

ระบบหล่อเย็นแบบน้ำล้นในแม่พิมพ์กลวงโดยวิธีการเติมเนื้อโลหะทีละชั้น

Bubbler Cooling System of Hollow-Shape Mold with
Metal Deposition Process

คุณยุต เอี่ยมสะอาด *, รัฐพล จันทรช่วงโชติ, กิตตินาถ วรณิสสร และ นพพร บิ๊กแวน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 08-6374-7111, โทรสาร: 02 9428571

E-mail: kunnayut@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันธุรกิจการฉีดขึ้นรูปพลาสติกมีการแข่งขันกันอย่างสูง ซึ่งการลดต้นทุนในการผลิตจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการแข่งขันได้ ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องเน้นไปที่การลดต้นทุนแม่พิมพ์รวมถึงการลดระยะเวลาในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุด โดยการผลิตแม่พิมพ์แบบกลวงโดยวิธีการเติมเนื้อโลหะทีละชั้น เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถผลิตแม่พิมพ์โดยใช้ต้นทุนต่ำและทำการผลิตได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณเนื้อวัสดุที่ใช้จะลดลงกว่าแม่พิมพ์แบบทั่วไป ทำให้ใช้เวลาในการกัดแต่งผิวชิ้นงานลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนต่ำลง จากงานวิจัยที่ผ่านมาแม่พิมพ์ที่ทำการขึ้นรูปแบบกลวงโดยวิธีการเติมเนื้อโลหะทีละชั้นนั้นยังไม่มีระบบหล่อเย็นที่ดี ทำให้ใช้เวลาในการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นาน ซึ่งระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เวลาในการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างแม่พิมพ์แบบกลวงโดยวิธีเติมเนื้อโลหะทีละชั้น โดยมีระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบน้ำล้น (Bubbler cooled) และมีครีบริบแรงที่ผนังด้านข้างและด้านบน ผลจากการวิเคราะห์ด้วย Finite Element Method (FEM) พบว่าแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการฉีดขึ้นรูป และจากการทดลองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์พบว่าแม่พิมพ์แบบกลวงที่มีระบบหล่อเย็นแบบน้ำล้นมีการระบายความร้อนสม่ำเสมอและเร็วกว่าแม่พิมพ์ที่ใช้ระบบหล่อเย็นแบบแผ่นกั้น (Baffle cooled) อย่างไรก็ตามสามารถออกแบบระบบหล่อเย็นรูปแบบอื่นที่มีความซับซ้อนขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อเย็นแม่พิมพ์ซึ่งจะส่งผลทำให้ลดระยะเวลาในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกลงได้ในอนาคต

คำหลัก: แม่พิมพ์กลวง , กระบวนการเติมเนื้อโลหะ , เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว

Abstract

Presently the business of plastic injection molding is highly competitive. The reduction in manufacturing costs will increase the opportunity for competition. Therefore, manufacturers need to focus on reducing cost and cycle time to achieve minimum cost. Metal deposition process is a means to produce hollowed mold at low cost and short cycle time. This is due to the fact that the program requires less material and machining time which can lead to reduction cost. From past research, the hollowed mold formed by metal deposit process has no cooling system, resulting in a long cycle time. The cooling system is a key factor to decrease mold injection cycle time. Therefore, in this research a hollow mold was created by metal deposition process with overflow cooling system (Bubbler cooled) and support ribs. The analysis by Finite Element Method (FEM) is used to analyze to make sure that mold is strong

AMM-2023

enough for injection. From the computer simulation, the cooling for hollowed mold with bubbler cooled system is uniformly and faster than baffle cooled mold cooling system. However, we can design a cooling system that is more complicated to optimize the mold cooling, which could be better in reducing the cycle time of the injection molded plastic in the future.

Keywords: Hollow-Shape Mold, Metal Deposition Process, Rapid Prototyping Machine

1. บทนำ

ปัจจุบันแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีการใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก [1] หลักการพื้นฐานของการฉีดพลาสติกคือ เริ่มจากการหลอมเม็ดพลาสติกและฉีดเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ จากนั้นทำให้เย็นและปลดชิ้นงานออกจากเครื่องฉีดพลาสติก ขั้นตอนหลักของการฉีดพลาสติก ประกอบด้วย การฉีด การหล่อเย็น และการปลดชิ้นงาน ต้นทุนหลักของกระบวนการหลักๆขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในวัฏจักรของการหล่อเย็น เนื่องจากอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน เวลาและต้นทุนมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก การใช้เวลาในการผลิตชิ้นงานมากก็คือนั่นเอง การลดเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นทำให้มีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนลดลง

เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น ก็คือ เวลาที่ใช้ในการนำความร้อนออกจากพลาสติกจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงรูปได้ ฉะนั้นการออกแบบระบบหล่อเย็นจำเป็นต้องทำให้เกิดความเหมาะสมของอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างพลาสติกหลอมเหลวกับแม่พิมพ์ โดยทั่วไปแล้วแม่พิมพ์แบบทั่วไปจะใช้วิธีเจาะรูน้ำหล่อเย็นเป็นลักษณะรูตรงภายในแม่พิมพ์ฝั่ง Cavity และ Core จากนั้นใช้น้ำหล่อเย็นหมุนเวียนในระบบด้วยปั๊มน้ำเพื่อให้มีการนำความร้อนออกจากพลาสติกเหลว ซึ่งการใช้วิธีในการสร้างรูน้ำหล่อเย็นแบบนี้ไม่สามารถสร้างท่อน้ำหล่อเย็นที่มีรูปทรงแบบ 3 มิติ แบบซิดไปกับผิวแม่พิมพ์ได้

การทำให้ระบบหล่อเย็นมีรูปทรงซิดไปกับผิวแม่พิมพ์เป็น 3 มิติ จะทำให้การส่งถ่ายความร้อนของ

แม่พิมพ์ดีขึ้นมาก ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อวัฏจักรการฉีดพลาสติก

ในปัจจุบันการขึ้นรูปชิ้นงานแบบรวดเร็ว มีหลายแบบ เช่น Direct Metal Deposition (DMD), Direct Metal Laser Sintering (DMLS) เป็นต้นและยังมี Computer Aided Engineering (CAE) ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็นและวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ก่อนการผลิตจริงได้ [2, 3, 4]

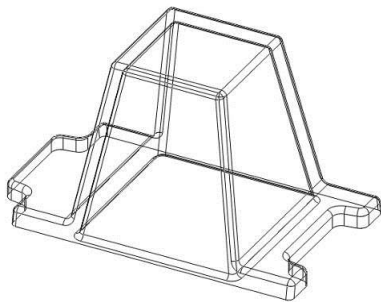
งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบหล่อเย็นแบบน้ำล้นในแม่พิมพ์กลวงโดยวิธีการเติมเนื้อโลหะที่ละชั้น ด้วย MIG/MAG CNC Welding Machine แต่ในงานวิจัยนี้จะมีขอบเขตครอบคลุมแม่พิมพ์ส่วน Core เท่านั้น ซึ่งได้มีการออกแบบรูปทรงของช่องหล่อเย็นให้มีความซิดผิวของโพรงแม่พิมพ์มากที่สุด โดยใช้ CAE ช่วยในการวิเคราะห์ในด้านความแข็งแรงของแม่พิมพ์และประสิทธิภาพการหล่อเย็นเทียบการระบบหล่อเย็นแบบแผ่นกั้น (Baffle cooled) ด้วย

2. การออกแบบการทดลอง

2.1 การออกแบบชิ้นงานพลาสติก

ชิ้นงานพลาสติกในงานวิจัยนี้เป็นพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) ดังรูปที่ 1 ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Solidworks จากนั้นทำการวิเคราะห์การฉีดพลาสติกด้วย Autodesk Simulation Moldflow Insight โดยกำหนดค่า fill time 10 วินาที ค่าอื่นจะใช้ค่าพื้นฐานของโปรแกรมทั้งหมด จากนั้นนำค่าแรงดันในการฉีดและแรงปิดแม่พิมพ์ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการ ออกแบบแม่พิมพ์ส่วน Core ต่อไป

AMM-2023



รูปที่ 1 แบบจำลอง CAD ชิ้นงานพลาสติก

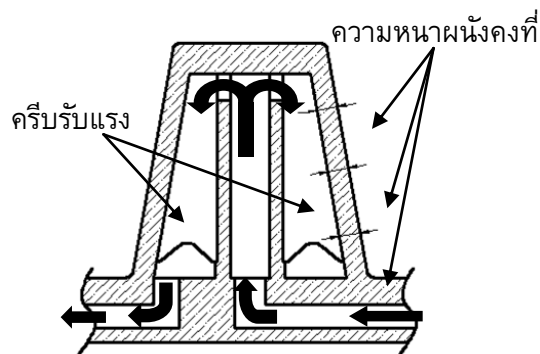
2.2 การออกแบบและวิเคราะห์แม่พิมพ์ Core

แม่พิมพ์ Core ที่มีทรงสูงโดยทั่วไปนิยมออกแบบระบบระบายความร้อนแบบ Baffle และแบบ Bubbler โดยระบบระบายความร้อนแบบ Baffle มีรูปแบบดังรูปที่ 1 ใช้วิธีเจาะเป็นรูตรง มีแผ่นกั้นบังคับน้ำหล่อเย็นให้ไหลขึ้นไปบริเวณส่วนบนของโพรงและวกกลับไหลออกอีกทาง ส่วนระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler ใช้วิธีเจาะรูตรงเช่นเดียวกัน แต่จะมีท่อตรงกลางเพื่อส่งน้ำหล่อเย็นให้ขึ้นไปในส่วนบนและให้ไหลออกรอบๆ ซึ่งน้ำหล่อเย็นจะสัมผัสผิวโพรงน้ำหล่อเย็นพร้อมๆกันทุกด้าน ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระหล่อเย็นเป็นแบบ Bubbler แต่จะมีข้อแตกต่างจากระบบเย็นหล่อ Bubbler ทั่วไปคือ ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบ Bubbler ทั่วไปจะใช้วิธีเจาะเป็นรูตรง ซึ่งทำให้ความหนาของผนังแม่พิมพ์ไม่คงที่ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอ ส่วนระบบหล่อเย็น Bubbler ในงานวิจัยนี้จะออกแบบให้มีความหนาของผนังแม่พิมพ์คงที่เท่ากันทุกด้าน เพื่อให้การนำความร้อนมีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบครีบก้ำยันภายในของผนังแม่พิมพ์ด้านข้างและด้านบนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งนี่เป็นข้อได้เปรียบของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีเติมเนื้อโลหะที่ละชั้น นอกจากนี้การออกแบบความหนาของผนังแม่พิมพ์และความหนาครีบก้ำรับแรงต้องพิจารณาจากความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วย

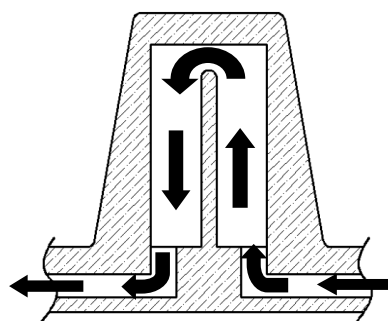
ขั้นตอนต่อไปทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ ด้วยโปรแกรม Solidworks Cosmos โดยกำหนดให้แม่พิมพ์รับภาระแบบคงที่จากแรงดันของน้ำ

พลาสติกที่กระทำกับเบ้าแม่พิมพ์,แรงปิดแม่พิมพ์และความร้อนของแม่พิมพ์ ซึ่งตามคู่มือพลาสติก Polypropylene (PP) เหมาะสำหรับอุณหภูมิผิวแม่พิมพ์ 20-80 °C ในขั้นตอนนี้กำหนดให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิคงที่ 80°C และกำหนดคุณสมบัติทางกลของโลหะที่ขึ้นรูปจากการเชื่อมด้วยลวด ER70S-6 ได้แก่ E-Modulus 6623 MPa, Yield Stress 395 MPa, Ultimate Tensile Strength 512 MPa [5] จากนั้นหาค่า Stress, Strain, Displacement และ Safety Factor ซึ่ง Safety Factor จะใช้ Failure Criterion for Ductile Material แบบ Max Von Mises Stress ในการพิจารณา

ในส่วนแม่พิมพ์ที่นำมาทำการเปรียบเทียบจะออกแบบโดยมีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle มีรูปแบบดังรูปที่ 3 โดยกำหนดให้มีจำนวนทางเข้าและออกของน้ำหล่อเย็นเท่ากับแม่พิมพ์เท่ากันกับแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler รวมถึงได้ออกแบบให้มีค่า Displacement และ Safety Factor ที่ใกล้เคียงกันด้วย



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบช่องหล่อเย็น Bubbler ที่มีความหนาผนังคงที่และมีครีบก้ำรับแรง

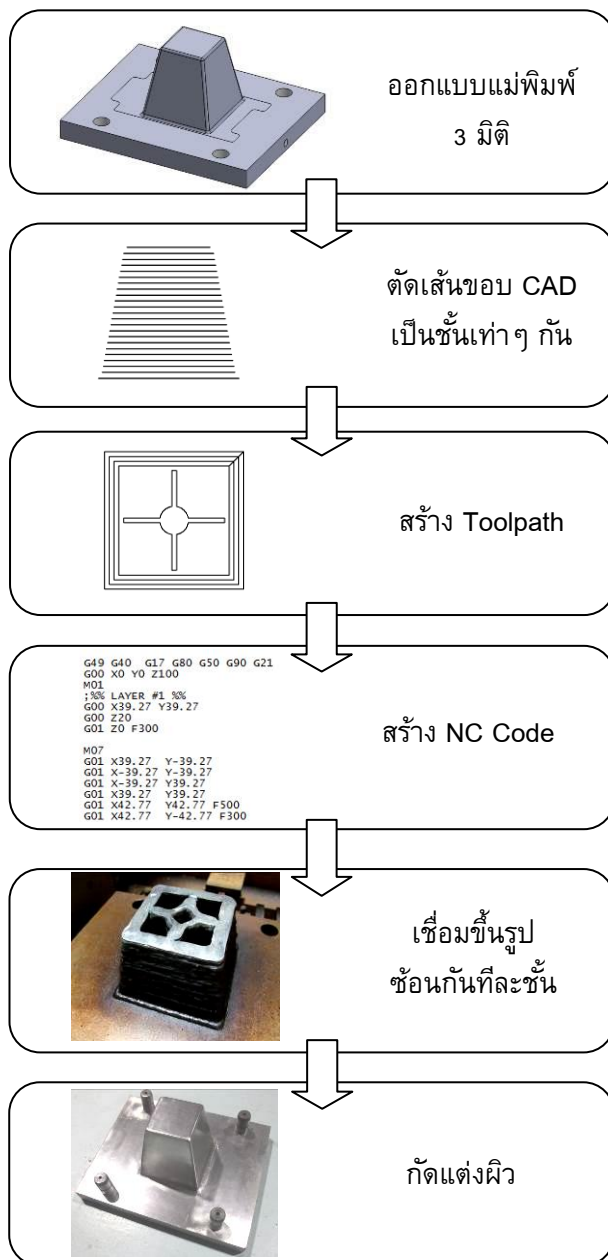


รูปที่ 3 แสดงรูปแบบช่องหล่อเย็น Baffle

AMM-2023

2.3 การขึ้นรูปแม่พิมพ์

ขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์ประกอบด้วยขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4 มีขั้นตอนดังนี้คือ หลังจากออกแบบแม่พิมพ์ด้วย CAD แล้ว จะทำการตัดเส้นขอบเป็นชั้นๆ ด้วยโปรแกรมที่ทางคณะผู้วิจัยเขียนขึ้นมาเอง โดยกำหนดให้ความหนาแต่ละชั้นเป็น 2 mm รวมทั้งหมด 45 ชั้น



รูปที่ 4 ขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบเติมเนื้อทีละชั้น

จากนั้นใช้ โปรแกรม Solid CAM สร้างโปรแกรม NC เพื่อควบคุมและเส้นทางเดินของหัวเชื่อม และทำการเชื่อมโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ลวดเชื่อม MIG เกรด ER70S-6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm กระแส 100 แอมแปร์, ความต่างศักย์ 19 โวลต์, ความเร็วในการเดินหัวเชื่อม 300 mm/min ปริมาณก๊าซคลุม CO₂ 15 LPM ทำการเชื่อมทีละชั้นซ้อนกัน และสุดท้ายกัดแต่งผิวด้วยเครื่อง CNC Machining Center ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

2.4 การทดสอบการระบายความร้อนแม่พิมพ์

เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบการระบายความร้อนแม่พิมพ์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องทราบค่าความจุความร้อน (Specific Heat) และค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของโลหะที่ใช้ขึ้นรูป รายละเอียดและวิธีในการหาค่าดังกล่าวมีดังนี้

2.4.1 การหาค่าความจุความร้อน

การหาค่าความจุความร้อนของโลหะที่ใช้ขึ้นรูปแม่พิมพ์คือ โลหะที่ขึ้นรูปจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER70S-6 จะใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง เทียบกับตัวอย่างอ้างอิง โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (heat capacity changes) ในงานวิจัยนี้จะทดสอบในความดันบรรยากาศ ช่วงอุณหภูมิ 25-85°C

2.4.2 การหาค่าการนำความร้อน

การหาค่าการนำความร้อนมีวิธีคือ ขั้นตอนแรกทำการเชื่อมขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ ขนาด 80×100×5 mm ทำการติดตั้ง Digital Thermometer ที่กึ่งกลางชิ้นงาน และให้ความร้อนแก่ชิ้นงานด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิคงที่ 80°C จากนั้นนำชิ้นงานออกจากฮีตเตอร์ ทำการบันทึกอุณหภูมิทุก 5 วินาที จนกระทั่งชิ้นงานเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิ 40 °C โดยขั้นตอนทั้งหมดควบคุมอุณหภูมิห้องทดลองไว้ที่ 26 °C

AMM-2023

ขั้นตอนต่อไป ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Solidworks ขนาดเท่าชิ้นงานทดสอบ จากนั้นวิเคราะห์อัตราการระบายความร้อนของแบบจำลองด้วยโปรแกรม Solidworks Flow Simulation โดยกำหนดค่าต่างๆ เหมือนการทดลองดังนี้ อุณหภูมิห้อง 26 °C อุณหภูมิชิ้นงาน 80 °C ใส่ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่หาได้จากข้อ 2.4.1 จากนั้น Trial and Error ค่าการนำความร้อนจนได้ผลอัตราการระบายความร้อนใกล้เคียงกับค่าที่ทดลองจริงมากที่สุด และให้ใช้ค่าการนำความร้อนที่ได้เป็นค่าการนำความร้อนของโลหะที่ขึ้นรูปด้วยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER70S-6

2.4.3 การทดสอบการระบายความร้อนแม่พิมพ์

การทดสอบการระบายความร้อนของแม่พิมพ์จะใช้การทดลองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยทำการเขียนแบบแม่พิมพ์ Core ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler และแบบ Baffle จากนั้นทดสอบการระบายความร้อนด้วยโปรแกรม Solidworks Flow Simulation โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิห้อง 26 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ 80 °C อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 30 °C อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น 15 LPM ใส่ค่าความจุความร้อนและค่าการนำความร้อนจากข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 จากนั้นทำการบันทึกอัตราการระบายความร้อนผิวแม่พิมพ์ด้านหน้า หลัง ซ้าย ขวา และด้านบนทุก 1 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิผิวแม่พิมพ์เย็นลงถึง 40 °C

2.5 การเปรียบเทียบอัตราการระบายความร้อนของแม่พิมพ์

ขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการระบายความร้อนแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler และแบบ Baffle โดยเปรียบเทียบกันทุกด้านรวมถึงคำนวณอัตราการระบายความร้อนเฉลี่ย และพิจารณาความถึงความสม่ำเสมอของอัตราการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ทุกด้านด้วย

3.ผลการทดลอง

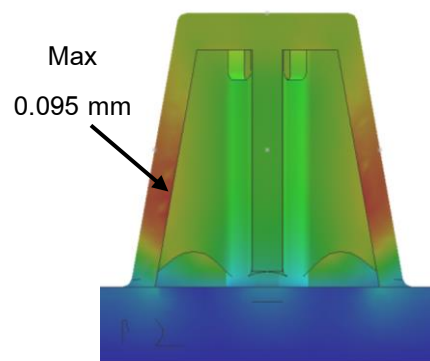
3.1 ผลการจำลองการฉีดขึ้นงานพลาสติก

จากการจำลองการฉีดขึ้นงานพลาสติกทาง

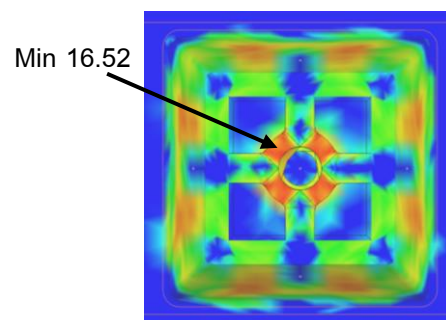
คอมพิวเตอร์ ได้ค่าแรงดันฉีดสูงสุดและค่าแรงปิดแม่พิมพ์สูงสุด 3.9432 MPa และ 43155.144 N ตามลำดับ

3.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์

จากการออกแบบและการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า Displacement มากที่สุด 0.092 mm เกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางระหว่างมุมของแม่พิมพ์และครีบริดจ์รูปที่ 5 และมีค่า Safety Factor ต่ำสุดคือ 16.52 ที่บริเวณช่องนำล้น ดังรูปที่ 6



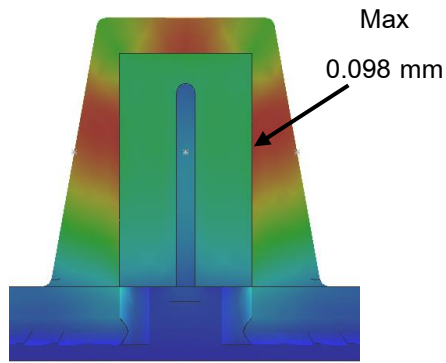
รูปที่ 5 ระยะและตำแหน่งเสียรูปของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler เมื่อได้รับภาระ



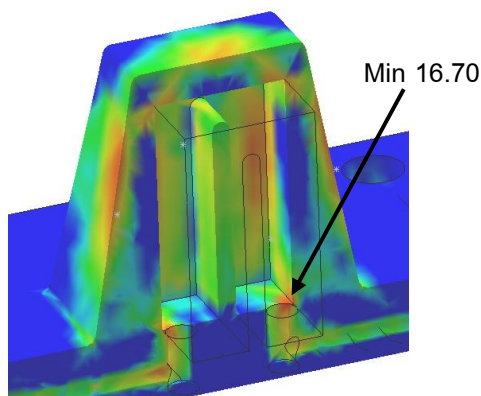
รูปที่ 6 แสดงจุดที่มีค่า Safety Factor ต่ำสุดของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler

แม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นแบบ Baffle วิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ค่า Displacement มากที่สุด 0.098 mm และค่า Safety Factor ต่ำสุด 16.70 ดังรูปที่ 7 และ 8

AMM-2023



รูปที่ 7 ระยะและตำแหน่งเสียรูปของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle เมื่อได้รับการ



รูปที่ 8 แสดงจุดที่มีค่า Safety Factor ต่ำสุดของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle

3.3 เวลาที่ใช้ในขึ้นรูปแม่พิมพ์

เวลาทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบจนกระทั่งผลิตเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งสิ้น 20 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปเวลาที่ใช้ในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Babbler

Process	Time (hour)
Mold design	3.5
Slice CAD	0.5
NC Program	2
Prototyping	8
CAM	1
Machining	5
Total	20

4.4 ผลทดสอบการระบายความร้อนแม่พิมพ์

4.4.1 ค่าความจุความร้อน

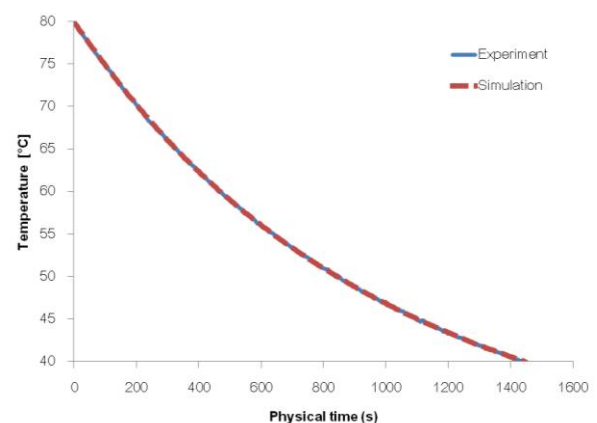
การหาค่าความจุความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความจุความร้อน

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความจุความร้อน $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$
25	400
35	460
45	460
55	470
65	470
78	480
85	480

4.4.2 การหาค่าการนำความร้อน

จากการ Trial and Error ค่าการนำความร้อนในโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้ผลเปรียบเทียบกับอัตราการระบายความร้อน ดังรูปที่ 9



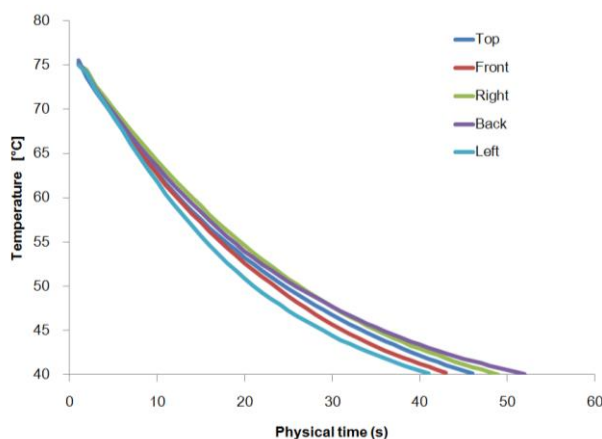
รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราการระบายความร้อนเพื่อหาค่าการนำความร้อน

จากการ Trial and Error ได้ค่าการนำความร้อน $20 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราการระบายความร้อน 0.087 เปอร์เซ็นต์

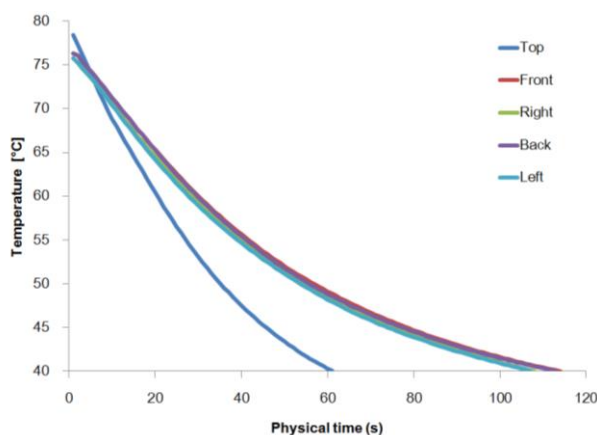
AMM-2023

4.4.3 ผลการทดสอบการระบายความร้อนของแม่พิมพ์

จากการทดลองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้ผลการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler และแบบ Baffle ได้ผลการระบายความร้อนแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler



รูปที่ 11 ผลการระบายความร้อนของแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle

4.5 การเปรียบเทียบอัตราการระบายความร้อนของแม่พิมพ์

ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการระบายความร้อนเฉลี่ยที่ผิวแม่พิมพ์ Core ทุกด้าน ของ

แม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler และแบบ Baffle ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงอัตราการระบายความร้อนของแม่พิมพ์

Cooling Type	Side	Rate ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
Bubbler	Top	47.22
	Front	49.88
	Right	43.80
	Back	41.34
	Left	52.22
Baffle	Top	38.33
	Front	19.28
	Right	20.05
	Back	19.44
	Left	20.22

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler มีอัตราการระบายความร้อนด้านดีกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle ทุกด้าน และเมื่อคิดอัตราการระบายความร้อนเฉลี่ยทุกด้านพบว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler และ Baffle มีอัตราการระบายความร้อนเฉลี่ย $46.89^{\circ}\text{C}/\text{min}$ และ $23.47^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว แม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler สามารถนำความร้อนได้ดีกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Baffle 99.80 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอในการระบายความร้อนของผิวแม่พิมพ์ทุกด้าน โดยดูจากความแตกต่างระหว่างด้านที่มีอัตราการระบายความร้อนมากที่สุดกับด้านที่มีอัตราการระบายความร้อนน้อยที่สุด พบว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler และ Baffle มีอัตราการระบายความร้อนแตกต่าง $10.88^{\circ}\text{C}/\text{min}$ และ $19.04^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว แม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อนแบบ Bubbler สามารถนำความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบระบายความร้อน

AMM-2023

ร้อนแบบ Baffle 42.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการระบายความร้อนในที่ที่ไม่สม่ำเสมอจะเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปเกิดการบิดเสียรูปและโก่งงอกลายเป็นชิ้นงานเสีย

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยพบว่า แม่พิมพ์ที่มีโพรงหล่อเย็นแบบ Bubbler ที่มีความหนาผนังแม่พิมพ์คงที่และมีครีบริบช่วยรับแรง มีความแข็งแรงเพียงพอในการนำไปฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกได้ โดยมีค่า Deformation สูงสุด 0.095 mm. และมีค่า Safety Factor 16.52 มีอัตราการระบายความร้อนเฉลี่ย $46.89^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ซึ่งมากกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นแบบ Baffle 99.80 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการระบายความร้อนสม่ำเสมอกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นแบบ Baffle 42.87 เปอร์เซ็นต์ และจากข้อได้เปรียบของการขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบแบบเต็มเนื้อโลหะที่ละชั้น ทำให้สามารถออกแบบและสร้างช่องโพรงน้ำหล่อเย็นที่มีความหนาผนังแม่พิมพ์คงที่และบางแต่ยังมีความแข็งแรงเพียงพอ ทำให้แม่พิมพ์สามารถส่งผ่านความร้อนไปยังสารหล่อเย็นได้รวดเร็วและสม่ำเสมอกว่าแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อเย็นที่ขึ้นรูปด้วยวิธีทั่วไป ซึ่งจะส่งผลโดยตรงทำให้ลดระยะเวลาในการฉีดขึ้นรูปและลดชิ้นงานเสียลง ทำให้ต้นทุนลดลงและสามารถแข่งขันในวงการอุตสาหกรรมได้ แต่การทดลองอัตราการระบายความร้อนนี้เป็นเพียงการทดลองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ไม่ได้คำนึงถึง เช่น ความเรียบผิวของโพรงน้ำหล่อเย็น รั่วสึความร้อนที่จากสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ทั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้เป็นแค่ตัวอย่างหนึ่งในการนำเสนอข้อได้เปรียบของการขึ้นรูปแม่พิมพ์ที่มีระบบหล่อ Bubbler แบบความหนาผนังคงที่ ยังมีรูปแบบระบบระบายความร้อนแม่พิมพ์แบบอื่นที่มีความซับซ้อนมากกว่าและมีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนมากขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการในการขึ้นรูปที่ทางคณะผู้วิจัยต้องทำการวิจัยและพัฒนาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.V. Rosato, D.V. Rosato and M.G. Rosata. (2003) Injection Moulding handbook-3rd ed, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- [2] X. Xu, E. Sach and S.Allen. (2001) The Design of Conformal Cooling Channel In Injection Moulding Tooling, Polymer Engineering and Science, 4, 1, pp 1269-1272
- [3] D.E. Dimla, M. Camilotto, and F. Miani. (2005) Design and optimization of Conformal cooling Channels in injection moulding tools, J. of Master Processing Technology.
- [4] A B M Saifullah and S.H. Masood. (2007) Optimum cooling Channels design and Thermal analysis of an injection Moulded plastic Part Mould, Materials Science Forum, Vols. 561-565, pp. 1999-2002.
- [5] ณัฐพร บุญเลิศเจริญศักดิ์, คุณยุต เอี่ยมสะอาด, สิริชัย จิรวงศ์สุนทร และจังหวัด เจริญสุข (2552). การขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบกลวงด้านในโดยวิธีขึ้นรูปที่ละชั้น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, จังหวัดเชียงใหม่