58 3

ตำแหน่งปัจจุบัน

พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรี

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีการเชื่อมโลหะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2543

ระดับปริญญาโท

ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาวิชาการ ประกอบผลิตภัณฑ์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ :

การศึกษากระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์จากลิเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ผู้ร่วมโครงการ**ประวัติผู้ร่วมโครงการ**

นายพงศ์เทพ วีระพงศ์

Mr.Pongtep Weerapong

สัดส่วนงาน

ร้อยละ 45

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3 8099 00104 17 7

ตำแหน่งปัจจุบัน

พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ พ.ศ. 2544

ระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2547

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการกระบวนการขึ้นรูป
พอลิเมอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขากระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ วิศวกรรมวัสดุ

ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

Buchatham,P., Sringampong C., and , Weerapong P.,
2007, “Mold Designed for Injection Molding of
Plastic Pinless Butt Hinge”, 4th Conference in
Materials Processing Technology, January 4th-5th
2007, Menam Riverside Hotel, Bangkok., pp 88-94.

Buchatham,P., Sringsampong C., and, Weerapong P., 2007, “Good Quality Plastic Pinless Butt Hinge with Saving Price”, The 2007 Inventor Day, February 2nd – 5th 2007, BITEC Exhibition and Convention Hall, Bangkok.

Buchatham,P., Sringsampong C., and, Weerapong P., 2007, “Mold Designed for Injection Molding of Plastic Pinless Butt Hinge”, 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers, June 25th -28th 2007,Bangkok. (Accepted)

Pongtep Weerapong, 2010. “Plastic Pinless Butt Hinge for Lavatory’s PVC Door Application” 1st Polymers Conference of Thailand, 7th -8th October 2010, Bangkok. (Oral Presentation)

ดร.ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ, ดร.รอยพิมพ์ใจ เพชรกุล, นายพงศ์เทพ วีระพงศ์, นายวิชิต มาลาเวช, และนายนราพงศ์ ช่วยชัย, 2553. “การผลิตแครงเอนกประสงค์เพื่อเกษตรกรที่ประสบอุกภัยในจังหวัดนครศรีธรรมราช” 23- 24 ตุลาคม 2553

สิทธิบัตร (อยู่ระหว่างรอรับทะเบียนสิทธิบัตร)
บ้านพัคพลาสติกสองปีกแบบไร้สลัก เลขที่อ้างอิงชั่วคราว
Patent no: 1001-00-1148