



การออกแบบระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบแยกข้าง
ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม
DESIGNING COOLING SYSTEM OF SPLIT MOLDING WITH
COMPUTER-AIDED ENGINEERING (CAE)

ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง*, อติเรก ชัยนวกุล, ธีรวัฒน์ แสงภาศ

Supasit Manokruang*, Adirake Chainawakul, Teerawat Sangkas

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: supasit.m@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 16 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 11 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 22 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเอาคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer-aided engineering, CAE) เข้ามาช่วยในการปรับตั้งพารามิเตอร์เริ่มต้นของการฉีดกรวยกรอกน้ำ ด้วยวัสดุชนิดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ ความดันฉีด (Injection pressure) แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) การออกแบบระบบหล่อเย็น (Cooling system) เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ก่อนเริ่มกระบวนการฉีดซึ่งเป็นกระบวนการที่สูญเสียเวลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์การฉีดที่ได้รับจากการปรับตั้งที่เครื่องฉีดจริงเปรียบเทียบกับ CAE ดังนี้ ความดันฉีด (Pressure) คือ 400 bar ลดลง 0.4%, ความดันฉีดย้า (Holding pressure) คือ 285 bar เพิ่มขึ้น 1.38% แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) คือ 80 t เพิ่มขึ้น 8.89% ปริมาณพลาสติกที่ใช้ คือ 37.08 g เพิ่มขึ้น 58.06% และเวลาในการฉีดพลาสติก คือ 1.5 s เพิ่มขึ้น 50% ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อลดเวลาของกระบวนการปรับตั้งพารามิเตอร์ในการฉีดที่เป็นกระบวนการหลักที่เกิดการสูญเสียเวลามาก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานฉีดพลาสติกอื่นๆได้

คำสำคัญ: แม่พิมพ์แบบแยกข้าง, คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม, พารามิเตอร์ของการฉีด

Abstract

This research used Computer-aided engineering (CAE) to help adjust the initial injection parameters of polypropylene plastic material (Polypropylene; PP) to analyze injection pressure, clamping force, cooling system design and so on in order to adjust the efficiency of parameters before starting the injection process. The experimental results showed that the injection parameters obtained from CAE compared with the actual injection machine settings were as follows: injection pressure decreased by 0.4%, holding pressure increased by 1.38%, clamping force increased by 8.89%, and plastic mass increased by 58.06% and injection time increased by 50%. Therefore, this research experiment can reduce the time of the injection parameter adjustment process which is a time-consuming primary process and can be applied to other injection molding applications.

Keywords: Split molding, Computer-aided engineering, Injection parameters

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตชิ้นงานพลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก อาทิเช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น การผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีการข้างต้นมีจุดเด่นในด้านการผลิตปริมาณมาก รวดเร็วในการผลิต คุณภาพของชิ้นงาน และต้นทุนการผลิตต่ำ (Kamalrudin *et al.*, 2008) การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนั้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตชิ้นงาน การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตออกมามีหลากหลายปัจจัยที่ส่งผลสาเหตุต่างๆ เช่น รูปร่างของชิ้นงาน ชนิดวัสดุ การออกแบบจำนวนบ้ำ (Cavity) และระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ เป็นต้น (ชาลี, 2546) ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อด้านคุณภาพของชิ้นงาน

การศึกษาแบบแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding) (วิโรจน์, 2560) (Pankade *et al.*, 2011) เหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานที่เป็นลักษณะร่อง (Recess) หรือบ่าลึก (Undercut) (Ye *et al.*, 2004) และชิ้นงานที่มีความลึก ซึ่งทำให้ไม่สามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ หลักการทำงานของแม่พิมพ์ประเภทนี้มีลักษณะส่วนบ้ำ (Cavity) แยกเป็นชิ้นส่วนหลายชิ้นที่สามารถเลื่อนได้ และควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งด้วยกรอบบังคับ (Chase bolster) ชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นบ้ำของแม่พิมพ์เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยอุปกรณ์หรือกลไกต่างๆ เช่น สลักเฉียง ขาเตะ สปริง และกระบอกสูบ เป็นต้น ซึ่งการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานในด้านระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์นั้นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะชิ้นงานในกลุ่มนี้ (ดำรง, 2536) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบหล่อ

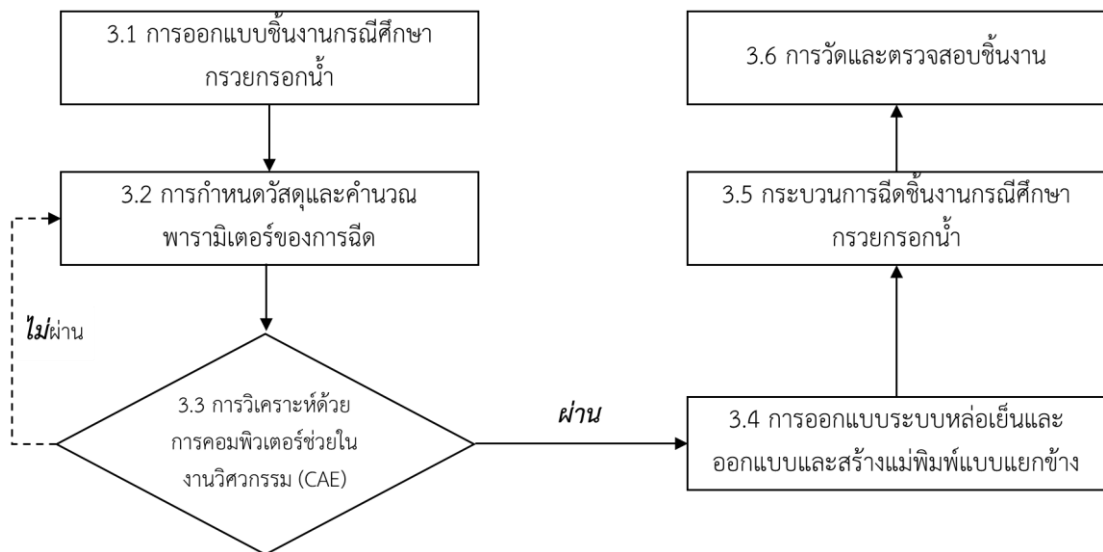
เย็นที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์แบบแยกข้าง โดยกรณีศึกษาชิ้นงาน กรวยกรอกน้ำ เนื่องจากคุณลักษณะของชิ้นงานที่ไม่สามารถปลดชิ้นงานได้ในลักษณะแม่พิมพ์โดยทั่วไป (ตัวตันปลด) เพื่อการควบคุมคุณภาพการคงรูปของชิ้นงานชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยได้นำเอาหลักการของคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer-aided engineering, CAE) (Banerjee, 2006) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบระบบหล่อเย็นและการคงรูปของชิ้นงาน (Goktas *et al.*, 2016)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อการออกแบบระบบหล่อเย็นให้เหมาะสมกับแม่พิมพ์ฉีดแบบแยกข้าง (Split molding)
- 2.2 เพื่อการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

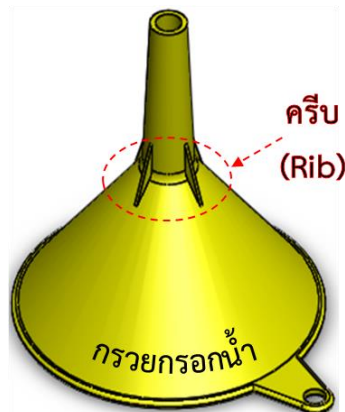
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยแบ่งขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบชิ้นงานกรณีศึกษา กรวยกรอกน้ำ

โดยมีหลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานที่มีผนังบาง ต้องออกแบบให้ชิ้นงานมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งาน ซึ่งคณะผู้วิจัยทำได้นำหลักการ การออกแบบคريب (Ribs) เพื่อเสริมให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Jeong, 2013) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงชิ้นงานกรณีศึกษากรวยกรองน้ำ และตำแหน่งของครีบบ (Rib)

3.2 การกำหนดวัสดุและค่านวนพารามิเตอร์ของการฉีด

3.2.1 วัสดุที่เลือกใช้สำหรับการทดลอง

วัสดุที่เลือกใช้ในการฉีดชิ้นงานคือ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสนสวยงามได้ เหมาะสมกับการใช้งานกรวยกรองน้ำ และพารามิเตอร์การฉีดของวัสดุดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์การฉีดของวัสดุโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) (Daya, 2018)

รายการ	ตัวย่อ	ค่า	หน่วย
ความหนาแน่น	ρ	0.905	g/cm^3
อุณหภูมิหลอมเหลว	T_m	220-280	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิแม่พิมพ์	T_w	20-70	$^{\circ}\text{C}$
ความดันเหลวของพลาสติก	K_a	0.72	g/cm^3
อัตราการหดตัว		1.2~2.5	%

3.2.2 ค่านวนพารามิเตอร์ของการฉีด

การคำนวณพารามิเตอร์ของการฉีดต่างๆเช่น น้ำหนักของชิ้นงาน จำนวนการออกแบบเบ้า (Cavity) ความดันฉีด แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น (Dang, 2014) เพื่อพิจารณาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดให้เหมาะสมกับเครื่องฉีดดังต่อไปนี้

3.2.2.1 น้ำหนักชิ้นงาน

น้ำหนักชิ้นงานคำนวณแสดงดังสมการที่ (1) (ดำรง, 2536)



$$m = v \cdot \rho \quad (1)$$

เมื่อ	m	คือ	น้ำหนักของชิ้นงาน (g)
	v	คือ	ปริมาตรของชิ้นงาน (cm ³)
	ρ	คือ	ค่าความหนาแน่นของพลาสติกที่เลือกใช้ (g/cm ³)

3.2.2.2 ความดันฉีด

ความดันฉีดเป็นความดันที่เกิดขึ้นกับพลาสติกที่หลอมเหลวบริเวณปลายของเกลียวหนอน โดยความดันที่เกิดขึ้นจากความดันที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิกส์ทำให้รักษาแรงดันเข้าสู่แม่พิมพ์ แสดงดังสมการที่ (2) (ดำรง, 2536)

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2} \quad (2)$$

เมื่อ	P_2	คือ	ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	P_1	คือ	ความดันฉีดของไฮดรอลิกส์ (bar)
	A_1	คือ	พื้นที่หน้าตัดเต็มของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (cm ²)
	A_2	คือ	พื้นที่หน้าตัดเต็มของเกลียวหนอน (cm ²)

3.2.2.3 แรงปิดแม่พิมพ์

แรงปิดแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงเครื่องฉีดที่ใช้แรงปิดแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังสมการที่ (3) (ดำรง, 2536)

$$F = P \times A \quad (3)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงปิดแม่พิมพ์ (t)
	P	คือ	ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	A	คือ	พื้นที่ภาพฉายทั้งหมดของชิ้นงาน (cm ²)

3.3 การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE)

CAE เป็นการเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาทางด้านทางวิศวกรรม สามารถวิเคราะห์ได้หลากหลายลักษณะงานวิศวกรรม เช่น ความแข็งแรงของโครงสร้าง (Sulaiman *et al.*, 2018) การไหลของอากาศยานพาหนะ และการจำลองการไหลตัวของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์ เป็นต้น โดยใช้คณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณหลักการโครงสร้างของไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method, FEM) ประกอบไปด้วย จุด (Node) และ ส่วนประกอบ (Element) โดยแต่ละ element สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และเคลื่อนที่ได้สูงสุด 6 ทิศทางตามแนวแกน x, y, z เรียกว่า Degree of Freedom (DOF) โดยมีสมการโครงสร้างตาม Matrix แสดงสมการที่ 4 (วีระยุทธ, 2559)

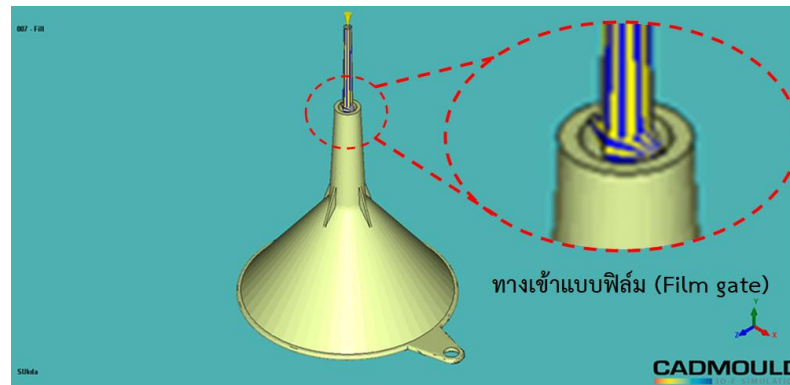
$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (4)$$

เมื่อ	k	คือ	เมตริกซ์ความแข็งแรงของ Element
	u	คือ	การเคลื่อนที่ของ Node
	F	คือ	ค่าแรงที่กระทำต่อ Element

การจำลองการไหลของน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรม (Computer aided engineering, CAE) (Deng *et al.*, 2002) ด้วยโปรแกรม CADMould เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ในการออกแบบแม่พิมพ์ ระบบทางเข้า การออกแบบระบบหล่อเย็น ปรับตั้งพารามิเตอร์กระบวนการฉีดขึ้นรูป และขึ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด โดยมีการจำลองมีดังต่อไปนี้

3.3.1 การกำหนดทางเข้า (Gate)

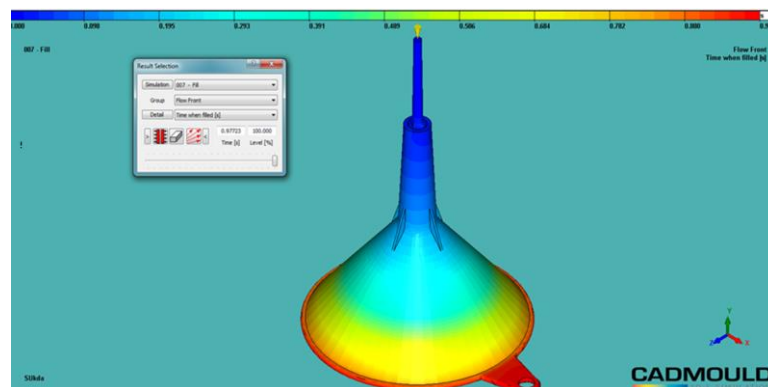
การกำหนดตำแหน่งทางเข้า (Gate) (Kapila *et al.*, 2015) ของชิ้นงานกรวยกรอกน้ำ มีการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์หลากหลายอย่างด้วยกัน เช่น การเกิดรอยประสานของเนื้อพลาสติก ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ตำแหน่งการเกิดฟองอากาศ เป็นต้น ในที่นี้ประเภทของทางเข้าแบบฟิล์ม (Film gate) (ชาลี, 2546) เนื่องจากบริเวณของชิ้นงานเป็นรูเปิด เพื่อให้ง่ายต่อการตัดแต่งครีบของทางเข้าก่อนการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งทางเข้าแบบฟิล์ม (Film gate)

3.3.2 เวลาเต็มเต็มพลาสติก (Time when filled)

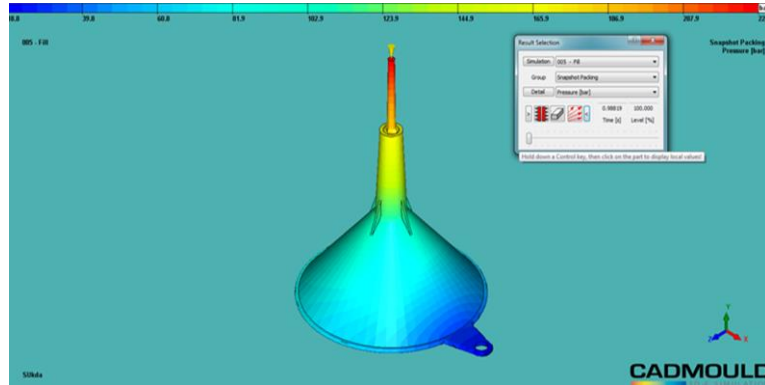
เวลาเต็มเต็มพลาสติก (Time when filled) ของชิ้นงานจากกระบวนการวิเคราะห์ที่ใช้เวลาทั้งหมด 0.977 วินาที โดยที่แถบสีน้ำเงินจะเป็นบริเวณที่เต็มก่อนและแถบสีแดงจะเป็นบริเวณที่เต็มเนื้อพลาสติกเข้าไปจนเต็มชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์เวลาในการเต็มเต็มพลาสติกที่ 0.977 วินาที

3.3.3 ความดันฉีด (Injection pressure)

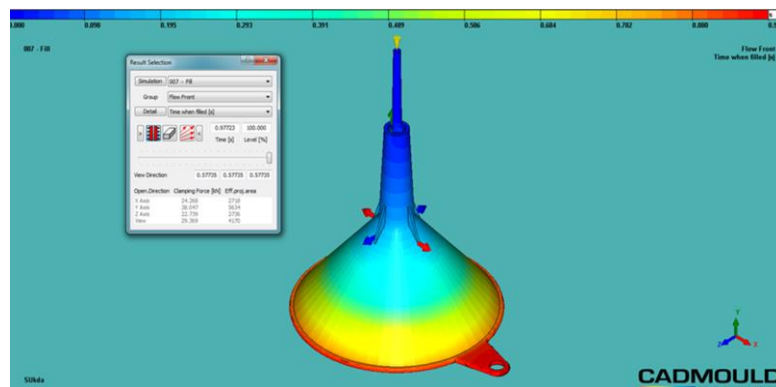
ความดันฉีด (Injection pressure) แสดงถึงความดันที่เกิดขึ้นขณะฉีด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงานเมื่อสิ้นสุดการเต็มเต็มพลาสติกประมาณ 228 bar ดูได้จากแถบสีแดง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันฉีดสูงสุดที่ 228 bar

3.3.4 แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)

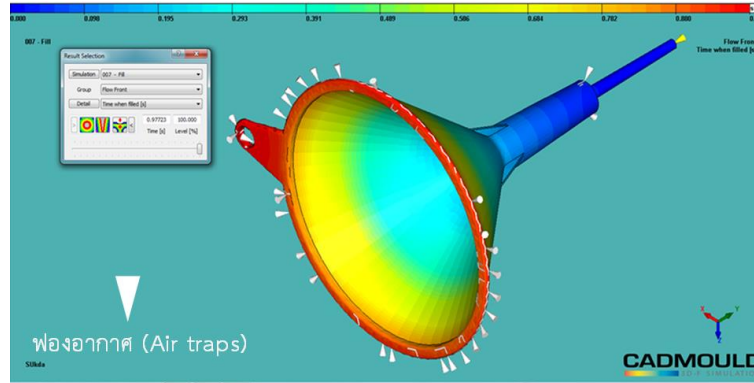
แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) แสดงถึงแรงปิดแม่พิมพ์ที่กระทำในแต่ละแนวแกน (Displacement force) คือ $X = 24.268$ kN แกน $Y = 38.047$ kN และแกน $Z = 22.739$ kN ในที่นี้จะค่าแรงปิดแม่พิมพ์ที่มีค่ามากที่สุดไปใช้ในการทดลองฉีดขึ้นงาน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้ตามแนวแกน X, Y และ Z

3.3.5 การเกิดฟองอากาศ (Air traps)

การเกิดฟองอากาศ (Air traps) แสดงจุดที่เกิดฟองอากาศในตัวขึ้นงาน โดยเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line) ทำให้อากาศสามารถระบายออกได้ ซึ่งไม่มีผลต่อการใช้งาน จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการฉีดขึ้นงาน แสดงดังภาพที่ 7

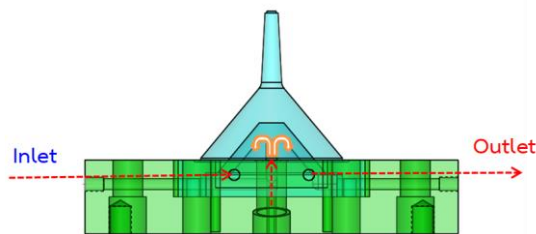


ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งการเกิดพองอากาศ (Air traps) ของชิ้นงาน

3.4 การออกแบบระบบหล่อเย็น และออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กรวยกรอกน้ำ

3.4.1 การออกแบบระบบหล่อเย็น

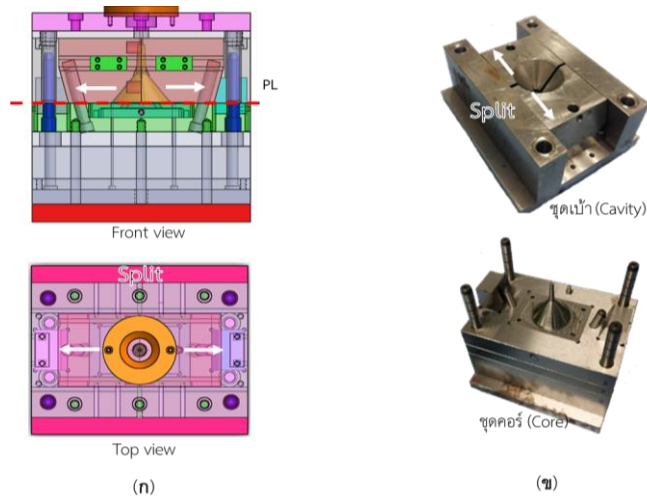
ประเภทแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding) จำนวน 1 ชิ้นงาน/รอบการผลิต ระบบหล่อเย็นเลือกใช้แบบน้ำพุ (Bubbler cooling system) ในส่วนของชุดคอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการฉีดได้อย่างทั่วถึงและยังสามารถควบคุมการหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานได้อีกทาง แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการออกแบบระบบหล่อเย็นแบบน้ำพุ (Bubbler cooling system)

3.4.2 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กรวยกรอกน้ำ

การออกแบบระบบการแยกออกของแม่พิมพ์ใช้แกนบังคับ (Angular pin) เป็นตัวกำหนดระยะเลื่อนออก-เข้า ของแม่พิมพ์แบบแยกข้าง และการสร้างแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

(ก) การออกแบบแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

(ข) การสร้างแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

3.5 กระบวนการฉีดขึ้นงานกรณีศึกษา กรวยกรอกน้ำ

3.5.1 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HYF-1000

เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอนที่ใช้สำหรับการทดลองรุ่น HYF-1000 ดังภาพที่ 10 และรายละเอียดของเครื่องฉีด ดังตารางที่ 2



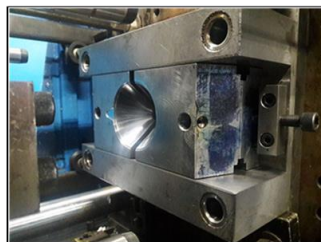
ภาพที่ 10 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HYF-1000

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องฉีดร้อน HYF-1000

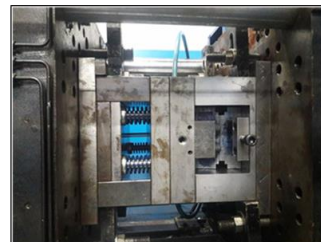
รายการ	ลักษณะ	หน่วย	
ระบบฉีด	Ø สกรู	35	mm
	ปริมาตรชิ้นงานสูงสุด	160	cm ³
	อัตราการฉีด	1,835	Kg/cm ²
	ความเร็วรอบ	90	rpm
ระบบยึดแม่พิมพ์	ขนาดแม่พิมพ์	0-200	t
	กำลังยึดแม่พิมพ์	100	mm

3.5.2 การฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำ

การนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดเครื่องฉีดร้อน HYF-1000 โดยที่จะนำค่าที่ได้วิเคราะห์ CAE ใช้เป็นค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์การฉีดพร้อมทั้งทดลองฉีด ดังแสดงภาพที่ 11



1) ชุดอยู่กับที่ (Fixed)



3) ชุดแม่พิมพ์ประกอบทำการฉีด



2) ชุดเคลื่อนที่ (Moving)



4) การฉีดกรวยกรอกน้ำ

ภาพที่ 11 แสดงการฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำ

3.6 การวัดและการตรวจสอบชิ้นงาน

3.6.1 เครื่องมือวัดขนาดของกรวยกรอกน้ำ

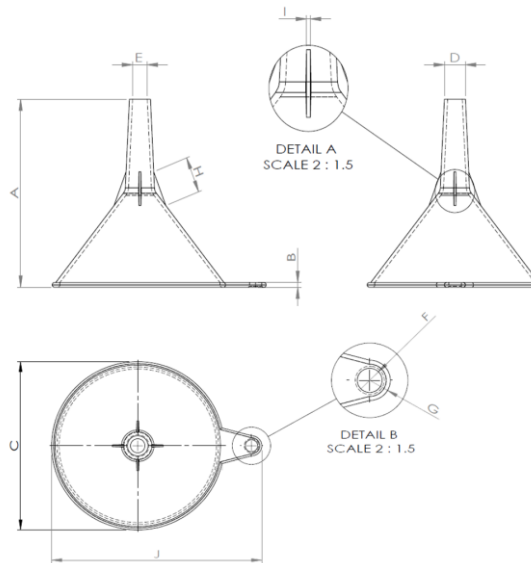
การตรวจวัดขนาดของกรวยกรอกน้ำโดยเครื่องมือเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.02 mm และเกจวัดรัศมี แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงเครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงาน
(ก) เวอร์เนียคาลิเปอร์ ขนาด 0.02 mm (ข) เกจวัดรัศมี

3.6.2 ตำแหน่งการตรวจสอบกรวยกรอกน้ำ

ตำแหน่งจุดตรวจสอบตั้งแต่ตำแหน่ง A – J โดยทำการสุ่มวัดขนาดหลังจากฉีดจำนวน 30 ชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบกรวยกรอกน้ำ A-J

4. ผลการวิจัย

การฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำเริ่มต้นนำค่าที่ได้รับจากการโปรแกรม CADMould ทดลองฉีดผลที่ได้รับมีการปรับทั้งหมด 3 ครั้งและได้รับชิ้นงานที่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าช่วยลดเวลาสูญเสียในปรับตั้งค่าการทำงานและวัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นอย่างมาก ผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีดจากโปรแกรม CADMould กับ พารามิเตอร์การฉีดจริง ดังภาพที่ 14 แสดงรูปชิ้นงานของแต่ละการทดลองฉีด และแสดงผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีด ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 14 ผลการทดลองฉีดกรวยกรอกน้ำแต่ละครั้ง

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีดระหว่างวิเคราะห์โดยโปรแกรม CADMould กับพารามิเตอร์ค่าที่ใช้ฉีดจริง

รายการ	หน่วย	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	ค่าจากการวิเคราะห์โปรแกรม CADMould	ค่าที่ใช้จริง	Error (%)
ความดันฉีด	bar	452.72	401.60	400	-0.4
ความดันฉีดย้ำ	bar	316.90	281.12	285	+1.38
แรงปิดแม่พิมพ์	t	63.69	73.47	80	+8.89
ปริมาณฉีด	g	23.46	23.46	37.08	+58.06
เวลาในการฉีด	s	0.977	1	1.5	+50

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าความดันฉีดค่าที่ใช้จริงลดลง 0.4% ความดันฉีดย้ำเพิ่มขึ้น 1.38% แรงปิดแม่พิมพ์ เพิ่มขึ้น +8.89% ปริมาณฉีด เพิ่มขึ้น +58.06 และเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น +50% จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้น (ความดันฉีดย้ำ, แรงปิดแม่พิมพ์ ปริมาณฉีด และเวลาในการฉีด) เนื่องจากเกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติกที่ลดลง สภาพอากาศภายในโรงงาน ความชื้นของวัสดุ PP ทำให้พารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม CADMould

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การนำเอาคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการปรับตั้งพารามิเตอร์ของการฉีด มีส่วนสำคัญอย่างมากในการปรับตั้งพารามิเตอร์การฉีดในครั้งนี้ ผลการทดลองที่ดีที่สุด ดังต่อไปนี้ ความดันฉีด (Pressure) คือ 400 bar, ความดันฉีดย่ำ (Holding pressure) คือ 285 bar, แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) คือ 80 t ปริมาณในการฉีด คือ 37.08 g และเวลาในการฉีด (Injection time) คือ 1.5 s หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 0.4%, 1.38%, 8.89%, 58.06% และ 50% ตามลำดับข้างต้น เนื่องการกระบวนการปรับตั้งเครื่องฉีดเป็นขั้นตอนที่เกิดการสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต ดังนั้นแสดงการนำ CAE สามารถนำไปประยุกต์ และพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งลดเวลาการผลิต และแรงงานของกระบวนการผลิตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ สำหรับเครื่องมือในการทดสอบ และทดลองงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ชาลี ตรีการกุล. (2546). **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ดำรง ไชยธีรานุกัฒศิริ. (2536). **การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- วีโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). **งานฉีดพลาสติก**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. (2559). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์. **Naresuan University Engineering Journal**, 11(1), 101-109.
- Banerjee, A. G. (2006). **Computer Aided Design of Side Actions in Injection Molding of Complex Parts**. (Master Thesis). The University of Maryland, USA.
- Dang, X. P. (2014). General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters. **Simulation Modelling Practice and Theory**, 41, 15–27.
- Daya, M. (2018, December 26). **Injection parameter of PP material**. Retrieved from <http://www.dayamachinery.com/injection-parameter-of-pp-material/>.
- Deng, Y. M., Lam, Y. C., & Britton, G. A. (2002). A CAD-CAE integrated injection molding design system. **Engineering with Computers**, 18(1), 80-92.



- Goktas, M., Guldass, A., & Bayraktar, O. (2016, May). **Cooling of Plastic Injection Moulds Using Conformal Cooling Canals**. Paper presented at the 3rd International Conference on Engineering and Natural ScienceAt, Sarajevo, Bosnia.
- Jeong, S. W. (2013). Conditions of rib design for polycarbonate resin with high glossy surfaces. **Journal of Mechanical Science and Technology**, 27(10), 3023-3028.
- Kamalrudin, M., Mohan, S, Jun, L. P., & Abdullah, R. W. (2008, August). **The mold cost estimation calculator for plastic injection mold manufacturing**. Information Technology conference International Symposium, 4, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kapila, A., Singh, K., Singh, K., Arora, G., Arora, G., & Agarwal, N.. (2015). Effect of Varying Gate Size on the Air Traps in Injection Molding. **International Journal of Current Engineering and Technology**, 5(1), 161-166.
- Pankade, S. B., Choudhari, U. M., & Reddy, A. C. (2011). Computer integrated Injection mould split design-reverse engineering approach. **International Journal of Applied Engineering Research**, 6(13), 1661-1672.
- Sulaiman, N. A., Dequang, Z., Usman, M. M., & Ahmad, A. S. (2018). Application of CAD/CAE Tools in the Design and Analysis of Plastic Injection Mould. **Journal of Advanced Research Design**, 40(1), 1-8.
- Ye, X. G., Fuh, J. Y. H., & Lee, K. S. (2004). Automatic Undercut Feature Recognition for Side Core Design of Injection Molds. **Journal of Mechanical Design**, 126(3), 519-526.