

การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ The Design of Plastic Injection Mold Using Finite Element Analysis

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาษีเจริญ

E-mail: werayootrmutl@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนั้นรูปแบบของผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในสังคมเมืองมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในรูปแบบของอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือสิ่งของและเครื่องใช้ในครัวเรือน จึงได้มีการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มากขึ้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยเน้นคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักและรูปทรงต่างๆของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งระบบการออกแบบเริ่มต้นจากการคำนวณหาขนาดรูปทรงเบื้องต้น และชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ ได้แก่ ฐานโครงสร้าง, สปริง, คอร์, คavity, คิวตี้เพลท และ โกดโพสท์ งานวิจัยนี้จึงได้นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในส่วนการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของการไหลมาประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์การขึ้นรูปเนื้อพลาสติกของแบบจำลองลูกกอล์ฟมาเป็นกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อทำการออกแบบชิ้นส่วนงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากผลการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้ต่อไป

คำสำคัญ: แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก, เทคนิคการจำลอง, การวิเคราะห์ผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Plastics products have increasingly become an integrated part of our daily lives, ranging from being components of automobile, electronic appliances. The objective of this study is to design and to calculate plastics injection mold with emphasis on finding optimum parameters for the design of the plastic injection mold structure. The system was design, analyzed, and calculated for the suitable geometries of the body structure, spring, core, cavity, and guide posts model. This research applies a finite element method to simulate and analyze an injection process of RMUTL plastic model as the case study. Thereafter the finite element analysis technique was used in this study by using commercial software. The appropriated mesh of each model section was generated for modeling analysis computation. Therefore, this study can be used to study plastic injection mold Nevertheless, the improvement of higher performance would be needed for development of better plastic injection mold system.

Keywords: Plastics injection molding, Simulation Technique, Finite Element Analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบันงานที่เกี่ยวข้องกับงานพลาสติกนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่อยู่ในรูปแบบงานทางด้านอุตสาหกรรมครัวเรือน งานด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ หรือที่เกี่ยวข้องกับงานตัวถังรถยนต์ ตลอดจนผลิตภัณฑ์ทางด้านคอมพิวเตอร์ ทั้งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เป็นต้น [1] ล้วนแต่ต้องอาศัยรูปแบบของแม่พิมพ์ปั๊มโลหะที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง การที่จะได้ชิ้นงานที่ดีและตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ จำเป็นที่จะต้องอาศัยองค์ประกอบทางด้านแนวคิดที่เท่าทันเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เกิดขึ้นมาตลอดเวลา ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีทางการออกแบบที่สอดคล้องกับสายงานด้าน

ปฏิบัติจริง เพื่อตีกรอบและลำดับขั้นตอน ในลดเวลาในการผลิตและสร้าง [1] ตลอดจนต้นทุนการผลิตให้ลดลง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อใช้สำหรับทำขึ้นรูปหมุดลูกกอล์ฟราชมงคลธัญบุรีแบบ ซึ่งรูปแบบของทฤษฎีที่ทำการศึกษาก็จะประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานด้านความเสียหายทางวัสดุศาสตร์ทางวิศวกรรม ทฤษฎีบทสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเบื้องต้น ตลอดจนแนวทางในการสร้างขอบเขตปัญหาในการวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูป รวมไปถึงแนวทางการเลือกใช้สปริงให้เหมาะสมกับระบบ

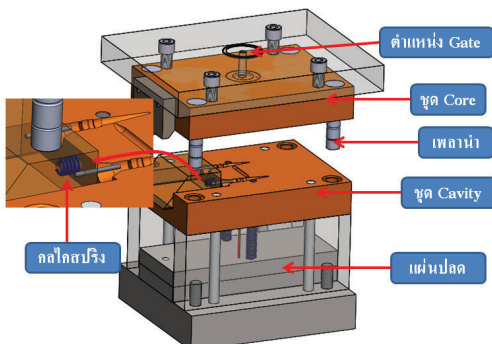
การทำงานจริงภายใต้กรอบของภาระแรงกระทำต่างๆที่เหมาะสมต่อการปลดล็อคชิ้นงานพลาสติกให้ออกจากแม่พิมพ์ฉีด เพื่อให้ได้ต้นแบบที่สามารถทำงานได้จริง นอกจากนี้การศึกษาทางภาคทฤษฎีแล้ว งานวิจัยยังได้นำเทคนิคทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการคำนวณผลเพื่อหาผลเฉลยเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์การขึ้นรูปพลาสติกของหมุดลูกกอล์ฟราชมงคล้านา โดยการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการศึกษาวิจัย ทำให้ลดระยะเวลาและแรงงานลง

2. ทฤษฎี

2.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกหมายถึงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกด้วยการฉีดขึ้นรูป ซึ่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ทำการออกแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Plastic Injection Mold) ดังแสดงในรูป 1 แม่พิมพ์ที่ออกแบบที่เหมาะสม จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบแม่พิมพ์ เช่น การวางตำแหน่งของ Gate ควรต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เพราะจะมีผลต่อเส้นทางการวิ่งเขาเนื้อพลาสติกเข้าสู่โพรงแบบ [2] (Cavity) ซึ่งโดยปกติเมื่อทำการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ ผ่านตัว Sprue ผ่านชุดทางวิ่ง (Runner) และวิ่งเข้าสู่โพรงแบบ (Cavity) ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ดังแสดงในรูป 2



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนและองค์ประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป [2]

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์

2.2.1 ความเครียด (Strain)

เมื่อวัสดุได้รับแรงภายนอกมากกระทำ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางที่แรงมากกระทำ เช่น เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึงก็จะยืดออก (Elongation) และเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัดก็จะหดเข้า (Contraction) [4]

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (1)$$

เมื่อ ϵ คือ ความเครียด

L_0 คือ ความยาวเดิม หรือความยาวพักตัวของวัสดุ

L คือ ความยาวใหม่ ภายหลังจากที่ได้รับแรงภายนอกมากกระทำ

2.2.2 ความเค้น (Stress) [1]

แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa)

หรือ N/m^2

F = แรงภายนอกที่มากกระทำ มีหน่วยเป็น (N)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ

1. **ความเค้นดึง (Tensile Stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

2. **ความเค้นอัด (Compressive Stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

3. **ความเค้นเฉือน (Shear Stress)** ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง

2.2.3 การคำนวณขนาดทางวิ่ง (runner) ที่เหมาะสม

คำนวณขนาดของทางวิ่งโดยใช้วิธีการของ Stank [12]

$$D = D' \times f_L \quad (3)$$

โดยที่ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของ runner

(มม.)

D' = เส้นผ่าศูนย์กลางของปรับแก้ runner (มม.)

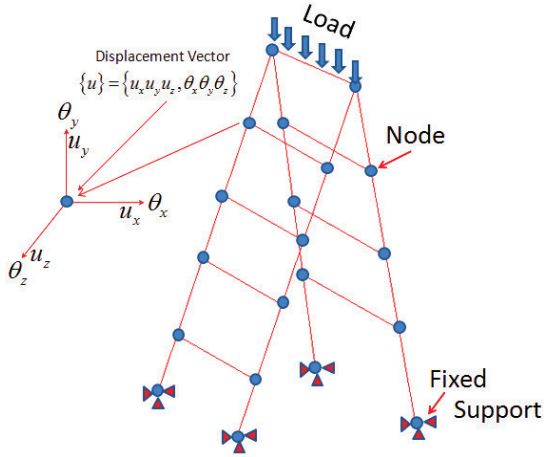
f_L = ค่าแก้ไข (Correction Factor)

2.2.4 การหาแรงปิดแม่พิมพ์ (clamping force) [12]

จากสมการ $F_{mold} = A \times P$ (4)

โดยที่ F_{mold} = แรงปิดแม่พิมพ์
 A = พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน
 P = ความดันเฉลี่ยภายใน Cavity ของแม่พิมพ์

2.2.5 วิธีการทำงานของ Finite Element



รูปที่ 3 โครงสร้าง Finite Element Analysis [1]

จากรูปที่ 3 โครงสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ประกอบไปด้วย Node และ element แล้วพิจารณาเฉพาะ 1 node จะพบว่าทิศทางการเคลื่อนที่อย่างอิสระสูงสุดได้ 6 ทิศทาง คือ แกน x, y, z ความอิสระของการเคลื่อนที่ จะเรียกว่า Degree of Freedom (DOF) ดังนั้นจะได้สมการที่มีค่าตัวแปรอยู่หกตัวคือ

Tree Translation (u_x, u_y, u_z)

Tree rotations ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)

$\{u\} = \text{Displacement Vector}$

$\{u_x, u_y, u_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z\}$

เมื่อได้สมการของ DOF มาแล้ว จะต้องทำการหาตัวคูณ k เพื่อให้อยู่ในรูปสมการที่เป็น Matrix คือ [1]

$$[k]_e \{u\}_e = \{f\}_e \quad (5)$$

ค่า $\{f\}$ คือ ค่าของแรงที่เข้ามากระทำต่อ Element ที่จะส่งผลให้ Node มีการเคลื่อนที่ $\{u\}$ ด้วย แต่เนื่องจาก Finite Element Model จะประกอบไปด้วยเหล่าของ Node และ Element ขนาดเล็กๆ ประกอบกัน ดังนั้นสมการจึงต้องอยู่ในรูปทั่วไปที่สามารถทดแทนโครงสร้างทั้งหมดในรูปสมการ Matrix ได้ คือ

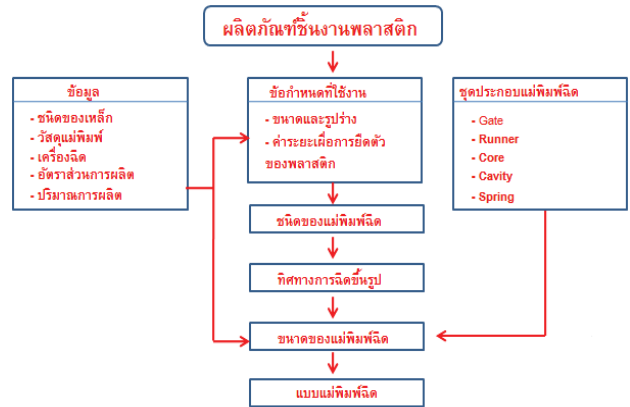
$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (6)$$

สุดท้ายจะได้สมการที่มีตัวแปรที่ไม่รู้ค่าที่อยู่ในรูปแบบของสมการ Matrix แล้วโปรแกรมจะนำค่าของสมการเหล่านี้ไปคำนวณจนได้ค่า Node Displacement ซึ่งจะได้ค่าของ

Stress, Strain [1]

3. ขั้นตอนและกระบวนการออกแบบ

การออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นบาง พิจารณาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกาได้ออกแบบ ทั้งจากเอกสารตำราทางวิชาการและข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตแม่พิมพ์ และผลิตภัณฑ์เหล็กชนิดต่างๆ สามารถสรุปเป็นกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มได้ดังนี้



รูปที่ 4 กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ

3.1.1 ขนาดชิ้นงาน

ขนาดของชิ้นงานจะเป็นตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตลอดจนสามารถคำนวณหาขนาดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก นอกจากนี้ขนาดชิ้นงานสามารถหาได้จากการวัดจากชิ้นงานจริงหรือจากแบบชิ้นงาน (Detailed drawing) ที่ได้จากโปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรม

3.1.2 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection machine)

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกเพื่อทำการขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ได้ออกแบบไว้ ข้อมูลของเครื่องฉีดที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดจะประกอบด้วยขนาดกำลังของเครื่อง ขนาดของแท่นสำหรับวางแม่พิมพ์ ระยะและตำแหน่งในการจับยึดแม่พิมพ์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้สำหรับการคำนวณขนาดแม่พิมพ์ฉีดและการใส่หูยึดและหูยก ตลอดจนการปลดชิ้นงานให้กับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.2 หลักการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ในการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดสิ่งที่สำคัญที่สุดที่จำเป็นต้องคำนึงถึงคือ ต้องทำการออกแบบการวางตำแหน่งของ Gate ซึ่งมีผลต่อเส้นทางการไหลของเนื้อพลาสติกที่เข้าไปใน Cavity และ ระบบ Runner ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมโยง ระหว่างพลาสติกที่ฉีดจากเครื่องฉีดผ่านระบบป้อนเต็มได้แก่ Sprue และ ทางวิ่ง (Runner) เข้าสู่โพรงแบบ (Cavity) โดยผ่านทางเข้า (Gate) เพื่อกระจายพลาสติกเข้าสู่ทุก Cavity ในเวลา

เดียวกัน และ ภายใต้แรงดันเท่ากัน ขนาดของ runner จะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน แบบของแม่พิมพ์ และ ชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการฉีด การผลิตชิ้นงานต้องทำอย่างประหยัดที่สุดเท่าที่จะทำได้โดย Runner จะมีผลต่อปริมาณเศษพลาสติกที่เกิดจากการผลิตและเวลาในการหล่อเย็น [2] ถ้าหน้าตัดของ Runner มีขนาดใหญ่เกินไปไม่เหมาะสมกับขนาดชิ้นงานจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและเป็นเศษเหลือจำนวนมากในการผลิต

งานวิจัยนี้ เป็นกรณีศึกษาในการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ มาทำการวิเคราะห์การไหลของเนื้อพลาสติก ซึ่งจะทำให้สามารถช่วยให้การแก้ไข หรือออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เห็นได้จาก งานวิจัยที่ผ่านมาของสุรศิษฐ์และสิริพร [8] ได้ใช้ Computer Aided Engineering (CAE) เป็นเครื่องมือในการศึกษาผลของความแตกต่าง ของระดับความดันฉีดต่อช่วงเวลาภายหลังการเติมเต็มโพรงแบบที่มีต่อชิ้นงานฉีดพลาสติกพอลิโพรพิลีนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์งานวิจัยของ Li และ Shen [9] ได้ทำการศึกษาและออกแบบ runner แบบสมดุลที่เหมาะสมของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้วิธี Finite Element ขณะที่ Miguel และคณะ [10] ได้ทำการวิจัยออกแบบความหนาของเลนซ์ Polycarbonate โดยใช้ Computer Aided Engineering (CAE) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์จากงานของ Seow และ Lam [13] ได้ศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ Computer Aided Engineering (CAE) ทำการปรับค่าความหนา ในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานที่ขึ้นรูป โดยกระบวนการฉีดที่ทำให้การไหลของพลาสติกเข้าเต็มในแม่พิมพ์มีความสมดุลมากที่สุด [8]

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

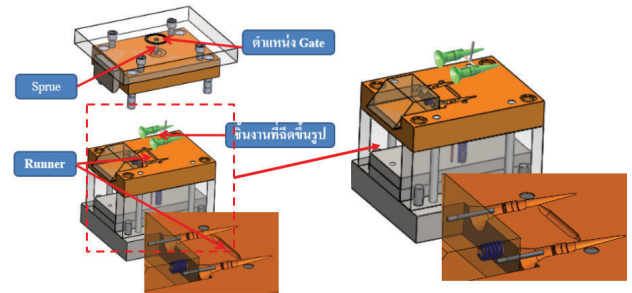
ในการทำวิจัยนี้ ได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินการวิจัย แสดงดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของชิ้นงานในปัจจุบัน
- ทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์ 2 แบบ ที่มีขนาดและสัดส่วนดังรูปที่ 7 และ 8 ซึ่งแบบจำลองทั้งสองจะมีการฉีด 1 Shot เท่ากันและได้ชิ้นงานเท่ากันแต่จะแตกต่างกันที่การวาง Runner
- คำนวณขนาด runner และกำหนดตำแหน่ง gate ที่เหมาะสม
- ออกแบบตำแหน่งวาง gate และ runner
- นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับ
- ทำการแก้ไขแม่พิมพ์ตามผลการทดลองจากแบบจำลอง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบตำแหน่งการวาง Gate, Runner, Sprue และชิ้นส่วนโดยรวมของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังรูปที่ 5 โดยทำการเขียนแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม

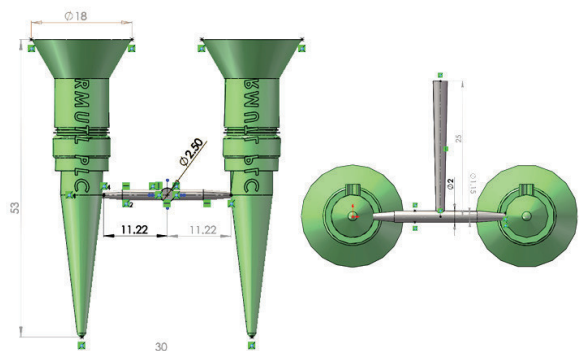
CAD ในส่วนของ Solid Module ซึ่งทำการออกแบบทางวิ่งหลักหนา 2.5 มิลลิเมตร ทางวิ่งรองหนา 2 มิลลิเมตร รูปร่างชิ้นงานหมุดลูกกอล์ฟ มีความสูงชิ้นงาน 53 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางฐานวงลูกกอล์ฟ 18 มิลลิเมตร รูปทรงหมุดวงลูกกอล์ฟพราชมงคลลำนาที่ได้ออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



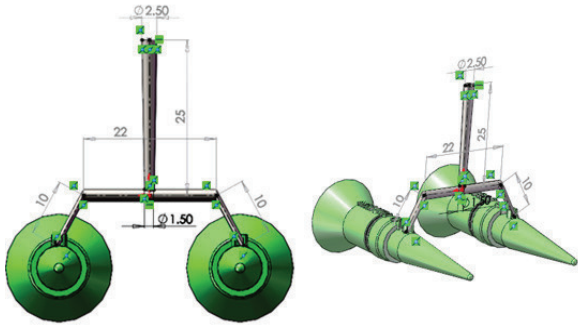
รูปที่ 5 แบบ 3D แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลลำนาและชิ้นงานฉีดที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 6 ชิ้นงานพลาสติกหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลลำนาที่จะทำการวิเคราะห์ผลสำหรับการฉีดขึ้นรูป



รูปที่ 7 ตัวอย่างขนาดของชิ้นงานพลาสติกหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลลำนาที่จะทำการวิเคราะห์ผลสำหรับการฉีดขึ้นรูป แบบที่ 1

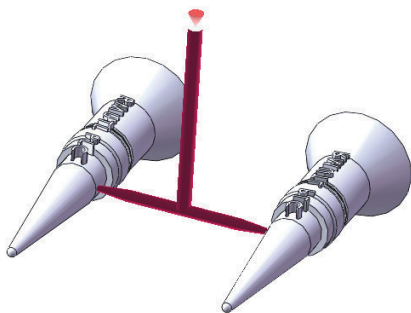


รูปที่ 8 ตัวอย่างขนาดของชิ้นงานพลาสติกหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลล้านนา ที่ทำการวิเคราะห์ผลสำหรับการฉีดขึ้นรูป แบบที่ 2

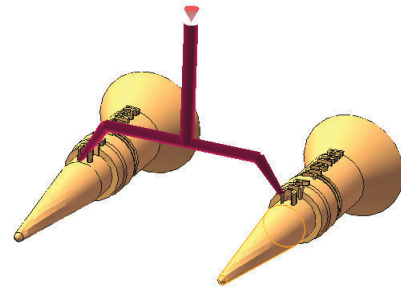
แรงที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปที่ไหลเข้าสู่โพรงชิ้นงาน (Cavity) ที่ต้องการ เป็นเรื่องที่ยากที่จะสามารถรู้ถึงกรอบของปัญหาขอบเขต (Boundary Condition) ที่จะทำให้เกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวชิ้นงานในลักษณะต่างๆ เช่น การเกิดรอยประสานระหว่างเนื้อชิ้นงาน (Weld Line), การหดและการบิดตัวของชิ้นงาน (Wrapage), การเกิดรอยยุบ (Shink Marks), การฉีดไม่เต็มแบบ (Short Shot) และ การเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน (Air Trap) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงเน้นที่จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเข้ามาช่วยในการจำลองการไหลของเนื้อพลาสติกตลอดจนลักษณะของการทำงานและแสดงผลเชิงตัวเลขที่เกิดผลต่อการขึ้นรูปที่เกิดขึ้นกับพลาสติกทำการฉีดทั้งสองแบบจำลองเพื่อทำการเปรียบเทียบการฉีดในแต่ละ Shot เพื่อทำนายผลการทดสอบว่าแบบจำลองไหนให้ผลการทดสอบที่ดีกว่ากันก่อนนำตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ไปสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจริงต่อไป

4.2 การแบ่งขอบเขตของปัญหา

เริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานสามมิติของชุดชิ้นงานแม่พิมพ์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองไว้ 2 แบบ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในส่วนของ Runner ที่วิ่งเข้าสู่ชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 แบบจำลองการวิเคราะห์การฉีดแบบที่ 1



รูปที่ 10 แบบจำลองการวิเคราะห์การฉีดแบบที่ 2

4.3 ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์การฉีดเบื้องต้น

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรอ้างอิงที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลพลาสติก [8]

พลาสติกที่ใช้ในการฉีด	ABS
เวลาที่ใช้ในการฉีด	3.8
อุณหภูมิพลาสติกฉีด (°C)	208
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	40

4.4 ทำการคำนวณขนาดทางวิ่ง (runner) ที่เหมาะสม

คำนวณขนาดของทางวิ่งโดยใช้วิธีการของ Stank [11] เมื่อ

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ runner (มม.)}$$

$$D' = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางปรับแก้ runner (มม.)}$$

$$f_L = \text{ค่าแก้ไข (Correction Factor)}$$

จากน้ำหนักชิ้นงานพลาสติก (G) เท่ากับ 5.79 กรัม ความหนาชิ้นงานเฉลี่ย (S) เท่ากับ 9.6 มม. ความยาวของ runner ที่เข้าไป cavity เดียวเท่ากับ 25 มม. จากแผนภูมิในรูปที่ 11 จะได้ D' เท่ากับ 7 มม. เมื่อ L เท่ากับ 25 มม. จากแผนภูมิในรูปที่ 12 จะได้ f_L เท่ากับ 0.3 ขนาด runner ที่ต้องแก้ไข D จะเท่ากับ

$$D = D' \times f_L \quad (3)$$

$$D = 7 \times 0.3$$

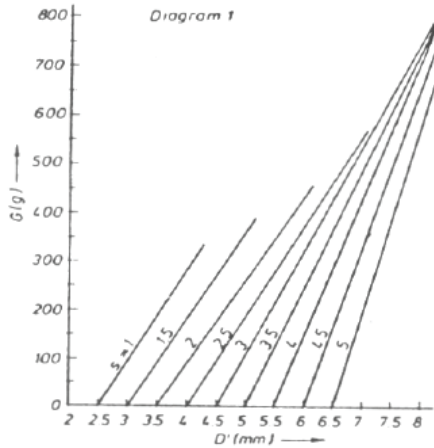
$$= 2.10 \text{ มม.}$$

ขนาดของตัว runner ที่เลือกใช้เส้นผ่าศูนย์กลางควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2.10 มม. จากการคำนวณ เลือกใช้ที่ 2.00 มม. ในการออกแบบ

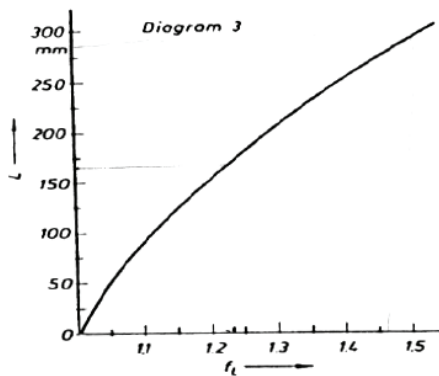
4.5 การคำนวณหาการเปิดปิดแม่พิมพ์และการเลือกใช้สปริง

การหาแรงปิดแม่พิมพ์ (clamping force) เพื่อหาค่าของเครื่องฉีดพลาสติกที่เหมาะสม และตรวจสอบว่าเครื่องฉีดที่ใช้มีขนาดเหมาะสมหรือไม่หาได้จากสมการที่ 4 ทำการคำนวณหาพื้นที่ภาพฉายของชิ้นงานเท่ากับ 949.78 cm^2 ความดันเฉลี่ยภายใน cavity ของพลาสติก ABS เท่ากับ 288 kgf/cm^2 [8] จะได้แรงปิดแม่พิมพ์เมื่อใช้ค่า safety Factor เท่ากับ 20% เท่ากับ 337 ตัน ปัจจุบันใช้เครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ Kawagushi ขนาด 450 ตัน จึงมีแรงที่ clamp เพียงพอในการปิดและเปิดแม่พิมพ์ เมื่อดำเนินถึงการปลดชิ้นด้วยแรงเปิดปิดที่ได้จากเครื่อง

ฉีดย่อมมีผลต่อความเหมาะสมในการเลือกใช้สปริง ถ้าเกิดเลือกสปริงที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าประสิทธิภาพแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ได้ อาจเกิดความเสียหายได้ [13] การเลือกใช้สปริงต้องดูที่การใช้งาน ควรเลือกให้เหมาะกับงานที่ใช้เนื่องจากงานวิจัยนี้ชนิดแม่พิมพ์ต้องถูกปลดล็อคชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง สปริงที่ใช้ต้องทนต่อแรงกดตัวได้ดี ชนิดสปริงแสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 11 แผนภูมิสำหรับหาค่า D' ของ stank [11]



รูปที่ 12 แผนภูมิสำหรับหาค่า fl ของ stank [11]

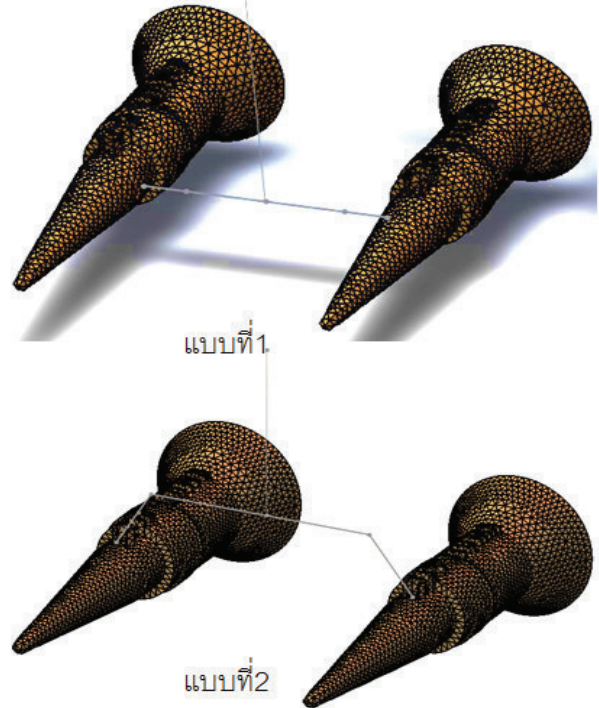


รูปที่ 13 ชนิดของสปริงในการทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและปั๊มโลหะ [12]

5. การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการวิเคราะห์การจำลองการฉีดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของโมเดล 1 และ 2 สามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

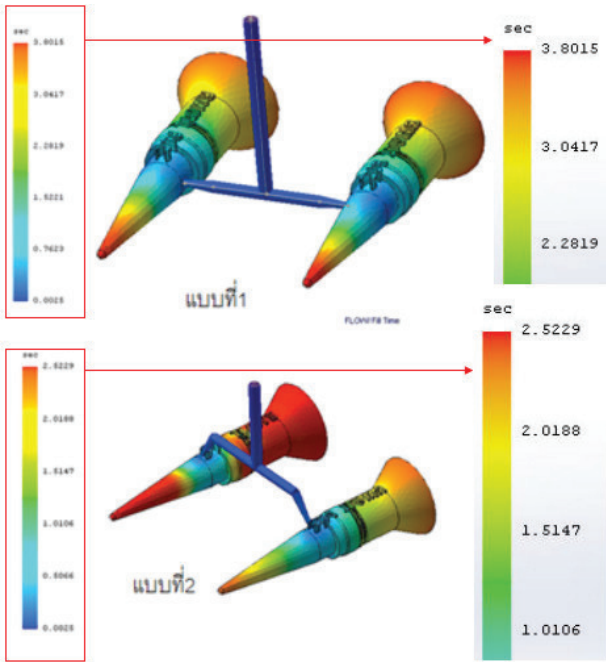
5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ที่สร้างเมชเอลิเมนต์



รูปที่ 14 แสดงการสร้างเมชเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

5.2 การวิเคราะห์แบบ Flow Fill Time

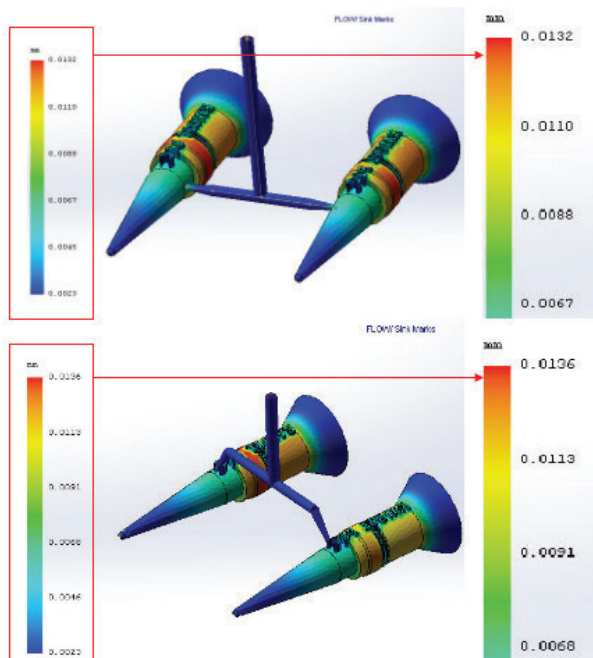
Flow Fill Time คือการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mold Fill Analysis ทำให้ทราบถึงเวลาและทิศทางไหลของพลาสติกของแต่ละช่วงเวลา ที่เข้าไปในชิ้นงานซึ่งดูจากสัดส่วนการไหล โดยจะแสดงเป็นสีที่ไหลเข้าไปในโพรงแบบตามสีของทางวิ่งของแต่ละเวลา ในแบบจำลองที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์ Flow Fill Time ดังรูปที่ 15 ผลที่ได้จากการฉีดพบว่าแบบจำลองที่ 2 จะใช้เวลาฉีดเร็วกว่าแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 15 แสดงการวิเคราะห์แบบ Flow Fill Time

5.3 การวิเคราะห์แบบ Sink Marks

Sink Marks คือ การวิเคราะห์รอยยุบตัวของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ในแบบบจาลองที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์ Sink Marks ดังรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าแบบจาลองที่ 1 จะเกิดรอยยุบตัวที่มากกว่าแบบจาลองที่ 2 เพราะการเคลื่อนที่ของน้ำพลาสติกวิ่งได้ไม่ทั่ว Cavity จึงส่งผลให้เกิดแรงและรอยยุบตัวที่มากกว่าแบบจาลองที่ 2

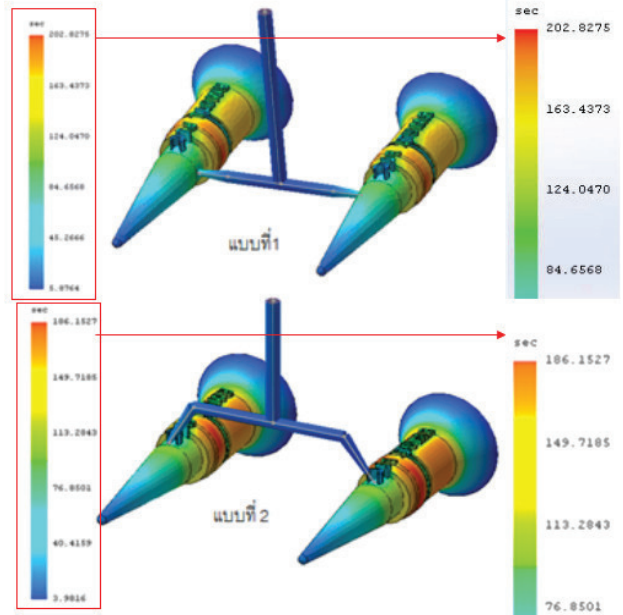


รูปที่ 16 แสดงการวิเคราะห์แบบ Sink Marks

5.4 การวิเคราะห์แบบ Cooling Time

Cooling Time คือ การวิเคราะห์เวลาการระบายความร้อนของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ในแบบบจาลองที่ 1

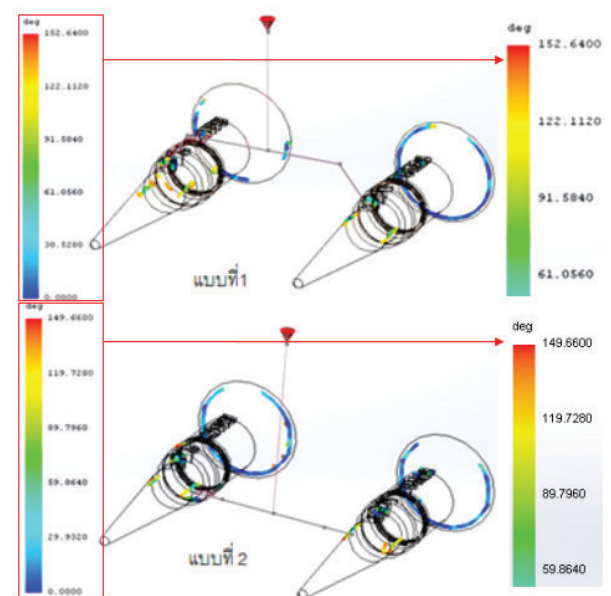
และ 2 ผลการวิเคราะห์ Cooling Time ดังรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าแบบจาลองที่ 2 จะให้การระบายความร้อนได้ดีกว่าแบบจาลองที่ 1 เพราะถ้าการไหลตัวของน้ำพลาสติกดีการระบายความร้อนในระบบก็จะดีขึ้นงานก็จะสมบูรณ์มากขึ้น



รูปที่ 17 แสดงการวิเคราะห์แบบ Cooling Time

5.5 การวิเคราะห์แบบ Weld Line

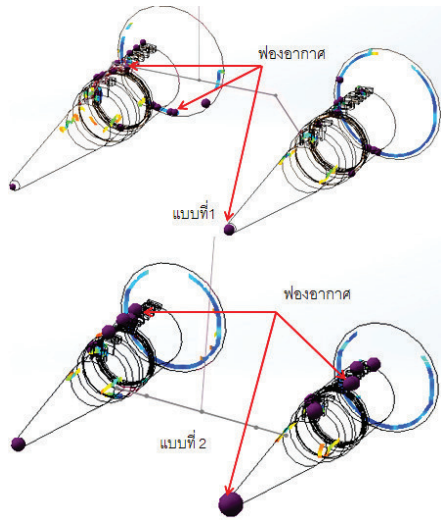
Weld Line คือ การวิเคราะห์การเกิดรอยประสานของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ในแบบจาลองที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์ Weld Line ดังรูปที่ 18 รอยประสานของแบบจาลองที่ 2 จะน้อยกว่าแบบจาลองที่ 1 เพราะการไหลเชื่อมต่อนั้นงานแบบจาลองจาลองที่ 1 เคลื่อนที่ได้ไม่เต็ม Cavity ซึ่งมุมของรอยประสานของเนื้อพลาสติกที่เกิดขึ้นจะเทียบกับทิศทางของการวาง Runner และ Gate



รูปที่ 18 แสดงการวิเคราะห์แบบ Weld Line

5.6 การวิเคราะห์การเกิดฟองอากาศ Air Trap

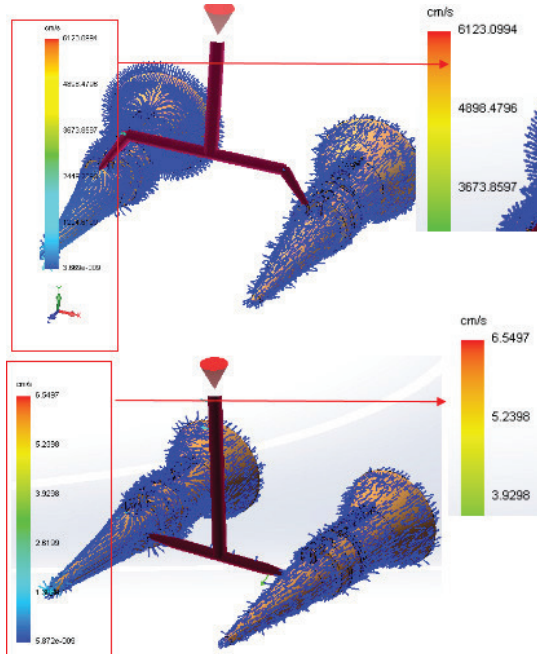
Air Trap คือ การวิเคราะห์การเกิดฟองอากาศของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ในแบบจำลองที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์ Air Trap ดังรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1 เกิด Air Trap น้อยกว่าแบบจำลองที่ 2 เนื่องจากลักษณะของการวาง Runner ที่มีผลต่อการเกิด Air Trap ในกระบวนการฉีด



รูปที่ 19 แสดงการวิเคราะห์การเกิดฟองอากาศ Air Trap

5.7 การแสดงผล Velocity Vector at End of Fill

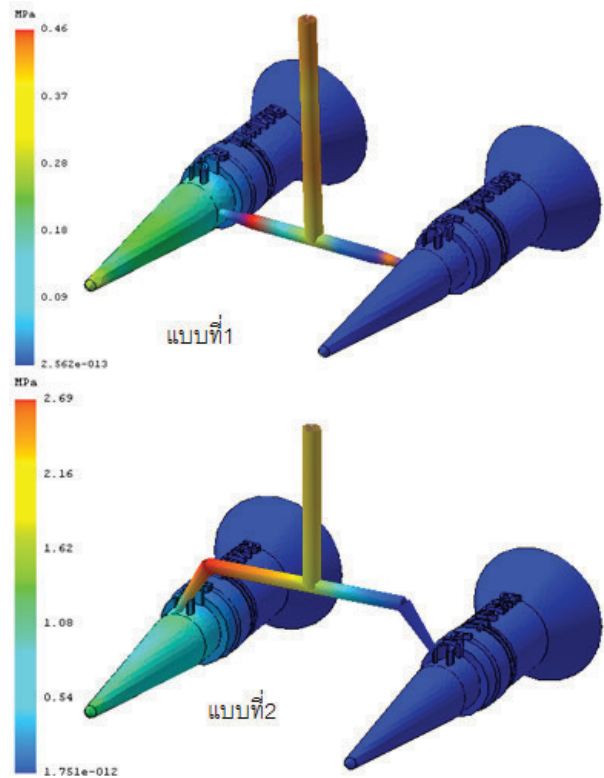
คือการแสดงผลในรูปแบบเวกเตอร์การไหลของเนื้อพลาสติกที่ถูกฉีดขึ้นรูป ดังรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบแบบจำลองที่ 2 จะให้ค่าการไหลตัวของน้ำพลาสติกได้ดีกว่าแบบจำลองที่ 1 เนื่องจากตำแหน่งในการวาง Gate และ Runner มีมุมการฉีดที่ดีกว่าแบบที่ 1 จึงทำให้เกิดการไหลตัวของเวกเตอร์ความเร็วได้ดีกว่าการวาง Runner แบบเส้นตรง



รูปที่ 20 การแสดงผล Velocity Vector at End of Fill

5.8 การวิเคราะห์แบบ Shear Stress of Fill

คือการวิเคราะห์ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการฉีด ทำให้ทราบถึงทิศทางการไหลของเนื้อพลาสติกของแต่ละแบบจำลอง ที่เข้าไปในเนื้อชิ้นงานซึ่งสามารถแสดงผลในรูปของสัดส่วนการไหลและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีด จากผลการทดสอบจากแบบจำลองที่ 1 พบว่าความเค้นเฉือนจะน้อยกว่าแบบจำลองที่สองเนื่องจากทิศทางของตัว Runner ที่สั้นกว่าแบบจำลองที่สอง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การวิเคราะห์แบบ Shear Stress of Fill

6. สรุปผลการวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูป

ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mold Fill Analysis สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mold Fill Analysis

รายการวิเคราะห์	แบบจำลองหมุดลูกกอล์ฟ	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2
จำนวนเมฆเอลิเมนต์	10,120	10,120
Flow Fill Time	3.80 sec	2.52 sec
Cooling Time	202.02 sec	186.15 sec
Sink Marks	0.0123 mm.	0.0136 mm.
Weld Line	152.64 deg.	149.66 deg.
Shear Stress of Fill	0.46 MPa	2.69 MPa
Velocity Vector	6.5497 cm/s	6123.09 cm/s

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Mold Fill Analysis ซึ่งเป็น Module หนึ่งในโปรแกรมหลักของ Autodesk

Inventor Professional 2014 ซึ่งให้ผลการจำลองเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของเนื้อพลาสติกในการขึ้นรูปหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลล้านนา ทั้งสองแบบจำลอง ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองที่สองที่มีการออกแบบตัว Runner ตามรูปที่ 7 จะให้ผลการทดสอบในการฉีด, การระบายความร้อนตัวขึ้นงานได้ดีกว่าแบบจำลองที่ 1 อีกทั้งยังเกิดฟองอากาศในตัวขึ้นงานน้อยกว่าแบบที่ 1 ดังตารางที่ 2 ที่สรุปรายการแสดงผลการทดสอบ

7. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการศึกษาวิจัยเพื่อทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกหมุดลูกกอล์ฟพราชมงคลล้านนา พบว่า การออกแบบตำแหน่งในการวาง Gate และการออกแบบ Runner ที่เหมาะสมจะส่งผลถึงเวลาและจำนวนการผลิตที่ดีขึ้น กล่าวคือถ้ามีการออกแบบ Runner ที่ทางเข้าขึ้นงานได้เหมาะสมถูกต้องและสัมพันธ์กับตัว Gate เวลาในการฉีดก็จะเร็วขึ้น อีกทั้งเวลาในการคายความร้อนของตัวเนื้อพลาสติกที่ได้ทำการขึ้นรูปแล้วก็จะใช้เวลาน้อยลง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและใช้ความถูกต้องเพื่อให้แน่ใจก่อนที่จะตัดสินใจทำการผลิตจริง และเป็นแนวทางในการพัฒนางานชิ้นส่วนยานยนต์ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการนี้ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนจาก “โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างและงานบริการวิชาการสู่ชุมชน” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอขอบคุณอาจารย์สมชาย ชูแก้ว Manager Director บริษัท คอร์ปอเรชั่น เทคโนโลยี โซลูชั่น จำกัด ที่อนุเคราะห์ในการใช้โปรแกรม และเป็นທີ່ปรึกษาในงานด้านเทคนิค

9. เอกสารอ้างอิง

[1] L. Werayoot, “The Design of Metal Stamping Mold Using Finite Element Analysis,” *Industrial Engineering Conf.*, pp. 935-942.
 [2] N. Werapong and J. Aprichat, “Endurable Analysis of Buddha Model Using Reverse Engineering and Finite Element Analysis,” *Kasetsart Engineering Journal.*, pp.95-108.

[3] K. Karun and C.Somchai, “Finite Element Method for Critical Top Tension Analysis of Neutrally Buoyant Riser,” *Research and Development Journal.*, 37(7), pp.429-446.
 [4] S. Tanachom and P. Bunpat, “Analysis and Design of Load Cell by using Finite Element Method,” *Engineering Project. Department of Civil and Environmental Engineering. Burapha University.*, pp.95-105.
 [5] K. Anndy, “Finite Element Analysis Technique for Metal”, Available: <http://www.oemenclosure.com/Metalstamping.ppt> [2014, August 4]
 [6] S.Nichom, “Process Development and Production Control of Management for Mold Resources Manufacture”, *Chiang Mai, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 2012.*, pp.175-180.
 [7] T.Somkat, *Rapid Prototyping, Vol.I.* Bangkok: Chulalongkorn University, 2004, p. 185
 [8] K.Oamnat, *Stamping Machine, vol. 4.* Chon Buri: Daipla Syste Thailand Co., Ltd, 2003, p.170-175.
 [9] T.Suppachai and W.Sataporn, *Solid Works and Cosmos Work, vol. 4.* Bangkok: SST, 2007, p. 130.
 [10] G.Menges and P.Mohren, *How to Make Injection Molds, vol. 4.* New York: SDT, 2001, p. 100.
 [11] C.S. Li and Y.K Shen , “Optimum Design of Runner System Balancing in injection molding,” *International Communication in Heat and Mass Transfer Conf.*, pp. 179-188.
 [12] P.Miguel, B.Juan and B.Julio, “Limiting thickness estimation in polycarbonate lenses injection using CAE tools,” *Journal of Materials Processing Technology.*, pp. 438-441.
 [13] L.W. Seow, and Y.C. Lam, “Optimizing Flow in plastic injection molding,” *Material Processing Conf.*, pp. 169-175.

10. ชีวประวัติ



วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล
 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา
 พิษณุโลก