NUEJ
Naresuan University
Engineering Journal

การสร้างต้นแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น
Development of a Small-Scale Plastic Injection Mold and Preliminary Performance Evaluation

ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชมนาคจาด[1] แมน ฟักทอง[1] ธีรภัทร บุญอ่ำ[1] กล้า วารีพิทักษ์[1*]
Saksit Chuenchomnakjad[1], Man Fakthong[1], Teerapat Bunam[1] and Kla Wareepitak[1*]

[1, *] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
[1, *] Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok, Thailand

* Corresponding author e-mail: kla.wa@rmutl.ac.th

(Received: 1 May 2026, Revised 4 June 2026, Accepted 29 June 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็ก และทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกพร้อมทั้งกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม โดยมีพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง เป็นวัสดุทดสอบ การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ ก่อนติดตั้งร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อทำการฉีดขึ้นรูปภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากนั้นประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อกำหนดแนวทางการตั้งค่าการใช้งานที่เหมาะสม

ต้นแบบแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นมีขนาดสุทธิความกว้าง 70 ยาว 110 และสูง 20 มิลลิเมตร และสามารถทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อสร้างชิ้นงานจากวัสดุทดสอบทั้งสองชนิดได้อย่างสมบูรณ์ จากผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานร่วมกันระหว่างแม่พิมพ์และเครื่องฉีดพลาสติกพบว่า การตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปควรกำหนดความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัล สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและที่ความดัน 0.6 เมกะพาสคัล สำหรับพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยใช้ระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติก 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที โดยใช้อุณหภูมิหลอมที่ 170 องศาเซลเซียส สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน และ 180 องศาเซลเซียส สำหรับพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าแม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการใช้งานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อผลิตชิ้นงานต้นแบบ พร้อมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก และต่อยอดสู่การประยุกต์ใช้ด้านการเรียนการสอนและงานต้นแบบทางวิศวกรรมได้ต่อไป

คำสำคัญ: แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก การฉีดขึ้นรูปพลาสติก ต้นแบบแม่พิมพ์ โพลีโพรพิลีน

NUEJ
Naresuan University
Engineering Journal

Abstract

This research aimed to design and fabricate a small-scale plastic injection mold and evaluate its performance when used with a small-scale plastic injection molding machine. The study also sought to determine suitable operating parameters for the injection molding process using polypropylene (PP) and high-density polyethylene (HDPE) as test materials. The research process consisted of mold design and fabrication, installation of the mold on the injection molding machine, and experimental trials under various temperature conditions. The performance of the mold and molding system was then evaluated to identify appropriate processing parameters.

The fabricated mold had dimensions of 70 mm × 110 mm × 20 mm and successfully produced complete molded parts from both PP and HDPE materials. Experimental results showed that suitable injection pressures were 0.4 MPa for PP and 0.6 MPa for HDPE. The recommended processing conditions included a plastic melting time of 2 minutes, a mold filling time of 10 seconds, and a cooling time of 30 seconds. Appropriate melting temperatures were found to be 170 °C for PP and 180 °C for HDPE.

The findings indicate that the developed mold provides satisfactory performance for prototype production using a small-scale plastic injection molding machine. In addition, the results can serve as preliminary guidelines for selecting process parameters in plastic injection molding and may support educational applications as well as engineering prototype development.

Keywords: Plastic Injection Mold, Plastic Injection Molding, Mold Prototype, Polypropylene

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น รถยนต์ ของใช้ครัวเรือน อุปกรณ์สื่อสาร และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในปริมาณมาก (Kauffer, 2021) กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนับถือได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการผลิตซึ่งมีบทบาทหลักในปัจจุบัน ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตได้หลายลักษณะ มีคุณค่าสำคัญและต่อทุกภาคอุตสาหกรรมการผลิตสร้างพลาสติกผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานสูงด้วยต้นทุนที่ต่ำ (Silva, 2025) มีศักยภาพในการสร้างชิ้นงานได้อย่าง มีคุณภาพสม่ำเสมอในระดับที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการรองรับการผลิตจำนวนมากภายในช่วงเวลาที่จำกัดได้ ด้วยคุณลักษณะพิเศษของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนวัสดุของแข็งเริ่มต้นกระบวนการผลิตสามารถคัดลอกและถ่ายทอดรายละเอียดของลักษณะทางเรขาคณิตซับซ้อนสู่ชิ้นงานผ่านระบบแม่พิมพ์ได้ (Stemmler et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม การสร้างชิ้นงานเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในระบบการผลิตระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้พื้นที่ติดตั้งในระดับสูงตั้งแต่การใช้งานไปจนถึงการบำรุงรักษาซึ่งจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรสูง (Chiptiyanti et al., 2025) ทำให้ไม่เอื้อต่อการนำไปใช้ผลิตชิ้นงานในปริมาณจำกัด มีขนาดเล็ก งานต้นแบบอีกทั้งยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพื่อใช้สำหรับการสาธิตการสอนในสถาบันการศึกษา ห้องจัดแสดง และห้องเรียน

ซึ่งแนวคิดการพัฒนาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต้นแบบขนาดเล็กเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนและการฝึกปฏิบัติในสถาบันการศึกษาได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการออกแบบอุปกรณ์ที่มีขนาดกะทัดรัด ใช้งานสะดวก และมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการฝึกทักษะเชิงปฏิบัติ เช่น การพัฒนาเครื่องขัดผิวโลหะ (Fakthong et al., 2024) และชุดฝึกปฏิบัติระบบทำความเย็นและปรับอากาศแบบแยกส่วน (Promseenong et al., 2024)

ด้วยสถานศึกษามีทรัพยากรด้านงบประมาณและสถานที่อย่างจำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ ประกอบกับข้อจำกัดด้านการซ่อมบำรุงรักษาที่ใช้งบประมาณสูงและต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ทำให้การใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกในลักษณะเพื่อการศึกษาต้องการแม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างเหมาะสม โดยมีขนาดเล็กถึงปานกลาง ใช้งานได้สะดวก สามารถควบคุมกระบวนการทำงานง่าย มีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่เพียงพอในการสร้างชิ้นงานขนาดเล็ก เหมาะสมต่อการสนับสนุนด้านการจัดการศึกษาในชั้นเรียน เงื่อนไขเฉพาะดังกล่าวมีความสำคัญในบริบทของสถาบันเตรียมอุดมศึกษาและอุดมศึกษา ที่เปิดสอนรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก ซึ่งมักมุ่งเน้นการจัดการศึกษาเพื่อมอบองค์ความรู้แก่ผู้เรียนทั้งภาคทฤษฎีและการฝึกทักษะที่ต้องการปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เข้ารับ

การศึกษามีทักษะและความเข้าใจในวิธีการควบคุมใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก ตลอดจนเข้าใจหลักการทำงานกระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกมากยิ่งขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแม่พิมพ์และระบบฉีดพลาสติกขนาดเล็ก โดยมุ่งหวังเพื่อใช้สาธิตกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ทั้งนี้ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็ก 2) ทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กพร้อมทั้งกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกเป็นหนึ่งในเครื่องจักรสำคัญที่จำเป็นต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยการฉีด โดยตัวเครื่องอาศัยหลักวิธีการให้ความร้อนแก่เม็ดพลาสติกแข็งจนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งสู่พลาสติกเหลว จากนั้นจึงทำการป้อนพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวด้วยการฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบไว้ภายใต้ความดันสูง (Chiptiyanti et al., 2025) เพื่อสร้างชิ้นงาน การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ที่มีมิติรูปร่างและขนาดตามแม่พิมพ์พลาสติก การสร้างผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก โดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนในการให้ความร้อน สำหรับการหลอมเปลี่ยนแปลงสถานะพลาสติกที่เป็นแข็งให้กลายเป็นของเหลว ขั้นตอนการฉีดอัดด้วยความดันสูงเพื่อขึ้นรูป และขั้นตอนการหล่อเย็น (Fu et al., 2020) ซึ่งในทุกกระบวนการที่ดำเนินระหว่างการสร้างชิ้นงานที่ได้กล่าวมานั้นมีอิทธิพลโดยตรงต่อผลลัพธ์ของคุณภาพของชิ้นงานพลาสติกที่ถูกสร้างขึ้น ทั้งคุณสมบัติเฉพาะทางกลของชิ้นงานรวมถึงความสวยงามลักษณะทางกายภาพที่พึงประสงค์ ตัวอย่างด้านคุณภาพที่พึงประสงค์ เช่น คุณสมบัติความแข็งแรง ความทนทาน ความเหนียวยืดหยุ่น ความขรุขระ-เรียบของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนความแม่นยำสมบูรณ์ของมิติและขนาดของชิ้นงาน (Fu et al., 2020)

โดยทั่วไป เครื่องฉีดพลาสติกมีส่วนประกอบสำคัญทั้งสิ้น 3 ส่วนประกอบ ส่วนที่หนึ่งของเครื่องฉีดเป็นส่วนของชุดหัวฉีด (Injection unit) ทำหน้าที่หลอมพลาสติกลำเลียงน้ำพลาสติกไปยังจุดฉีด ส่วนนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ ให้ความร้อน (Heater) กระบอกและสกรู (Barrel and screw) ระบบขับเคลื่อน (Drive system) และหัวฉีด (Nozzle) (Semsri, 2022) ส่วนที่สองของเครื่องเป็นชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ซึ่งมีหน้าที่ให้แรงหนีบเพียงพอเพื่อให้แม่พิมพ์ปิดสนิทระหว่างการฉีดพลาสติกรองรับความดันสูง ส่วนสุดท้ายเป็นที่ต้องของฐานเครื่อง (Base) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวถูกออกแบบให้รองรับน้ำหนักของเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหมด และเป็นบริเวรจุดยึดคลอบคลุมการติดตั้งอุปกรณ์สำคัญ ระบบไฮดรอลิก ตลอดจนส่วนสนับสนุนอื่นๆ (Semsri, 2022)

2.2 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกส์และแม่พิมพ์สองแผ่น

แม่พิมพ์ฉีดเป็นการผลิตที่ใช้การฉีดหรือเติมพลาสติกหลอมเหลวเข้าไปในโพรงแม่พิมพ์ภายใต้ความดันสูง จากนั้นจึงปล่อยให้พลาสติกส์เย็นตัวจนแข็งตัวก่อนนำชิ้นงานออก ผลิตชิ้นงานจำนวนมาก และมีความแม่นยำสูง (ประภัสสร อ่อนเพชร และ ผกาวัลย์ หนูแก้ว, 2555) โดยประเภทของแม่พิมพ์อาจแบ่งได้หลายประเภท โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้แม่พิมพ์ที่ใช้เป็นแบบสองแผ่น

แม่พิมพ์สองแผ่น (Two plate mold) เป็นประเภทของแม่พิมพ์แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน โดยในระหว่างกระบวนการฉีด แม่พิมพ์จะเปิดออกเพียงระนาบเดียว ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกระบุไว้ในแบบประกอบแม่พิมพ์เพื่อกำหนดแนวการแยกของแม่พิมพ์และการนำชิ้นงานออก

2.3 ขนาดรูไหลของแม่พิมพ์

รูไหล (Runner) คือ เส้นทางลำเลียงน้ำพลาสติกที่หลอมเหลวเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ โดยมีลักษณะคล้ายกับคลองลำเลียงน้ำ นำพาพลาสติกเหลวไหลไปยังชิ้นงานอย่างรวดเร็วผ่านเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและความดันในระหว่างกระบวนการ

ขนาดรูไหลของแม่พิมพ์มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขนาดทางเดินของพลาสติกหลอมเหลวให้เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกสามารถไหลเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ได้อย่างทั่วถึงและสมบูรณ์ ลดปัญหาการไหลไม่เต็มชิ้นงาน ฟองอากาศ หรือการเกิดความดันสูงเกินไปในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูป การกำหนดรูไหลอ้างอิงตามงานวิจัยของ Thaisawad et al. (2018) แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$D = \frac{\sqrt{W}\, x\, \sqrt[4]{L}}{8} \quad (1)$$

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูไหล (มิลลิเมตร)
W คือ น้ำหนักชิ้นงานพลาสติก (กรัม)
L คือ ความยาวทางไหลของโพรงแม่พิมพ์ (มิลลิเมตร)

2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน S50C

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.48–0.55% ทำให้มีความแข็งแรงและความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำทั่วไป อีกทั้งยังสามารถรับแรงกระแทก แรงกด และแรงบิดได้ดี รวมถึงสามารถกลึงและตัดเฉือนได้ง่ายกว่าเหล็กเกรดแข็งสูง จึงนิยมใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ (เอกชัย เพิ่มพูนพิพัฒน์, 2025) ผู้วิจัยจึงได้เลือกเหล็กประเภทดังกล่าวใช้สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กสำหรับงานวิจัยนี้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์เป็นหัวข้อที่มีผู้สนใจศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ดังต่อไปนี้

Thonguthai et al. (2017) ได้ออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกแบบสามชิ้นส่วน สำหรับผลิตภัณฑ์กล่องเอนกประสงค์ การออกแบบแม่พิมพ์เริ่มต้นจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรมช่วยเขียนแบบ SolidWorks จากนั้นทำการจำลองการไหลของพลาสติกวิเคราะห์ลดความเสี่ยงก่อนนำไปสร้างแม่พิมพ์ด้วยวัสดุเหล็ก S50C การประเมินผลประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะแม่พิมพ์อยู่ในระดับมากที่สุดด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.53

Yokee et al. (2019) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์แบบสองแผ่น (Two plates) สำหรับชิ้นงานที่เกิดการเนี่ยวนำแม่เหล็กภายในแม่พิมพ์ โดยใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์มาตรฐาน ซึ่งเริ่มจากการ กำหนดจำนวนโพรงแบบ (Cavity number) จำนวน 2 โพรง การกำหนดระบบทางวิ่ง (Runner) โดยกำหนดให้เป็นแบบรูปตัวยู การกำหนดทางเข้า (Gate) ให้เป็นทางเข้าแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 1 มิลลิเมตร และวิเคราะห์การไหลของพลาสติกโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ก่อนจัดสร้างแม่พิมพ์ด้วยทองเหลืองเกรด BC6C ผลการวิจัยพบว่าเพื่อลดปัญหาการฉีดชิ้นงานไม่เต็มและปัญหาการเกิดตำหนิที่ผิวหน้าชิ้นงาน ควรใช้เวลาเติมเต็มเนื้อพลาสติกที่ 3 วินาที เวลาที่ใช้ในการคงความดัน 10 วินาที ระยะเวลาหล่อเย็น 12 วินาที อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 องศาเซลเซียส ความดันเครื่องฉีดที่ 75 บาร์ ทั้งนี้ยังพบว่าการเลือกใช้ทองเหลืองเกรด BC6C ในส่วนเบ้าแม่พิมพ์ช่วยป้องกันปัญหาชิ้นงานดูดติดแม่พิมพ์ได้

Laomrachakul (2016) ได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ร่วมกับการจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลวในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อกำหนดโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่สำคัญของแม่พิมพ์ ได้แก่ โครงสร้างแม่พิมพ์ ตำแหน่งที่เหมาะสมของทางเข้า (Gate) ขนาดทางวิ่ง ตำแหน่งการวางที่เหมาะสมของทางวิ่งของพลาสติกหลอมเหลว (Runner) โพรงแม่พิมพ์ (Cavity) แกนนำ (Guide posts) ผลการจำลองและวิเคราะห์พบว่าการวิจัยค้นพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และโปรแกรมจำลองสถานการณ์การไหลของพลาสติก สามารถนำมาใช้ศึกษา วิเคราะห์ และประเมินจุดบกพร่องของกระบวนการฉีดพลาสติกและโครงสร้างแม่พิมพ์ได้ก่อนการผลิตจริง ช่วยให้ทราบถึงพฤติกรรมการไหล การกระจายความร้อนและความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโพรงแม่พิมพ์ ตลอดจนสามารถประมาณการความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ถูกสร้างด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบได้

Sangkas et al. (2025) ได้ศึกษาการออกแบบระบบระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานแก้วกาแฟจากวัสดุพลาสติกถูกฉีดไม่เต็ม ด้วยหลักการออกแบบระบบระบายอากาศ (Air Vent System Design) และการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป ผลการดำเนินการออกแบบกำหนดให้แม่พิมพ์มีช่องระบายอากาศขนาด ความกว้าง 2 มิลลิเมตร ลึก 0.05 มิลลิเมตร และความกว้าง 10 มิลลิเมตร ลึก 0.1 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าปัจจัยควบคุมการฉีดด้วยความดัน 54 บาร์ แรงปิดแม่พิมพ์ 100 ตัน อุณหภูมิหลอมเหลว 200 องศาเซลเซียส อุณภูมิแม่พิมพ์ 90 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบช่องระบายอากาศด้วยกลักการออกแบบระบบระบายอากาศ (Air vent system design) สามารถระบายอากาศที่ตกค้างภายในโพรงแม่พิมพ์ได้ และการตั้งค่าพารามิเตอร์กระบวนการฉีดที่เหมาะสม สามารถลดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้

Thaisawat et al. (2019) ได้ศึกษาและพัฒนาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น (Two-Plate Mold) สำหรับผลิตด้ามจับไฟฉาย โดยกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์เริ่มจากการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ Unigraphics NX การออกแบบคลอบคลุม การกำหนดแกนแม่พิมพ์ โพรงแม่พิมพ์ ระยะรูฉีด ความยาวและระบบของรูวิ่ง รูเข้า ตำแหน่งการปลดชิ้นงานและจำนวนของปุ่มปลดชิ้นงาน จากนั้นทำการจำลองการไหลพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D filling melt front time เพื่อวิเคราะห์และกำหนดพารามิเตอร์มีเหมาะสมในการฉีดพลาสติกโดยประมาณเบื้องต้น ก่อนนำแบบแม่พิมพ์ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ก่อนนำไปจัดสร้างและทำการทดสอบเพื่อสรุปหาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสม และการวัดผลความบกพร่องของคุณภาพชิ้นงานด้วยการสังเกต ตามหลักความคุมคุณภาดด้วยการสุ่มตรวจสอบ โดย

ชิ้นงานจะพิจารณาว่าสมบูรณ์เมื่อ ชิ้นงานเต็ม ไม่ยุบ ไม่เสียรูป ไม่มีเส้นวิ่ง และผิวชิ้นงานไม่มีรอย ผลการวิจัยพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่ได้จากผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากการประมาณการด้วยโปรแกรมจำลองเล็กน้อย ทั้งนี้หลังจากปรับค่าพารามิเตอร์พบว่าควรกำหนด อุณหภูมิการฉีดที่ 220 องศาเซลเซียส ความดันฉีดที่ 170 เมกะปาสคาล ความดันย้ำ 150 เมกะปาสคาล เวลาในการฉีด 1.5 วินาที เวลาหล่อเย็น 20 วินาที

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ พบว่าการออกแบบแม่พิมพ์มีหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ลักษณะของชิ้นงานและปัญหาที่งานวิจัยต้องการแก้ไข อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่พบมีแนวทางการดำเนินงานที่สำคัญร่วมกัน โดยกระบวนการเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์ โดยต้องมีการกำหนดองค์ประกอบสำคัญของแม่พิมพ์ ได้แก่ โพรงแม่พิมพ์ (Cavity) ความยาวขนาดและระบบทางวิ่ง (Runner) ทางเข้าพลาสติก (Gate) และชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ ตามความเหมาะสม ทั้งนี้พบว่าการออกแบบโครงสร้างดังกล่าว มีทั้งการอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางวิศวกรรม ตลอดจนการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์สำเร็จรูป หลังจากการออกแบบนักวิจัยมักตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบความเข้ากันได้ในการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ หรือทำการจำลองการไหลของน้ำวัสดุเหลว เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล การกระจายความร้อน การกำหนดรูปแบบการตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการพิมพ์เบื้องต้น และคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นก่อนการสร้างแม่พิมพ์

การสร้างแม่พิมพ์ดำเนินการตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าแม่พิมพ์นั้นสร้างจากวัสดุโลหะ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน คุณสมบัติที่ต้องการ และข้อจำกัดของงานวิจัยแต่ละเรื่อง โดยวัสดุที่พบในการศึกษาที่ทบทวน ได้แก่ ทองเหลือง และเหล็กกล้า ภายหลังการสร้างแม่พิมพ์ จะมีการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการพิมพ์ โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญที่พบในงานวิจัยที่ทบทวน ได้แก่ ความดันฉีด อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ เวลาในการฉีดและเวลาหล่อเย็น เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพ

สำหรับการประเมินที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะและความเหมาะสมของแม่พิมพ์ พบว่างานวิจัยที่ผ่านมาใช้วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ การวัดผลประเมินแม่พิมพ์ด้วยคะแนนระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ การตรวจสอบคุณภาพความสมบูรณ์ของชิ้นงานที่แม่พิมพ์ผลิตได้ และการประเมินความสามารถในการลดข้อบกพร่องของกระบวนการฉีดขึ้นรูป

3. วิธีการดำเนินงาน วัสดุและอุปกรณ์

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

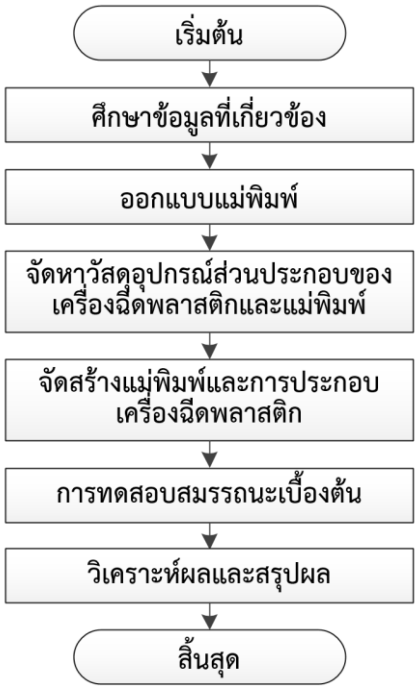
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อ การออกแบบ จัดสร้าง ตลอดจนทดสอบสมรรถนะการทำงานของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม ทั้งนี้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การศึกษาข้อมูล การออกแบบแม่พิมพ์ตามหลักพื้นฐานการฉีดขึ้นรูปและการจำลองการประกอบ (Azuddin et al., 2015) การจัดหาเครื่องฉีดพลาสติกแรงดันสูงและจัดหาวัสดุสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จากนั้นจึงทำการจัดสร้างแม่พิมพ์และประกอบแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกแรงดันสูง ก่อนทำการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้น

การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่ได้สร้างขึ้น ดำเนินการเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้สาธิตสามารถใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกได้อย่างเหมาะสมและมีเสถียรภาพระหว่างกระบวนการเรียนการสอน รวมทั้งใช้เป็นแนวทางสำหรับการสาธิตการปฏิบัติงานจริง

ในการวิจัยนี้กำหนดให้อุณหภูมิหลอมละลายเป็นปัจจัยที่ศึกษา โดยทำการทดสอบ 5 ระดับ ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 150 160 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส แต่ละระดับดำเนินการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 15 การทดสอบต่อวัสดุหนึ่งชนิด โดยใช้วัสดุทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) และพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ส่งผลให้มีจำนวนการทดสอบรวมทั้งสิ้น 30 การทดสอบ

โดยมีตัวแปรควบคุมซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ตลอดกระบวนการทดสอบ ได้แก่ ความดันฉีด ระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติก ระยะเวลาเติมเต็ม และระยะเวลาพักแข็งตัว สำหรับวัสดุที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจะพิจารณาจากผลการผลิตชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์กล่าวคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นค่าที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ โดยชิ้นงานต้องถูกเติมเต็ม ไม่มีครีบ ไม่มีการยุบตัว ไม่มีการหดตัว และไม่มีประกายเงิน ทั้งนี้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 1

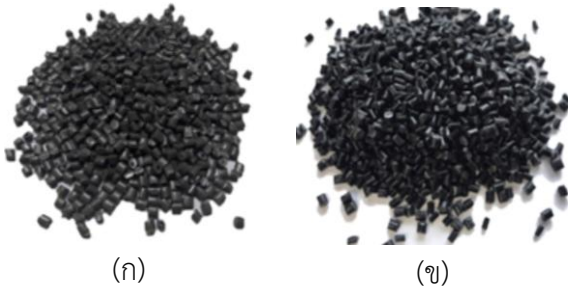


รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของแม่พิมพ์ประกอบด้วย เครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กยี่ห้อ BORX ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ทำความร้อนได้สูงสุด 350 องศาเซลเซียส เครื่องเทอร์โมไฮโกรมิเตอร์ (Thermo-Hygrometer) สำหรับวัดอุณหภูมิ นาฬิกาจับเวลา เครื่องชั่งดิจิทัล

วัสดุการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย เม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene: HDPE) รวมค่าวัสดุอุปกรณ์วิจัยโดยประมาณทั้งสิ้น 29,200 บาท โดยตัวอย่างเมล็ดพลาสติกแสดงได้ดังรูปที่ 2

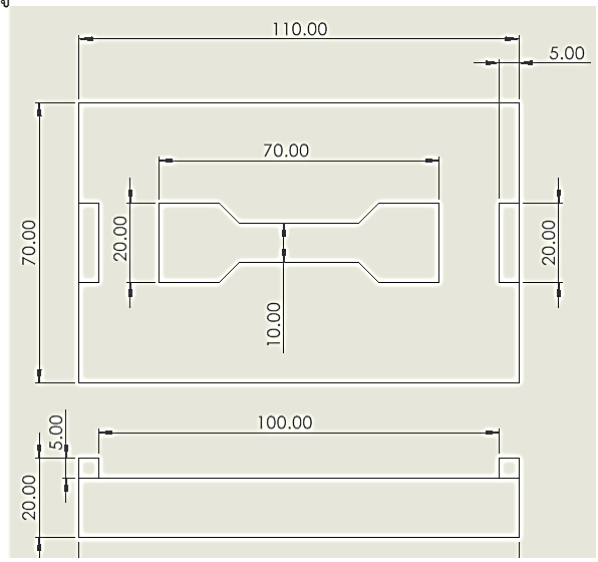


รูปที่ 2 ภาพเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (ก) เม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ข)

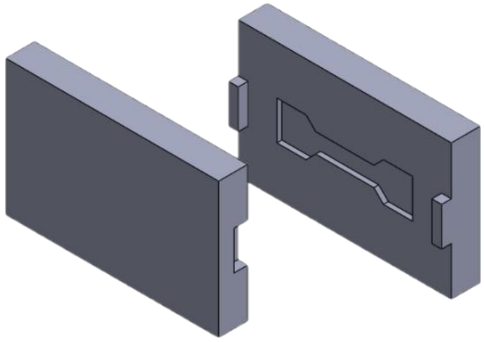
4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

จากการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับผลิตชิ้นงานรูปดัมเบล (Dumbbell Specimen) ได้กำหนดขนาดรูไหลของแม่พิมพ์จากสมการที่ (1) ซึ่งมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และกำหนดขนาดโพรงแม่พิมพ์ให้สอดคล้องกับขนาดชิ้นงานที่มีความกว้างสุทธิ 20 มิลลิเมตร และความยาว 70 มิลลิเมตร ผลการออกแบบและจำลองการประกอบด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ แสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันได้อย่างเหมาะสม โดยแบบเขียนของแม่พิมพ์พร้อมด้วยการระบุขนาดส่วนประกอบโครงสร้าง แสดงได้ดังรูปที่ 3 และภาพจำลองการประกอบแบบสามมิติแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รายละเอียดของแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



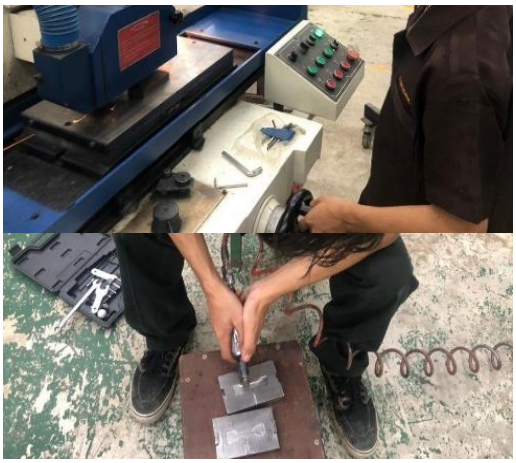
รูปที่ 4 ภาพสามมิติสำหรับการจำลองการประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ถูกสร้างขึ้นตามแบบที่ได้สร้างและผ่านการจำลอง โดยเริ่มจากนำเหล็ก S50C วัสดุหลักของแม่พิมพ์ มาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 70 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น จากนั้นดำเนินการสร้างโพรงแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัด และสร้างรูไหลโดยการประกบแม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นก่อนทำการเจาะรูไหลให้ตรงกัน สุดท้ายทำการขัดผิวโพรงแม่พิมพ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวและลดความขรุขระของผิวชิ้นงานโดยผลการสร้างพบว่าแม่พิมพ์สามารถผลิตได้ตามแบบที่กำหนด และสามารถประกอบกันได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถติดตั้งเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้งขนาดเล็กยี่ห้อ BORX ได้อย่างเหมาะสมและสามารถฉีดสร้างชิ้นงานได้ ทั้งนี้ภาพระหว่างการสร้างแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 และภาพแม่พิมพ์ที่ประกอบเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกพร้อมสร้างชิ้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 9

รูปที่ 5 การเตรียมเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ตามขนาดที่ออกแบบ

รูปที่ 6 การสร้างโพรงแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัด

รูปที่ 7 การเจาะเพื่อสร้างรูไหลของแม่พิมพ์



รูปที่ 8 การขัดผิวแม่พิมพ์ให้เรียบ

รูปที่ 9 แม่พิมพ์ที่ถูกล็อกประกบด้วยปากกาจับชิ้นงานพร้อมเริ่มทำการฉีดสร้างชิ้นงาน

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้น

ผลการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ดำเนินการเพื่อศึกษาความสามารถในการทำงานร่วมกันของระบบฉีดขึ้นรูปและกำหนดแนวทางการตั้งค่าที่เหมาะสม โดยทดสอบกับวัสดุเม็ดพลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

ผลการทดสอบประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การประเมินความสามารถในการหลอมละลายของวัสดุ การประเมินการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องฉีดและแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูป และการประเมินคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตได้จากการทดสอบ โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการหลอมละลายของเม็ดพลาสติกในชุดหลอมเหลวของเครื่องฉีดพลาสติก

ชนิดวัสดุ	อุณหภูมิทดสอบ C°	สถานะของเม็ดพลาสติก
PP	150	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
PP	160	เริ่มทำการหลอมละลาย
PP	170	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
PP	180	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
PP	190	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
HDPE	150	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
HDPE	160	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
HDPE	170	เริ่มทำการหลอมละลาย
HDPE	180	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
HDPE	190	การหลอมละลายที่สมบูรณ์

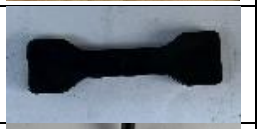
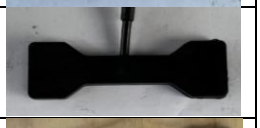
จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการหลอมละลายของเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene: HDPE) ที่ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาหลอม 2 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่อกระบอกหลอมเครื่องฉีดพลาสติกมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิทดสอบ

ผลการทดสอบพบว่า เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดมีการหลอมละลายแตกต่างกันตามช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ โดยพบว่าเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนเริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสและหลอมละลายสมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ในขณะที่พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงใช้อุณหภูมิสำหรับหลอมละลายเม็ดพลาสติกสูงกว่า โดยเริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสและหลอมละลายสมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของแม่พิมพ์ต้นแบบและเครื่องฉีดพลาสติกในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

ชนิดวัสดุ	การทดสอบที่	อุณหภูมิในการหลอมละลาย (°C)	สถานะของชิ้นงานหลังการฉีด	
			ความสมบูรณ์	หมายเหตุ
PP	PP:1	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:2	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:3	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:4	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ
PP	PP:5	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ
PP	PP:6	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ
PP	PP:7	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:8	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:9	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:10	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:11	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:12	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:13	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
PP	PP:14	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
PP	PP:15	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
HDPE	PE:1	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:2	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:3	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:4	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:5	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:6	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:7	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:8	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:9	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:10	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:11	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:12	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:13	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:14	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:15	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว

ตารางที่ 3 ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์จากการทดสอบ

ชนิดวัสดุ	อุณหภูมิ	สถานะความสมบูรณ์	ภาพชิ้นงาน
PP	150	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็ม	
PP	160	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ	
PP	170	สมบูรณ์	
PP	180	ไม่สมบูรณ์ มีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน	
PP	190	ชิ้นงานหดตัว	
HDPE	150	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็ม	
HDPE	160	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานยุบหดตัว	
HDPE	170	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานยุบมีตำหนิ	
HDPE	180	สมบูรณ์	
HDPE	190	ไม่สมบูรณ์ ยุบหดตัว	

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของแม่พิมพ์และเครื่องฉีดพลาสติก และตารางที่ 3 ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากการทดสอบการสร้างชิ้นงานด้วยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส เวลาหลอม 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็ม 10 วินาที ช่วงเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที ที่ความดัน 0.4 เมกะพาสคัล (MPa) สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และ 0.6 เมกะพาสคัล (MPa) พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

ผลการทดสอบ พบผลเชิงประจักษ์ว่าอุณหภูมิในการหลอมละลายมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่สร้างทั้ง 2 ชนิดพลาสติก โดยสำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนพบว่าสามารถผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้สร้างชิ้นงานได้ไม่เต็มชิ้น ขณะที่การกำหนดอุณหภูมิสูงกว่า 170 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานที่สร้างเกิดตำหนิบนชิ้นงาน เช่น การยุบตัว ประกายเงิน และการหดตัวของชิ้นงาน เนื่องจากสภาวะการหลอมไม่เหมาะสมกับปัจจัยควบคุมที่กำหนดไว้ในการทดลอง

สำหรับพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง พบว่าสามารถผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเติมไม่เต็ม การยุบตัว และการหดตัวของชิ้นงาน หรือพบตำหนิบนชิ้นงาน ทั้งนี้เมื่อกำหนดอุณหภูมิสูงถึง 190 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานที่สร้างเกิดการยุบตัวและหดตัว ซึ่งไม่เหมาะสมกับปัจจัยควบคุมที่กำหนดไว้ในการทดลอง

จากผลการทดสอบสามารถสรุปแนวทางการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกร่วมกับแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาสำหรับการสร้างชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กได้ว่า ควรกำหนดอุณหภูมิการหลอมสำหรับเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ที่ 170 องศาเซลเซียส ที่ความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัล (MPa) และเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ 180 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันฉีด 0.6 เมกะพาสคัล (MPa) โดยใช้ระยะเวลาหลอม 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กและ ทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสมสำหรับการสร้างชิ้นงาน โดยใช้พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เป็นวัสดุทดสอบ

ผลการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์พบว่า แม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประกอบได้ตามแบบที่กำหนด มีความถูกต้องของขนาดและตำแหน่งชิ้นส่วนต่าง ๆ และสามารถติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กได้อย่างเหมาะสม ผลการ

ทดสอบสมรรถนะพบว่าแม่พิมพ์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อสร้างชิ้นงานด้วยวัสดุทดสอบทั้งสองชนิดได้ตามประสงค์

จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า อุณหภูมิในการหลอมละลายมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิต โดยจากการทดสอบสามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้น โดยสำหรับวัสดุเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) สามารถหลอมละลายสมบูรณ์และผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัล ขณะที่เม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถหลอมละลายสมบูรณ์และผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัลภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติกสองชนิดที่ 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบพบว่าการกำหนดอุณหภูมิหลอมละลายที่แตกต่างจากค่าที่เหมาะสมส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องของชิ้นงาน โดยสามารถอภิปรายผลที่เกิดขึ้นได้ 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่กำหนดอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม และกรณีที่กำหนดอุณหภูมิหลอมละลายสูงกว่าค่าที่เหมาะสม

โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม เม็ดพลาสติกจะหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้พลาสติกหลอมมีความหนืดสูงและไหลเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ได้ยาก ทำให้เกิดการเติมเนื้อพลาสติกไม่เต็มชิ้นงานในบางส่วน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พลาสติกบางส่วนละลายประกอบกับการให้แรงดันมากเกินไปหรือแรงประกบของแม่พิมพ์ปิดแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เนื้อพลาสติกไหลเล็กออกไปนอกเขตโพรงแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานการเกิดครีบ ผลดังกล่าวคล้องกับการวิจัยของ Mawardi et al. (2019) และ Hedayati-Dezfooli and Moayyedian (2026)

ทั้งนี้เมื่อกำหนดอุณหภูมิหลอมละลายสูง เม็ดพลาสติกจะหลอมละลายเกินสมบูรณ์ และมีการสะสมของความร้อนส่วนเกิน เมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพลาสติกหลอมในแต่ละตำแหน่งภายในแม่พิมพ์จะมีความแตกต่างกัน โดยบริเวณที่อยู่ใกล้ทางหลักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่งผลให้พลาสติกในแต่ละส่วนเกิดการเย็นตัวและแข็งตัวในอัตราที่ไม่เท่ากัน ประกอบกับเวลาฉีดที่ไม่เพียงพอ นำไปสู่การหดตัวทำให้ชิ้นงานมีขนาดไม่เสมำเสมอ การอธิบายดังกล่าวเป็นไปแนวทางเดียวกับการอธิบายผลของ Wang et al. (2026) ทั้งนี้ตัวชิ้นงานที่ไม่เสมำเสมอยุบหรือหดตัวจะสังเกตุได้อย่างชัดเจนในส่วนบริเวณส่วนชิ้นงานที่มีความความหนาเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ (Hedayati-Dezfooli & Moayyedian, 2026) โดยทั้งนี้อุณหภูมิหลอมละลายสูงเกินไปยังส่งผลให้พลาสติก หรือสารตกค้างที่อยู่ในพลาสติกเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก๊าซแทรกตัวอยู่ในพลาสติกหลอม และปรากฏเป็นรอยประกายเงินบนผิวชิ้นงานระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (Bortoletto et al., 2025)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการตั้งค่าปัจจัยอุณหภูมิหลอมเหลว ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานเพิ่มเติม เช่น ความดันฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ ระยะเวลาหลอม ระยะเวลาฉีด ระยะเวลาพักหล่อเย็น ด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติ รวมถึงศึกษาความแม่นยำทางมิติของชิ้นงานที่สร้างได้ นอกจากนี้ แม่พิมพ์และระบบฉีดพลาสติกขนาดเล็กสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสู่การใช้งานเพื่อผลิตชิ้นงานพลาสติกเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปต่อยอดวิจัยเชิงการศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นสื่อและอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนด้านกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่กรุณาให้การสนับสนุนในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

Azuddin, M., Choudhury, I. A., & Taha, Z. (2015). Development and performance evaluation of a low-cost custom-made vertical injection molding machine [Article]. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37(1), 79-86. https://doi.org/10.1007/s40430-014-0145-z

Bortoletto, A., Orfano, A., Sorgato, M., & Lucchetta, G. (2025). Silver streaks dependence on processing conditions in the injection molding of post-consumer recycled polypropylene [Article]. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 63, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2025.09.005

Chiptiyanti, C., Sugeng Mulyono, R., Luqyana, D., & Milah, A. (2025). Design of double barrel injection molding machine prototype support table using VDI 2221 method. AIP Conference Proceedings,

Fakthong, M., Meenu, K., Chuenchomnakjad, S., Khrueaphue, T., & Lonphan, K. (2024). Design And Development of The Metal Surface Polishing Machine. *Industrial*

Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal, 2, 246-255.

Fu, H., Xu, H., Liu, Y., Yang, Z., Kormakov, S., Wu, D., & Sun, J. (2020). Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites. *ES Materials and Manufacturing*, 8 , 3 - 2 3 . https://doi.org/10.30919/esmm5f713

Hedayati-Dezfooli, M., & Moayyedian, M. (2026). Integrated Optimization for Reducing Injection Molding Defects in Charcoal Canisters [Article]. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 10(4), Article 114. https://doi.org/10.3390/jmmp10040114

Kauffer, P. H. (2021). *Injection molding: Process, design and applications* [Book]. Nova Science Publishers, Inc.

Laomrachakul, W. (2016). The Design of Plastic Injection Mold Using Finite Element Analysis. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1), 101-109.

Mawardi, I., Jannifar, A., & Lubis, H. (2019). Effect Of Injection Temperature On Defect Plastic Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1), 012102. https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012102

Promseenong, P., Sema, P., & Chuenchomnakjad, S. (2024). Creation and Efficiency Determination of a Modular Refrigeration and Air Conditioning Practice Set According to the National Skilled Labor Standards. *Journal of Technical and Engineering Education*, 15(1), 29-39.

Sangkas, T., Chainawakul, A., Aukaranarakul, S., Kowtakul, P., & Manokruang, S. (2025). Solving Short Shot Defect by Designing Air Vents in Plastic Injection Molds for Coffee Cups with Biodegradable Material. *Reseach on Modern science and Utilizaing Technological Innovation Journal*, 18(2), 81-90.

Semsri, A. (2022). Determination of Optimum Temperature of Barrel Heater for Reducing Waste in Plastic Injection Molding Process of Tractor Turn Signal Cover Parts using DMAIC Techniques. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(3), 111–130.

Silva, H. M. (2025). A review of the design optimization of conformal cooling channels in injection molds [Review]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 138(7), 2653-2671. https://doi.org/10.1007/s00170-025-15234-2

Stemmler, S., Vukovic, M., Ay, M., Heinisch, J., Lockner, Y., Abel, D., & Hopmann, C. (2020). Quality control in injection molding based on norm-optimal iterative learning cavity pressure control. IFAC-PapersOnLine, 10380-10387,

Thaisawad, P., Doungthongkum, T., & Samackthai, K. (2018). Design and Construction Plastic Injection LED FLASHLIGHT (Part Lens & Top Lens). *Vocational Education Central Region Journal*, 2(2), 37-45.

Thaisawat, P., Unsuphan, P., & Janthalakajorn, T. (2019). Plastic Injection Mold Design and Construction for LED flashlight Handle, Handshel Worklam. *Vocational Education Central Region Journal*, 3, 33-42.

Thonguthai, Wongpan, A., Nimreang, R., Suksomrareewong, U., & Ueaim, A. (2017). Three Plate Mold : Tray. *Vocational Education Central Region Journal*, 1(2), 14-24.

Wang, J., Zheng, K., Liu, T., Liu, H., Cui, H., Li, H., Liang, Y., Zhou, S., Li, F., Wang, D., Fan, C., Shang, J., He, Q., Cheng, Y., Jiang, B., Qi, J., Chang, L., & Shuai, W. (2026). 4D injection molding [Article]. *Nature Communications*, 17(1), Article 4797. https://doi.org/10.1038/s41467-026-71538-1

Yokee, C., Hearunyakij, M., Layluk, V., & Chatakom, S. (2019). The Study of Mold Construction and Injection Process for PA6 and Ferrite Bonded Magnet Compound Plastic Parts. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11.

เอกชัย เพิ่มพูนพิพัฒน์. (2025, 2026/05/24). *S50C คืออะไร? จุดเด่น คุณสมบัติ และการใช้งานของเหล็กกล้า S50C*. บริษัท พี แอนด์ พี สตีล [ไทยแลนด์] จำกัด. https://pandpsteel.co.th

ประภัสสร อ่อนเพชร, & ผกาวัลย์ หนูแก้ว. (2555). การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน [ปริญญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยนเรศวร]. มหาวิทยาลัยนเรศวร.