

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์ในการหาสภาวะ
เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
An Application of Computer Aided Design and Computer Aided Engineering
for the Optimized Condition on Rubber Injection Moulding

เสกสรรค์ วินยางค์กุล^{1*} ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ¹ กิตตินันท์ อ้นนانون² ชนะ รักรศิริ³ และคุณยุต เอี่ยมสะอาด¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-7188 โทรสาร 0-2942-7189 *อีเมล์ seksanwin@yahoo.com

Seksan Winyangkul^{1*}, Supasit Rodkwan¹, Kittinan Unnanon², Chana Raksiri³ and Kunnayut Eiamsa-ard¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University and

Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology

²National Metal and Material Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development

Agency (NSTDA), Ministry of Science and Technology, Klongluang, Pathumthani 10210, Thailand,

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900,

Thailand. Tel: 0-2942-7188, Fax 0-2942-7189, *E-mail: seksanwin@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำคอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยทำการจำลองการไหลของยางที่ไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ และกำหนดค่าคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับยางเช่น ความหนาแน่น ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน อัตราการเนียน เวลาที่บ่มให้ยางสุก ซึ่งยางที่ใช้ในการวิจัยนี้คือยางธรรมชาติ (NR40) และค่าตัวแปรของเครื่องฉีดยางที่ใช้ เช่น อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความดันที่ใช้ในการฉีด เวลาที่ใช้ในการฉีด รวมถึงตัวแปรของตำแหน่งช่องทางไหลช่องทางไหลเข้า จุดที่ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จากการจำลองการไหลของยางในแม่พิมพ์นี้ได้แก่ การกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นงาน ความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ทิศทางของการไหล เวลาที่ไปถึงของเนื้อยางภายในแม่พิมพ์ และการกระจายตัวของอุณหภูมิของชิ้นงานยางและแม่พิมพ์ นอกจากนี้เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองนี้มาเปรียบเทียบกับกรณีจริงจากเครื่องฉีดและแม่พิมพ์จริงก็พบว่ามีผลสอดคล้องกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์เป็นประโยชน์ต่อการหาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

คำสำคัญ คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์
กระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

Abstract

This research aims to apply the Computer Aided Design/ Engineering (CAD/CAE) techniques for optimized injection conditions. The significant input variables include material properties of the natural rubber (NR40) like heat conductivity, viscosity and shear rate, curing time and operating conditions like mould temperature, injection pressure, injection time including the gating and runner positions. The numerical results are also correlated well with the empirical data using the rubber injection machine. This research provides rubber researchers the tools to seek the best operating conditions in injection moulding.

Keywords: Computer Aided Design/ Engineering (CAD/CAE), Rubber Injection Moulding.

1. บทนำ

โดยทั่วไปแล้วการสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมแปรรูปยางในประเทศไทยนั้นมักจะทำให้ผู้รับจ้างจากภายนอกโรงงานซึ่งทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยอาศัยทักษะความชำนาญของพนักงานปฏิบัติงานและการลองผิดลองถูกรวมถึงใช้เครื่องมือและเครื่องจักรในการผลิตต่างๆที่ต้องควบคุมด้วยพนักงาน จึงทำให้เกิดปัญหาในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้เช่น ชิ้นงานเกิดครีบที่มากเกินไปจนทำให้ชิ้นงานมีฟองอากาศ เป็นต้น ส่งผลให้ต้องมีการแก้ไขแม่พิมพ์และสูญเสียต้นทุนด้านวัสดุยางโดยไม่จำเป็น รวมทั้งการสูญเสียเวลาโอกาสทางการผลิตและแข่งขันทำให้ไม่สามารถสนองความต้องการของตลาดได้อย่างทันที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเบื้องต้นและเป็นส่วนหนึ่งในทางเลือกของการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยนำคอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์ (Computer Aided Design/ Engineering, CAD/CAE) มาประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งได้แก่เวลาในการฉีด ความดันสูงสุดที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2. วัสดุและขั้นตอนการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ในการวิจัยได้ศึกษาชิ้นงานที่วางเท้าโดยใช้ยาง NR 40 ตัวอย่างของชิ้นงานวางเท้าจักรยานยนต์พร้อมทั้งแบบCAD ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ยางที่วางเท้าที่ใช้ในการเหยียบเบรกในรถจักรยานยนต์

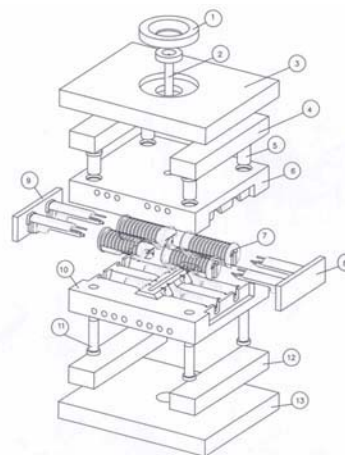
ในทดสอบใช้เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง (Vertical Injection Machine) ยี่ห้อ NISSEI รุ่น TH100-25VSER ขนาด 100 ตันและมีปริมาตรกระบอกฉีด 254 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RD IPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้งขนาด 100 ตันและมีปริมาตรกระบอกฉีด 254 ลูกบาศก์เซนติเมตร

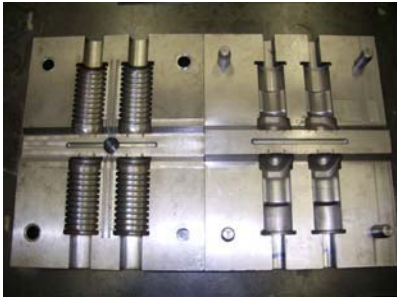
เมื่อทำการเขียนรูปชิ้นงานเสร็จจึงแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดในการทดสอบกับเครื่องฉีดยางดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะมีจำนวนของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์อยู่ 4 ชิ้นงานโดยมีชุดอินเสิร์ต (insert) อยู่ทั้งสองด้านของแม่พิมพ์ และจะทำการเลื่อนเข้าเมื่อแม่พิมพ์ได้ทำการปิดตัวลงโดยอาศัยแผ่นนำร่องในการเข้าประกบ และจะเปิดตัวออกเมื่อแม่พิมพ์ได้ทำการยกตัวขึ้น และใช้พินในการนำร่อง [1] ในการประกบกันของแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่าง ส่วนการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์นั้น ได้ใช้แท่งให้ความร้อนจำนวน 4 แท่งแบ่งด้านบนและด้านล่างอย่างละสองแท่งซึ่งแท่งให้ความร้อนมีขนาด 10 มม. ส่วนช่องทางไหลเข้าไปในแม่พิมพ์นั้นจะเป็นช่องทางไหล (gate) เข้าแบบหวีซึ่งจะทำให้เนื้อยางไหลเข้าบริเวณด้านข้างของแม่พิมพ์ จากนั้นนำมาจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม 3D-SIGMA [2]

จากนั้นนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



หมายเลข	ชื่อชิ้น	จำนวน
1	Locating Ring	1
2	Spine Bush	1
3	Plate Cavity	1
4	Spacer Block	2
5	Guide Bush	4
6	Cavity Plate	1
7	Part Mold	4
8	Slide Core (R)	1
9	Slide Core (L)	1
10	Core Plate	1
11	Guide Pin	4
12	Spacer Block 2	2
13	Plate Core	1

รูปที่ 3 แม่พิมพ์ฉีดที่ทำการออกแบบ



รูปที่ 4 แม่พิมพ์ฉีดตัวบน และตัวล่าง



รูปที่ 5 การสร้างแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้

2.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม 3D-SIGMA นั้น แบ่งออกเป็น การแบ่งอีลิเมนต์ การกำหนดค่ากระบวนการฉีด ได้แก่ วัสดุดิบ วัสดุที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ อุณหภูมิเริ่มต้น ในการกำหนดวัสดุ และค่าต่างๆ ของกระบวนการฉีด วัสดุดิบที่เลือกใช้กับชิ้นงานจะเป็นวัสดุดิบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์จริง คือ ยางธรรมชาติ (NR-40) ซึ่งไม่มีในฐานข้อมูลของโปรแกรมจึงต้องนำเข้าไปทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติบางประการที่จำเป็นในการวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งค่าที่จำเป็นได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีด (Initial Temperature) และข้อมูลที่ต้องการของการสร้างฐานข้อมูลภายในโปรแกรมของยาง NR 40 ได้แก่

- ค่าการนำความร้อน (Heat Conductivity, Lambda)
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Density, Rho)
- ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity, Cp)
- ค่าความหนืดที่ขึ้นกับอัตราการเฉือน (Viscosity as Function of Shear Rate)*
- อัตราการบ่มที่ขึ้นกับเวลา (Curing Rate as Funtion of Time)*

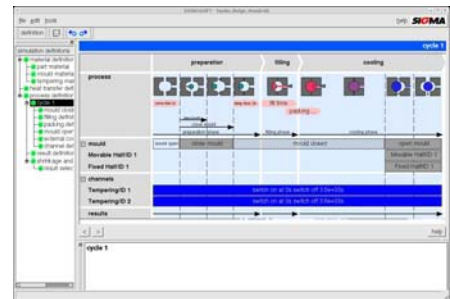
* ในการทดสอบนั้นควรจะทำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 3 ค่าและในแต่ละช่วงของอุณหภูมิหนึ่งควรมีการเก็บข้อมูลไม่ควรน้อยกว่า 15 ค่า

ในกระบวนการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนทำการจำลองการไหลของกระบวนการนั้นจะต้องกำหนดค่าของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแม่พิมพ์

และต้องกำหนดค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นของทั้งชิ้นงานและของแม่พิมพ์ ต่อจากนั้นทำการกำหนดค่าของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ หรือแม่พิมพ์ตัวที่คงที่กับแม่พิมพ์ตัวที่เคลื่อนที่ (Part/Mould 700 (W/m²K), Mould/Mould 2,000 (W/m²K))

ในการกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองการไหลนั้นจะแบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลาที่จะต้องกำหนดค่าลงไปโปรแกรมได้แก่ซึ่งเวลาทั้งหมดนี้จะรวมกันอยู่ในหนึ่งไซเคิลการทำงานซึ่งสามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ลงไปได้ดังรูปที่ 6

- เวลาเริ่มต้นก่อนการฉีด (Lead Time)
- เวลาที่ใช้ในการฉีด (Filling time)
- เวลาที่แม่พิมพ์เคลื่อนตัวมาประกบ (Movable Part)
- เวลาที่แม่พิมพ์อยู่กับที่ขณะทำการฉีด (Fix Part)
- เวลาที่นำชิ้นงานออก (Part take out)



รูปที่ 6 แสดงการกำหนดรอบการทำงานที่ต้องการจำลองการไหล

จากนั้นทำการจำลองการไหลของยางที่ไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม 3D-SIGMA และกำหนดค่าตัวแปรของเครื่องฉีดยางที่ใช้เช่น อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความดันที่ใช้ในการฉีด เวลาที่ใช้ในการฉีด รวมถึงตัวแปรของตำแหน่งช่องทางไหล ช่องทางไหลเข้า จุดที่ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์

2.3 ตัวแปรและการควบคุม

ตัวแปรที่ใช้ในการฉีดจากการฉีดจริงและการควบคุมตัวแปรจะแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงตัวแปรที่ควบคุม

* ในให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 160°C เนื่องจากทางโรงงานที่ผลิตชิ้นงานยางรองเท้าจักรยานยนต์ในรุ่นนี้อยู่ได้ใช้อุณหภูมิที่ค่า 160°C เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ยางเกิดการสุกตัวได้ในระยะเวลาที่กำหนด

** การให้ความร้อนแก่เนื้อยางภายในกระบอกลดนั้นเป็นการควบคุมให้อุณหภูมิของยางอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด และมีลักษณะเป็นของเหลว แต่เนื้อของจะยังไม่ทำปฏิกิริยา เนื้อยาง NR40 จะให้ความร้อนเริ่มต้นอยู่ที่ 70°C และเพิ่มมาในช่วงที่ 2 และ 3 เป็น 80°C และในช่วงสุดท้ายก่อนออกจากหัวฉีดจะอยู่ที่ 85°C เนื้อยางที่ไหลออกมาจากหัวฉีดจะมีอุณหภูมิของเนื้อยางสูงกว่าประมาณ 15-20°C ซึ่งในการฉีดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100°C

*** ในการใช้ความดันในการฉีดยางของเครื่องฉีดยางที่ใช้อยู่ นั้นโดยทั่วไปจะใช้ความดันในการฉีดที่ 80% - 90% ของความดันสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้

3. ผลและการวิเคราะห์

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA การเปรียบเทียบผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม และการทดลองฉีดจริงในการทดลองฉีดจริงทางคณะวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้แม่พิมพ์ที่มี 4 เบ้า แต่เนื่องจากปริมาตรกระบอกลดของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมไม่เพียงพอที่จะสามารถฉีดได้ทั้ง 4 เบ้า ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยทำการทดลองฉีดเพียง 2 เบ้า อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับการจำลองด้วยโปรแกรมเป็น 2 เบ้าด้วยเช่นกัน โดยที่ค่าต่างๆของกระบวนการที่ใส่ลงในโปรแกรมได้มาจากการทดลองฉีด ซึ่งตัวแปรควบคุมต่างๆนั้นได้แสดงในรูปที่ 7 โดยการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าระยะถอยของสกรู (Stroke) ที่ระยะต่างๆ เพื่อเก็บลักษณะการไหล แรงดันฉีด และเวลาฉีด แล้วนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม 3D-SIGMA ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทุกๆ ระยะของสกรูแสดงให้เห็นว่าลักษณะการไหลของยางที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมและการทดลองฉีดจริงมีลักษณะการไหลที่ใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง ส่วนผลที่ไม่สอดคล้องกันของแรงดันฉีดระหว่างผลจากโปรแกรมและการทดลองฉีด มีแนวโน้มที่จะเกิดมาจากการแบ่งอิลิเมนต์ของชิ้นงานบริเวณรูเข้า (Ingate) ที่มีขนาดเล็กนั้นมีจำนวนชั้นของอิลิเมนต์ (Layer) 3 ชั้น ทำให้การคำนวณแรงดันฉีดของโปรแกรมมีค่ามากกว่าการทดลองจริง ซึ่งการแบ่งชั้นอิลิเมนต์ที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามการแบ่งชั้นที่มากขึ้นจะทำให้การคำนวณใช้เวลานานยิ่งขึ้น อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของยางที่ใส่ในโปรแกรมส่งผลให้ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ใช้ในโปรแกรมมีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการทดลองฉีดจริง

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการไหลของยาง แรงดันฉีด และเวลาฉีด

ระยะสกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองฉีดจริง
25 mm	 แรงดันฉีด 1298 บาร์ เวลาฉีด 1.028 วินาที	 แรงดันฉีด 777 บาร์ เวลาฉีด 1.02 วินาที
40 mm	 แรงดันฉีด 1300 บาร์ เวลาฉีด 1.500 วินาที	 แรงดันฉีด 858 บาร์ เวลาฉีด 1.49 วินาที
50 mm	 แรงดันฉีด 1300 บาร์ เวลาฉีด 1.800 วินาที	 แรงดันฉีด 840 บาร์ เวลาฉีด 1.83 วินาที
75 mm	 แรงดันฉีด 1307 บาร์ เวลาฉีด 2.701 วินาที	 แรงดันฉีด 865 บาร์ เวลาฉีด 2.69 วินาที
90 mm	 แรงดันฉีด 1315 บาร์ เวลาฉีด 3.200 วินาที	 แรงดันฉีด 918 บาร์ เวลาฉีด 3.18 วินาที

ระยะ สกรู	การจำลองด้วยโปรแกรม	การทดลองจริง
120 mm	 <p>แรงตึงเครียด 1326 บาร์ เวลาฉีด 3.426 วินาที</p>	 <p>แรงตึงเครียด 911 บาร์ เวลาฉีด 4.19 วินาที</p>

ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม 3D-SIGMA

1) ระยะเวลาที่ย่างสัมผัสอากาศ (Air Contact)

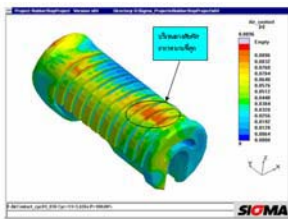
รูปที่ 8 แสดงระยะเวลาของยางที่สัมผัสกับอากาศเห็นได้ว่าการสัมผัสอากาศของยางนั้นจุดที่มีค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 0.0896 วินาที ซึ่งจะมีโอกาสที่จะทำให้ชิ้นงานนั้นเกิดโพรงอากาศหรือมีอากาศอื่นที่บริเวณผิวได้

2) ระยะเวลาฉีด (Filled Time)

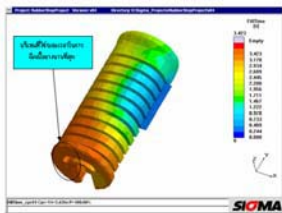
รูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ย่างถูกฉีดเข้าไปภายในแม่พิมพ์โดยที่ระยะเวลาของเนื้อยางในแต่ละส่วนจะไม่เท่ากัน ซึ่งในกรณีของแม่พิมพ์ที่มีหลายเบ้าระยะเวลาในการฉีดนั้นจะมีผลกระทบมากเนื่องจากเนื้อยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์ระยะเวลาต่างกันมากจึงมีโอกาสที่เนื้อยางที่ไหลเข้าไปก่อนจะเกิดการสุกตัวก่อน

3) อายุของยาง (Material Age)

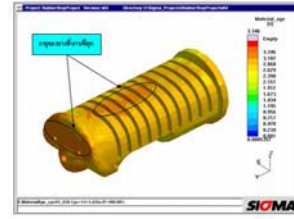
รูปที่ 10 แสดงถึงอายุของยางที่อยู่ในแต่ละส่วนของชิ้นงานเนื้อยางที่ไหลเข้ามาก่อนจะมีอายุมากกว่า ถ้าแม่พิมพ์ที่ทำการฉีดมีขนาดที่ใหญ่หรือหลายเบ้าอายุของยางจะมีผลสำคัญ เนื่องจากยางที่มีอายุที่มากจะมีโอกาสที่จะสุกตัวก่อน



รูปที่ 8 แสดงระยะเวลาของยางที่สัมผัสกับอากาศ



รูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ย่างถูกฉีดเข้าไปภายในแม่พิมพ์



รูปที่ 10 แสดงถึงอายุของยางที่อยู่ในแต่ละส่วนของชิ้นงาน

4) ระยะเวลาที่ย่างสัมผัสผิวแม่พิมพ์ (Wall Contact)

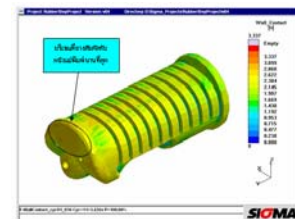
รูปที่ 11 แสดงผลของเวลาที่ยางสัมผัสกับผนังแม่พิมพ์ ซึ่งระยะเวลาในการสัมผัสของเนื้อยางกับผนังของแม่พิมพ์มากนั้นจะทำให้บริเวณนั้นได้รับความร้อนจากแม่พิมพ์นานกว่าบริเวณอื่น ๆ ซึ่งอาจจะทำให้ยางเกิดการสุกตัวก่อนบริเวณอื่นได้

5) รอยต่อ (Weldline)

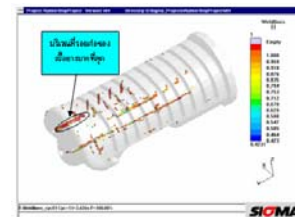
รูปที่ 12 แสดงรอยต่อของเนื้อยางที่อาจจะเกิดขึ้นซึ่งจะแสดงให้เห็นจุดของยางที่เชื่อมต่อกันซึ่งอาจทำให้บริเวณนี้เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น โพรงอากาศ รอยการต่อกันในชิ้นงาน จากรูปดังนั้นจะเห็นได้ว่าจะเกิดที่บริเวณผิวแต่ส่วนใหญ่จะเกิดภายในผิวของชิ้นงาน

6) แสดงผลการไหลของอนุภาคยาง (Tracers)

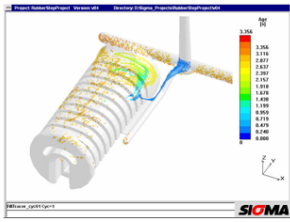
การไหลเข้าไปของเนื้อยางนั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 13 ซึ่งจะแสดงให้เห็นลักษณะทิศทางของการไหลของอนุภาคของยางเข้าไปภายในแม่พิมพ์ จากภาพจะเห็นได้ว่าอนุภาคของยางไหลไปตามช่องทางวิ่งแล้วจึงไหลเข้าไปภายในรูเข้าซึ่งอนุภาคของยางนั้นไหลเข้าไปนั้นใกล้เคียงกันตลอดหน้าตัดของรูเข้า ต่อจากนั้นเนื้อยางจะไหลไปในส่วนหัวของชิ้นงานก่อนแล้วไหลกลับย้อนออกมาที่บริเวณด้านปลายของชิ้นงาน ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าเนื้อยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์นั้นจะเต็มทีบริเวณต้นหัวก่อนแล้วค่อยมาเติมส่วนด้านหลังของชิ้นงาน



รูปที่ 11 แสดงผลของเวลาที่ยางสัมผัสกับผนังแม่พิมพ์



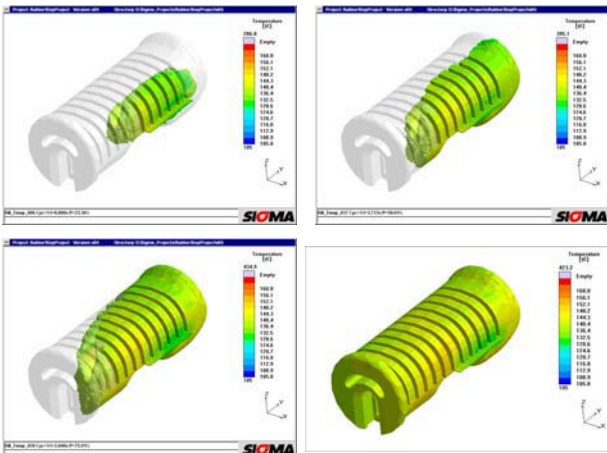
รูปที่ 12 แสดงรอยต่อของเนื้อยางที่อาจจะเกิดขึ้น



รูปที่ 13 แสดงให้เห็นลักษณะทิศทางของการไหลของ
 อนุภาคของยางเข้าไปภายในแม่พิมพ์

7) อุณหภูมิของยางขณะฉีด (Injection Temperature)

อุณหภูมิของเนื้อยางที่เกิดขึ้นในกระบวนการของการฉีดนั้น จะแสดงไว้ในรูปที่ 14 นั้นจะแสดงอุณหภูมิของยางขณะฉีด ที่ 25% ของการฉีด อุณหภูมิของเนื้อยางที่ไหลเข้าไปภายในแม่พิมพ์นั้น อุณหภูมิจะอยู่ที่ 130 – 140 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินั้นค่อนข้างที่จะเท่ากันทั้งหมด และอุณหภูมิของยางขณะฉีด ที่ 50%, 75%, และ 100% ของการฉีดอุณหภูมิจะมีค่าที่ค่อนข้างที่จะเท่ากันที่ 140 – 150 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน อุณหภูมิของยางนั้นมีผลต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก ของอุณหภูมิที่จะใช้และเวลาได้ก่อนทำให้สามารถลดเวลาในการทดลองได้

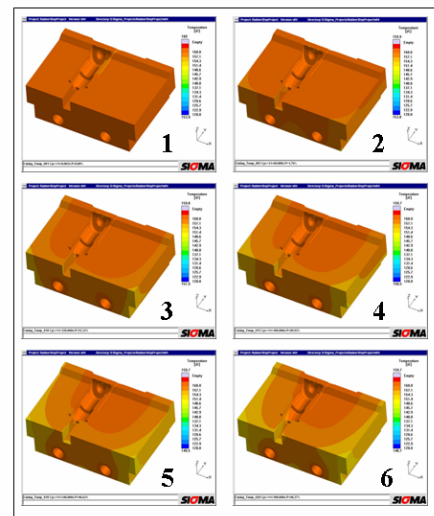


รูปที่ 14 อุณหภูมิของยางขณะฉีด ที่ 25%, 50%, 75%, และ 100%

8) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mould Temperature)

รูปที่ 15 แสดงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ขณะทำการอบบ่มยาง (Curing Phrase) ในรูปที่ 15(1) นั้นเป็นอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เวลาเริ่มต้นของกระบวนการของการบ่มมีอุณหภูมิที่สูงประมาณ 160 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ตั้งไว้ในโปรแกรม ในส่วนที่สัมผัสกับเนื้อยางจะอยู่ของแม่พิมพ์จะมีการถ่ายเทความร้อนจากแม่พิมพ์ให้แก่เนื้อยาง และที่เวลา 60 วินาทีของการบ่ม นั้นเนื้อยางจะรับความร้อนจากแม่พิมพ์และส่วนขอบนอกของแม่พิมพ์นั้นสัมผัสกับอากาศทำให้เกิด

การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 15(2) และในรูปที่ 15(3, 4, 5) นั้นจะแสดงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เวลา 120, 180 วินาที และ 240 วินาที ซึ่งเนื้อยางจะรับความร้อนจากแม่พิมพ์จนเนื้อยางสุกตัวและส่วนที่สัมผัสกับอากาศจะทำให้อุณหภูมิตัวแม่พิมพ์จะลดลง เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากตัวแม่พิมพ์ไปสู่อากาศ เมื่อถึงเวลาที่ 300 วินาทีกระบวนการบ่มจะสิ้นสุดนั้นอุณหภูมิของตัวแม่พิมพ์จะลดลงดังแสดงในรูปที่ 15(6) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมินั้นจะค่อยๆลดลงเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ซึ่งกรณีดังกล่าวหากเป็นแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนเข้ามากอาจจะส่งผลต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของชิ้นงานได้เนื่องจากผลของความแตกต่างด้านอุณหภูมิในแต่ละส่วน



รูปที่ 15 แสดงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ขณะทำการอบบ่มยาง

8) การสุกของเนื้อยางภายในชิ้นงาน (Curing Rate)

การสุกตัวของชิ้นงานนั้นในการฉีดจริงบ่อยครั้งที่พบว่าภายในชิ้นงานจะมีโอกาสที่ชิ้นงานสุกไม่เต็มที่ได้ เนื่องจากความร้อนกระจายตัวจากภายนอกสู่ภายในได้ยาก โปรแกรม 3D-SIGMA เป็นโปรแกรมแบบ 3 มิติ จึงช่วยให้สามารถดูการสุกภายในชิ้นงานได้ ดังรูปที่ 16 แสดงชิ้นงานที่เวลาเริ่มต้นการบ่ม เมื่อผ่าครึ่งชิ้นงานจากโปรแกรมดูจะเห็นได้ว่าภายในของชิ้นงานนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ของการสุกตัวจะมีค่าที่เท่ากันที่ศูนย์อยู่ และเมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาทีนั้นเปอร์เซ็นต์การสุกของเนื้อยางนั้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นโดยแสดงในรูปที่ 17 จะเกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณผิวของชิ้นงานที่ 42.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเนื้อยางได้รับความร้อนจากแม่พิมพ์ แต่บริเวณภายในของชิ้นงานและส่วนที่สัมผัสกับชุดสไลด์นั้นเนื้อยางจะยังไม่สุกตัว และที่เวลาการสุกตัวที่เวลา 300 การสุกตัวของชิ้นงานสูงสุดที่ 98.99 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 16 แสดงเปอร์เซ็นต์การสุกของเนื้อยางภายในชิ้นงานที่เวลาเริ่มต้น



รูปที่ 17 แสดงเปอร์เซ็นต์การสุกของเนื้อยางภายในชิ้นงาน ที่เวลา 60 วินาที



รูปที่ 18 แสดงเปอร์เซ็นต์การสุกของเนื้อยางภายในชิ้นงาน ที่เวลา 300 วินาที

ในการทดลองฉีดจริงเมื่อทำการผ่าชิ้นงานดูภายในจะเห็นว่าชิ้นงานที่ได้เกิดปัญหาในการติดชุด Insert ภายในนั้นชิ้นงานยังเกิดการสุกตัวไม่เต็มที่ดังแสดงในรูปที่ 19 โดยยังเหลือลักษณะของยางผสมที่ยังไม่สุกตัวอยู่จึงทำให้เนื้อยางนั้นติดอยู่เมื่อทำการดึงชิ้นงานออกจะทำให้เกิดการติดขึ้นสาเหตุเนื่องมาจากแกนกลางซึ่งเป็นชุดแห่งเหล็กตัวกลางนั้นไม่ได้มีชุดให้ความร้อนและมีอุณหภูมิที่ต่ำ ซึ่งจะต้องอาศัยการให้ความร้อนจากแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างเข้ามาจนถึงภายใน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์และให้เวลาในการบ่มตัวนานขึ้นจะแก้ไขปัญหาของเนื้อยางไม่สุกดังแสดงในรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่าเนื้อยางนั้นสุกเท่าเทียมกันหมด ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของชิ้นงานที่ต้องการ



รูปที่ 19 ภายในของชิ้นงานที่เนื้อยางไม่สุกบริเวณที่ติดกับตัว Insert



รูปที่ 20 ภายในของชิ้นงานที่เนื้อยางสุกทั่วถึงกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าเมื่อมีเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการฉีดให้ลดลงจะทำให้ชิ้นงานไม่เต็มแม่พิมพ์และได้เวลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการฉีดและเมื่อนำตัวแปรต่างๆ ที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยการใช่โปรแกรมจำลองการไหลโดย ความดันที่เกิดขึ้นในการฉีดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มทำการฉีดและจะคงที่จนเนื้อยางไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์ และในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของระยะของสกรูในการฉีดนั้นในช่วงระยะสกรูที่สั้นจะมีความดันสูงสุดที่ต่ำกว่าช่วงของระยะสกรูที่ยาวกว่า และจากการวิเคราะห์การสมดุลของการไหลนั้นช่องทางไหลเข้าเป็นแบบหวี (Fan gate) จะทำให้เนื้อยางไหลเข้าไปภายในตัวรูปทรงของชิ้นงานได้สมดุลแต่จะมีข้อเสียที่ความเร็วและความดันในตำแหน่งทางเข้ามีค่าที่สูง นอกจากนั้นเมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองนี้มาเปรียบเทียบกับการผลิตจริงจากเครื่องฉีดและแม่พิมพ์จริงก็พบว่ามีผลสอดคล้องกัน จากงานวิจัยจะสามารถนำโปรแกรม 3D-SIGMA ไปใช้ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยางได้ในอนาคต

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้ทุนในการทำวิจัย

- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับทุน TGIST ปีการศึกษา 2546

- สถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) สำหรับทุนสนับสนุนผ่านโครงการ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
 - สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนสนับสนุนผ่านโครงการ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
- ขอขอบคุณ
- คุณรุ่งธรรม ปัญญาวิภาต, คุณวัชรพงษ์ ชูแก้ว และคุณสุชาดา เจริญโมรา จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wheelans, M. A., 1974. Injection Moulding of Rubber. London Butterworths.
- [2] 3D-SIGMA User's Manual Version 4.4, 2005. SIGMA Engineering GmbH Aachen, Germany.