

การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับการทำนายการ หดตัวของพลาสติกในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด

Integrated Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in Injection Molding for the Prediction of Shrinkage

จารุวัตร เจริญสุข, อภินันท์ สอนตระกูล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 66(2)326-9987, โทรสาร66(2)326-9053, E-Mail: asontragul@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการการศึกษาพฤติกรรมของพลาสติกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยวิธีวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) จากโปรแกรมสำเร็จรูปคือ MOLD FLOW โดยใช้พลาสติกหลอมเหลวเป็นของไหลซึ่งเป็นของเหลวหนืดที่กดอัดตัวได้และอยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่คงที่ ทำการศึกษาเพื่อหาค่าตัวแปรของเส้นโครงร่างของช่วงการฉีด (Packing -Profile) ที่มีผลกระทบกับการหดตัวหลายกรณีตัวอย่างจากผลการศึกษาพบว่าแนวโน้มของการทดลองกับการทำนายสอดคล้องกัน เปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

Abstract

This thesis deals with a study, by mean of integrated mathematical simulation of fluid flow and heat transfer in injection molding for prediction of shrinkage, using a finite element method from software, MOLD FLOW ANALYSIS. The plastic is assumed, viscous, compressible, flowing under non-isothermal conditions. The effect of packing profile that influences both behaviors were studied. The trend of the experimental result is in agreement with the simulation.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้พลาสติก เป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างแพร่หลาย การฉีดพลาสติกให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพนั้นต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย อย่างปัจจัยเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ดังนั้นการฉีดพลาสติกที่ดีจำเป็นต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างดี

เนื่องจากการแก้ปัญหาของการฉีดพลาสติกเป็นสิ่งสำคัญ

มากกับหลาย ๆอุตสาหกรรม พฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีหลายปัญหาที่ทำให้ชิ้นงานขาดคุณภาพ

การหดตัวและการบิดงอเป็นปัญหาที่ยากต่อการพิจารณา และการแก้ไข ชิ้นงานพลาสติกจะถูกกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ตามลักษณะการใช้งานและราคา เมื่อเราสามารถทำนายลักษณะของพฤติกรรมได้ก็สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบและการแก้ไข เมื่อผ่านการวิเคราะห์แล้วซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิตแม่พิมพ์และการพัฒนาผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของพลาสติกมีหลายปัจจัย เช่น ความดันฉีด (Holding Pressure), เวลาที่ใช้ในการฉีด (Holding time), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature), อัตราการฉีด (Injection flow rate), รูปร่างของทางเข้า (Gate - Geometry) ลักษณะการหล่อเย็น (Cooling network) และอื่น ๆ

ในการแก้ปัญหาคุณภาพของชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมทั่วๆไปนั้นแต่เดิมใช้วิธีอาศัยประสบการณ์ของช่างแม่พิมพ์และช่างฉีดพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวิธีคำนวณแบบ Analytic เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นและทำการทดลองซ้ำเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด ในการกำหนดเงื่อนไขการฉีดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีเป็นการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ส่วนการวิเคราะห์แบบ Analytic ไม่สามารถให้คำตอบในปัญหาที่ซับซ้อน จึงนำเอาซอฟต์แวร์ที่ใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) และ การประมาณค่า (Approximation Method) ที่เรียกว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ มาเป็นเครื่องมือเพื่อทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและหาสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการฉีด

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถูกออกแบบให้ใช้กับชิ้นงานหลายประเภทแบ่งได้ดังนี้ 1. ชิ้นงานทั่วไป 2. ชิ้นงานทางวิศวกรรมและ 3. ชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า ในการผลิตชิ้นงานนั้น จำเป็นต้องให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์และมีเวลาการผลิตที่สั้น เพื่อการแข่งขันในตลาดปัจจุบันจึงทำให้การออกแบบและการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วิศวกรรมร่วมขนานถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองตลาดในด้าน การออกแบบผลิตภัณฑ์,การผลิตแม่พิมพ์และขบวนการผลิต การใช้ คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรม Computer Aided Engineering (CAE)เป็นเครื่องมือที่สำคัญ เพราะCAEถูกใช้ในการอธิบายการ ทดลองเชิงตัวเลข(Numerical Experiments) และถูกใช้ในการหา ค่าประมาณที่เหมาะสม จึงกลายเป็นสิ่งสำคัญเมื่อการวิเคราะห์มี ขนาดใหญ่,ซับซ้อนและมีความละเอียดสูง อย่างไรก็ตามถ้าเป็น การวิเคราะห์ที่มีหลายตัวแปรจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีด้าน Optimization เข้ามาช่วย ซึ่งต้องการฐานข้อมูลในช่วงกว้าง จึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าทั้งExtrapolate และInterpolate

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมการ Continuity คือ

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

สังเกตว่าพจน์สุดท้ายมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิดกล่าวคือไม่มีความเร็ว ในทิศทางความหนา สำหรับชิ้นงานที่มีความหนาน้อยสมมุติฐานนี้จะ ถูกใช้ในการไหลผ่านช่องผนังบางๆโดยความดันจะเปลี่ยนแปลงไปตาม ระบายและจะไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางความหนา สมการโมเมนตัม คือ

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\tau_x \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\tau_y \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

เนื่องจากส่วนใหญ่ชิ้นงานพลาสติกมีความหนาน้อย เราสามารถสมมุติ ว่าพจน์ของสมการโมเมนตัมบางพจน์มีค่าน้อยมาก ส่วนใหญ่พจน์ที่มี ผลกระทบคือ ผลต่างของความดัน(Pressure Gradient) และแรงเนื่อง จากความหนืด(Viscous Force) สมการพลังงาน รวมทั้งพจน์ของการ พากความร้อนในทิศทางความหนา คือ

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \eta \dot{\gamma}^2 + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (5)$$

Boundary Conditions กำหนดดังนี้

$P = P_{in}$ ความดันที่จุดกำหนดการฉีดเข้า ณ node ไตๆ

$\frac{\partial p}{\partial n} = 0$ ผลต่างของความดันในด้านความหนาเท่ากับศูนย์

$T = T_w$ อุณหภูมิที่ node เท่ากับที่ผนังแม่พิมพ์

$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$ ผลต่างของอุณหภูมิในด้านความหนาเท่ากับศูนย์

$T = T_{in}$ กำหนดอุณหภูมิหลอมเหลวที่จุดฉีด

3. หลักการทั่วไปของ Shrinkage

การหดตัว(Shrinkage)ถูกใช้ในหลายความหมายโดยมีความ สัมพันธ์กับขนาดของชิ้นส่วนพลาสติก กล่าวคือหมายถึงความแตกต่าง

ของขนาดระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นส่วนพลาสติกซึ่งเรียกว่า Processing Shrinkage , Mold Shrinkage และเป็นส่วนที่สนใจในอุตสาหกรรมฉีด พลาสติก เราจะกล่าวถึงชนิดของการหดตัวต่อไปในงานวิจัยภายหลัง ขณะที่ชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จะมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดแบบช้าๆ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการจัดเรียงตัวเชิงโมเลกุล (Orientation) ซึ่งจะถูกกำหนดเป็นมาตรฐานของคุณสมบัติของ พลาสติกแต่ละชนิด เปอร์เซนต์ของการหดตัวของพลาสติกจะถูก กำหนดเป็นมาตรฐานตามมาตรฐานสากลทั่วไป เพื่อประโยชน์ใน การใช้งานและแบ่งประเภทของชิ้นงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะ ต้องควบคุมพิถีพิถันความเผื่อของชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐาน เช่น JIS

การหดตัวของชิ้นงานพลาสติกขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ความดัน การฉีด,เวลาในการฉีด,อุณหภูมิการหลอมของพลาสติกที่Nozzle และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ การเย็นตัวไม่เท่ากันและการนำความร้อน ของชิ้นงานแข็งตัวที่ไม่เท่ากันของด้านCoreและCavityเป็นสาเหตุของ การหดตัว การหดตัวสามารถป้องกันได้โดยการใช้ Insert ,Ribและการ เปลี่ยนแปลงความหนา (4)

ปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยพฤติกรรมการหดตัวของพลาสติก มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ เช่นการ สัมผัสของการหดตัวเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับพลาสติกอะมอฟฟิ(1) การ วัดการหดตัวของพลาสติกโดยใช้ Optical Sensor (2) การปรับปรุงผล การทำนายการหดตัวและการบิดงอโดยใช้คุณสมบัติของวัสดุ(PVT) (3) ผลกระทบของความดันฉีดกับเวลาการฉีดกับพลาสติก ชนิด โพลีสไตรีน(4)การทำนายการหดพลาสติกด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงตัว เลขและการใช้ Process window (5) สมการการหดตัวของพลาสติก อะมอฟฟิในแนวระนาบและความหนา(6)

$$S_x = S_y = -\beta \bar{P}_s + \alpha [T_s - T_\infty] \quad (6)$$

$$S_z = -\frac{\nu}{1-\nu} (S_x + S_y) - \frac{1+\nu}{1-\nu} \beta \bar{P}_e - C_M \cdot P_{sf} \quad (7)$$

เมื่อกำหนดให้ S_x, S_y และ S_z คือค่าการหดตัวในด้าน ความกว้าง,ความยาวและความหนาของชิ้นงานตามลำดับ α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น, β คือ ความสามารถในการกดอัด เชิงเส้น, $\bar{P}_s(z)$ ความดันของแต่ละชั้นความหนา, T_s คืออุณหภูมิ ของการแข็งตัว, $\bar{P}_e$ คือความดันก่อนปลดชิ้นงาน, $C_M \cdot P_{sf}$ คือเป็นพจน์ของการสูญเสียความร้อนของผนังแม่พิมพ์

4 การทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหดตัวของชิ้นงานตัวอย่าง และผลกระทบของเส้นโครงร่างของช่วงการฉีดคือความดันการฉีด และเวลาการฉีดต่อการหดตัวในด้านความกว้าง,ความยาวและความ สูง โดยการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับผลการวิเคราะห์ทาง Numerical โดยใช้Software MOLD FLOW ANALYSIS

4.1 ข้อมูลของวัสดุ

วัสดุที่ใช้เป็นเทอร์โมพลาสติกแบบ Amorphous Crystalline ชื่อ Acrolonitrile-butadiene-styrene(ABS) Supplier คือ TPI รูปแบบ ของความหนืดใช้ของ Mold Flow Second-order Model ซึ่งสร้างขึ้น

โดยการทดลองของบริษัท Mold Flow ซึ่งได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกของแต่และผู้ผลิตพลาสติก เก็บไว้เป็นฐานข้อมูลในโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์การฉีดพลาสติก

รูปแบบการไหลของโพลิเมอร์

$$\tau = \eta \gamma \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้ τ คือ ความเค้นเฉือน

η คือส.ป.ของความหนืดที่เป็นฟังก์ชันขึ้นกับอัตราเฉือน

$$\gamma = \frac{dv_x}{dz} \text{ คือความแตกต่างของความเร็ว (Velocity gradient)}$$

โดยฟังก์ชันของความหนืดหาได้จากการประมาณค่าตัวแปรสัมพัทธ์ (Empirical Parameter)

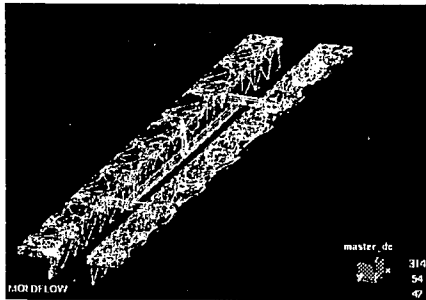
Second-order Model

$$\ln \eta = A_0 + A_1 \ln \dot{\gamma} + A_2 T + A_3 (\ln \dot{\gamma})^2 + A_4 T \ln \dot{\gamma} + A_5 T^2 \quad (9)$$

เมื่อ A_i คือค่าคงที่ รูปแบบนี้หาได้จากการทดลองที่ต้องการ

จะอธิบายพฤติกรรมของการไหลของพลาสติก ที่สำคัญมากที่สุดคือสมการนี้ต้องมีความแม่นยำสูงจึงจะทำให้การทำนายพฤติกรรมมีความถูกต้อง เมื่อใช้รูปแบบกับข้อมูลการทดลองและเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการใช้อธิบายค่าที่ความเค้นเฉือนต่ำ

ค่าคงที่ของวัสดุที่ใช้ในการฉีดมีค่าดังนี้ ค่าการนำความร้อน $0.14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, ค่าความจุความร้อนจำเพาะ $1248 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, ค่าความหนาแน่นขณะหลอมเหลว 949.1 kg/cm^3 อุณหภูมิปลดชิ้นงาน 111.9°C อุณหภูมิที่พลาสติกหยุดการไหล 145.3°C ค่าเผื่อหดตัวของพลาสติก 0.5% สำหรับแม่พิมพ์



รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนพลาสติก และการทำ meshing

4.2 ลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติก และ แม่พิมพ์

การทดลองใช้เครื่องฉีดพลาสติก ผลิตโดยประเทศญี่ปุ่น Model JSW 350 ขนาด 280 ตัน มีรายละเอียดดังนี้

1. แรงมากที่สุดในการจับยึด 280 ตัน
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 63 มิลลิเมตร
3. ปริมาตรการฉีดสูงสุด 748 ลบ.ซม.
4. ความดันสูงสุดในการฉีด 1600 ก.ก./ตร.ซม.

ชิ้นงานเป็นชิ้นส่วนพลาสติกของตู้แช่แข็ง ขนาด 34 ม.ม. x 603 ม.ม. หนา 2 ม.ม. มีก๊อบเสริมแข็ง หนา 1.2 ม.ม. ลึก 35 ม.ม.

ลักษณะของแม่พิมพ์

1. 2 คาวีดี
2. Gate เข้าด้านข้าง

3. Sprue bush ยาว 40 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เรียว 2 องศา

สภาวะเงื่อนไขในการฉีด (Mold Conditions)

ในการทดลองการฉีดพลาสติก ได้กำหนดค่าเงื่อนไข

ในการฉีดดังนี้

1. ความเร็วในการฉีดเต็มเต็ม ชั้นที่ 1 - 3 ลบ.ซม./วินาที
2. ความเร็วในการฉีดเต็มเต็ม ชั้นที่ 2 - 50 ลบ.ซม./วินาที
3. ความเร็วในการฉีดเต็มเต็ม ชั้นที่ 3 - 7 ลบ.ซม./วินาที
4. อุณหภูมิการหลอมเหลว 225 องศา $^\circ\text{C}$
5. อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อเย็น 30 องศา $^\circ\text{C}$
6. เวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำ 5 - 20 วินาที
7. ความดันที่ใช้ในการฉีดย้ำ 30 - 70 %
8. เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น 40 วินาที
9. เวลาที่ใช้ในการเปิดแม่พิมพ์ 2.5 วินาที

4.3 เส้นโครงร่างการฉีดพลาสติก (Packing Profile)

Packing Profile คือการเปลี่ยนแปลงของความดันการฉีดย้ำ (Packing Pressure) กับเวลา

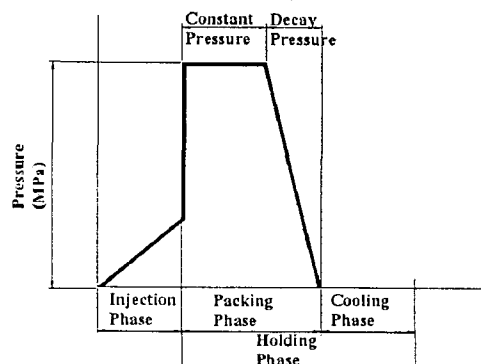
การบิดงอ (warpage) จะเกิดขึ้นเมื่อการหดตัวที่แตกต่างกันของชิ้นงาน บริเวณที่หดตัวไม่เท่ากันจะทำให้เกิดความเค้น (stress) บนชิ้นงานซึ่งเป็นสาเหตุของการเสียรูป (deform) และการแตกร้าว

Packing Pressure คือความดันที่กระทำกับการวัดภายหลังจากการเติมเนื้อ เพื่อเป็นการชดเชยการหดตัวของพลาสติกเมื่อเย็นตัว

Packing time คือระยะเวลาของ Packing Pressure ควรเหมาะสมกับเวลาที่ทำให้ gate แข็งตัว

Cooling time คือระยะเวลาจาก Packing time ถึงแม่พิมพ์เปิด

Holding time คือเวลาจากการสิ้นสุดการเติมเนื้อจนถึงการปลดชิ้นงาน เท่ากับ Packing time + Cooling time สำหรับ Packing time แล้ว Holding time สำคัญมากเพราะมันเป็นผลรวมของระยะเวลาของการทำ Packing Analysis



แผนผัง เส้นโครงร่างของความดันฉีดย้ำ (Packing Profile)

4.4 การวัดการหดตัวและค่าผิดพลาด

ในการทดลองนี้จะวัดชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง (คือ 25 องศาเซลเซียส) สัมพันธ์กับค่าการหดตัว $S = (d_0 - d) / d_0$ เมื่อ d_0 คือ ขนาดที่ต้องการวัดจากแม่พิมพ์ และ d คือ ขนาดของชิ้นงานตัวอย่างคือชิ้นส่วนของตู้แช่แข็ง

ภายหลังจากชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์จะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน ส่วนการวัดจะแบ่งออกเป็น 3 ทิศทางคือความกว้าง, ความยาว และความหนา โดยวิธีการวัดดังนี้ ทำการวัดโดยการสุ่มการวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดแต่ละทิศทางแล้วจึงนำไปหาค่าการหดตัว เครื่องมือวัดใช้เวอร์เนียร์ ชนิดอ่านค่าด้วยดิจิตอล มีค่าความละเอียดเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร 2 ขนาดคือ 300 มิลลิเมตร และ 1000 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากการทดลองจะใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Mold Flow Analysis

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการหดตัวของชิ้นงาน

การทดลองจะใช้สภาวะเงื่อนไขในการฉีดตามตารางที่ 1 คือ การศึกษาการหดตัวเมื่อความดันฉีดเปลี่ยนแปลง และตารางที่ 2 คือ การศึกษาการหดตัวเมื่อเวลาการฉีดเปลี่ยนแปลง

การหดตัวสามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทางทั้งความกว้าง, ความยาวและความสูงจากผลการทดลองการฉีดชิ้นงานตัวอย่างพบว่าการหดตัวจะมีค่าลดลง อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความดันฉีด การเพิ่มความดันการฉีดจะทำให้พลาستيكที่ถูกอัดตัวในโพรงแม่พิมพ์มีความหนาแน่นมากขึ้นทำให้การหดตัวมีค่าน้อยลงและจะหยุดทำงานเมื่อ gate ปิดหรือแข็งตัวเพราะเมื่อ gate ปิดความดันจากเครื่องฉีดจะไม่สามารถเข้าถึงโพรงคาร์วิตได้ ยิ่งความดันมากก็จะทำให้เนื้อพลาستيكที่อยู่ในโพรงมีความหนาแน่นมากขึ้นและจะมีการหดตัวลดลง ความดันการฉีดที่สูงมากเกินไปก็ไม่มีผลกระทบกับการหดตัว เมื่อเพิ่มเวลาการฉีดจะมีผลกระทบน้อย เพราะว่าเวลาการฉีดต้องสัมพันธ์กับเวลาที่ gate ของชิ้นงานแข็งตัวซึ่งทำให้ความดันในการที่จะ pack ไม่มีผลกระทบกับการหดตัว โดยปกติความดันจะสามารถใช้ pack ชิ้นงานให้มีขนาดตามแม่พิมพ์ได้ก็ต่อเมื่อ gate ยังไม่แข็งตัวเวลาที่ชิ้นงานแข็งตัวเรียบร้อยแล้วจะทำให้การหดตัวมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถใช่โปรแกรม mold flow หาค่าเวลาที่ gate แข็งตัวจากกราฟระหว่างความดันกับเวลา ณ node ใกล้ gate เพื่อสังเกตความดันที่จะทำให้ gate ปิด หรือ 0 MPa

ผลการวัดการหดตัวจากการฉีดพลาستيكจะแสดงในตารางที่ 3 และผลการทำนายจากซอฟต์แวร์ Mold Flow แสดงในตารางที่ 4

6. การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการทำนาย

จากกราฟรูปที่ 2 - 3 เป็นการแสดงการหดตัวด้านความยาวเปรียบเทียบกับผลการทำนาย พบว่าผลการฉีดมีค่าน้อยกว่าการทำนาย เนื่องจากผลกระทบของระบบการหล่อเย็นของแม่พิมพ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนในคาร์วิตได้ดีกว่าการทำ optimization ของระบบหล่อเย็นในตัวโปรแกรม, เนื่องจากการใช้โปรแกรมการประมาณค่าจึงมีค่าผิดพลาดอยู่ระหว่าง 2-4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับในทางวิศวกรรม

กราฟรูปที่ 4 - 5 แสดงการหดตัวด้านความกว้างซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับผลการทำนายและการเพิ่มความดันจะลดค่าการหดตัวได้ชัดเจนและสามารถลดการหดตัวได้ดีกว่าการเพิ่มเวลาในการฉีด เพราะการเพิ่มเวลาการฉีดทำให้การหดตัวแทบไม่เปลี่ยนแปลง

กราฟรูปที่ 6 - 7 แสดงการหดตัวด้านความสูงซึ่งค่าใกล้เคียงกับผลการทำนาย

จากรูปที่ 10 - 11 การหดตัวในทิศทางความกว้างและความยาวมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือจะหดตัวมากที่สุดสิ้นสุดของการไหล คือ ที่ปลายชิ้นงานและบริเวณกลางชิ้นงานเพราะบริเวณที่การไหลบรรจบกัน ทั้งสองบริเวณจะเย็นตัวก่อนบริเวณอื่น ณ เวลาเดียวกัน ส่วนรูปที่ 12 ด้านความหนาจะหดตัวที่ปลายครีบบากเพราะจะเย็นตัวก่อนบริเวณอื่น การเย็นตัวที่ไม่เท่ากันของชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานและเกิดโมเมนต์ดัดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการหดตัวและการบิดงอของชิ้นงาน ฉะนั้นควรออกแบบแม่พิมพ์ให้ชิ้นงานเย็นตัวเท่าๆกันก่อนที่จะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เพื่อลดการหดตัวของชิ้นงาน

7. บทสรุป

งานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของความดันในการฉีดและเวลาในการฉีดกับการหดตัวของพลาستيكชนิดอะมอร์ฟัสในแม่พิมพ์พลาستيكแบบฉีด โดยทำการเปรียบเทียบผลการฉีดพลาستيكกับการทำนายโดยใช้โปรแกรม Mold Flow ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่เรียกว่า Finite Element Method เป็นการใช้เทคโนโลยีทางด้าน Computation Engineering มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาستيكและการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการทำนายพฤติกรรมของไหลและผลกระทบต่าง ๆ ของพลาستيكหรือเรียกว่า Rheology

จากผลการศึกษาพบว่าความดันในการฉีดจะมีผลกระทบโดยตรงกับการหดตัวของพลาستيكทั้งแนวระนาบและความหนา เพราะว่าการเพิ่มความดันทำให้ความหนาแน่นของพลาستيكเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้ไม่ว่าจะเป็น การหดตัวเชิงปริมาตร, เชิงน้ำหนักหรือขนาดตามรูปร่างของชิ้นงาน ขณะที่เวลาในการฉีดมีผลกับการหดตัวของพลาستيكก็ต้องให้สัมพันธ์กับการแข็งตัวของ gate ส่วนใหญ่การหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามแนวการไหลของพลาستيكจนกว่าจะสิ้นสุดขบวนการ holding ถ้าสามารถทำนายและมีการป้องกันการหดตัวแล้วชิ้นงานก็จะมีการหดตัวน้อยหรือได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้

นอกจากพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แล้ว ยังมีพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ช่วยในการลดผลการ shrinkage บนชิ้นงาน เช่น การปรับค่า β หรือ α ในสมการ shrinkage , อุณหภูมิการหลอมเหลวของพลาستيك , อุณหภูมิของแม่พิมพ์ , อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น , ระบบการหล่อเย็นและการเลือกใช้วัสดุการทำแม่พิมพ์ เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

1. R. Greiner and F. R. Kryszewski , Rheol. Acta, 23, 387 (1984)
2. Charles L. Thomas and Anthony J. Buy , Polym. Eng. Sci. 39, 9 (1999)
3. P. Niggemeier and W. Machaeli , SPE Antec. Paper ,

0358 , (1999)

4. K.M.B Jnasan , R.Pantani and G. Titomalia ,Polym .Eng.Sci.38,2 (1998)

5. T.James Wang,SPE Antec. Paper ,0351,(1999)

6. K.M.B Jansen and G. Titomalia , Polym. Eng.Sci. 36,2029 (1996)

No	Code	HP1	HP2	HP3	TH1	TH2	TH3	CT
1	P45t20	45	40	35	10	5	5	40
2	P50t20	50	40	35	10	5	5	40
3	P55t20	55	40	35	10	5	5	40
4	P60t20	60	40	35	10	5	5	40
5	P65t20	65	40	35	10	5	5	40
6	P70t20	70	40	35	10	5	5	40

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดในช่วงการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการหดตัวเมื่อความดันในการฉีดเปลี่ยนแปลง

No	Code	HP1	HP2	HP3	TH1	TH2	TH3	CT
7	P55t5	55	40	35	2	2	1	40
8	P55t7	55	40	35	3	3	1	40
9	P55t9	55	40	35	4	3	2	40
10	P55t11	55	40	35	5	3	3	40
11	P55t13	55	40	35	5	4	4	40
12	P55t15	55	40	35	5	5	5	40
13	P55t17	55	40	35	7	5	5	40
14	P55t19	55	40	35	9	5	5	40

ตารางที่ 2 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดในช่วงการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการหดตัวเมื่อเวลาในการฉีดเปลี่ยนแปลง

No.	Code	Sx	Sy	Sz
1	P45t20	0.27	0.75	0.620
2	P50t20	0.26	0.69	0.580
3	P55t20	0.15	0.60	0.580
4	P60t20	0.20	0.57	0.539
5	P65t20	0.16	0.55	0.498
6	P70t20	0.18	0.51	0.498
7	P55t5	0.27	0.67	0.622
8	P55t7	0.26	0.67	0.622
9	P55t9	0.20	0.67	0.580
10	P55t11	0.19	0.64	0.539
11	P55t13	0.24	0.63	0.539
12	P55t15	0.23	0.60	0.498
13	P55t17	0.23	0.59	0.498
14	P55t19	0.18	0.56	0.456

ตารางที่ 3 แสดงค่าการหดตัวโดยวัดจากการทดลองการฉีดพลาสติก

No.	Code	Sx	Sy	Sz
1	P45t20	0.8	0.83	0.79
2	P50t20	0.79	0.82	0.77
3	P55t20	0.77	0.8	0.75
4	P60t20	0.76	0.79	0.74
5	P65t20	0.75	0.77	0.73
6	P70t20	0.73	0.76	0.71
7	P55t5	0.78	0.80	0.76
8	P55t7	0.77	0.80	0.75
9	P55t9	0.77	0.80	0.75
10	P55t11	0.77	0.80	0.75
11	P55t13	0.77	0.80	0.75
12	P55t15	0.77	0.80	0.75
13	P55t17	0.77	0.80	0.75
14	P55t19	0.77	0.80	0.75

ตารางที่ 4 แสดงค่าการหดตัวโดยวัดจากผลการทดลองการจากโปรแกรม Mold Flow

