วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การผสาน CAD/CAE และวิธีการทากูชิ ในการหาค่าพารามิเตอร์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกพอลิโพรพิลีนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี้ กรณีศึกษา พลาสติกกล่องดินสอ

CAD / CAE integration and Tagushi method in finding parameters injection molding of polypropylene plastic in 2 cavities plastic injection molds plastic case study pencil box

พัชระ กัญจนกาญจน์[1] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2] วรรณนิศา นุชคุ้ม[2*] นพพริษฐ์ วสันต์บ้งงิ้ม[3]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี

[2] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

[3] ส่วนพัฒนาอุปกรณ์ระบบลำเลียงแสง ฝ่ายระบบลำเลียงแสง สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา

Patchara Kanjanakarn[1] Jittiwat Nithikarnjanatharn[2] Wannisa Nutkhum[2*] Noppharit Wasanbongngem [3]

[1] Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi

[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakornratchasima

[3] Beamline Instrumentation Section, Beamline Division, Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), Nakornratchasima

*Corresponding author.

E-mail: wannisa.nu@rmuti.ac.th; Telephone: 0928534148

วันที่รับบทความ 8 กันยายน 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 7 พฤศจิกายน 2566; วันที่ตอบรับบทความ 16 มกราคม 2567

บทคัดย่อ

การนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลว เพื่อแก้ไขปัญหากระบวนการฉีด เป็นวิธีที่สามารถลดเวลาในการปรับตั้ง และค่าใช้จ่ายในการทดสอบได้ แต่ยังไม่สามารถกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด การนำเครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลว จะทราบระดับปัจจัยที่แท้จริง ที่ส่งผลต่อของเสียขึ้นกับชิ้นงานที่ฉีด งานวิจัยนี้นำโปรแกรมสำเร็จรูปมาจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลว ผสานการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ (Tagushi) เพื่อแก้ไขการฉีดชิ้นงานบางช็อตเกิดของเสียฉีดไม่เต็มจากเวลาเติมเต็มไม่พร้อมกันของ 2 คาวิตี้ พบว่าเมื่อนำพารามิเตอร์ในการฉีด ได้แก่ อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความเร็วฉีด และการปรับปรุงขนาดทางเข้าของชิ้นงานที่ได้ไปฉีดชิ้นงานจริง เวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันของ 2 คาวิตี้จากเดิม 0.2953 วินาที ลดลงเหลือ 0.1332 วินาที ชิ้นงานมีความสมบูรณ์ จากเดิมที่บริเวณท้ายของฝากล่องดินสอชิ้นงานฉีดไม่เต็ม

คำสำคัญ

การฉีดขึ้นรูปพลาสติก ทากูชิ CAD/CAE พอลิโพรพิลีน

Abstract

An application of software simulation in flow of molten plastic for problem-solving in injection molding could reduce setup times and testing costs. However, the levels of factors have not been assigned for the best parameters. The tools

of design of experiments (DOE) were used as applications with software simulations for simulating the flow of molten plastic. The results would show the real factors that affect to the defect in injected parts. This research used a software package for simulating the flow of molten plastic integrated design of experiment using Taguchi method. These methods were used for solve the defect of injected part, such as incomplete filling simulation of two mold cavities. The optimized injection parameters were used melt temperature, mold temperature, fill time and adjusting the injection gate size . Cause the complete filling part. The difference in filling time between two mold cavities decreases from 0.2953 seconds to 0.1332 seconds. The workpiece is complete. Previously, the area at the end of the pencil box lid was not completely injected.

Keywords

plastic injection molding; taguchi, CAD/CAE; polypropylene.

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความจำเป็นสำหรับการใช้งานหลายรูปแบบการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท และเกือบทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน พลาสติกผ่านกระบวนการแปรรูปพลาสติกต่างๆ ซึ่งกระบวนการฉีดพลาสติกที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะขึ้นรูปชิ้นงานที่ซับซ้อนได้ดี ขึ้นรูปชิ้นงานได้หลายๆชิ้นพร้อมกัน มีผิวชิ้นงานที่เรียบเหมาะกับงานที่ต้องการรายละเอียดสูง [1-4] แต่การฉีดพลาสติกจะต้องคำนึงถึงรูปทรง ลักษะการไหล ทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวที่เหมาะสมรวมถึงมีค่าพารามิเตอร์ในการฉีดชิ้นงานได้แก่ อุณภูมิพลาสติกหลอมเหลวก่อนฉีด ความดันย้ำ เวลาในการหล่อเย็น และความเร็วในการฉีดที่เหมาะสม จึงจะไม่เกิดของเสียขึ้นกับชิ้นงานที่ฉีด โดยการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสมนั้นจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองหลายครั้งกว่าจะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จึงได้มีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ [5-8]

การนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลว เพื่อแก้ไขปัญหากระบวนการฉีดด้วยวิธีการ Simulation ซึ่งสามารถดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อหาการไหลตัวของพลาสติกด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟฟิก ทำให้มองเห็นการทำงานเสมือนการปฏิบัติงานจริง และการปรับตั้งพารามิเตอร์ด้านการฉีดให้เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปสามารถลดเวลาในการปรับตั้ง และค่าใช้จ่ายในการทดสอบ ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมประเภท CAE เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์ และปัจจัยที่เหมาะสม Hong-Seok Park และ Xuan-Phuong Dang [9] ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมเพื่อวิเคราะห์ระบบหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ช่องระบายความร้อนอัจฉริยะในรถยนต์ ผลการวิจัยพบว่าช่องระบายความร้อนแบบ spiral cooling channels ช่วยระบายความร้อน และมีผิวชิ้นที่ดีกว่า zigzag cooling channels I. Gnilitskyi และคณะ [10] ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมเพื่อวิเคราะห์ผลของ LIPSS แบบแอนไอโซโทรปิกและไอโซโทรปิกต่อการไหลของการเติมโพลิเมอร์ ผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงการไหลของพอลิเมอร์ไม่ได้เกิดจากการไหลลื่นของผนังแม่พิมพ์แต่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแม่พิมพ์ และการออกซิไดซ์ของแม่พิมพ์ลดลง Tong Wu และคณะ [11] นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบตามไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเป็นระบบและใช้งานได้จริงสำหรับการปรับเครื่องมือฉีดพลาสติก ผลการวิจัยพบว่าสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในกระบวนการผลิตสารเติมแต่งพลาสติก และลดเวลาในการปรับหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ศุภชัย ดวงทองพล และชาคริต สุวรรณจำรัส [12] ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมเพื่อวิเคราะห์การไหลของพลาสติกหลอมเหลวภายในแม่พิมพ์ 2 คาวิตี้ที่แตกต่างกัน คือ แผ่นวงแหวน และแผ่นกลม โดยการสร้างชิ้นงานหลอก เพื่อให้แผ่นวงแหวนเติมเต็มพร้อมกับแผ่นวงกลม แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายและของเสียจากการสร้างชิ้นงานหลอก และยังไม่มีการใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) และกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด Mohammed Yunus และคณะ [13] วิเคราะห์การไหลของพลาสติกหลอมเหลว เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม รวมถึงลักษณะทางเข้าของชิ้นงานที่ส่งผลต่อ รอยประสานและการยุบตัวของชิ้นงาน ในการฉีดขึ้นรูปฝาหลังใบพัดพัดลม ด้วย

แม่พิมพ์ 2 คาวิตี้ โดยใช้พลาสติกพอลิโพรพิลีน ซึ่งใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ในการติดตามการดำเนินงาน และใช้เครื่องมือ ANOVA ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลดำเนินงาน แต่การทดสอบการไหลหากใช้ค่าคุณสมบัติเดิมก็จะได้ผลของการจำลองเดิม ยังมีการประยุกต์ใช้วิธีการทากูชิในการหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุด และมีจำนวนการทดลองน้อยกว่า ลดเวลาในการทดลอง วัชระ สุขเรืองกูล [14-18] ได้นำพลาสติกรีไซเคิลชนิด พอลิออกซีเมทิลีน ซึ่งเป็นพลาสติกทางวิศวกรรม และ พลาสติกพอลิโพรพิลีนที่รีไซเคิล ซึ่งเป็นวัสดุอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ออกแบบการจำลองด้วยวิธีทากูชิ (Taguchi) และทำการจำลองพฤติกรรมการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ถ้วยพลาสติก และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานจริง ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักและขนาดตรงตามแบบของผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยดังกล่าวใช้ชิ้นงานจำลองผลิตภัณฑ์ถ้วย 1 คาวิตี้ และการควบคุมค่าอัตราการไหลของพลาสติกที่ไม่เกิดขึ้นจากผู้ผลิตพลาสติกเม็ดใหม่ นพพริษฐ์ วสันต์บ้งงิ้ม [19-21] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางการไหลของพอลิโพรพิลีนที่ควบคุมอัตราการไหลจากข้อมูลของผู้ผลิตพลาสติกเม็ดใหม่ (Data Sheet) ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์กล่องดินสอสองคาวิตี้ที่แตกต่างกัน ผลปรากฏว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมสามารถนำไปขึ้นรูปชิ้นงานจริง มีความคลาดเคลื่อนเพียง 2.2 เปอร์เซ็นต์ แต่เวลาในการเติมเต็มทั้ง 2 คาวิตี้ ไม่พร้อมกันเกิดปัญหาในการฉีดชิ้นงานบางช็อตเกิดของเสียฉีดไม่เต็มจากเวลาเติมเต็มไม่พร้อมกันของ 2 คาวิตี้ แต่งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ (Taguchi) และโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดเพียงอย่างเดียว ไม่มีการนำขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวมาใช้พิจารณาในภาคอุตสาหกรรมที่มีการฉีดผลิตภัณฑ์ 2 คาวิตี้ ที่รูปทรงแตกต่างกัน

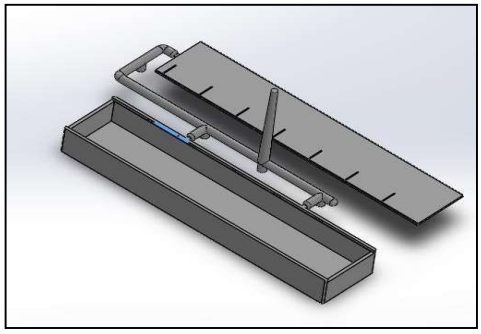
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการไหลตัวของพอลิโพรพิลีนเม็ดใหม่ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อหาข้อบกพร่องของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ส่งผลต่อการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของ พลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี้ ที่รูปทรงแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ทางเข้าชิ้นงานของพลาสติกหลอมเหลว และพารามิเตอร์ในการฉีดขึ้นรูป ได้แก่ อุณภูมิหลอมเหลว อุณภูมิแม่พิมพ์ ความเร็วฉีด ผสานการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ (Taguchi) จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มของพลาสติกหลอมเหลวพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี้ ที่รูปทรงแตกต่างกัน เพื่อนำมาเป็นแนวทางแก้ไข และนำผลที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานจริงเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองกราฟฟิคทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering)

2. การดำเนินงานวิจัย

ในการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดของพลาสติกพอลิโพรพิลีนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี้ที่รูปทรงแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม จำลองการไหลสำเร็จรูป ในการจำลองการไหลนั้น จะต้องอ้างอิงคุณสมบัติจริงของพลาสติกชนิดนั้น ในการจำลองพฤติกรรมการไหล พลาสติกที่ใช้เป็นพลาสติกเม็ดใหม่ จึงมีค่ามาตรฐานที่ใช้จำลองการไหลได้เลย

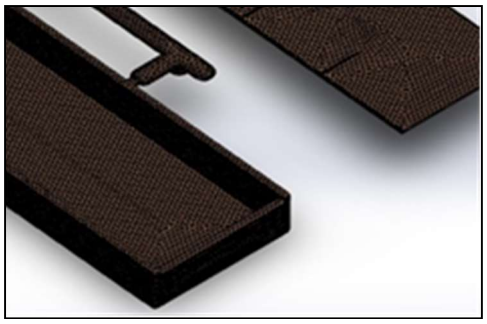
2.1 การสร้างแบบจำลองการขึ้นรูป และการแบ่ง Element ด้วยวิธีการ Mesh Model

การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้จากการสร้าง Cad 3D Model และเลือก Model กล่องดินสอเป็น Model ในการวิจัย ซึ่งกล่องดินสอจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกกล่องดินสอมีรูปทรงกล่องปริมาตรความกว้าง ความยาว ความหนา และความลึกของพื้นที่เก็บดินสอ สามารถประยุกต์ใช้กับชิ้นงานที่เป็นรูปทรงปริมาตรได้ ส่วนที่สองฝาปิดกล่องดินสอมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีลักษณะแบนราบมีขนาด ความกว้าง และความยาว สามารถประยุกต์ใช้ได้กับชิ้นงานที่มีลักษณะเดียวกัน เช่น ป้าย บัตร เป็นต้น



รูปที่ 1 แบบจำลองกล่องดินสอ

-ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลด้วยโปรแกรม Solidwork Plastic จะต้องแบ่ง Solid 3D Model ให้เป็น Element ย่อยหลายๆ Element เพื่อความละเอียด และแม่นยำในการวิเคราะห์แต่ละ Element ของชิ้นงาน โดยงานวิจัยนี้ใช้ Element จำนวน 261446 Element



รูปที่ 2 Mesh Model

2.2 ค่าคุณสมบัติของพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S ที่ได้จากการทดสอบ และ Data Sheet

1. การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุพลาสติกพอลิโพรพิลีน คือการเลือกชนิดพลาสติกพอลิโพรพิลีนจากโปรแกรมสำเร็จรูป และกำหนดค่าที่ได้จาก Data Sheet โดยงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนเม็ดใหม่ เกรด RP348S มาทดสอบดัชนีการไหลด้วยเครื่อง Melt Flow Index ตามมาตรฐาน ASTMD 1238 เพื่อให้ได้ Melt Flow และนำค่าพารามิเตอร์จาก Data Sheet ใช้ในการจำลองการไหลเบื้องต้น โดยค่าที่ได้จากการทดสอบดัชนีการไหลเท่ากับ 35 กรัม ต่อ 10 นาที และค่าพารามิเตอร์จาก Data Sheet คือ อุณหภูมิหลอมเหลว 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และค่ายังมอดูลัส 1030 เมกะปาสคาล

2. การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุแม่พิมพ์ ได้เลือก steel P20 เพราะเป็นวัสดุที่ใช้สร้างแม่พิมพ์กล่องดินสอในปัจจุบัน

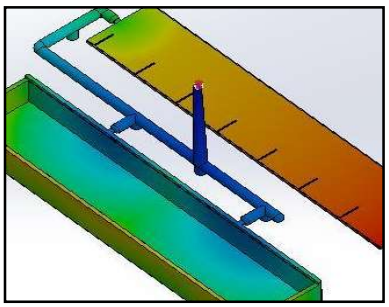
3. Process parameter คือ พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้เครื่องฉีดพลาสติกเพื่อเป็นการจำลองเงื่อนไขการปรับตั้งค่าสำหรับการฉีดชิ้นงานโดยการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ดังนี้

- อุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว และ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ซึ่งจะส่งผลต่อแรงดันในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เวลาในการเติมเต็มของน้ำพลาสติกเหลวซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้พลาสติกในแม่พิมพ์ไหลได้ง่ายแต่ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้จะทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นงานอาจทำให้เกิดครีบ รอยไหม้ และการยุบตัว เป็นต้น

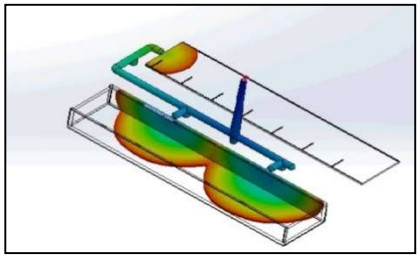
- แรงดัน ได้แก่ แรงดันในการฉีดย้ำซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยตรงถ้าแรงดันฉีดย้ำไม่เหมาะสมอาจเกิดการยุบตัวของชิ้นงานแต่ถ้ามากเกินไปอาจทำให้ชิ้นงานบิดงอเสียรูปได้

- เวลา ได้แก่ เวลาในการฉีดเติมเต็ม เวลาในการฉีดย้ำและเวลาในการเย็นตัว ทั้งนี้เราจะต้องทำการปรับเวลาให้เหมาะสมกับอุณหภูมิและแรงดันหากทำการปรับตั้งไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาในการฉีดชิ้นงานได้เช่น ฉีดไม่เต็มเนื่องจากเวลาในการฉีดเติมไม่เหมาะสมหรือเกิดการบิดงอของชิ้นงานเนื่องจากเวลาในการฉีดย้ำและเวลาในการเย็นตัวไม่เพียงพอ เป็นต้น

2.3 กำหนดจุดเริ่มต้นทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวและเริ่มจำลองจำลองการไหลเพื่อวิเคราะห์ผล (Run)



รูปที่ 3 กำหนดจุดเริ่มต้นทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลว



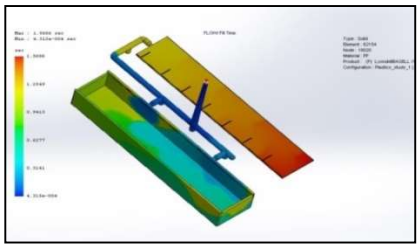
รูปที่ 4 ผลการรันโปรแกรม

2.4 ผลการวิเคราะห์การไหลของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเบื้องต้น

เมื่อโปรแกรมวิเคราะห์เสร็จสิ้น จะนำผลที่ได้ มาวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อดูข้อบกพร่อง และบริเวณสุ่มเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องขึ้นจากการจำลองการไหลในกระบวนการฉีด พอลิโพรพิลีน เกรด RP348S

- การวิเคราะห์ค่าเวลาในการเติมเต็มของพลาสติกหลอมเหลว (Fill Time)

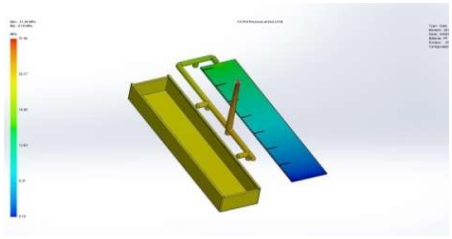
จากผลการจำลองหาค่าเวลาในการเติมเต็มของพลาสติกหลอมเหลวใช้เวลาในการเติมเต็มมากสุดที่ 1.7342 วินาที ต่อการฉีดชิ้นงาน 1 ชิ้น จากการวิเคราะห์ผล พบว่าบริเวณส่วนหัวไปยังส่วนท้ายของชิ้นงานด้านฝากล่องดินสอเติมเต็มช้าเพราะการเคลื่อนที่ของพลาสติกหลอมเหลวไกลกว่าชิ้นงานกล่องดินสอ และมีทางเข้าทางเดียว จึงทำให้การเคลื่อนที่เติมเต็มไม่เท่ากัน สังเกตได้จากสีของเวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่งผลให้มีโอกาสที่ชิ้นงานจะเติมเต็มไม่สมบูรณ์



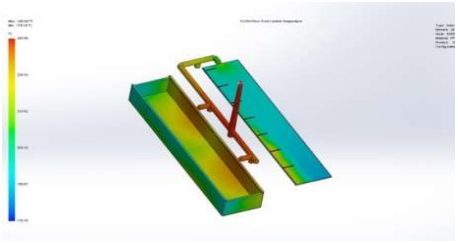
รูปที่ 5 ค่าเวลาของการฉีดเติมเนื้อพลาสติกและลักษณะการไหลของพลาสติกหลอมเหลว

- การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

โปรแกรมได้คำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับตั้งเครื่องฉีด ได้แก่ แรงดันในการฉีด และอุณหภูมิในการฉีดพบว่า เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสมบูรณ์ในการฉีดขึ้นรูปแรงดันที่ใช้ในการฉีดชิ้นงานมากที่สุดเท่ากับ 31 เมกะปาสคาล จะสังเกตุจากสีของชิ้นงาน โดยบริเวนที่เป็นสีแดงบริเวณทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลว และบริเวณที่มีแรงดันต่ำสุดได้แก่บริเวณที่เป็นสีน้ำเงินซึ่งอยู่บริเวณท้ายสุดของฝากล่องดินสอเพราะเป็นส่วนที่มีระยะทางไกลที่สุดแรงดันจึงลดลงเท่ากับ 10 เมกะปาสคาล แสดงดังรูปที่ 6 และอุณหภูมิของชิ้นงานหลังจากฉีดขึ้นรูปเสร็จมีค่าสูงสุดเท่ากับ 240 องศาเซลเซียส อยู่ใกล้บริเวณทางเข้าพลาสติกหลอมเหลว (Gate) เป็นบริเวณที่พลาสติกหลอมเหลวเคลื่อนที่ตลอดเวลาอุณภูมจึงไม่ลดลง และมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 140 องศาเซลเซียส บริเวณขอบของชิ้นงานเป็นบริเวณที่พลาสติกหลอมเหลวเติมเต็มก่อนเป็นอันดับแรก อุณหภูมิจึงเย็นตัวก่อน แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ค่าแรงดันของการฉีดเติมเนื้อพลาสติก

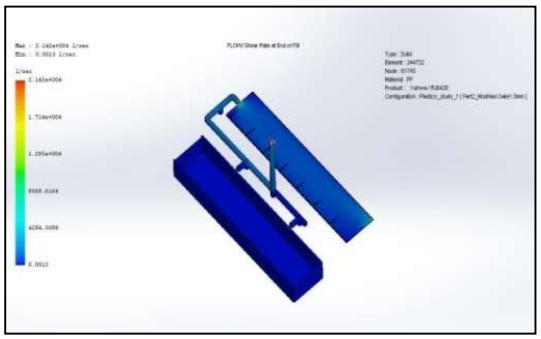


รูปที่ 7 การวิเคราะห์อุณหภูมิของชิ้นงานฉีด

- การวิเคราะห์อัตราการเฉือนของชิ้นงานฉีด (Shear Rate)

ค่าที่ได้จากโปรแกรมมีอัตราสูงสุดอยู่ที่ 2.5786 ต่อวินาที อยู่บริเวณทางเข้าน้ำพลาสติกหลอมเหลว และ ค่าอัตราการเฉือน ต่ำสุดอยู่ที่ 0.9580 ต่อวินาที จะสังเกตได้ว่าบริเวณ

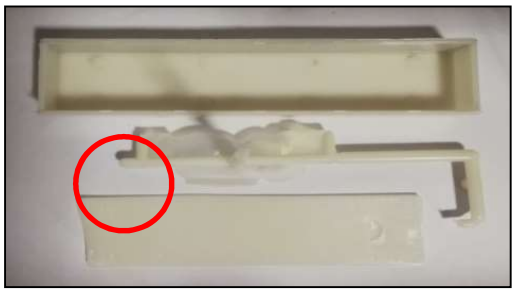
ทางเข้าของชิ้นงานฝากล่องดินสอเกิดอัตราเฉือนมากกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้เติมเต็มช้ากว่า เพราะอุณหภูมิของพอลิโพรพิลีนหลอมเหลว และอุณหภูมิแม่พิมพ์มีความเหมาะสม แต่บริเวณที่ทางเข้าของฝากล่องดินสอเกิดการเฉือนที่ไม่สมดุลขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการเติมเต็มของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้ เพราะการต้านการไหลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 8 การวิเคราะห์อัตราการเฉือนของชิ้นงานฉีด

2.5 ผลการฉีดชิ้นงานจริงจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การจำลองการฉีดพลาสติกเบื้องต้น

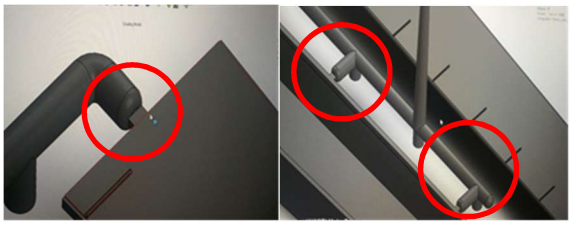
จากการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ฉีดจริง ได้ผลดังการวิเคราะห์ค่าเวลาในการเติมเต็มแตกต่างกัน บริเวณส่วนท้ายของชิ้นงานด้านฝากล่องดินสอเติมเต็มช้า แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการฉีดชิ้นงานจริง พบว่าบริเวณท้ายของฝากล่องดินสอชิ้นงานฉีดไม่เต็ม แสดงดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาสีของชิ้นงานจากหัวข้อ 2.6 แล้วพบว่าเวลาเติมเต็มไม่พร้อมกัน และบริเวณทางเข้าของชิ้นงานฝากล่องดินสอเกิดอัตราเฉือนมากกว่าบริเวณอื่น จึงนำขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวมาเป็นปัจจัยร่วมในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม



รูปที่ 9 ชิ้นงานจริงที่ฉีดไม่เต็ม

2.6 กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

จากการจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลว ทราบว่าทางเข้าของฝากล่องดินสอมีอัตราทางเข้าไม่สมดุล บริเวณที่ทางเข้าของฝากล่องดินสอเกิดการเฉือนที่ไม่สมดุลขึ้น แสดงดังรูปที่ 8 จึงปรับตั้งขนาดทางเข้าของชิ้นงาน ได้แก่ ขนาดทางเข้าของฝากล่องดินสอ เท่ากับ 2 – 6 มิลลิเมตร ขนาดทางเข้าของกล่องดินสอ เท่ากับ 0.5 – 4.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 10 และค่าพารามิเตอร์ในการฉีด ได้แก่ อุณหภูมิหลอมเหลว เท่ากับ 160 – 240 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 30 – 70 องศาเซลเซียส และความเร็วฉีด เท่ากับ 1.2 – 1.6 วินาที โดยใช้ตารางการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Tagushi Design) ในโปรแกรม Minitab17 เพื่อหาเวลาเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดของชิ้นงานทั้ง 2 คาวิตี้ แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 10 แก้ไขขนาดทางเข้าของชิ้นงาน

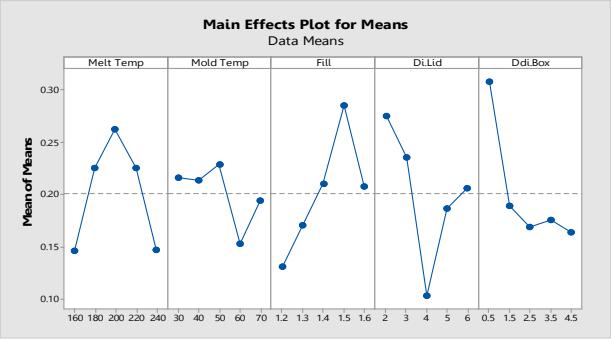
3. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดได้โดยการใช้ผลของระดับของแต่ละพารามิเตอร์ ซึ่งให้ค่าเวลาการเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดของ 2 คาวิตี้ โดยวิเคราะห์จากรูปที่ 11 บอกระดับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาการเติมเต็มน้อยที่สุด และจากรูปที่ 12 บอกระดับของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาการเติมเต็มน้อยที่สุด จากนั้นทำการเลือกระดับของพารามิเตอร์ซึ่งทำให้ได้ค่าเวลาการเติมเต็มน้อยที่สุด เพื่อจะพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Minitab17 อุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแม่พิมพ์เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วในการฉีด เท่ากับ 1.2 วินาที ขนาดทางเข้าของฝากล่องดินสอ เท่ากับ 4 มิลลิเมตร และขนาดทางเข้าของกล่องดินสอ เท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร

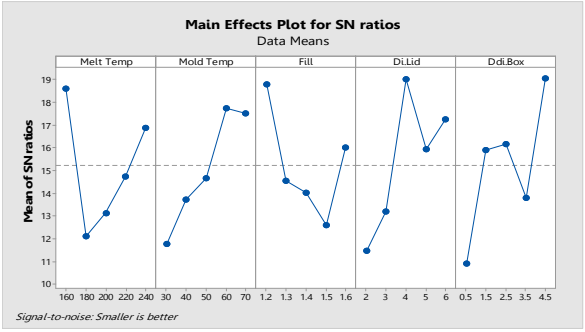
หลังจากนั้นทำการจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลวด้วยพารามิเตอร์ดังกล่าวเพื่อหาผลของระยะเวลาการเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดของ 2 คาวิตี้ ของพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ตารางที่ 1 ตารางออกแบบการทดลอง Tagushi

No.	Melt Temp	Mold Temp	Fill	Di. Lid	Di. Box	Half	Full	Dift (Y)
1	160	30	1.2	2	0.5	0.9796	1.2245	0.2449
2	160	40	1.3	3	1.5	0.8954	1.0935	0.1981
3	160	50	1.4	4	2.5	1.0552	1.1857	0.1305
4	160	60	1.5	5	3.5	1.0542	1.1854	0.1312
5	160	70	1.6	6	4.5	1.1525	1.1791	0.0266
6	180	30	1.3	4	3.5	0.9727	0.9727	0
7	180	40	1.4	5	4.5	1.3587	1.5268	0.1681
8	180	50	1.5	6	0.5	1.3088	1.8041	0.4953
9	180	60	1.6	2	1.5	1.2952	1.619	0.3238
10	180	70	1.2	3	2.5	0.8542	0.9942	0.14
11	200	30	1.4	6	1.5	1.31	1.5785	0.2685
12	200	40	1.5	2	2.5	1.2549	1.5686	0.3137
13	200	50	1.6	3	3.5	1.1187	1.3984	0.2797
14	200	60	1.2	4	4.5	0.9859	1.0428	0.0569
15	200	70	1.3	5	0.5	0.8542	1.2493	0.3951
16	220	30	1.5	3	4.5	1.1582	1.5575	0.3993
17	220	40	1.6	4	0.5	1.2452	1.4874	0.2422
18	220	50	1.2	5	1.5	0.9553	1.0256	0.0703
19	220	60	1.3	6	2.5	0.8567	0.9498	0.0931
20	220	70	1.4	2	3.5	1.297	1.6212	0.3242
21	240	30	1.6	5	2.5	1.1062	1.2755	0.1693
22	240	40	1.2	6	3.5	0.8212	0.9678	0.1466
23	240	50	1.3	2	4.5	0.8971	1.0665	0.1694
24	240	60	1.4	3	0.5	0.9011	1.064	0.1629
25	240	70	1.5	4	1.5	0.9162	1.0032	0.087



รูปที่ 11 ผลกระทบต่อเวลาเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดแต่ละพารามิเตอร์

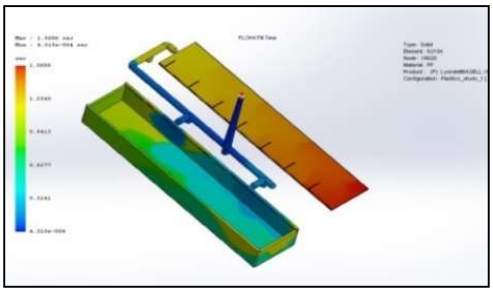


รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ค่าความไวต่อสิ่งรบกวนของเวลาเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุด

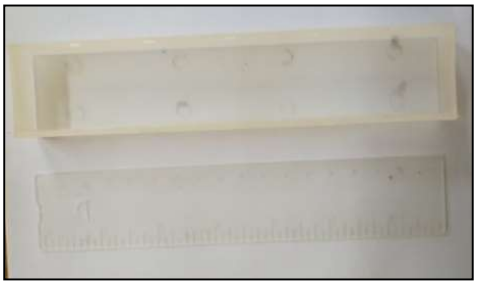
3.1 ผลจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลวด้วยพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ระดับปัจจัยแบบทากูชิ

จากผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มของพลาสติกหลอมเหลวตามผลกระทบต่อเวลาเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดแต่ละพารามิเตอร์ของพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S พบว่าบริเวณส่วนท้ายของชิ้นงานด้านฝากล่องดินสอเติมเต็มได้ใกล้เคียงกับขอบของกล่องดินสอมากขึ้น แต่จะส่วนบริเวณขอบกล่องดินสอด้านนอกที่อยู่ตรงข้ามกับทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลว ซึ่งมีระยะทางไกลที่สุด โดยสังเกตการณ์ไล่ระดับของสีแดงไปยังสีเขียว ซึ่งแสดงถึงเวลาการไหลของพลาสติกหลอมเหลวจากมากไปน้อยของชิ้นงาน จากการปรับค่าพารามิเตอร์และขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวบริเวณฝากล่องดินสอ 6 มิลลิเมตร และขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวบริเวณกล่องดินสอ 4.5 มิลลิเมตร ส่งผลให้การไหลของพลาสติกหลอมเหลวสมดุลมากขึ้น โดยมีเวลาการเติมเต็มที่แตกต่างกันของ 2 คาวิตี้ ของพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S จากเดิม 0.2953 วินาที ลดลงเหลือ 0.1332 วินาที ทั้งนี้การปรับพารามิเตอร์โดยการลดอุณหภูมิหลอมเหลว จากเดิม 180 เป็น 160 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ จากเดิม 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส ลดความเร็วในการฉีด จากเดิม 1.4 เป็น 1.2 วินาที เพิ่มขนาดทางเข้าฝากล่องดินสอ จากเดิม 3 เป็น 4 มิลลิเมตร และเพิ่มขนาดทางเข้าของกล่องดินสอ จากเดิม 2.5 เป็น 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งการปรับปรุงเงื่อนที่กล่าวมานั้นสามารถลดเวลาการเติมเต็มที่แตกต่างกันน้อยที่สุดของ 2 คาวิตี้ ของพอลิโพรพิลีน เกรด RP348S อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 13

นำพารามิเตอร์จากการจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลวด้วยการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์ ดังรูปที่ 14 แตกต่างจากรูปที่ 9 บริเวณท้ายของฝากล่องดินสอชิ้นงานฉีดไม่เต็ม



รูปที่ 13 ผลจำลองการไหลด้วยพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ระดับปัจจัยแบบทากูชิ



รูปที่ 14 ชิ้นงานจริงที่ฉีดเต็ม

4. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่านอกจากการปรับตั้งพารามิเตอร์ในการฉีดชิ้นงานจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน แต่ไม่สามารถแก้ไขเวลาเติมเต็มที่แตกต่างกันของแม่พิมพ์ 2 คาวิตี้ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งการปรับขนาดทางเข้าของน้ำพลาสติกให้มีความเหมาะสมเป็นอีกทางเลือก ซึ่งขนาดทางเข้าใหญ่ไม่ได้มีการไหลเติมเต็มของพลาสติกหลอมที่ดีเสมอไป หรือทางเข้าขนาดเล็กจะทำให้การไหลของพลาสติหลอมเหลวช้า แต่หากใช้การออกแบบการทดลองวิธีทางทูชิร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปจะสามารถทราบขนาดทางเข้าที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานนั้นๆ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่จะนำไปฉีดชิ้นงานจริง เหมาะสำหรับแม่พิมพ์สร้างใหม่ และแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นแล้ว ซึ่งต่างจากงานวิจัยของศุภชัย ดวงทองพล และชาคริต สุวรรณจำรัส [10] จะต้องสร้างชิ้นงานหลอกเพื่อปรับสมดุลเวลาในการเติมเต็มแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายและของเสียจากการสร้างชิ้นงานหลอก ในการปรับขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวจะใช้ค่าใช้จ่ายและเวลาน้อยกว่าการสร้างชิ้นงานหลอก และ Mohammed Yunus และคณะ [13] ใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ในการติดตามการดำเนินงาน และใช้เครื่องมือ ANOVA ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลดำเนินงาน แต่การทดสอบการไหลหากใช้ค่าคุณสมบัติเดิมก็จะได้ผลของการจำลองเดิม ซึ่งวิธีการทากูชิมีจำนวนการทดลองน้อยกว่า สามารถลดเวลาในการทดลองได้ วัชระ สุขเรืองกูล [14-18] ออกแบบการจำลองด้วยวิธีทากูชิ (Taguchi) และทำการจำลองพฤติกรรมการไหลของพลาสติกหลอมเหลวเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม แต่ใช้กับชิ้นงานคาวิตี้เดียว จึงไม่พบปัญหาชิ้นงานเติมเต็มไม่พร้อมกัน และใช้พลาสติกรีไซเคิลที่ควบคุมคุณสมบัติของพลาสติกได้ยากกว่าพลาสติกเม็ดใหม่ และนพพริษฐ์ วสันต์บังงิ้ม [19-21] จำลองการไหลแม่พิมพ์ฉีด 2 คาวิตี้ที่มีรูปทรงแตกต่างกันโดยควบคุมอัตราการไหลจากข้อมูลของผู้ผลิตพลาสติกเม็ดใหม่ แต่เวลาในการเติมเต็มทั้ง 2 คาวิตี้ ไม่พร้อมกัน เนื่องจากไม่มีไม่มีการนำขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลวมาใช้พิจารณา ซึ่งเป็นสาแหตุของการเกิดปัญหาในการฉีดชิ้นงานบางช็อตเกิดของเสียฉีดไม่เต็มจากเวลาเติมเต็มไม่พร้อมกันของแม่พิมพ์ 2 คาวิตี้ ที่มีรูปทรงแตกต่างกัน

ผลการผสาน CAD/CAE และวิธีทางทูชิ ในการหาค่าพารามิเตอร์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกพอลิโพรพิลีนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี้ กรณีศึกษา พลาสติกกล่องดินสอ พบว่าก่อนการผสาน CAD/CAE และวิธีทางทูชิ ค่าที่ได้จากโปรแกรมคือ น้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 35.41 กรัม เมื่อนำพารามิเตอร์ในการฉีดที่ได้ไปฉีดชิ้นงานจริงโดยไม่ได้แก้ไขแม่พิมพ์ฉีด ได้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 28.45 กรัม เนื่องจากชิ้นงานฉีดไม่เต็ม หลังจากการผสาน CAD/CAE และวิธีทางทูชิ โดยเพิ่มปัจจัยขนาดทางเข้าของพลาสติกหลอมเหลว พบว่าเมื่อนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปฉีดชิ้นงานจริงได้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 36.38 กรัม ชิ้นงานมีความสมบูรณ์ และเวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันของ 2 คาวิตี้จากเดิม 0.2953 วินาที ลดลงเหลือ 0.1332 วินาที สรุปได้ว่าการปรับปรุงขนาดทางเข้าของชิ้นงานส่งผลต่อความต่างของเวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันของกระบวนการฉีดด้วยแม่พิมพ์ฉีด 2 คาวิตี้ที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] Bryce DM. *Mold Tryouts and Optimizing the Injection Process*. Texas: IPLAS Publishers; 2016.

[2] Bryce DM. *Troubleshooting: A Guide for Injection Molders.* Karviná: Techtrax Publishers; 2001.

[3] Birley AW, Haworth B, Batchelor J. *Physics of Plastics : Processing, Properties and Materials Engineering*. New York: Carl Hanser Verlag GmbH & Co Publishers; 1992.

[4] Bryce DM. *Thermoplastic Trouble- shooting for Injection Molders*. United States: Society of Plastic Engineers; 1991.

[5] Somjate P. Defects in molded plastic parts: causes and solutions. *Kasetsart Engineering Journal.* 2009;22(69): 93-104.

[6] Jaeyoung K. Imbalance filling of multi- cavity tooling during powder injection molding. *Journal Powder Technology*. 2014;257: 124-131.

[7] Phichai Y. Guidelines for designing and constructing plastic injection molds using technology CAD/ CAE/ CAM. In: Kasetsart University *The 2008 Kasetsart University Academic Conference Architecture and Engineering Natural Resources and Environment Branch*. Bangkok: Kasetsart University; 2008. p.374-379.

[8] Supakit K. *The Study of Parameters Affecting the Quality of Plastic Injection Products by the Finite Element Method [Dissertation]* . Department of Master Engineering Faculty of Mechanical Engineering Srinakharinwirot University. Bangkok: Srinakharinwirot University; 2007.

[9] Hong-Seok P, Xuan-Phuong D. Development of a smart plastic injection mold with conformal cooling channels. *Procedia Manufacturing*. 2017;10: 48-59.

[10] Gnilitskyi I. Effects of anisotropic and isotropic LIPSS on polymer filling flow and wettability of micro injection molded parts. *Optics and Laser Technology.* 2022;158: 1-7.

[11] Wu T. Design optimization of plastic injection tooling for additive manufacturing. *Procedia Manufacturing*. 2017;10: 923-934.

[12] Supachai D, Chakrit S. Injection molding of plastic parts using The CAD / CAE method. *Research and development Edition Engineering Institute of Thailand Under the Royal Patronage of His Majesty the King*. 2018;22(69): 65-75.

[13] Yunus M. Optimizing the die design parameters of a two cavity injection moulding tool for a fan blade back cover using mold flow analysis. *International Journal in IT and Engineering.* 2015;3(6): 92-103.

[14] Watchara S, Jittiwat N, Noppharit W. Analysis shrinkage of recycle plastic injection molding by using Taguchi methodology. *Ubon Ratchathani University Engineering Journal.* 2017;12(2): 123-134.

[15] Watchara S. Flow analysis of plastic injection molds case studies of used polymeric methylene plastics. In: *North Eastern University 8th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2017*. Khon Kaen: Khon Kaen Print; 2017. p. 449-455.

[16] Watchara S. Flow analysis of plastic injection molds case studies of used polypropylene plastics. In: *Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference 2017*. Bangkok: Triple Group Co.,Ltd; 2017. p. 215-219.

[17] Watchara S. Analysis of the flow front and injection parameter of injection mold. case study of used Polypropylene (Saline bag). In: *Innovation and Technology Conference (ITC 2017)*. Bangkok: Sukhothai Thammathirat Open University; 2017. p. 359-364

[18] Watchara S. The study of the proper plastic injection process of recycled plastics that affect

shrinkage with finite element research methodology. Case study of recycled polypropylene plastic from the basket. *In: IE Network 2018. Ubon Ratchathani*. 2018. p. 770-775.

[19] Noppharit W. Flow analysis of plastic injection molds case studies of unused polypropylene plastics. *In: Innovation and Technology Conference (ITC 2017)* . Bangkok: Sukhothai Thammathirat Open University; 2017. p. 36 5-370

[20] Noppharit W. Study of the flow behavior of plastic injection molds to find the appropriate parameters of the new 1088 P grade polypropylene pellets for forming a pencil box. *In: Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference.* Songkhla: Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2018. p. 179-185.

[21] Noppharit W. Determination of the process parameters of polypropylene plastic injection with simulation methods forming case studies pencil box products. *In: IE Network 2018*. Ubon Ratchathani: Ubu Engineering Journal; 2018. p. 781-758.