การออกแบบแกนทางเข้าของเบ้าพิมพ์ที่ใช้ในแม่พิมพ์อัดส่งสำหรับการขึ้นรูปข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับยางขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

A Design on the Sprue Gate for the Cavity of the Transfer Mould for Passenger Car Rubber Glass Run Connector Moulding

ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ[1, 2*], ประพัทธิ์ คุ้มปลีวงศ์[2], คันธพจน์ ศรีสถิตย์[1, 2] และ ธวัชชัย ชาติตำนาญ[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[*] E-mail: fengssr@ku.ac.th โทรศัพท์: 662 942 7188 โทรสาร: 662 942 7189

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ผลิตแม่พิมพ์สำหรับชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ มักประสบปัญหาในด้านของการออกแบบแม่พิมพ์และการประกอบชิ้นส่วนที่ได้ในส่วนต่างๆ ของรถยนต์ เนื่องจากขาดองค์ความรู้และเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ร่วมกับประสบการณ์ในการทำงาน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบแกนทางเข้าของเบ้าพิมพ์ที่ใช้ในแม่พิมพ์อัดส่งสำหรับการขึ้นรูปข้อต่อยางที่ทำจากวัสดุยางอีพีดีเอ็มที่ใช้ร่วมกับยางขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและตำแหน่งของแกนทางเข้าเป็นตัวแปรต้น และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อความดันสูญเสียในเบ้า ระยะเวลาในการเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ อุณหภูมิการคงรูปของยาง ซึ่งส่งผลต่อการโก่งงอของชิ้นงาน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมมาใช้ในการจำลองพฤติกรรมการไหลของยางในเบ้าพิมพ์ที่เป็นผลกระทบจากการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้าระหว่าง 0.70 ถึง 1.50 มิลลิเมตร ซึ่งผลการจำลองพบว่า ในแต่ละตำแหน่งของแกนทางเข้าที่โค้งด้านในขอบกลาง และที่โค้งด้านนอกของชิ้นงาน จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมเป็น 1.50 0.70 และ 1.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีความดันสูญเสีย 211.50 บาร์ ระยะเวลาในการเติมเนื้อ 8.36 วินาที อุณหภูมิการคงรูปของยาง 175 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการจำลองข้างต้นสอดคล้องกับผลการทดสอบอัดส่งขึ้นรูปชิ้นงานจริงในห้องปฏิบัติการ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางในด้านการพัฒนาศักยภาพของผู้ออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในแข่งขันในระดับนานาชาติได้ในอนาคต

คำหลัก: แกนทางเข้า เบ้าพิมพ์ แม่พิมพ์อัดส่ง ข้อต่อยาง อีพีดีเอ็ม

Abstract

Evidently, there are ongoing problems in mould design and manufacturing for mouldmakers of the automotive rubber parts. Both trial and error as well as learning by experience is often used to produce mould without any fundamental understanding. In this research, a design on the sprue gate for the cavity

of the transfer mould for passenger car rubber glass run connector moulding was performed. The investigated input parameters include a diameter and a position of the sprue gate; in addition, the output variables can be listed as a pressure loss in the cavity, filling time, curing temperature which affect on the part deformation. In this study, both numerical simulation and empirical work were carried out to validate the results. The simulated result reveals that in each sprue gate position at the inner, middle, and outer rim of the part, the diameters can be found as 1.50, 0.70, and 1.50 millimeters, respectively, with the pressure loss of 211.50 bars, filling time of 8.36 seconds, and curing temperature of 175 degree celcius. These simulated results are also correlated well with the empirical data with 8% discrepancy. As a result, this research can contribute to the rubber mould makers in order to design and to manufacture the mould more efficiently in the future.

***Keywords**:* Sprue gate, Cavity, Transfer mould, Rubber connector, EPDM.

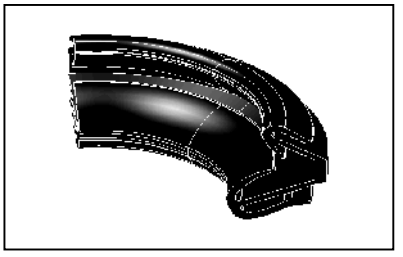
1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการของผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์มีเพิ่มมากขึ้น ทั้งความต้องการจากภายในประเทศและต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาเป็นกรณีศึกษาสำหรับการวิจัยนี้ คือ ข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับยางขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Glass Run) ซึ่งมีความซับซ้อนทั้งรูปร่างของชิ้นงาน การออกแบบแม่พิมพ์และการผลิตที่ต้องมีความเที่ยงตรง ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีการผลิตเพื่อใช้ทั้งภายในและภายนอกประเทศเป็นจำนวนมาก แต่องค์ความรู้ในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางดังกล่าวข้างต้น ยังมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้แม่พิมพ์ที่ผลิตได้ยังขาดประสิทธิภาพเกิดการสูญเสียต้นทุนมากทั้งในด้านเวลาการทดสอบแม่พิมพ์ก่อนผลิตที่มีการทดลองหลายครั้ง รวมทั้งการเสียต้นทุนด้านวัสดุเนื่องจากชิ้นงานมีขนาดยาว โดยชิ้นงานเสียในลักษณะเกิดการโก่งตัวบริเวณช่วงมุมต่อของข้อต่อยาง [1-3] จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering) มาใช้ในการจำลองพฤติกรรมการไหลของยางในเบ้าพิมพ์ (Cavity) ที่เป็นผลกระทบจากการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้า (Sprue Gate) ขนาดต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการฉีดขึ้นรูป ทำให้จำนวนครั้งของกระบวนการทดสอบแม่พิมพ์ก่อนผลิตจริง (Try-Out) และต้นทุนที่เกิดจากยางที่สูญเสียลดลง ส่งผลต่อการสร้างองค์ความรู้ในด้านการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีความเที่ยงตรงและซับซ้อนสูงอื่นๆ ได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา และการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

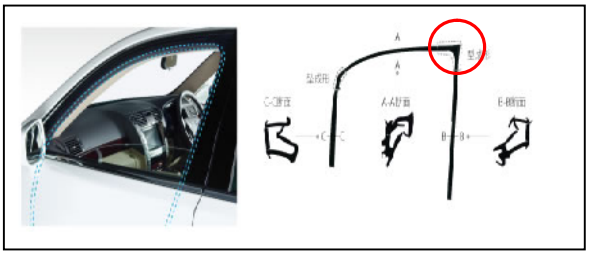
งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากสถานประกอบการแห่งหนึ่ง ซึ่งดำเนินธุรกิจในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ จากการประชุมร่วมกันของคณะผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องได้ผลสรุปในการเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นกรณีศึกษา คือ ข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับยางขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งเป็นยางอีพีดีเอ็ม (Ethylene-Propylene-Diene Monomer, EPDM) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพ 3 มิติของข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับเส้นยางกันอากาศขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

จากการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ ณ สถานประกอบการ เพื่อพิจารณาถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์

ยางกรณีศึกษาในส่วนที่ต้องการควบคุมคุณภาพที่สำคัญคือ เกิดการโก่งตัวบริเวณมุมข้อต่อของยางที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ทำให้ไม่สามารถประกอบเข้ากับขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ แสดงดังรูปที่ 2



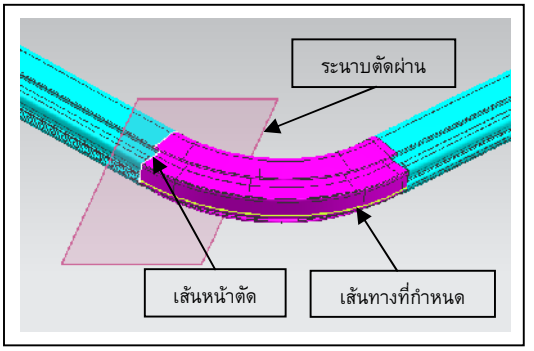
รูปที่ 2 การประกอบเส้นยางกันอากาศขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล [4]

2.2 การสร้างแบบ 3 มิติของผลิตภัณฑ์ ทางเข้า แกนทางเข้า และแกนรูวิ่ง

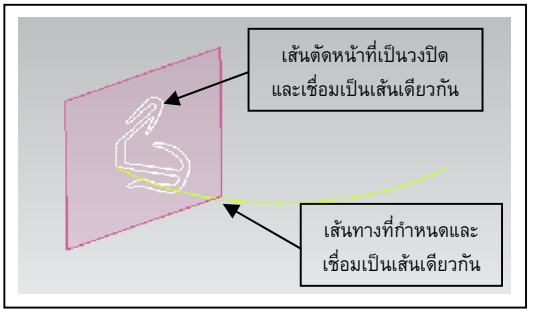
เนื่องจากทางสถานประกอบการมีเพียงแบบ 3 มิติของชิ้นงานที่เป็นมาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิว (Initial Graphic Exchange Standard, IGES) ซึ่งยังไม่สามารถใช้จำลองการไหลได้ ต้องแก้ไขชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบจำลอง 3 มิติแบบทรงตัน (Solid Model) และจัดเก็บไฟล์ต่างๆ ที่เป็นพื้นผิวของชิ้นงานในรูปสามเหลี่ยมหลายๆ รูปประกอบกัน (Stereolithography, STL) รวมทั้งวาดส่วนประกอบต่างๆ เพิ่มเติมสำหรับจำลองการไหลของยาง ได้แก่ ทางเข้า (Gate) แกนทางเข้า และแกนรูวิ่ง (Sprue Runner) สำหรับขั้นตอนการแก้ไขและจัดเตรียมไฟล์ในรูปแบบจำลอง 3 มิติแบบทรงตัน มีดังนี้

2.2.1 สร้างเส้นหน้าตัด (Section Curve) ซึ่งเป็นวงปิด (Closed Loop) และเส้นทางที่กำหนด (Guide Curve) เฉพาะส่วนที่เป็นข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับเส้นยางขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากแบบจำลอง 3 มิติแบบพื้นผิว (Surface Model) แสดงดังรูปที่ 3

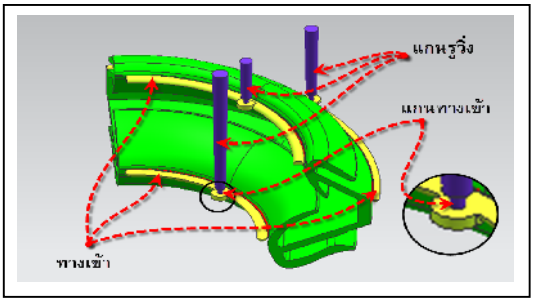
2.2.2 ยืดหน้าตัดที่เป็นวงปิดตามเส้นทางที่กำหนดเฉพาะบริเวณส่วนที่เป็นข้อต่อ จากนั้นสร้างทางเข้าแกนทางเข้าและแกนรูวิ่งให้เป็นแบบจำลอง 3 มิติแบบทรงตัน โดยพิจารณาที่จุดศูนย์กลางมวลของชิ้นงานเพื่อให้เกิดการสมดุลต่อการไหลของยางให้มากที่สุด รวมทั้งความเป็นไปได้ของระบบปลดชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 3 เส้นหน้าตัดที่เกิดจากการคัดลอกเส้น (Extract Curve) ที่ถูกระนาบตัดผ่าน (Section Plane) และเส้นทางที่กำหนดเฉพาะส่วนที่ข้อต่อ



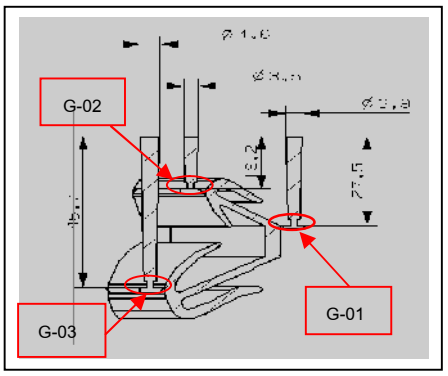
รูปที่ 4 เส้นหน้าตัดที่เกิดจากการคัดลอกเส้น ที่ระนาบตัดผ่าน และเส้นทางที่กำหนดเฉพาะส่วนที่ข้อต่อ โดยซ่อนชั้น (Layer) ซึ่งเป็นแบบจำลอง 3 มิติแบบพื้นผิว



รูปที่ 5 แบบจำลอง 3 มิติแบบทรงตัน ทางเข้า แกนทางเข้า และแกนรูวิ่ง

2.3 การวางแผนการทดลอง

2.3.1 กำหนดตัวแปรต้นที่ควบคุมได้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้า แสดงดังรูปที่ 6 และตารางที่ 1



รูปที่ 6 แบบ 2 มิติของแกนทางเข้าที่ต้องการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้า

การทดลอง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)		
	G-01	G-02	G-03
1	1.5	1.5	1.5
2	1.5	1.5	1.0
3	1.5	1.5	0.7
4	1.5	1.0	1.5
5	1.5	0.7	1.5
6	1.0	1.5	1.5
7	0.7	1.5	1.5

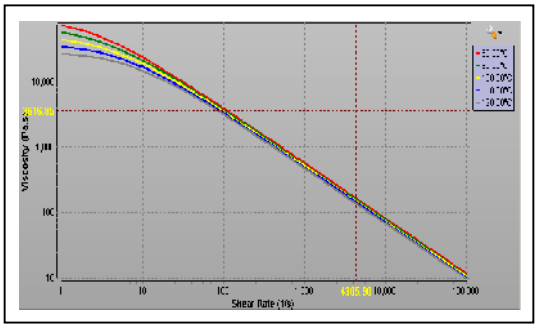
ส่วนตัวแปรอื่นๆ ที่ควบคุมไม่ได้จะไม่นำมาพิจารณา

2.3.2 กำหนดผลกระทบที่เกิดจากการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้า ได้แก่ ความดันสูญเสีย ระยะเวลาในการเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ ซึ่งส่งผลต่อการโก่งงอของชิ้นงาน

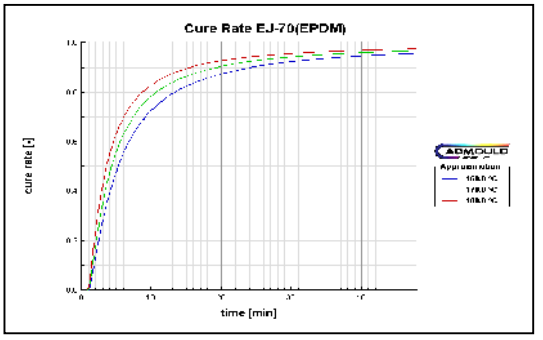
2.4 การจำลองการไหลของยางในแม่พิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม

2.4.1 กำหนดขนาดเอลิเมนต์ (Relative Element Size) 1 เปอร์เซ็นต์ ที่เหมาะสมกับขนาดความหนาของชิ้นงาน (Wall Thickness) 0.1-5 มิลลิเมตร ซึ่งมีจำนวนเอลิเมนต์ 88,209 เอลิเมนต์ [5]

2.4.2 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุยาง EPDM 70 Shore A ที่ได้จากการทดสอบและค่าเริ่มต้นต่างๆ ในการจำลองการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 7 8 และตารางที่ 2



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (Viscosity) กับ (Shear Rate) ของยางที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคงรูป (Cure Rate) กับเวลา (Time) ของยางที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ 2 ค่าเริ่มต้นต่างๆ ในการจำลองการขึ้นรูป

ค่าเริ่มต้น	ค่าที่กำหนด
1. แรงปิดแม่พิมพ์ (tons)	100
2. ความดันไฮดรอลิกในการอัดสูงสุด (bars)	160
3. เวลาในการฉีด (s)	8
4. ความดันในการอัด (bars)	100
5. อุณหภูมิยางคอมพาวด์ (°C)	35
6. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	175
7. เวลาในการคงรูป (s)	240

2.4.3 จำลองและวิเคราะห์ผลการไหลของยางคอมพาวด์ในเบ้าพิมพ์ ด้วยสมการควบคุม (Governing Equation) ตามหลักการอนุรักษ์มวลโมเมนตัม และพลังงาน (The Conservation of Mass, Momentum and Energy) ดังสมการที่ (1) ถึง (4) คือ

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\eta\frac{\partial u}{\partial z}\right)-\frac{\partial P}{\partial x}=0 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\eta\frac{\partial v}{\partial z}\right)-\frac{\partial P}{\partial y}=0 \qquad (3)$$

$$\rho C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)=k_{th}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\Phi+\dot{Q} \qquad (4)$$

เมื่อ u, v, w เป็นความเร็วในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ $\eta, P, \rho, C_P, T, k_{th}, \Phi, \dot{Q}$ เป็นความหนืด ความดัน ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ อุณหภูมิ การนำความร้อน ความหนืดจากการให้ความร้อน และอัตราการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาจากการคงรูปยาง ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองพลศาสตร์ของการคงรูป (Curing Kinetic Model) สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ (5) ถึง (7) คือ

$$\frac{d\alpha}{dt}=\frac{\bar{n}}{k}t^{-(1+\bar{n})}\alpha^2 \qquad (5)$$

$$\alpha=\frac{kt^{\bar{n}}}{1+kt^{\bar{n}}} \qquad (6)$$

$$k=k_0\exp\{-E/RT\} \qquad (7)$$

เมื่อ $\alpha=Q/Q_\infty$ เป็นลำดับขั้นของการคงรูป โดยที่ Q เป็นปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา ที่ขึ้นกับเวลา t และ Q_∞ เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา $k_0, E, \bar{n}$ เป็นค่าคงที่จลนพลศาสตร์ (Kinetic Constant) ที่ไม่แปรผันตามอุณหภูมิ ซึ่งปฏิกิริยาการคงรูปเกิดขึ้นในสภาวะการเติมเนื้อยางคอมพาวด์เข้าเบ้าพิมพ์ (Cavity-Filling Stage) [6] ต่อจากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองการไหลดังกล่าวข้างต้นกับการทดสอบการอัดส่งขึ้นรูป (Transfer Moulding)

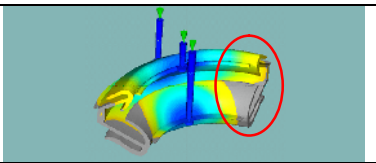
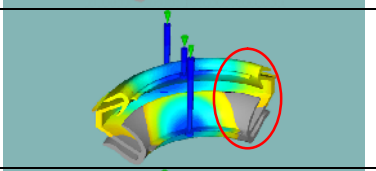
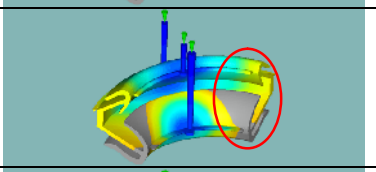
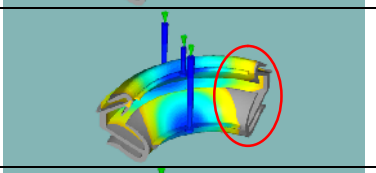
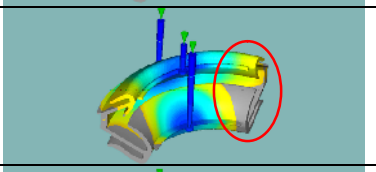
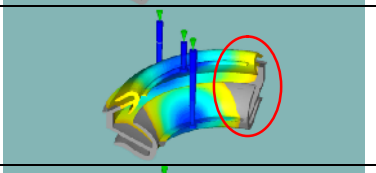
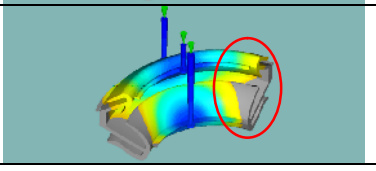
3. ผลและวิจารณ์

ผลการจำลองการขึ้นรูป ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการไหลตัวต่างๆ ของยางคอมพาวด์ที่จำเป็นต้องนำไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อลดปัญหาในงานอัดส่งขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลตัวของยางคอมพาวด์ไม่เต็มพร้อมกันของการขึ้นรูปชิ้นงานข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับเส้นยางกันอากาศขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ทำให้เกิดการโก่งตัวบริเวณข้อต่อของยาง ไม่สามารถประกอบเข้ากับขอบหน้าต่างได้

ตารางที่ 3 ค่าความดันสูญเสียและระยะเวลาการเติมเนื้อยางคอมพาวด์ในเบ้าพิมพ์ที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป

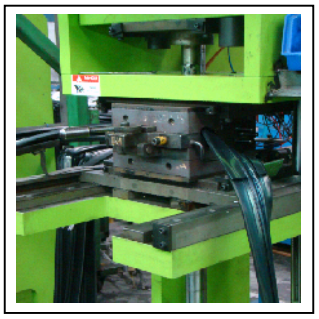
การทดลอง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)			ความดันสูญเสีย (bars)	ระยะเวลาการเติมเต็มเนื้อยาง (s)
	G-01	G-02	G-03		
1	1.5	1.5	1.5	201.5	8.65
2	1.5	1.5	1.0	213.7	8.68
3	1.5	1.5	0.7	234.3	8.48
4	1.5	1.0	1.5	205.5	8.52
5	1.5	0.7	1.5	211.5	8.36
6	1.0	1.5	1.5	208.2	8.59
7	0.7	1.5	1.5	215.9	8.50

ตารางที่ 4 ลักษณะการไหลเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาเติมเต็มจากการจำลองการไหล

การทดลองที่	ลักษณะการไหลเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ในเบ้าพิมพ์
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการไหลตัวเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ในเบ้าพิมพ์ของการขึ้นรูปชิ้นงานที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์จากการจำลองการไหลของการทดลองทั้ง 7 กรณี พบว่า เงื่อนไขของการทดลองที่ 5 สามารถทำให้การไหลตัวของยางคอมพาวด์สม่ำเสมอมากที่สุด ส่งผลให้เกิดการโก่งตัวของชิ้นงานน้อยที่สุด จึงเลือกเงื่อนไขดังกล่าวในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์

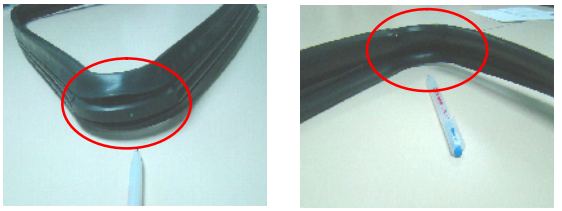
จากนั้นทำการทดสอบอัดส่งขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 9 โดยมีเงื่อนไขแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ข้อต่อยางที่ใช้ร่วมกับเส้นยางกันอากาศขอบหน้าต่างในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้ มุมของข้อต่อไม่แตก และผิวของมุมต่อเรียบเสมอกัน ต่อจากนั้นนำไปประกอบเข้ากับขอบหน้าต่างของประตูรถรุ่นดังกล่าว สามารถประกอบเข้าได้กับขอบประตูสนิท ไม่เกิดการโก่งงอบริเวณช่วงมุมของข้อต่อ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากจำลองการขึ้นรูปตามเงื่อนไขของการทดลองที่ 5 แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 แม่พิมพ์ปิด และอัดส่งขึ้นรูปชิ้นงานตามเงื่อนไขต่างๆ ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 5 เงื่อนไขและค่าเริ่มต้นที่สำคัญในการทดสอบอัดส่งขึ้นรูป

ค่าเริ่มต้น	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้
1. ความแข็งของยาง EPDM (Shore A)	70	70
2. แรงปิดแม่พิมพ์ (tons)	100	-
3. ความดันไฮดรอลิกส์ในการอัดสูงสุด (bars)	200	160
4. เวลาในการฉีด (s)	8 ±2	9.6
5. เวลาในการคงรูป (s)	240±30	262
6. ความดันในการอัด (bars)	100 ±10	103
7. อุณหภูมิยางคอมพาวด์ (°C)	35 ±3	38
8. อุณหภูมิแม่พิมพ์ชุดบน (°C)	175 ±10	181
9. อุณหภูมิแม่พิมพ์ชุดล่าง (°C)	175 ±10	179



ก. บริเวณโครงด้านนอก ข. บริเวณโครงด้านใน

รูปที่ 10 ชิ้นงานที่จากการอัดส่งขึ้นรูป

4. สรุป

จากผลการวิจัยพบว่าการจำลองพฤติกรรมการไหลของยางในเบ้าพิมพ์ที่เป็นผลกระทบจากการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทางเข้าระหว่าง 0.70 ถึง 1.50 มิลลิเมตร ในแต่ละตำแหน่งของแกนทางเข้าที่โค้งด้านใน ขอบกลาง และที่โค้งด้านนอกของชิ้นงานจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมเป็น 1.50 0.70 และ 1.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีความดันสูญเสีย 211.50 บาร์ ระยะเวลาในการเติมเต็มเนื้อยางคอมพาวด์ 8.36 วินาที อุณหภูมิการคงรูปของยาง 175 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการจำลองข้างต้นสอดคล้องกับผลการทดสอบอัดส่งขึ้นรูปชิ้นงานจริงในห้องปฏิบัติการ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางในด้านการพัฒนาศักยภาพของผู้ออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ ได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบทุนวิจัยโครงการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ยุทธศาสตร์ที่ 2 (การยกระดับความสามารถด้านเทคโนโลยีการผลิตแม่พิมพ์ความเที่ยงตรงและซับซ้อนสูงผ่านสถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) กระทรวงอุตสาหกรรม ประจำปี 2553 และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) สำหรับความช่วยเหลือด้านสถานที่ ข้อมูล และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Yamashita, T. (1996). *Glass Run*, U.S. Patent 5,655,333.

[2] Miyamoto, W., S. Mikio and M. Takashi. (1998). *Automotive Door weather Strip Arrangement*, U.S. Patent 6,131,342 .

[3] Chris, J, H. And E. Gardner. (1994). *Molded Glass Run Channel corner Assembly,* U.S. Patent 5,566,510.

[4] Toyoda Gosei Co., Ltd. (2004). *Glass Run*. URL: http://www.toyodagosei.com/products/body/index.html, access on June 10, 2010.

[5] Simcon kunstsofftechnische Software GmbH. (2002) *Cadmould Rubber User's M*anual, Simcon. Herzogenrath, Germany.

[6] Isayev, A.I. (1991). *Modeling of Polymer Processing*, Hanser Publishers, Munich, Germany.