

ผลของแม่พิมพ์แทรกที่สร้างจากการพิมพ์ 3 มิติ ต่อความเสถียรของขนาดชิ้นงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

Effect of 3D-printed Mold Insert on the Dimensional Stability of Injection Molded Parts

ภัคจิรา ศิริรัตน์บุญขจร และแคทลียา ปัทมพรหม

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพอลิเมอร์ชีวภาพและยางธรรมชาติ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

พัชรี ลาภสุริยกุล*, จารีนุช โรจน์เสถียร,

ณัฏชา ปรายามรมาส, ดำรงค์ ถนอมจิตร และสัญญา แก้วเกตุ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Pakjira Sirirutbunkajal and Cattaleeya Pattarmaprom

Center of Excellence on Biopolymer and Natural Rubber Technology,
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Patcharee Larpsuriyakul*, Jareenuch Rojsatean,

Natcha Prakymoramas, Dumrong Thanomjitr and Sanya Kaewket

National Metal and Materials Technology Center, Thailand Science Park,
Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพิมพ์ 3 มิติ ได้รับความนิยมในการสร้างชิ้นส่วนพลาสติกต้นแบบ แต่ชิ้นงานที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีสมบัติความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูป จึงมีความสนใจในส่วนการใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ สำหรับการสร้างแม่พิมพ์แทรก (mold insert, MI) โดยทั่วไป MI ทำจากเหล็ก จึงมีราคาแพงและใช้เวลาสร้าง MI นาน ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการสร้างแม่พิมพ์ งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ แบบ PolyJet โดยใช้วัสดุเรซินเหลวที่ไวต่อแสง (Digital ABS) มาสร้าง MI และพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน คือ พอลิโพรพิลีน (PP) โดยใช้แม่พิมพ์แทรกที่สร้างจากการพิมพ์ 3 มิติ (3DMIs) การฉีดขึ้นรูปที่สภาวะต่างกันและใช้วิธีทางทากุชิ (Taguchi

*ผู้รับผิดชอบบทความ : patcharl@mtec.or.th

method) ในการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ในการฉีด คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีด อุณหภูมิหลอมพลาสติก และเวลาที่ให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด ต่อความแม่นยำของขนาดชิ้นงาน พบว่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความกว้างและความยาวของชิ้นงานมากที่สุด คือ อุณหภูมิหลอมพลาสติก และพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความหนาของชิ้นงานมากที่สุด คือ เวลาที่ให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด แต่เมื่อฉีดชิ้นงานฝาศอบโดยนำสภาวะการฉีดจากวิธีทางทากุชิมาปรับเพื่อฉีดขึ้นรูปพบว่าชิ้นงานเกิดการหดตัวมากโดยเฉพาะด้านความหนา เนื่องจาก 3DMIs มีความร้อนสะสมระหว่างการฉีดขึ้นรูปสูงกว่าแม่พิมพ์เหล็ก ทั้งนี้เพราะ 3DMIs ไม่มีน้ำหล่อเย็นและการถ่ายเทความร้อนไม่ดีเท่าแม่พิมพ์เหล็ก ทำให้ชิ้นงานเย็นตัวช้าและเกิดผลึกมาก

คำสำคัญ : แม่พิมพ์แทรก; กระบวนการฉีดขึ้นรูป; การพิมพ์ 3 มิติ; PolyJet; วิธีทางทากุชิ

Abstract

3D printing has been well established for prototyping plastic parts. However, the 3D printed parts show mechanical properties lower than the real injection molded parts of the desired material. Therefore, there has been some interest in using 3D printing to produce plastic mold inserts. Conventionally, the mold inserts (MI) are made from steel, which are expensive and take long building time. Thus, the quality, cost, and lead time of the mold affect the economics of production, especially in the automotive industry. In this work, PolyJet 3D printing technology was applied to build MI using photopolymer resin (Digital ABS). Polypropylene (PP) was materials of interest to be injected into 3D-printed mold inserts (3DMIs) using different injection parameters. The parameters investigated here were injection speed, packing pressure, melt temperature, and mold cooling time. The experiments were designed by using the Taguchi method. It showed that the injection parameters affected the dimension of injected parts produced by using 3DMIs. It was found that the width and length of injected parts depended mainly on melt temperature. The thickness of injected parts depended mainly on mold cooling time. When producing real products by using the best combinations from Taguchi method, the products shrunk, especially the thickness because 3DMIs possessed bad heat transfer and had no cooling channel. The products had a higher degree of crystallinity than the products produced from the conventional mold with the cooling channel.

Keywords: mold insert; injection molding; 3D printing; PolyJet; Taguchi method

1. บทนำ

ปัจจุบันการแข่งขันทางการค้าของภาคอุตสาหกรรมมีสูงมาก ซึ่งกระบวนการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกคือ กระบวนการฉีดขึ้นรูป (injection molding) เพราะสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกได้จำนวนมากและมีลักษณะรูปร่างชิ้นงานที่

หลากหลาย โดยส่วนประกอบที่สำคัญของการฉีดขึ้นรูป คือ แม่พิมพ์ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน [1] โดยทั่วไปแม่พิมพ์และ MI ผลิตจากโลหะที่มีราคาต่างกันไปตามสมบัติของโลหะ และการกัดโลหะเพื่อสร้าง MI ต้องใช้เวลานาน รวมถึงทำให้หัวกัดของเครื่องกัดเกิดการสึกหรอเนื่องจากโลหะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก [2] หากต้องการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานจำนวนไม่มากหรือผลิตสินค้าเพื่อเป็นตัวอย่างให้ลูกค้าพิจารณา ก่อน การสร้างแม่พิมพ์จากเหล็กอาจไม่คุ้มค่า เนื่องจากทำให้ต้นทุนการผลิตสินค้าตัวอย่างสูง และอาจตอบสนองไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้า [3]

กระบวนการฉีดขึ้นรูปวิธีทางสถิติวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการออกแบบการทดลอง คือ วิธีทางทากุชิ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (best combination) ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติที่ต้องการดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้สามารถลดเวลา รายจ่าย และจำนวนการทดลองลง โดยใช้ orthogonal array เป็นตารางออกแบบการทดลอง เมื่อรู้จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาและระดับของค่าพารามิเตอร์ เพื่อนำไปสู่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับให้สมบัตินั้น ๆ ของชิ้นงานที่ดีที่สุดโดยใช้ค่า S/N ratio (signal to noise ratio) เพื่อแสดงถึงอิทธิพลและความสำคัญของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมบัตินั้น ๆ [4] ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำวิธีทางทากุชิมาใช้ในการกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกในการศึกษาพารามิเตอร์ในการฉีดเพื่อเพิ่มทั้งคุณภาพและปริมาณของชิ้นงาน ได้แก่ การลดร้อยละการหดตัว [5] การลดการบิดงอ [6] การเพิ่มสมบัติเชิงกลต่าง ๆ [7] เป็นต้น โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ล้วนใช้แม่พิมพ์เหล็กที่มีน้ำหล่อเย็นในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ (3D printing) หรือเทคโนโลยีการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (rapid prototyping, RP) ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับมากในปัจจุบัน ซึ่งเทคนิคของเทคโนโลยี

การพิมพ์ 3 มิติ ที่ได้รับนิยม คือ fuse deposition material (FDM), stereolithography (SLA) และ PolyJet [8] โดยเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ลง ซึ่งเทคนิคที่ได้กล่าวมานั้นเทคนิค PolyJet สามารถพิมพ์ชิ้นงานที่มีพื้นผิวเรียบที่สุดและใช้ระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานที่สั้น โดยให้ความละเอียดอยู่ที่ 20-80 ไมโครเมตร กระบวนการทำงานของเทคนิค PolyJet จะใช้แสงยูวีฉายเพื่อให้เรซินเหลวที่ไวต่อแสง (photopolymer) แข็งตัว โดยเนื้อของเรซินเหลวจะแข็งตัวแบบชั้นต่อชั้น (layer by layer) [9] ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิค PolyJet มาใช้ผลิตเป็นชิ้นงานเพื่อมาทดแทนชิ้นงานที่ฉีดได้จากเครื่องฉีด อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนต้นแบบที่ขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพผิวที่ไม่เหมือนกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งชิ้นงานที่ได้มีความหนาแน่นต่ำทำให้เสียรูปง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ และระยะเวลาในการตกแต่งผิวในขั้นตอนสุดท้ายที่ยาวนาน ซึ่งขึ้นกับขนาดและความซับซ้อนของชิ้นงาน [10] เมื่อนำไปใช้งานชิ้นงานไม่สามารถแสดงสมบัติที่แท้จริงได้เหมือนกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีด

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิค PolyJet ไปสร้าง MI เพื่อใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยใช้ 3DMIs ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งวัสดุที่ฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน คือ PP [3] อุณหภูมิบริเวณผิวของ MI ที่ใจกลางแม่พิมพ์ ซึ่งวัดอุณหภูมิระหว่างเวลาที่แม่พิมพ์ปิดและสัมผัสกับเทอร์โมมิเตอร์ มีความสอดคล้องกับการทำแบบจำลองจากคอมพิวเตอร์ พบว่าอุณหภูมิบริเวณพื้นผิว 3DMIs ของ Digital ABS คือ 46 °C เนื่องจาก Digital ABS มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ชนิดอื่น จึงต้องใช้เวลาในการผลิตต่อ

ชิ้นงาน (cycle time) เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ 3DMIs ที่สร้างจากวัสดุอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิค PolyJet มีอัตราการหดตัวของชิ้นงาน PP มากที่สุด เนื่องจากค่าการขยายตัวของวัสดุที่นำมาทำ 3DMIs ของ PolyJet มากที่สุด จึงส่งผลกับอัตราการหดตัวของชิ้นงานและการทำให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดผลึกมากขึ้นซึ่งเพิ่มอัตราการหดตัวของชิ้นงานมากขึ้น ส่วนอายุการใช้งานของแม่พิมพ์พบว่าแม่พิมพ์ที่ทำจาก PolyJet แม่พิมพ์เริ่มเกิดความเสียหายเมื่อผลิตชิ้นงานได้ 80 ชิ้น และเสียรูปอย่างสมบูรณ์เมื่อผลิตชิ้นงานได้ 116 ชิ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาผลของการปรับสภาวะในการฉีด เพื่อยืดอายุของ 3DMIs ต่อมามีการใช้เทคนิค PolyJet และวัสดุที่ใช้ทำ MI คือ Digital ABS และ FullCure 720 เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ทำ MI ซึ่งเป็นโลหะ P20 ด้วยการฉีดขึ้นรูปพลาสติกพอลิเอซีทาล (POM) พอลิคาร์บอเนต (PC) และ PP ใน MI แต่ละวัสดุ พบว่าลักษณะพื้นผิวชิ้นงานมีความขรุขระกว่าชิ้นงานที่ได้จาก MI ที่ทำจากโลหะ P20 ซึ่งเกิดจากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ แบบชั้นต่อชั้น อย่างไรก็ตามการเกิดผลึกของชิ้นงานมีค่าร้อยละการเกิดผลึกที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน อายุการใช้งานของ 3DMIs ที่ประเมินโดยใช้สแกนเลเซอร์ พบว่าการฉีดด้วยพลาสติก PC มีผลทำให้แม่พิมพ์เสียรูปมากที่สุด เนื่องจากสภาวะการฉีดขึ้นรูปพลาสติกตัวนี้มีความรุนแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปตัวอื่น ๆ ส่วนสมบัติเชิงกลของชิ้นงานต่าง ๆ พบว่าชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs ที่ทำจาก Digital ABS ส่วนมากมีค่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ต่ำกว่าชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ MI ที่ทำจากโลหะ P20 [11]

โดยยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาความเสถียรของขนาดชิ้นงานที่ผลิตได้หลังเก็บไว้เป็นเวลานาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและ

ความแม่นยำของขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs ที่ทำจากเทคนิค PolyJet และศึกษาพารามิเตอร์การฉีดที่มีความสำคัญ คือ ความเร็วฉีด (injection speed) ความดันฉีด (packing pressure) อุณหภูมิหลอมพลาสติก (melt temperature) และเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด (mold cooling time) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลต่อลักษณะและความแม่นยำของขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานจาก PP โดยใช้ 3DMIs ที่ใช้วิธีทางทฤษฎีช่วยในการวิเคราะห์พารามิเตอร์เหล่านี้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ

Digital ABS ได้จากการผสมระหว่างเรซินเหลวที่ไวต่อแสงเกรด RGD515 และเกรด RGD535 ภายในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยสมบัติของ Digital ABS แสดงในตารางที่ 1 เรซินเหลวที่ไวต่อแสงเกรด SUP705 ใช้ในการค้ำจุนโครงสร้างชิ้นงานหลัก (support) ที่ทำจาก Digital ABS เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูป เรซินเหลวที่ไวต่อแสงทั้ง 3 ชนิด ผลิตจากบริษัท Stratasys ส่วนพลาสติกที่ใช้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานคือ พอลิโพรพิลีน คอมพาวด์ เกรด TI311IT จากบริษัทแกรนด์ สยาม คอมโพสิต จำกัด โดยมีค่าดัชนีการไหล (melt flow index) คือ 30 กรัมต่อ 10 นาที

2.2 การพิมพ์ 3 มิติใช้ผลิต 3DMIs

การขึ้นรูป 3DMIs โดยเทคนิคการพิมพ์ 3 มิติ แบบ PolyJet ซึ่งใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Objet 500 connex 3 โดยเริ่มจากหัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จะอยู่มุมบนด้านซ้ายของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จากนั้นหัวฉีดจะหยุดเรซินเหลวที่ไวต่อแสงลงมาแล้วฉายแสงยูวีเพื่อให้วัสดุแข็งตัว (cured) โดยหัวฉีดเคลื่อนที่ในแนวระนาบ XY 1 ชั้น แล้วจะเคลื่อนที่มายังจุดเริ่มต้น

Table 1 The mechanical and thermal properties of Digital ABS

Properties	Units	Values	Standard test method (ASTM)
Tensile strength	MPa	55-60	D-638-03
Elongation at break	%	25-40	D-638-05
Flexural Strength	MPa	65-75	D-790-03
Flexural Modulus	MPa	1,700-2,200	D-790-04
HDT, °C @ 0.45MPa	°C	58-68	D-648-06
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment	°C	92-95	D-648-06
HDT, °C @1.82 MPa	°C	51-55	D-648-07
Izod Notched Impact	J/m	65-80	D-256-06
Shore Hardness (D)	Scale D	85-87	D-224
Polymerized density	g/cm ³	1.17-1.18	D-792

Table 2 The levels of the processing parameters for injection molding

Parameters	Levels		
	High (3)	Medium (2)	Low (1)
Injection speed (mm/s)	100	55	10
Packing pressure (bar)	350	300	250
Melt temperature (°C)	220	200	180
Mold cooling time (min)	2	1.5	1

เริ่มต้นและแผ่นเพลทสำหรับวางชิ้นงานจะลดระดับลง ในแนวแกน Z เพื่อให้หัวฉีดพิมพ์ชิ้นงานในชั้นถัดไป จนได้ชิ้นงาน 3DMIs ที่มีขนาด 40×95×12.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำ 3DMIs อบที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการอ่อนตัวของพลาสติก (heat distortion temperature, HDT) ให้กับชิ้นงาน แล้วจึงนำไปประกอบกับฐานแม่พิมพ์ (moldbase)

2.3 พารามิเตอร์ในการฉีดที่ศึกษา

การทดลองนี้มี 4 พารามิเตอร์ ที่สนใจในการศึกษา คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีด อุณหภูมิหลอมพลาสติก และเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด โดยแต่ละพารามิเตอร์จะมีค่า 3 ระดับ คือ ค่าสูง (3) ค่ากลาง (2) และค่าต่ำ (1) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 โดยทั่วไปเมื่อออกแบบการทดลองจะต้องทดลองทั้งหมดคือ 3⁴ หรือ 81 การทดลอง จึงนำวิธีทางทฤษฎีซึ่งเป็นวิธีทางสถิติวิธีหนึ่งเพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.4 หลักการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีทางทฤษฎี

นำพารามิเตอร์ในการฉีดและค่าระดับของพารามิเตอร์แต่ละตัวจากหัวข้อ 2.3 มาออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีทางทฤษฎี เพื่อหาสภาวะการฉีดที่เหมาะสมที่สามารถทำให้ได้ขนาดชิ้นงานพอดีกับขนาดของช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงาน (cavity) มากที่สุด (best combination) และสามารถแสดงถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อ

ขนาดของชิ้นงาน โดยหลักการของวิธีทางทากูชิเริ่มจากการพิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งอาจส่งผลกระทบและอาจทำความเสียหายให้กับ การทดลอง เพื่อทดลองเบื้องต้น (preliminary experiment) และพิจารณา ระดับ (level) ของพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 แล้วนำข้อมูลมาสร้างตารางการทดลองจาก orthogonal array selector ของวิธีทางทากูชิ ซึ่งระบุว่าในการประเมินด้วยวิธีนี้ต้องทำที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้ ระบุในตารางจำนวน 9 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 โดยใช้พารามิเตอร์ในการฉีดจากตารางที่ 2 ซึ่งในที่นี้แต่ละพารามิเตอร์ในการฉีดประกอบด้วยค่า 3 ระดับ ที่แทนด้วยตัวเลข 1 คือ ค่าต่ำ 2 คือ ค่ากลาง และ 3 คือ ค่าสูง [12]

เมื่อได้ชิ้นงานที่ฉีดด้วยสภาวะต่าง ๆ ทั้ง 9 สภาวะ (ตารางที่ 3) แล้วจึงนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติที่สนใจ ซึ่งในที่นี้สมบัติที่สนใจศึกษา คือ ขนาดของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปภายใน 3DMIs โดยผลการทดสอบได้ถูกนำมาประเมินในรูปของค่า signal to noise ratio (S/N ratio) และค่า S/N ratio เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากสมการการคำนวณค่า S/N ratio เป็นฟังก์ชันลอการิทึม โดยหลักการคำนวณค่า S/N ratio แบ่งเป็น

3 ชนิด คือ smaller the better, larger the better และ nominal the best [12] การทดลองนี้ต้องการขนาดชิ้นงานที่มีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดต่ำที่สุด จึงเลือกใช้สมการ smaller the better คือ สมการที่ (1) ดังนี้

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n (X_i)^2) \right) \quad (1)$$

เมื่อ X_i คือ สมบัติที่สนใจศึกษา โดยในที่นี้สมบัติที่สนใจศึกษา คือ ผลต่างของขนาดของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปภายใน 3DMIs (Y_i) เทียบกับขนาดของช่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงานของ 3DMIs (Y_0) หรือ $X_i = Y_i - Y_0$ และ n คือ จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ จากนั้นนำค่า S/N ratio มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางทากูชิ เพื่อหาสภาวะการฉีดและความสำคัญของพารามิเตอร์ในการฉีดที่มีผลต่อขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.5 การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกโดยใช้

3DMIs

การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมแสดงในรูปที่ 1 โดยนำ 3DMIs ไปประกอบกับฐานแม่พิมพ์แล้วมาประกอบกับเครื่องฉีด ARBURG ขนาด 150 ตัน

Table 3 The layout of L_9 (3^4) orthogonal array of the Taguchi method

Experiment No.	Injection speed	Packing pressure	Melt temperature	Mold cooling time
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	2
6	2	3	1	1
7	3	1	3	2
8	3	2	2	3
9	3	3	1	1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูกูล คือ 40 มิลลิเมตร โดยปรับพารามิเตอร์ในการฉีดที่สำคัญต่อ 3DMIs คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีด อุณหภูมิหลอมพลาสติก และเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 และควรล้างพลาสติกที่อยู่ภายในกระบอกลดทุก ๆ 20 นาที เนื่องจากเม็ดพลาสติกอาจมีการเสียสภาพหากอยู่ในกระบอกลดนานเกินไป เมื่อได้ชิ้นงานหลังปลดออกมาจาก 3DMIs แล้ววัดขนาดทันที (process-shrinkage) โดยในแต่ละสภาวะการฉีดจะวัดขนาดจำนวน 12 ชิ้น ต่อมาวัดขนาดชิ้นงานหลังฉีดอย่างน้อย 3 วัน (post-shrinkage) เมื่อได้สภาวะการฉีดที่แนะนำโดยวิธีทางทากุชิแล้ว นำสภาวะดังกล่าวมาฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานฝากรอบ โดยปรับสภาวะการฉีดดังกล่าวให้เหมาะสมกับการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานฝากรอบ และวัดขนาดชิ้นงานในส่วนของความยาวและความหนา ซึ่งจะวัดขนาดชิ้นงานฝากรอบหลังฉีดอย่างน้อย 3 วัน โดยในแต่ละสภาวะการฉีดจะวัดขนาดชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

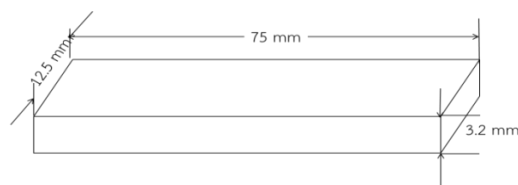


Figure 1 Rectangular specimen (flexural bar)

2.6 การหดตัวข้อชิ้นงาน

เมื่อได้ชิ้นงานที่ถูกปลดออกมาจาก 3DMIs แล้ววัดขนาดทันที โดยบันทึกค่าความกว้าง ความยาว และความหนา โดยวัดความยาวด้วยดิจิตอลเวอร์เนีย คาร์ลิปเปอร์ และวัดความกว้างและความหนาด้วยดิจิตอลไมโครมิเตอร์ จะวัด 3 บริเวณ ของความกว้าง ความยาว ความหนานั้น ๆ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดขนาดชิ้นงานหลังฉีดอย่างน้อย 3 วัน ทำเช่นเดียวกัน

กับการวัดขนาดชิ้นงานหลังปลดชิ้นงานออกจาก 3DMIs ทันที โดยการหาร้อยละการหดตัวของชิ้นงานได้จาก

$$S = (D_x - D_c) \cdot 100/D_c$$

โดย S แสดงถึงค่าร้อยละการหดตัว; D_x แสดงถึงขนาดของชิ้นงานฉีด และ D_c แสดงถึงขนาดของช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณผลึก

นำชิ้นงานฝากรอบในแต่ละสภาวะการฉีดจำนวน 1 ชิ้นเตรียมใส่ในเครื่อง Perkin Elmer (Diamond DSC) โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ การให้ความร้อนกับชิ้นงานรอบที่ 1 โดยอัตราการให้ความร้อน คือ 10 °C/min เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 220 °C แล้วลดอุณหภูมิลงโดยใช้อัตราการลดอุณหภูมิ คือ 10 °C/min แล้วให้ความร้อนกับชิ้นงานรอบที่ 2 โดยอัตราการให้ความร้อน คือ 10 °C/min เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 220 °C จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์มาคำนวณเป็นร้อยละปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน โดยสูตรการคำนวณร้อยละปริมาณผลึก คือ

$$\text{ร้อยละปริมาณผลึก} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0 \times C}$$

โดย ΔH_f คือ ค่าเอนทัลปีของตัวอย่าง PP ที่นำไปทดสอบ; หน่วย J/g, ΔH_f^0 คือ ค่าเอนทัลปีของ PP ที่มีผลึก 100 % หรือ 209 หน่วย J/g และ C คือ ร้อยละของปริมาณ PP ที่อยู่ในคอมพาวด์ [13]

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ลักษณะการหดตัวของชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยม

เมื่อฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 1 โดยชั่งมวลชิ้นงานทั้ง 9 การทดลอง 2.6-2.77 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04-0.28 ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่ากระบวนการฉีดนี้ให้น้ำหนักของชิ้นงานที่มีความสม่ำเสมอ ส่วนการวัดขนาดของชิ้นงานหลังปลดออกจาก 3DMIs ทันที (ตารางที่ 4) พบว่าความกว้างและความยาวมีการหดตัวและขยายตัวของชิ้นงาน 1-2 % เมื่อเปรียบเทียบกับช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงาน แต่ความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวถึง 8-10 % เมื่อเปรียบเทียบกับช่องแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นภายใน 3DMIs มีค่าน้อย (159-254 bar) ทำให้ความดันภายในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอที่จะดันเนื้อพลาสติกเหลวให้เต็มแม่พิมพ์ และในส่วนการวัดขนาดชิ้นงานหลังจากฉีด

แล้วอย่างน้อย 3 วัน (ตารางที่ 5) พบว่าชิ้นงานมีการหดตัวลงจากเดิมอีก 0.11-2.87 % เนื่องจากชิ้นงานเย็นตัวอย่างช้า ๆ โดยใช้อุณหภูมิแวดล้อม ลักษณะชิ้นงานที่ฉีดได้โดยใช้พารามิเตอร์ของการฉีดในระดับต่ำ (1) มีการเอนของชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ระนาบเนื่องจากมีความดันเฉลี่ยสูงสุดภายในแม่พิมพ์น้อย ทำให้ไม่สามารถดันเนื้อพลาสติกให้ผิวชิ้นงานตึง แต่เมื่อใช้พารามิเตอร์ของการฉีดระดับที่สูงขึ้น ทำให้ 3DMIs มีความดันเฉลี่ยสูงสุดภายในแม่พิมพ์มาก ทำให้ชิ้นงานเกิดครีบเร็วและทำให้ 3DMIs เสียรูปได้เร็ว ส่งผลต่อลักษณะและขนาดของชิ้นงานที่ฉีดในครั้งต่อไป

Table 4 The process-shrinkage and their S/N ratio values of flexural bar produced using 3DMIs

Experiment No.	Injection speed	Packing pressure	Melt temperature	Mold cooling time	Shrinkage			S/N ratio values		
					width (%)	length (%)	thickness (%)	width	length	thickness
1	1	1	1	1	1.46	0.10	-8.38	14.51	22.28	11.44
2	1	2	2	2	-0.94	-0.73	-11.57	18.24	5.09	8.28
3	1	3	3	3	-0.19	-0.11	-15.57	32.39	21.50	5.57
4	2	1	2	3	-0.35	-0.69	-9.46	26.72	5.52	10.19
5	2	2	3	2	-0.17	-0.35	-7.49	33.12	11.51	12.89
6	2	3	1	1	1.87	-0.14	-6.93	12.36	19.30	12.86
7	3	1	3	2	0.69	-0.45	-14.13	20.93	9.27	6.57
8	3	2	2	3	-1.05	-0.15	-9.47	17.24	18.64	10.04
9	3	3	1	1	1.53	-0.57	-5.11	14.01	7.22	15.80

Table 5 The post-shrinkage and their S/N ratio values of flexural bar produced using 3DMIs

Experiment No.	Injection speed	Packing pressure	Melt temperature	Mold cooling time	Shrinkage			S/N ratio values		
					width (%)	length (%)	thickness (%)	width	length	thickness
1	1	1	1	1	1.12	-0.01	-8.86	16.83	42.34	10.96
2	1	2	2	2	1.51	-0.55	-9.82	14.13	7.59	9.71
3	1	3	3	3	-0.44	-0.38	-16.83	24.96	10.65	4.89
4	2	1	2	3	-0.91	-0.92	-10.62	18.52	3.00	9.18
5	2	2	3	2	-0.40	-0.63	-9.35	25.68	6.32	10.96
6	2	3	1	1	1.26	-0.35	-9.53	15.75	11.34	10.09
7	3	1	3	2	0.47	-0.73	-13.18	24.26	5.08	7.18
8	3	2	2	3	0.03	-0.20	-9.97	47.78	16.35	9.59
9	3	3	1	1	0.72	-0.72	-8.39	20.56	5.19	11.50

3.2 การวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ในการฉีดที่มีผลต่อขนาดของชิ้นงาน

เมื่อฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมโดยใช้ 3DMIs แล้ววัดขนาดชิ้นงานในด้านต่าง ๆ เรียบร้อย จะนำค่าที่วัดได้ในด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการฉีดต่อค่า S/N ratio ของขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs ซึ่งค่า S/N ratio ที่สูงแสดงถึงความสำคัญของพารามิเตอร์ในการฉีดที่ต้องควบคุมค่าให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่มีความใกล้เคียงกับช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงานมากที่สุด ซึ่งรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่มีผลต่อขนาดชิ้นงานหลังปลดออกจาก 3DMIs มากที่สุด คือ อุณหภูมิหลอมพลาสติก โดยใช้อุณหภูมิที่สูงทำให้ขนาดความกว้างของชิ้นงานใกล้เคียงกับช่องแม่พิมพ์มากที่สุด เพราะเมื่อใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกที่สูง ทำให้พลาสติกเหลวไหลง่ายและเต็มในส่วนความกว้างของชิ้นงานได้ดี ในขณะที่ความยาวชิ้นงานขึ้นกับอุณหภูมิหลอมพลาสติกมากที่สุดเช่นกัน แต่กลับพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่ต่ำส่งผลให้ขนาดความยาวของชิ้นงานใกล้เคียงกับขนาดของช่องแม่พิมพ์มากที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกสูงจะทำให้ความหนืดของ PP ลดลงและเมื่อเกิดแรงดันภายใน 3DMIs จะทำให้เนื้อพลาสติกไหลเร็วและมีแรงไปอัด 3DMIs ทำให้ขนาดชิ้นงานในส่วนของความยาวเกิดครีบ และในการฉีดครั้งถัดไปทำให้ขนาดของความยาวเปลี่ยนไป ส่วนพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความหนาชิ้นงานคือเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัว โดยใช้เวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวในเวลาที่สั้นที่สุดก่อนเริ่มฉีดครั้งต่อไปจะทำให้ความหนาของชิ้นงานที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดช่องของแม่พิมพ์ที่มากที่สุด เพราะการปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวในระยะเวลาอันสั้น ทำให้ตัว 3DMIs ยังมีอุณหภูมิสูงทำให้พลาสติกเหลวมีเวลาในการไหลไป

เต็มในส่วนของความหนาจนเต็มช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงานได้

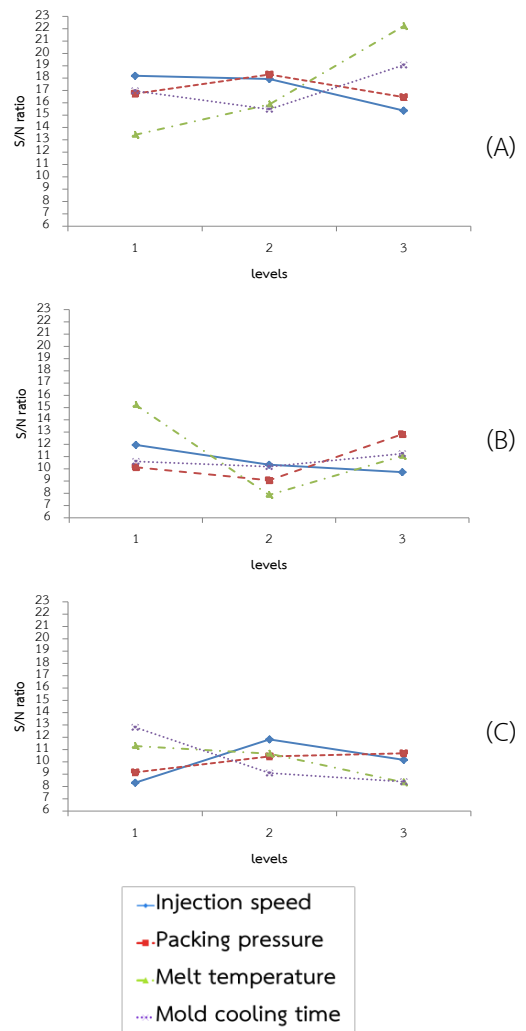


Figure 2 The effect of processing parameters on process-shrinkage in width (A), length (B) and thickness (C)

เมื่อชิ้นงานถูกปล่อยทิ้งไว้หลังจากถอดจากแม่พิมพ์พบว่าขนาดของชิ้นงานมีการหดตัวลงอีก และชิ้นงานต้องนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ทำให้ขนาดชิ้นงานที่นำมาพิจารณาเพื่อใช้ประเมินพารามิเตอร์ในการฉีดจึงควรเป็นขนาดชิ้นงานที่ปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย

3 วัน เพื่อคลายความเค้นออกจากชิ้นงานให้หมด เมื่อนำผลของขนาดชิ้นงานมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแสดงในรูปที่ 3 พบว่าอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการฉีดที่มีผลต่อขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปด้วย 3DMIs ที่ฉีดทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน นั้นมีอิทธิพลของพารามิเตอร์หลักและค่าของพารามิเตอร์ในการฉีดหลักเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีของขนาดชิ้นงานหลังปลดออกมาจาก 3DMIs ทันที

การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีทางทฤษฎีในการศึกษาสภาวะการฉีดที่ส่งผลต่อขนาดชิ้นงานหลังปลดออกมาจาก 3DMIs ทันทีและขนาดชิ้นงานที่ปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน สามารถสรุปเป็นสภาวะการฉีดที่เหมาะสมต่อความกว้าง ความยาวและความหนาของชิ้นงานดังตารางที่ 6

3.3 การวิเคราะห์การหดตัวของชิ้นงานฝาค

กรอบ

สภาวะการฉีดขึ้นรูปที่ให้ขนาดชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมใกล้เคียงกับช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปมากที่สุด โดยวิธีทางทฤษฎีได้แนะนำไว้ในตารางที่ 6 ได้นำสภาวะการฉีดดังกล่าวมาฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานฝาคกรอบโดยมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการฉีดบางตัวเพื่อให้เหมาะสมกับการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานฝาคกรอบ สภาวะการฉีดที่วิธีทางทฤษฎีได้แนะนำอุณหภูมิหลอมพลาสติก คือ 180 และ 220 °C แต่หากใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกที่สูงเกินไปจะทำให้ชิ้นงานที่ฉีดได้เกิดครีบ ทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิหลอมพลาสติกไว้ที่ 180 °C และสภาวะการฉีดที่วิธีทางทฤษฎีได้แนะนำเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวคือ 1 และ 2 min แต่เมื่อฉีดขึ้นรูปชิ้นงานฝาคกรอบพบว่าต้องใช้เวลาในการถอดและประกอบแม่พิมพ์แทรกเล็ก ๆ จึงต้องควบคุมเวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวเป็น 1.5 min ทำให้การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานฝาคกรอบมีการปรับพารามิเตอร์ในการฉีด 2 ตัว คือ ความเร็วฉีดและความดันฉีด โดยปรับค่า

ความเร็วฉีด คือ 10 และ 55 mm/s ค่าความดันฉีด คือ 300 และ 350 bar เมื่อศึกษาผลของขนาดชิ้นงานโดยไม่วัดขนาดของความกว้างชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณบริเวณความกว้างมีส่วนเว้าและส่วนโค้งที่ไม่สม่ำเสมอ จึงไม่สามารถใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์วัดขนาดพบว่าความยาวของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs ดัง

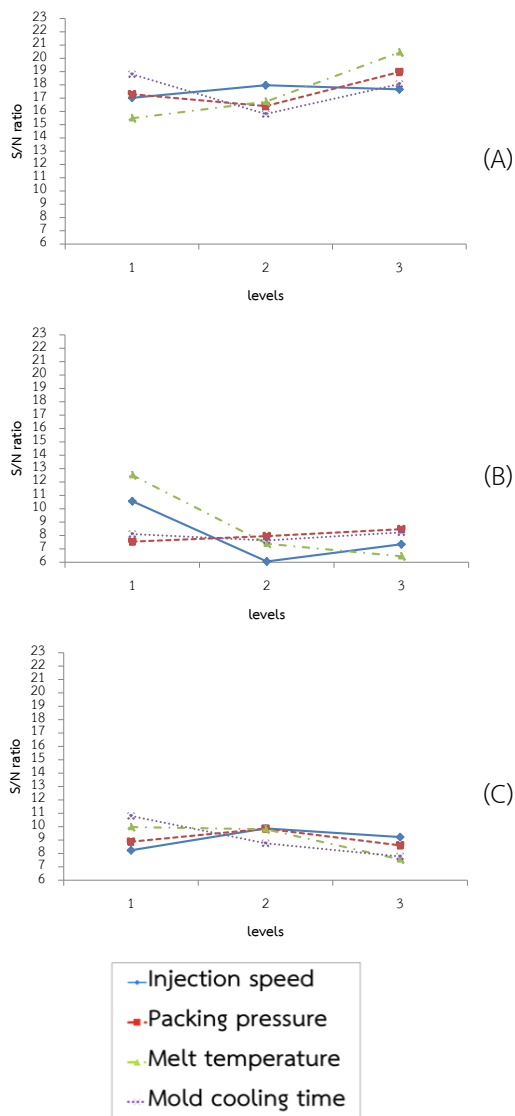
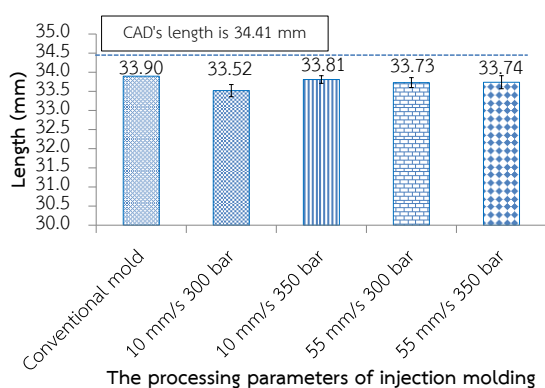


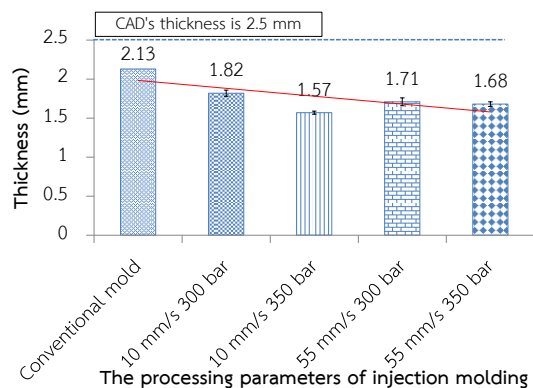
Figure 3 The effect of processing parameters on post-shrinkage in width (A), length (B) and thickness (C)

Table 6 The best combinations of processing parameters from regression analysis of flexural bar produced using 3DMIs

Best combinations	Processing parameters			
	Injection speed (mm/s)	Packing pressure (bar)	Melt temperature (°C)	Mold cooling time (min)
In case of process-shrinkage				
width (mm)	10	300	220	2
length (mm)	10	350	180	2
thickness (mm)	55	350	180	1
In case of post-shrinkage				
width (mm)	55	350	220	1
length (mm)	10	350	180	2
thickness (mm)	55	300	180	1



(A)



(B)

Figure 4 The dimension of handle cover parts produced using 3DMIs in length (A) and thickness (B)

แสดงในรูปที่ 4A มีขนาดลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์เหล็กที่มีน้ำหล่อเย็น ซึ่งเป็นขนาดความยาวที่ยอมรับได้ ส่วนความหนาของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs แสดงในรูปที่ 4B มีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์เหล็กที่มีน้ำหล่อเย็นมาก และยังให้ค่าความเร็วฉีดและความดันฉีดที่สูงทำให้ขนาดความ

หนามีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะสภาวะการฉีดที่ใช้ความเร็วฉีด 10 mm/s รวมกับความดันฉีด 350 bar ที่ให้ขนาดความหนาชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิพื้นผิวของ 3DMIs ที่วัดได้นั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 10 °C จากสภาวะการฉีดที่ใช้ความเร็วฉีด 10 mm/s รวมกับความดันฉีด 300 bar

ซึ่งขนาดความหนาของชิ้นงานฝาครอบ ดัง

รูปที่ 4 (B) มีแนวโน้มสัมพันธ์กับปริมาณผลึกในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วฉีดและความดันฉีดทำให้ขนาดความหนาของชิ้นงานลดลงแต่ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี คือ การเพิ่มค่าความเร็วฉีดและความดันฉีดให้สูงขึ้น ทำให้เนื้อพอลิเมอร์ที่ไหลเข้า 3DMIs มีความร้อนสูงขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานสูงและใช้เวลาในการเย็นตัวนาน จึงมีเวลาในการเกิดผลึกมาก ทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวสูงตามไปด้วย ส่วนการหดตัวในด้านความหนาที่เห็นชัดเจนกว่าด้านความยาวนั้น คาดว่าเนื่องจากด้านความยาวเป็นแนวสมมาตรที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามด้านความยาวมากนัก ขณะที่ด้านความหนาเป็นด้านที่มีพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนมากและมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในด้านความหนาที่มาก นอกจากนี้การหดตัวของชิ้นงานในการทดลองนี้มาจากการใช้พอลิเมอร์ที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นพอลิเมอร์แบบกึ่งผลึก และ 3DMIs ไม่มีน้ำหล่อเย็น และวัสดุที่ใช้ทำ 3DMIs เป็นเทอร์โมเซตซึ่งถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเท่าแม่พิมพ์เหล็ก จนมีผลทำให้อุณหภูมิภายใน 3DMIs มีอุณหภูมิสะสมสูงขึ้น ทำให้ชิ้นงานที่ฉีดออกมามีความร้อนสูง เมื่อวางไว้ที่อุณหภูมิห้องต้องใช้เวลาในการเย็นตัว ส่งผลให้ชิ้นงานหดตัวมาก แต่หากใช้แม่พิมพ์ที่เป็นโลหะและมีน้ำหล่อเย็น จะใช้เวลาสั้นในการเย็นตัวของชิ้นงานทำให้โครงสร้างพอลิเมอร์ไม่มีเวลาพอหรือมีเวลาน้อยในการจัดเรียงตัวเป็นผลึก ทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวต่ำ

4. สรุป

การศึกษาขนาดชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้ 3DMIs ที่ไม่มีน้ำหล่อเย็น เมื่อวัดขนาดของชิ้นงานหลังปลดออกจาก 3DMIs พบว่าความกว้างและความยาวมีการหดและขยายตัวของชิ้นงาน 1-2 % และความหนาของชิ้นงานมีการหดตัวถึง 8-10 % จากช่องแม่พิมพ์ที่ใช้ 3DMIs ในการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อวัดขนาดหลังจาก

ฉีดอย่างน้อย 3 วัน พบว่าขนาดของชิ้นงานมีการหดตัวลงจากเดิมอีก 0.11-2.87 % เมื่อใช้วิธีทางทากุชิในการหาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความแม่นยำของขนาดชิ้นงาน พบว่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความกว้างและความยาวมากที่สุด คือ อุณหภูมิหลอมพลาสติก และพารามิเตอร์ในการฉีดที่ส่งผลต่อความหนามากที่สุด คือ เวลาที่ปล่อยให้ 3DMIs เย็นตัวก่อนฉีด และเมื่อปรับใช้สภาวะการฉีดจากวิธีทางทากุชิเพื่อฉีดขึ้นรูปชิ้นงานผาครอบโดยใช้ 3DMIs พบว่าชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์เหล็กและน้ำหล่อเย็น โดยเฉพาะในส่วนของความหนา เนื่องจากการใช้ค่าความเร็วฉีดและความดันฉีดที่สูงขึ้นและ 3DMIs มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำและไม่มีน้ำหล่อเย็น ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายใน 3DMIs จึงทำให้เกิดผลึกในชิ้นงานมากขึ้น

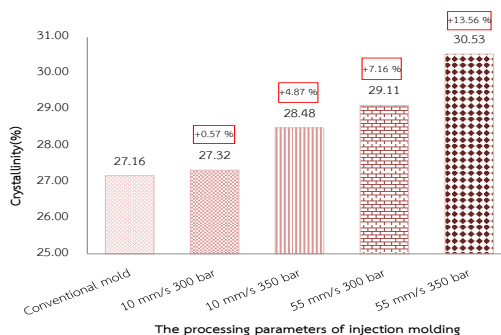


Figure 5 Percentages of crystallinity of handle cover parts

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และบริษัท ที เอส อินเตอร์ชีตส์ จำกัด และทุนวิจัยได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากร เพื่อการวิจัยและ

พัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรม (STEM Workforce)

6. References

- [1] Rosato, D.V., and Rosato, M.G., 2012, Injection Molding Handbook, Springer Science & Business Media, New York.
- [2] Amaya, H.E., Hills V. and Crounse, D.K., 2002, Method for the Rapid Fabrication Mold Inserts, US 2002/0187065.
- [3] Mendible, G.A., Rulander, J.A. and Johnston, S.P., 2017, Comparative study of rapid and conventional tooling for plastics injection molding, Rapid Prototyping J. 23: 344-352.
- [4] Kashyap, S. and Datta, D., 2015, Process parameter optimization of plastic injection molding: a review, Int. J. Plast. Technol. 19: 1-18.
- [5] Altan, M., 2010, Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods, Mater. Des. 31: 599-604.
- [6] Erzurumlu, T. and Ozcelik, B., 2006, Minimization of warpage and sink index in injection- molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method, Mater. Des. 27: 853-861.
- [7] Ozcelik, B., 2011, Optimization of injection parameters for mechanical properties of specimens with weld line of polypropylene using Taguchi method, Int. Comm. Heat Mass Transfer. 38: 1067-1072.
- [8] Bak, D., 2003, Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry towards the latter, Assembly Automat. 23: 340-345.
- [9] Garden, J., 2016, Additive manufacturing technologies: State of the art and trends, Int. J. Prod. Res. 54: 3118-3132.
- [10] Coon, C., Pretzel, B., Lomax, T. and Strlič, M., 2016, Preserving rapid prototypes: A review, Herit. Sci. 4.1: 40.
- [11] Nelson, J.W., LaValle, J.J., Kautzman, B.D., Dworshak, J.K., Johnson, E.M. and Ulven, C. A., 2017, Injection Molding with an additive manufacturing tool, Plast. Eng. 73: 60-66.
- [12] Knukua, A., 2007, Injection Molding Quality Improvement by Taguchi Method, Thammasat University, Pathum Thani.
- [13] Du, M., Guo, B., Wan, J., Zou, Q. and Jia, D., 2010, Effects of halloysite nanotubes on kinetics and activation energy of non-isothermal crystallization of poly propylene, J. Polym. Res. 17:109-118.