การศึกษาผลกระทบของขนาดของทางเข้าและรูวิ่งที่มีต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีความละเอียดสูงด้วยแม่พิมพ์อัดส่งแบบหลายเบ้า

An Investigation of the Effect of Gate Diameter and Runner Size on Multi-Cavity Transfer Moulding of the High Precision Rubber Products

นัฏฐพงศ์ จรุงรักษ์[1,2] , ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ[*1,2] , ชุติมา ศักดิ์ชินบุตร[1,2] และ ธวัชชัย ชาติตำนาญ[2]

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

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์อัดนั้น เป็นการขึ้นรูปที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ยางที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดเล็กและบางมากๆ เช่น ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางที่ทำจากยางซิลิโคนที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ในกล้องถ่ายรูป จำเป็นต้องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อัดส่งแทนแม่พิมพ์อัด แต่ก็มีปัญหาตามมาคือ เกิดความไม่สมดุลของความดันในแต่ละเบ้าขณะขึ้นรูป ดังนั้นบทความนี้จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของขนาดทางเข้าและขนาดรูวิ่งที่มีผลต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์อัดส่งแบบหลายเบ้า โดยการจำลองการขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยงานทางวิศวกรรม ทั้งนี้ทางเข้ามีลักษณะเป็นแบบพัดและแบบฟิล์ม ซึ่งมีขนาดความกว้างของ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร โดยที่มีความหนาเท่ากันที่ 0.05 มิลลิเมตร ส่วนรูวิ่งเป็นแบบบอลโนส ที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงเท่ากับ 0.90 ในทุกๆ จุด จากผลการศึกษาพบว่า ทางเข้าแบบฟิล์มที่มีความกว้าง 8 มิลลิเมตร จะเกิดความสมดุลในทุกเบ้าของแม่พิมพ์ เกิดความดันสูญเสีย 275.80 บาร์ ระยะเวลาในการเติมเนื้อ 14.96 วินาที อุณหภูมิการคงรูปของยาง 180 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการจำลองสอดคล้องกันกับผลการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแม่พิมพ์อัดส่งชิ้นงานจริง โดยมีผลความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยาง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาการผลิตแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น แข่งขันในระดับนานาชาติต่อไปได้

คำหลัก: ทางเข้า รูวิ่ง ผลิตภัณฑ์ยาง แม่พิมพ์อัดส่ง หลายเบ้า

Abstract

In general, compression moulding is widely used to produce rubber parts with no complicated shape. However, in some application with there is a requirement in short cycle time and more complex geometry, the transfer moulding is introduced. In this research, the effect of gate diameter and runner size on multi-cavity transfer moulding of the high precision rubber products was investigated. The numerical work was carried out on moulding simulation with a ball nose type of runner with the width/height ratio of 0.90 as well as the fan gate and film gate types with widths of 6, 8, and 10

millimeters, respectively, and similar constant thicknesses of 0.05 millimeters. The simulated result shows that the file gate type of the 8 millimeters width provides the pressure balance in each cavity of the mould with a pressure loss of 275.80 bars, a filling time of 14.96 seconds, and curing temperature of 180 degree Celsius. The numerical result is correlated well within 10% of the empirical data. Consequently, this investigation can potentially lead to further understanding and improvement on mould design and manufacturing for rubber products.

***Keywords**:* Gate, Runner, Rubber product, Transfer mould, Multi-cavity.

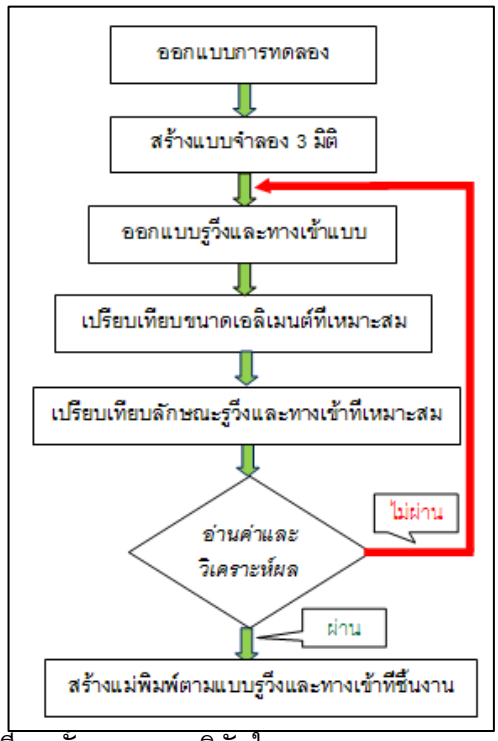
1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ ครีบหนาและไม่ตรงตามแบบ ทำให้ไม่สามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดสูงและเที่ยงตรงได้เช่นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมการแพทย์ ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ โดยวิธีการที่จะได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพขนาดเที่ยงตรงตามแบบที่กำหนด และลดต้นทุนในการผลิต ได้เลือกใช้วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีกระบวนการอัดส่งขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบหลายเบ้า และยังต้องให้ความสมดุลระบบรูวิ่ง (Runner) และทางเข้าชิ้นงาน (Gate) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิจัยเป็นแผ่นปุ่มกดในกล้องถ่ายรูปที่มีความละเอียดสูง งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ((Computer Aided Design, CAD) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) เข้ามาศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายพฤติกรรมการไหลของยางในแม่พิมพ์ และนำผลที่ได้จากการทำนายพฤติกรรมการไหลของยางในแม่พิมพ์ที่เหมาะสม มาออกแบบแม่พิมพ์แบบอัดส่ง ซึ่งในการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแม่พิมพ์ และองค์ความรู้ที่ได้จากโครงการวิจัยเพื่อสร้างความยั่งยืนให้กับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในประเทศต่อไป [1-4]

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วิธีการออกแบบรูวิ่งและทางเข้าชิ้นงาน

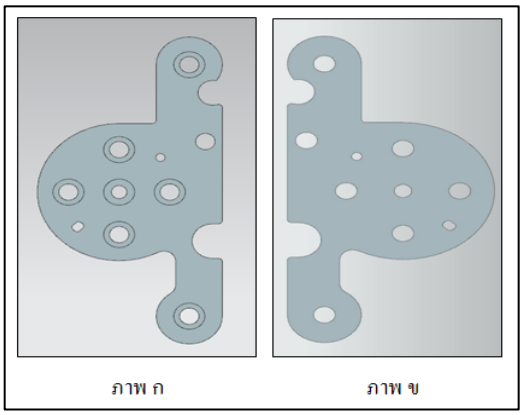
ศึกษาการออกแบบรูวิ่ง และทางเข้า ของแม่พิมพ์แบบอัดส่ง เนื่องจากลักษณะชิ้นงานเป็นแผ่น ทางเข้าที่เหมาะสมมีอยู่ 2 แบบคือทางเข้าแบบพัด (Fan Gate) และแบบฟิล์ม (Film Gate) การออกแบบรูวิ่งใช้หน้าตัดแบบบอลโนส เพื่อสะดวกในการผลิต อัตราการไหลดีกว่าหน้าตัดแบบอื่น วัสดุที่ใช้คือยางซิลิโคน (Silicone rubber, Q) ความแข็ง 50 Shore A จากนั้นทำการวางแผนดำเนินการวิจัยสามารถสรุปได้ดังรูปที่1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัยในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์

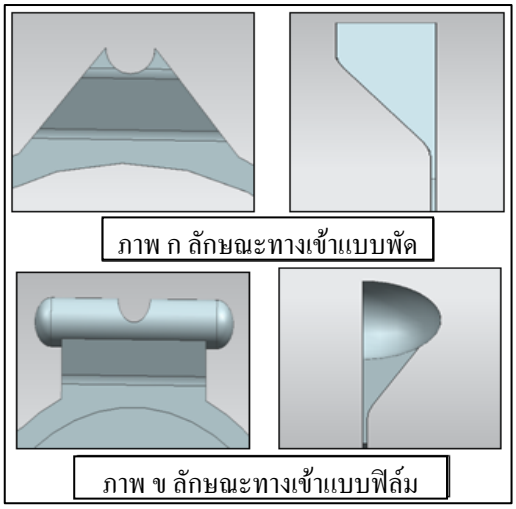
2.2 ออกแบบผลิตภัณฑ์ รูวิ่งและทางเข้าผลิตภัณฑ์

2.2.1 ออกแบบผลิตภัณฑ์ยางด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ (CAD) โดยสร้างแบบจำลองผลิตภัณฑ์ดังแสดงตามรูปที่ 2 และบันทึกข้อมูลเก็บไฟล์เป็นนามสกุล Stereolithography, STL



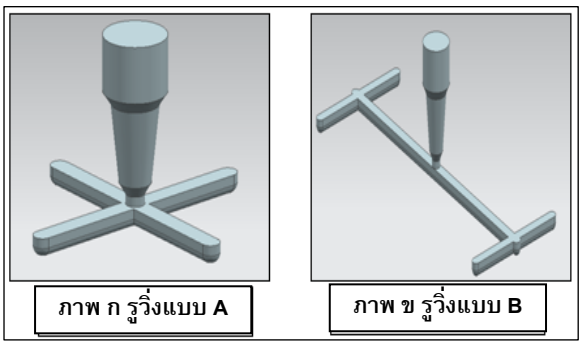
รูปที่ 2 ลักษณะผลิตภัณฑ์ยางปุ่มกดในกล้องถ่ายรูป ภาพ ก ด้านหน้า ภาพ ข ด้านหลัง

2.2.2 ออกแบบทางเข้าชิ้นงาน 2 แบบ คือ ทางเข้าแบบพัด (Fan Gate) และทางเข้าแบบฟิล์ม (Film Gate) แสดงตามรูปที่ 3



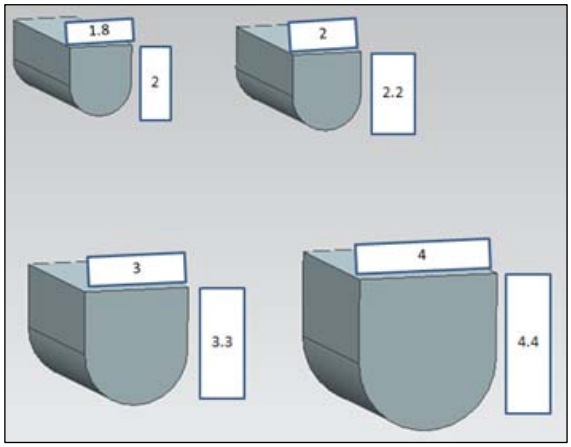
รูปที่ 3 ลักษณะทางเข้าแบบพัด (Fan Gate) และทางเข้าแบบฟิล์ม (Film Gate)

2.2.3 ออกแบบรูวิ่งไว้ 2 แบบ คือ รูวิ่งแบบ A และรูวิ่งแบบ B ดังแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะรูวิ่ง 2 แบบ ภาพ ก วิ่งแบบ A ภาพ ข รูวิ่งแบบ B

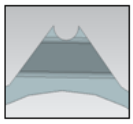
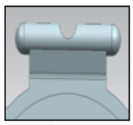
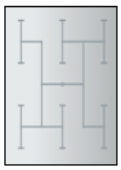
2.2.4 ออกแบบหน้าตัดของรูวิ่ง ไว้ 4 ขนาดดังแสดงตามรูปที่ 5 ขนาดตัวเลขที่ปรากฏที่รูปใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 ลักษณะรูวิ่งแบบพาราโบลิก

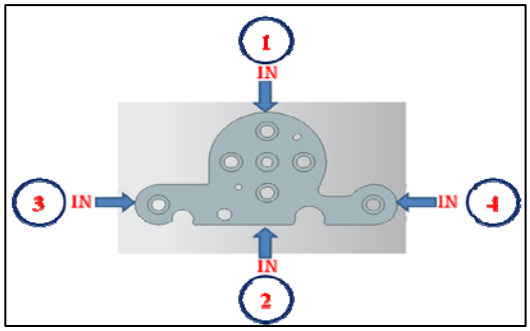
2.2.5 กำหนดและพิจารณาลักษณะต่าง ๆของรูวิ่งและทางเข้าโดยสามารถแบ่งแบบทางวิ่งดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่1 ลักษณะแบบรูวิ่งและทางเข้า12 แบบ

แบบรูวิ่ง	ชนิดทางเข้า	ขนาดหน้ากว้างทางเข้า (มิลลิเมตร)	รหัส
แบบ A	 แบบพัด (fan gate)	6	A-FAN-06
		8	A-FAN-08
		10	A-FAN-10
	 แบบฟิล์ม (flim gate)	6	A-FILM-06
		8	A-FILM-08
		10	A-FILM-10
 แบบ B	แบบพัด (fan gate)	6	B-FAN-06
		8	B-FAN-08
		10	B-FAN-10
	แบบฟิล์ม (flim gate)	6	B-FILM-06
		8	B-FILM-08
		10	B-FILM-10

2.3 วิธีการเลือกตำแหน่งทางเข้าที่ผลิตภัณฑ์

ในการกำหนดตำแหน่งทางเข้านั้นสามารถกำหนดตำแหน่งทางเข้าไว้ 4 ตำแหน่งดังรูปที่แสดงที่ 6 เปรียบเทียบตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสม



รูปที่ 6 กำหนด 4 ตำแหน่งทางเข้าที่ผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งที่เหมาะสม

การเลือกตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสมทั้ง 4 ตำแหน่ง ทำได้โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นจำลองการอัดส่ง เพื่อหาตำแหน่งทางเข้าผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรคงที่สำหรับใช้การทดลอง

ค่าเริ่มต้น	ค่าที่กำหนด
1. อุณหภูมิแม่พิมพ์	180 องศาเซลเซียส
2. เวลาในการคงรูป	180 วินาที
3. อุณหภูมิเริ่มต้นยาง	35 องศาเซลเซียส
4. อุณหภูมิการคงรูป	180 องศาเซลเซียส
5. เวลาในการฉีด	5 วินาที
6. ชนิดยางและความแข็ง	ซิลิโคน 70 Shore A

โดยสมการอธิบายพฤติกรรมการคงรูป (Curing) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นและจบลงอย่างช้าๆ แสดงดังสมการที่ (1) และ (2) [5]

$$U = \frac{K(T)\cdot t^n}{1+K(T)\cdot t^n} \qquad \text{..... (1)}$$

$$K(T) = K_0 \cdot \exp(-Ea/RT) \qquad \text{..... (2)}$$

2.4 วิธีการเลือกจำนวนเอลิเมนต์

ในการกำหนดค่าของเอลิเมนต์นั้นสามารถกำหนดการ แบ่งเอลิเมนต์ได้ 2 แบบ ได้แก่ 1) แบ่งแบบอัตโนมัติ และ 2) แบ่งแบบกำหนดเปอร์เซนต์ของเอลิเมนต์ (%) ของโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ การแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ที่มากขึ้นจะทำให้การวิเคราะห์มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การมีจำนวนเอลิเมนต์มากขึ้นจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ของโปรแกรม ทำให้ใช้ระยะเวลายาวนานขึ้น และในบางกรณีอาจไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไม่เพียงพอ และการกำหนดจำนวน เอลิเมนต์ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผลที่ได้จากการจำลองพฤติกรรมการไหลของยางคลาดเคลื่อนไม่แม่นยำดังนั้น จึงได้ทำการทดลองกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ให้มีค่าแตกต่างกัน จากนั้นเปรียบเทียบปริมาตรรวมของแบบทางวิ่งในแต่ละแบบ ซึ่งได้ทำการเลือกรูปแบบ ที่ A-Film-10 มาทดลองหาจำนวนเอลิเมนต์ โดยพิจารณาจากปริมาตรรวมที่มากที่สุดสำหรับการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

3. ผลและการวิจารณ์

เมื่อได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้ข้างต้น นักวิจัยทำการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

3.1 ผลเปรียบเทียบตำแหน่งทางเข้าผลิตภัณฑ์

การเปรียบเทียบตำแหน่งทางเข้าผลิตภัณฑ์ ผลดังแสดงตามตารางที่ 3

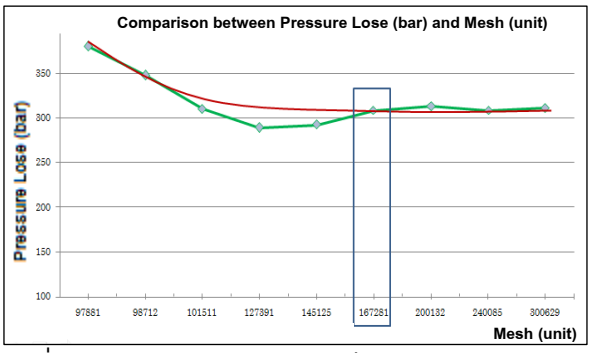
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบทางเข้าทั้ง 4 ตำแหน่ง

ตำแหน่งทางเข้า	1	2	3	4
ความดันสูญเสีย (บาร์)	144.3	132.1	201.1	202.8
ความเค้นเฉือน(กิโลปาสคาล)	240	196	296	506
ความหนืด (มิลลิเมตรต่อวินาที)	63.9	60.5	61.4	69.1

จากการวิจัยพบว่า ตำแหน่งที่ 2 มีความดันสูญเสียที่ 132.10 บาร์ ความเค้นเฉือน 196 กิโลปาสคาล ค่าความหนืดที่ 60.50 เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่า 3 ตำแหน่ง [5]

3.2 ผลการเปรียบเทียบขนาดเอลิมนต์

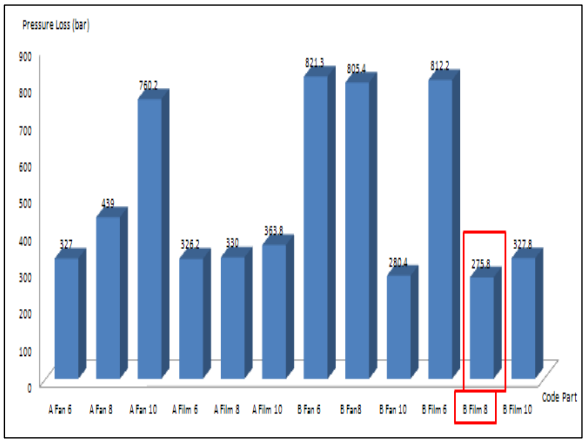
การเปรียบเทียบการแบ่งเอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าความดันสูญเสีย ผลดังแสดงรูปที่ 7 พบว่าค่าความดันสูญเสียเริ่มคงที่ที่ 167,281 เอลิเมนต์ ทางนักวิจัยจึงเลือกนำมาใช้ในการจำลองผลการอัดส่งขึ้นรูป



รูปที่ 7 จำนวนการแบ่งเอลิเมนต์ (แกนนอน) เทียบกับความดันสูญเสีย (แกนตั้ง)

3.3 ผลการหาลักษณะรูวิ่งที่เหมาะสม

การเปรียบเทียบรูวิ่ง เปรียบเทียบกับค่าความดันสูญเสียผลแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะรูวิ่ง 12 แบบ

จากผลวิจัยพบว่า รูวิ่งแบบ B Film B มีค่าความดันสูญเสีย ที่ 275.80 บาร์ เป็นค่าที่ความดันสูญเสียที่น้อยกว่ารูวิ่งแบบอื่น

4.สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของขนาดของทางเข้าและรูวิ่งที่มีผลต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีความละเอียดสูงด้วยแม่พิมพ์อัดส่งแบบหลายเบ้า โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการทำนายผลการอัดส่งขึ้นรูป ซึ่งผลการวิจัยพบว่าทางเข้าผลิตภัณฑ์กล้องทางรูปตำแหน่งที่ 2 มีความดันสูญเสียที่ 132.10 บาร์ ความเค้นเฉือน 196 กิโลปาสคาล ค่าความหนืดที่ 60.50 เมตรต่อวินาที เป็นตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสมสำหรับทางเข้า และรูวิ่งแบบ B ทางเข้าแบบ Film Gate ที่มีขนาดหน้ากว้าง 8 มิลลิเมตร ความดันสูญเสียที่ 275.80 บาร์เหมาะสมที่จะนำไปผลิตแม่พิมพ์แบบอัดส่ง อย่างไรก็ตามการออกแบบรูวิ่งและทางเข้าที่เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพในกระบวนการที่ดีที่สุด การนำคอมพิวเตอร์ช่วงทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการทำนายพฤติกรรมการไหลของยางในแม่พิมพ์ เพื่อที่จะเป็นแนวทางหรือเป็นวิธีการที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานยางและพัฒนาผลิตแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางให้มีคุณภาพที่ดีต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. - อุตสาหกรรม โครงการการพัฒนาการออกแบบและผลิตระบบทางวิ่งเย็นสำหรับแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง (MRG-WI525E032)

ขอขอบคุณ บริษัท เอส เค โพลีเมอร์ ที่ให้การสนับสนุน และอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และในด้านอื่นๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อมูลในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Beaumont, John P. (1952). *Runner and Gating Design handbook: Tools for successful injection molding*. 1st ed., ISBN: 1-56990-347-6.

[2] วราภรณ์ ขจรไชยกูล.2552.ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี.กรุเทพฯ:สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.).2552

[3] ชาลี ตระการกูล. (2542). *การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),ISBN: 974-7948-98-2.

[4] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545). ISBN 974-13-1884-7

[5] Simcon Kunstsofftechnische Software GmbH. (2002). *Cadmould Rubber User' s Manual*, Simcon Herzogenrath, Germany.