

การศึกษาอิทธิพลการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด

ปรมินทร์ มาปากจั่น^{1,*}, สถาพร ชาดาคม²

^{1,2}ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 31 March 2021

Revised: 5 March 2022

Accepted: 12 May 2022

บทคัดย่อ

การฉีดขึ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเล็กและซับซ้อนมักเกิดปัญหาในบริเวณที่แคบและเล็กมาก เช่น สันคريبคม ส่วนปลายแหลม เนื่องจากเนื้อพลาสติกจะเข้าไม่ถึง ทำให้ชิ้นงานเกิดตำหนิ งานฉีดไม่เต็ม (Short shot) ทำให้ชิ้นงานถูกปฏิเสธ (Reject) ในที่สุด ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการประยุกต์ใช้การสร้างระบบสุญญากาศให้เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลการอัดของอากาศและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกหลอมเหลวในรูปทรงต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการฉีดแบบปกติกับการฉีดแบบมีระบบสุญญากาศเข้ามาช่วย โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุพลาสติกเกรด PBT และ PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ใช้ชิ้นงานทดลองเป็นชิ้นงานพลาสติกที่มีคريب (Rib) และส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ขนาดเล็ก ภายใต้เงื่อนไขการฉีดเดียวกัน ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าการใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในกระบวนการฉีดนั้นสามารถช่วยให้พลาสติกเหลวสามารถไหลตัวได้ดีกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ สูงสุด 2.11%

คำสำคัญ: การฉีดขึ้นงานพลาสติก ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม ระบบสุญญากาศ เส้นใยแก้ว

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: poramin.soy8@gmail.com

Influence of Polymer Fluidity Using Vacuum Assisted Injection Process

Poramin Mapakjun^{1,*}, Sathaporn Chatakom²

^{1,2}Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Received: 31 March 2021

Revised: 5 March 2022

Accepted: 12 May 2022

Abstract

Injection molding of small and complex products is often a problem in injection because, in very narrow and very small areas, such as the sharp end of the workpiece (sharp burrs), the plastic melt cannot enter the cavity or short shot. Finally, the product was rejected. Researchers have studied and applied vacuum ventilation for removing air from the mold cavity. This research investigated the effects of compressed air and examined the dynamics of molten plastics in different shapes to compare between normal injection and vacuum-assisted injection and observe the behavior of the plastic flow in various shapes that can help reduce the compressed air trapped in the mold cavity. By selecting materials, plastic grades PBT and PBT, mixed with fiberglass 30% and using a plastic specimen with a Rib and Boss (small size) under the same injection conditions comparison between conventional injection and vacuum-assisted injection. The results of the experiment show that the use of a vacuum system to assist in the molding process injection process allows plastics to flow better than conventional injection molding up to 2.11%.

Keywords: Injection Molding, Short Shot, Vacuum, Fiberglass

* Corresponding Author; E-mail: poramin.soy8@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชิ้นงานพลาสติกถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากในยุคปัจจุบัน เนื่องจากว่าชิ้นงานพลาสติกถูกพัฒนาให้มีความแข็งแรง ทน และมีสีสันสดใส ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อแทนที่ชิ้นส่วนบางชิ้นที่ทำจากโลหะได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านคุณสมบัติและหน้าที่การทำงาน หรือในบางครั้งหากมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความสามารถของโลหะ เช่น การนำไฟฟ้า การส่งถ่ายพลังงาน ก็ยังสามารถผสมผสานพลาสติกให้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานได้อย่างลงตัว และหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คือ กระบวนการฉีดขึ้นงานด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกได้อย่างหลากหลาย

การฉีดขึ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเล็กและซับซ้อนมักเกิดปัญหาในการฉีด คือ ในบริเวณที่แคบและเล็กมาก ส่วนสั้นคريبคม ส่วนปลายแหลม เนื้อพลาสติกจะเข้าไม่ถึง ทำให้ชิ้นงานเกิดตำหนิ งานฉีดไม่เต็ม (Short shot) ทำให้ชิ้นงานถูกปฏิเสธ (Reject) ในที่สุด

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำระบบสุญญากาศ (Vacuum) เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติก โดยตั้งข้อสงสัยว่าถ้าหากในแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานนั้นไม่มีอากาศอยู่ ย่อมจะทำให้เนื้อพลาสติกที่มีแรงดันสูงสามารถเข้าไปเติมเต็มได้อย่างเต็มที่โดยปราศจากการอื่นอากาศในจุดที่เป็นจุดอับที่มักเกิดปัญหา เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า และออกแบบการทดลองเพื่อหาข้อสรุป โดยการออกแบบชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นคريبขนาดเล็ก และเป็นแท่งขนาดเล็กที่มีความสูงไม่เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบหาข้อแตกต่างและฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ เปรียบเทียบกับการฉีดโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum) เข้ามาช่วยในกระบวนการฉีด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการไหลตัวของน้ำพลาสติกผ่านช่องที่มีขนาดเล็กของสันคريب (Rib) และส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss)
2. เพื่อศึกษาความแตกต่างของกระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum) ช่วยกับการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบปกติ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อออกแบบการวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาจากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Brouwer, Van Herpt and Labordus (2003) ศึกษาการฉีดขึ้นรูปสุญญากาศสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยนำเอาระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) และมีการใช้ซอฟต์แวร์จำลองการไหลของเรซินเข้ามาช่วย มีการอธิบายตัวอย่างสองตัวอย่างของการพัฒนาที่ประสบความสำเร็จของการใช้งานระบบ VARTM กับชิ้นงาน การขึ้นรูปใบพัดของกังหันลม ขนาด 20 เมตร และการขึ้นรูปลำเรือของเรือยอชท์ที่มีความยาว 16 เมตร ได้ข้อสรุปว่าเทคนิค Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) สามารถผลิตชิ้นส่วนคอมโพสิตที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ซับซ้อน ให้มีคุณภาพสูง มีปริมาณโพรงอากาศต่ำ และปริมาณเส้นใยสูง Bender, Schuster, and Heider (2006) ศึกษาการควบคุมอัตราการไหลระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเรซิน

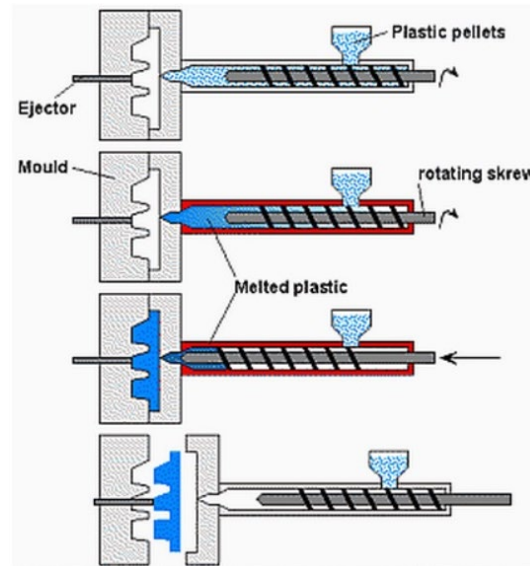
โดยใช้ระบบสุญญากาศ (VARTM) โดยจะศึกษากระบวนการควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการ Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) พบว่าระบบได้รับการปรับให้เหมาะสมที่สุดโดยใช้การจำลองการไหลเสมือน (LIMS) และได้คำนวณขีดจำกัดทางกายภาพของระบบดังกล่าว ตัวควบคุมอัตราการไหลสามารถควบคุมอัตราการไหลคงที่ได้สำเร็จ เมื่อปรับเปลี่ยนค่าการซึมผ่านและค่าความหนืด

Layluck (2013) ศึกษาเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ซึ่งมีการกล่าวถึงเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร รวมไปถึงระบบการควบคุมคุณภาพขึ้นงานขนาดไมโคร ซึ่งเทคโนโลยีการฉีดพลาสติกขนาดไมโครได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าทั้งในด้านเครื่องฉีด แม่พิมพ์และอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพ การฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร เป็นขึ้นงานที่ต้องการความชำนาญพิเศษเพราะงานมีความละเอียด และต้องใช้เครื่องฉีดและแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งแตกต่างจากการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบทั่วไป Sorgato et al. (2016) ศึกษาการตรวจสอบอิทธิพลของการใช้ระบบสุญญากาศบนพื้นผิวแม่พิมพ์ในการฉีด ขึ้นรูปขึ้นงานขนาดเล็ก (Micro injection moulding) โดยประยุกต์ใช้การระบายอากาศแบบสุญญากาศสำหรับการกำจัดอากาศออกจากโพรงแม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปโดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฉีดขึ้นงานแบบไมโคร/นาโน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการคายอากาศจะขจัดผลกระทบของความร้อนที่พื้นผิวแม่พิมพ์ที่เกิดจากการบีบอัดอากาศอย่างรวดเร็วก่อนหน้าการไหลและการนำความร้อนนั้นเข้าสู่ผิวแม่พิมพ์ในเวลาต่อมา ดังนั้นด้วยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรในโพรงขนาดเล็ก การคายอากาศจึงส่งผลเสียต่อโพรงที่มีพอลิเมอร์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแม่พิมพ์ Zhanga et al. (2018) ศึกษาความสมบูรณ์ของการจำลองแบบของคุณสมบัติขนาดเล็กโดยใช้การฉีดขึ้นรูปจุลภาคแบบแปรผันและสุญญากาศช่วย (Replication integrity of micro features using variotherm and vacuum assisted microinjection molding) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอาจมีผลเสียต่อการจำลองคุณลักษณะขนาดเล็กหากทำให้ความดันโพรงลดลงและอุณหภูมิด้านหน้าของการไหลจะลดลงแม้ว่าอุณหภูมิส่วนต่อประสานน้ำพลาสติกจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า ระบบสุญญากาศนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการฉีดได้จริง และได้ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการฉีดพลาสติก

พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือผงในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลียวหนอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์ที่หล่อเย็นอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัวสามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งขณะที่พลาสติกแข็งตัวก่อนเปิดแม่พิมพ์จะทำการหมุนเกลียวหนอนพร้อมทั้งถอยหลังเพื่อหลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการฉีดพลาสติก (Kasemplastic, 2019)

ข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก

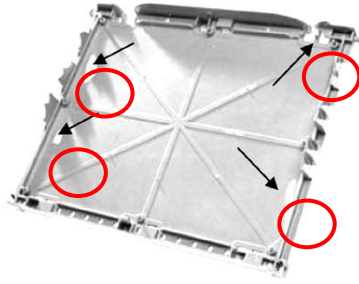
ข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดในการฉีดขึ้นรูปคือ ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบทุกครั้งในขั้นตอนแรกของการฉีดขึ้นรูป เพื่อการปรับตั้งปริมาณการฉีดหรือระยะการฉีด (Shot size) ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากปัญหาดังกล่าวยังคงเกิดขึ้น ทั้งที่ได้ทำการตั้งปริมาณการฉีดที่เหมาะสมแล้ว

แนวทางการปรับตั้งค่าที่เครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่

1. เพิ่มอุณหภูมิฉีดของพลาสติกหลอมเหลว (Injection temperature)
2. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีด (Mold temperature)
3. เพิ่มความดันในการฉีด (Injection pressure)
4. เพิ่มความเร็วในการฉีด (Injection speed)
5. เพิ่มความดันต้านการหมุนถอยหลังกลับของสกรู (Back pressure)
6. ตรวจสอบการสึกหรอของแหวนกันไหลย้อนกลับ (Non-return valve)

แนวทางการปรับแก้ที่แม่พิมพ์ฉีด

1. เพิ่มขนาดและ/หรือลดความยาวของช่องทางวิ่ง (Runner)
2. เพิ่มตำแหน่งและขนาดของช่องทางเข้า (Gate)
3. หากเป็นไปได้ควรปรับขนาดความหนาของชิ้นงาน (Wall thickness) ให้มีความหนาเพิ่มมากขึ้น
4. ตรวจสอบขนาดและตำแหน่งของช่องระบายอากาศ (Venting) ว่าเพียงพอหรือไม่



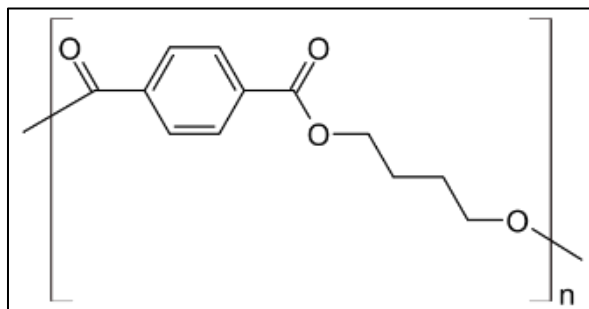
ภาพที่ 2 ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบ (Patcharapan, 2009)

ระบบสุญญากาศ (Vacuum)

ระบบสุญญากาศ คือ ปริมาตรของช่องว่างซึ่งไม่มีสสารอยู่ภายใน เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมากๆ ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าสุญญากาศสมบูรณ์ (Perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สุญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์มักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสุญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่าสุญญากาศแทนสุญญากาศสมบูรณ์ (Wikipedia Free Encyclopedia, 2019)

พลาสติกพอลิบูทีลีน เทเรฟทาเลต (Polybutylene Terephthalate, PBT)

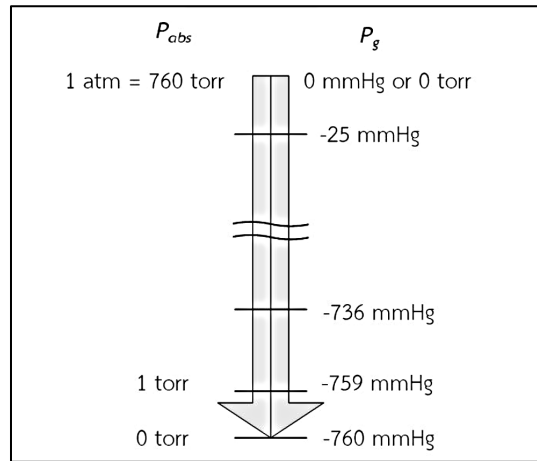
Polybutylene terephthalate (PBT) มีสูตรทางเคมี คือ $[C_{12}H_{10}O_4]$ ดังแสดงในภาพที่ 3 มีจุดหลอมเหลว $223\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นพอลิเมอร์ชนิดกึ่งผลึก มีความทนทานต่อตัวทำละลาย มีการหดตัวน้อยมาก ในระหว่างการขึ้นรูปมีความแข็งแรงทางกล ทนความร้อนสูงถึง 150 องศาเซลเซียส (หรือ 200 องศาเซลเซียส ด้วยการเสริมแรงด้วยใยแก้ว) และสามารถทนต่อสารหน่วงไฟได้ ทำให้ไม่เกิดการระคายเคือง



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PBT (Wikipedia Free Encyclopedia, 2021)

การวัดแรงดันในช่วงความดันสุญญากาศ

ทอร์ (Torr) หรือ มิลลิเมตรปรอท (mmHg) คือ หน่วยวัดความดัน (Pressure) ในระบบเอสไอ ตั้งตามชื่อสกุลของ ออวันเจลิस्ता โตร์ริเชลลี (Evangelista Torricelli) นักวิทยาศาสตร์ผู้คิดค้นบารอมิเตอร์ (Barometer) โดยหน่วยความดันนี้นิยมใช้กับค่าความดันสุญญากาศ (Vacuum) สูงๆ ซึ่ง “1 Torr = 1 mmHg” “1 บรรยากาศ (1 atm) = 760 Torr” และ “1 ทอร์ เท่ากับประมาณ 133.322 ปาสคาล (Pa)” ดังแสดงในภาพที่ 4

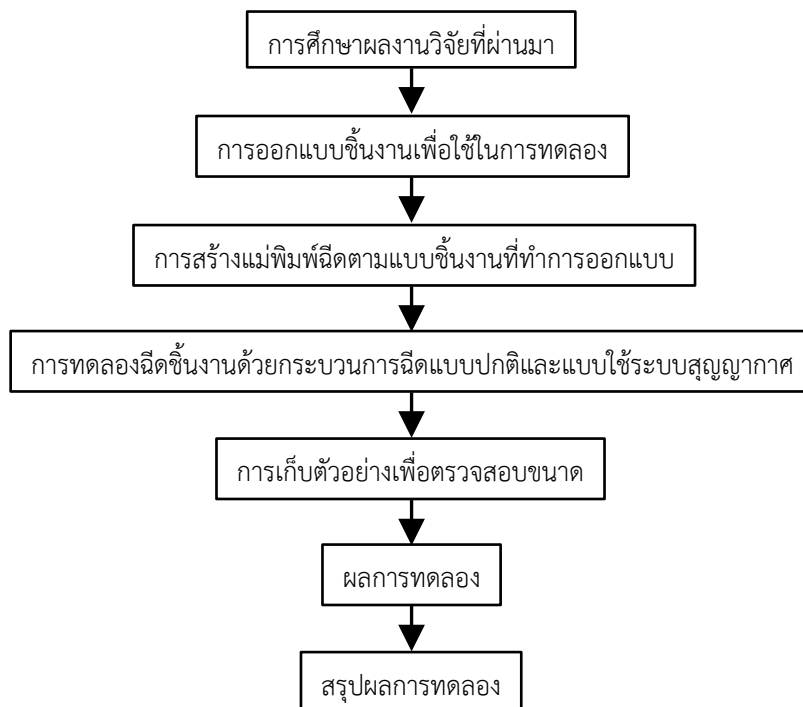


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) กับความดันเกจ (Gauge pressure)
ในช่วงความดันสุญญากาศ (Nawapattara and Taweepol, 2012)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

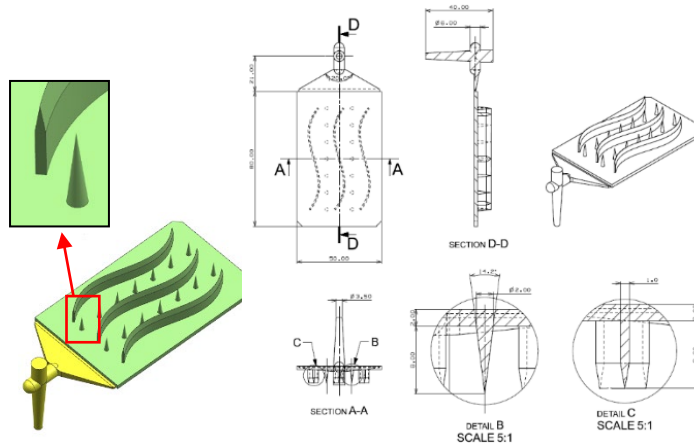
ในการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การออกแบบชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลอง

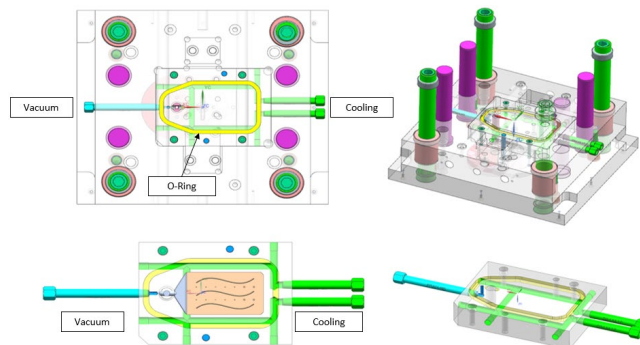
ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานให้มีขนาดและรูปร่างที่เล็กและซับซ้อน รวมถึงมีครี (Rib) และส่วนปลายแหลม (Boss) ซึ่งเป็นส่วนที่เนื้อพลาสติกไหลเข้าถึงได้ยาก ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ชิ้นงานที่ทำการออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง

การสร้างแม่พิมพ์จากชิ้นงานที่ทำการออกแบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบแม่พิมพ์จากชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้แล้ว โดยแม่พิมพ์ที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ชนิดสองแผ่น ใช้ระบบทางเข้าเป็นแบบพัด (Fan gate) และได้ติดตั้งระบบสุญญากาศ ดังแสดงในภาพที่ 7



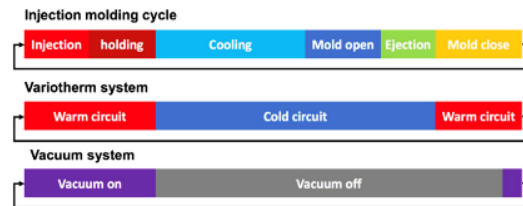
ภาพที่ 7 แม่พิมพ์สำหรับฉีดชิ้นงานทดลอง

หลังจากทำการออกแบบแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงขึ้นรูปแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์มาทดลองฉีดด้วยค่าสุญญากาศ -170 kPa ภายใต้เงื่อนไขการฉีด ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ พลาสติก เกรด PBT และพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30%

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการฉีดชิ้นงานทดลอง

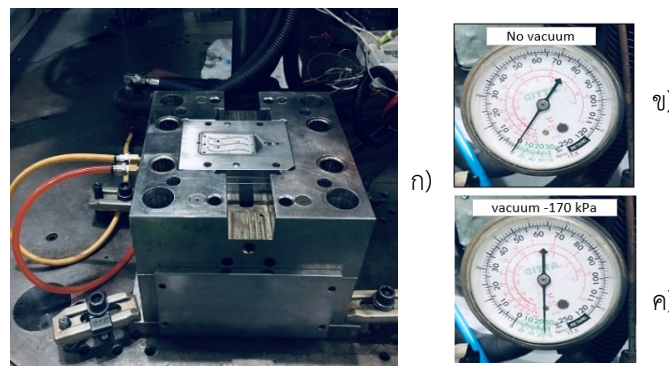
Condition injection	Mold temp.	Melt temp.	Resin dry temp.	Injection Pressure	Hold Pressure:	Cooling time	Cycle time
Values	65°	255°-265°	140°	150 Mpa	45 Mpa/0.5 S	10 S	41.75 S

ภายใต้เงื่อนไขการฉีดดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทดลองฉีด เปรียบเทียบระหว่างการฉีดแบบปกติ และการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด ดังแสดงในภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ได้ชิ้นงานจากการทดลองฉีด ดังแสดงในภาพที่ 10

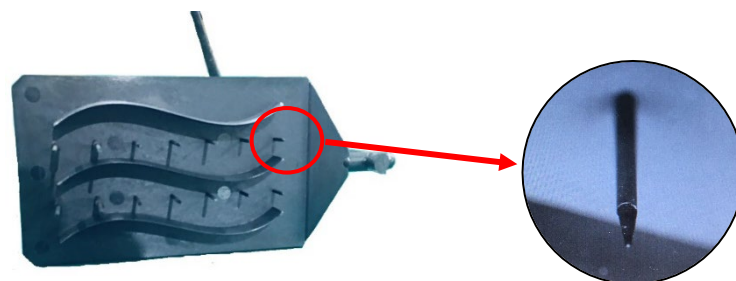


ภาพที่ 8 การทำงานของระบบสุญญากาศขณะทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่ารระบบสุญญากาศจะถูกเปิดใช้พร้อมกับการปิดแม่พิมพ์ในช่วงสุดท้ายและเริ่มฉีดน้ำพลาสติก (Injection) ไปจนถึงฉีดย้าน้ำพลาสติก (Holding) จากนั้นระบบสุญญากาศก็จะถูกปิดเมื่อเข้าสู่กระบวนการหล่อเย็นชิ้นงาน (Cooling) เปิดแม่พิมพ์ (Mold open) ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Injection) จนกระทั่งแม่พิมพ์ปิด (Mold close)



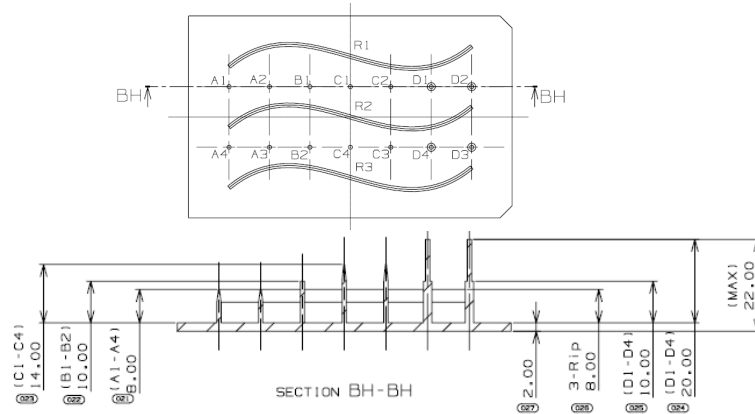
ภาพที่ 9 ก) แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีด ข) การฉีดแบบปกติ ค) การฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด



ภาพที่ 10 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด

ผลการวิจัย

ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดจะถูกสุ่มมาจากชิ้นงานทั้งหมดเงื่อนไขละ 2 ชิ้น เพื่อนำไปทำการวัดค่าเปรียบเทียบกับจุดตรวจวัดต่างๆ และหาค่าเฉลี่ยของชิ้นงานแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงในภาพที่ 11 ด้วยเครื่องมือไมโครสโคป (Microscope) เพื่อนำผลการวัดในแต่ละจุดตรวจวัดมาวิเคราะห์ความแตกต่างของกระบวนการฉีดแบบปกติเมื่อเทียบกับการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด ผลการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 2

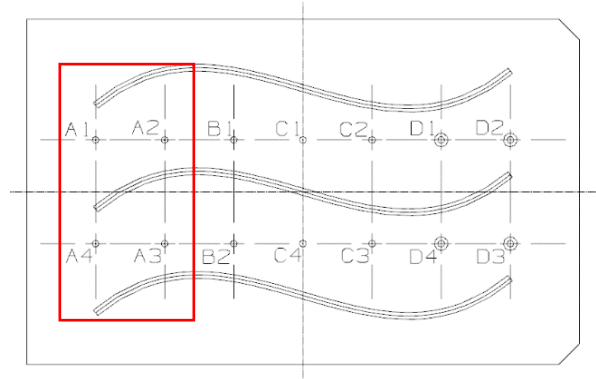
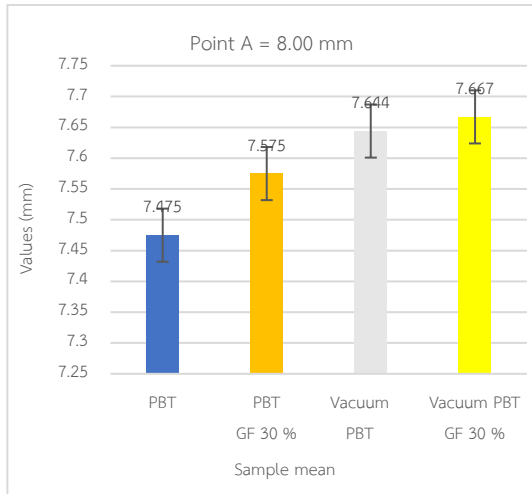


ภาพที่ 11 จุดตรวจวัด

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานตามจุดตรวจเช็คที่กำหนดไว้

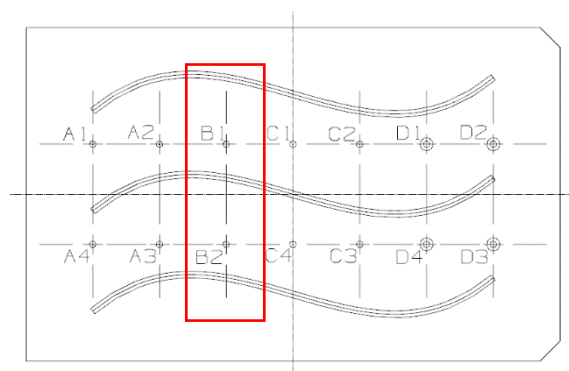
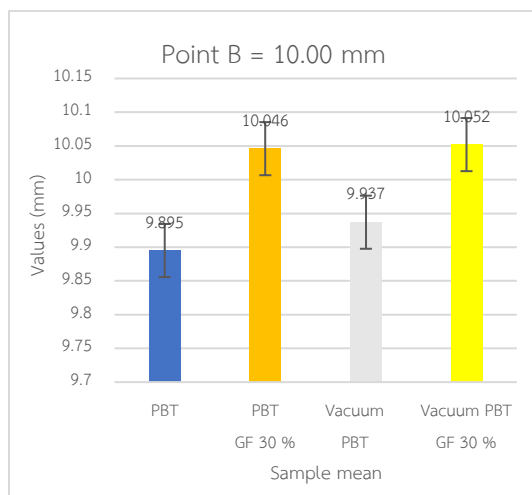
Inspection results					
Point	Specification (mm)	No Vacuum		Vacuum (-170 kPa)	
		PBT	PBT GF30%	PBT	PBT GF30%
		mean (mm)	mean (mm)	mean (mm)	mean (mm)
A1	8.00	7.483	7.551	7.564	7.579
A2	8.00	7.497	7.640	7.715	7.831
A3	8.00	7.453	7.533	7.685	7.662
A4	8.00	7.471	7.578	7.613	7.598
B1	10.00	9.864	10.031	9.948	10.036
B2	10.00	9.928	10.061	9.928	10.070
C1	14.00	13.196	13.410	13.350	13.505
C2	14.00	13.289	13.516	13.334	13.608
C3	14.00	13.367	13.665	13.502	13.774
C4	14.00	13.368	13.597	13.504	13.697
D1	20.00	19.664	20.038	19.683	20.036
D2	20.00	19.710	20.025	19.696	20.035
D3	20.00	19.648	20.062	19.702	20.022
D4	20.00	19.678	20.009	19.746	20.022
R1	8.00	7.344	7.466	7.423	7.470
R2	8.00	7.253	7.452	7.300	7.460
R3	8.00	7.350	7.490	7.388	7.502

จากผลการวัดที่แสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นแล้วว่าในจุดตรวจวัด A1-A4, B1-B2, C1-C4 และ D1-D4 มีผลการวัดไปในทิศทางเดียวกัน คือ แต่ละจุดตรวจวัดในกลุ่มเดียวกันนั้นมีผลการวัดต่างกันไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร ผู้วิจัยจึงทำการรวมผลและนำไปหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด A

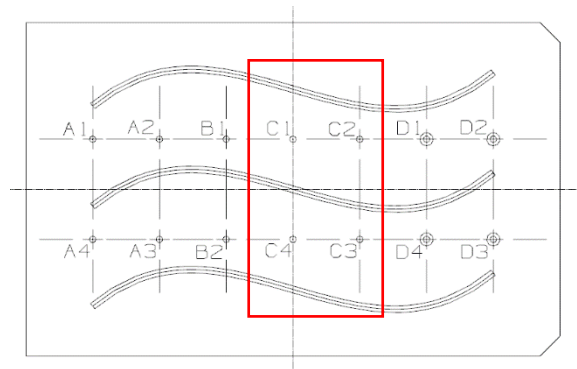
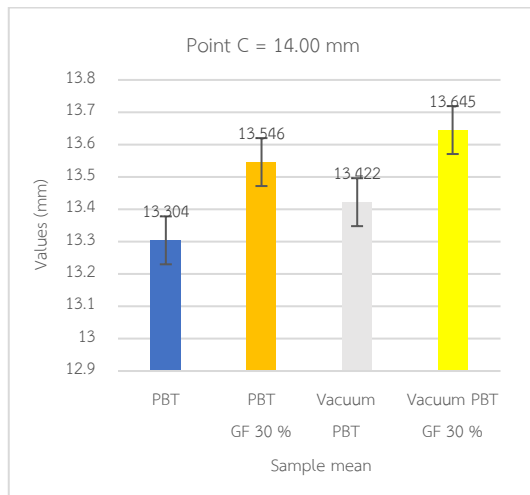
จากภาพที่ 12 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.169 มม. คิดเป็น 2.11% และวัสดุพลาสติกเกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.092 มม. คิดเป็น 1.15%



ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด B

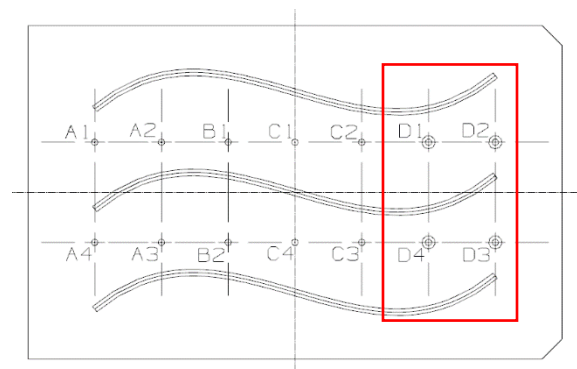
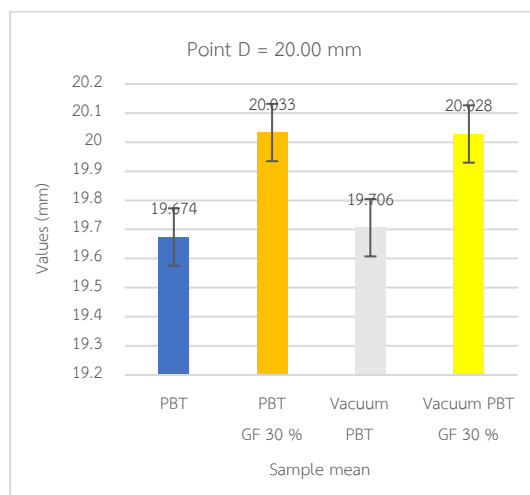
จากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.042 มม. คิดเป็น 0.42% และวัสดุพลาสติก

เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.006 มม. คิดเป็น 0.06%



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด C

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.118 มม. คิดเป็น 0.84% และวัสดุพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.099 มม. คิดเป็น 0.7%



ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด D

จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.032 มม. คิดเป็น 0.16% และวัสดุพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลน้อยกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.005 มม. คิดเป็น 0.025%

อภิปรายผล

จากการวิจัยโดยใช้วัสดุ PBT และวัสดุ PBT ผสมกลาสไฟเบอร์ 30% ซึ่งเป็นวัสดุที่มีไหลตัวได้ค่อนข้างยาก เข้ามาใช้เป็นวัสดุทดลองฉีดขึ้นงานทดลองที่มีครีบ (Rib) และมีส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ขนาดเล็ก ภายใต้เงื่อนไขการฉีดเดียวกัน ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติกับการฉีดแบบมีระบบสุญญากาศเข้ามาช่วย พบว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ผสมกลาสไฟเบอร์ 30% ไหลตัวได้ดีกว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT และการใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในกระบวนการฉีดนั้นสามารถช่วยให้พลาสติกสามารถไหลตัวได้ดีกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ สูงสุด 2.11%

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำผลวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ทำการผลิตประกอบด้วย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นงาน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 เพิ่มจำนวนของตัวอย่างทดลอง เพื่อความแม่นยำของผลการวิจัย
- 2.2 ทดลองกับงานลักษณะอื่นที่มีความซับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้ความร่วมมือของ บริษัท อุเอตะ อินดัสทรี (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- Bender, D. Schuster, J. and Heider, D. (2006). Flow rate control during vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM) processing. *Composites Science and Technology*, 66, 2265–2271.
- Brouwer, W.D., Van Herpt, E.C.F.C. and Labordus, M. (2003). Vacuum injection moulding for large structural applications. *Composites: Part A*, 34, 551–558.
- Kasemplastic. (2019). *Polymer Processing Technology*. [Online]. Retrieved March 2, 2021, from: <https://www.kasemplastic.com/2019/04/27/polymer-processing-technology/>.
- Layluck, W. (2013). Micro plastic part with plastics injection molding technology. *Sripatum Review of Science and Technology*, 5, 129-137. (in Thai)
- Nawapattara, N. and Taweepol, S. (2012). *Torr*. [Online]. Retrieved February 15, 2021, from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4317/torr>.
- Patcharapan, S. (2009). Defects of Injection Molded Parts: Causes and Troubleshooting. *Kasetsart Engineering Journal*, 22, 91-104. (in Thai)
- Sorgato, M., Babenko, M., Lucchetta G. and Whiteside, B. (2016). Investigation of the influence of vacuum venting on mould surface temperature in micro injection moulding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(1), 547-555.

Wikipedia Free Encyclopedia. (2021). *Polybutylene terephthalate* [Online]. Retrieved February 25, 2021, from: https://en.wikipedia.org/wiki/Polybutylene_terephthalate.

Wikipedia Free Encyclopedia. (2019). *Vacuum* [Online]. Retrieved February 25, 2021, from: <https://th.wikipedia.org/wiki/vacuum>.

Zhang, N., Zhang, H., Stallard, C., Fang, F.Z. and Gilchrist, M.D. (2018). Replication integrity of micro features using variotherm and vacuum assisted microinjection moulding. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 23, 20-38.