การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

# การศึกษาการฉีดชิ้นงานพลาสติกโดยใช้แม่พิมพ์ยาง

# The Study of Plastic Injection Moulding by Using Rubber Mould

สุรศิษฐ์ โรจนนันต์ *, เกล็ด ศิริบุตร, ปริญญา ศรีสุวิทธานนท์ และ สุรศักดิ์ โลจรัส

*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 4709218, โทรสาร: (662) 872-9080
* E-mail: surasit.roj@kmutt.ac.th

***บทคัดย่อ***

ชิ้นงานฉีดพลาสติกที่มีมุมย้อนกับทิศทางถอดแบบ (Undercut) หรือชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ทำให้ยากในการสร้างแม่พิมพ์ด้วยโลหะ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่จะแก้ปัญหานี้ โดยการสร้างแม่พิมพ์แบบอื่นมาทดแทน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการศึกษาการฉีดชิ้นงานพลาสติกโดยใช้แม่พิมพ์ทำจากยาง เพื่อใช้เป็นทางเลือกใหม่ โดยเปรียบเทียบสภาวะการทำงาน กับแม่พิมพ์ฉีดที่ทำจากโลหะที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ในการทดลองใช้พลาสติกเอบีเอส เครื่องฉีดเป็นแบบความดันต่ำฉีดแนวตั้ง (Vertical Injection Machine) ใช้แม่พิมพ์ทำจากยางสามชนิดที่มีค่าความแข็งต่างกัน ผลการทดลองพบว่าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ทำด้วยยางทั้งสามชนิด สามารถใช้ฉีดชิ้นงานได้เต็มแบบและสามารถแกะออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ความดันฉีดพลาสติกเข้าแบบยางที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 59 ถึง 78 $N/mm^2$ ชิ้นงานที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์ยาง ขนาดของแม่พิมพ์วัดที่บริเวณเกจมีความยาว 32 มิลลิเมตร ขนาดชิ้นงานมีขนาดใหญ่ขึ้น 0.4 มิลลิเมตร ในขณะที่การใช้แม่พิมพ์เหล็กควรตั้งค่าความดันฉีดเข้าแบบที่ 177.55 $N/mm^2$ ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าแม่พิมพ์โลหะขนาดชิ้นงานมีขนาดเล็กลง 0.04 มิลลิเมตร สรุปได้ว่าการฉีดชิ้นงานพลาสติกสามารถใช้แม่พิมพ์ยางแทนแม่พิมพ์โลหะได้

***คำหลัก:*** แม่พิมพ์ / ยาง / การฉีดพลาสติก

***Abstract***

For the undercut or complicate part of the plastic injection moulding, it is very difficult to make a metal mould. Therefore, it becomes attractive to solve this problem by using the alternative moulds. The objective of this research is to study the plastic injection moulding by using the rubber moulds in order to achieve a selective method and compare the working condition with the present metal mould. The experiments were conducted using an ABS plastic with a low pressure vertical injection machine. Three types of rubbers with different hardnesses were used. The experimental results show that three kinds of rubber moulds can be used for producing the complete injected parts and easy to demolud. The suitable plastic injection pressures for using the rubber moulds are in the range of 59 to78 $N/mm^2$. The sample sizes are larger than those of the rubber moulds at the length of the gauge about 0.4 mm.. In contrast, the metal mould using should set up the injection pressure at 177 $N/mm^2$. The received samples sizes from the metal mould are smaller than those of the mould at the length of the gauge about 0.04 mm. In conclusion, the plastic injection mouldting could be used the rubber moulds instead of the metal mould.

***Keywords:*** Mould / Rubber / Injection moulding.

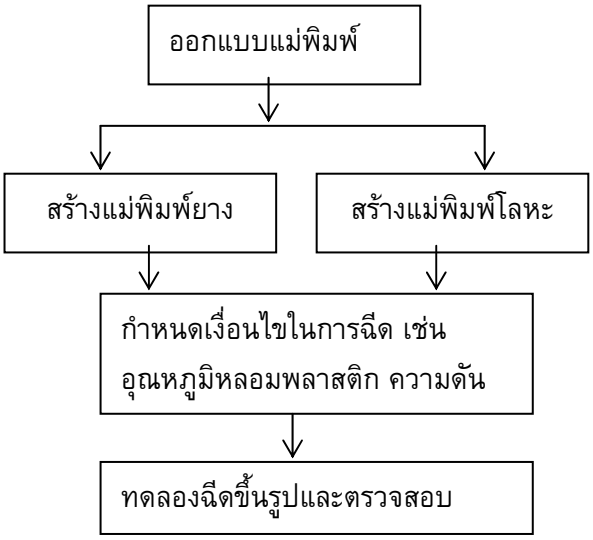
## 1. บทนำ

ปัจจุบัน การขึ้นรูปพลาสติกสามารถทำได้โดยวิธีการฉีด (Injection Moulding) อย่างแพร่หลาย แต่ปัญหาของการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ จำเป็นจะต้องมีแม่พิมพ์โลหะสำหรับใช้ในการฉีดชิ้นงาน แต่เนื่องจากการสร้างแม่พิมพ์โลหะ ต้องใช้เวลาในการผลิตนาน และมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ในบางกรณีผู้ผลิตมีความจำเป็น และต้องการชิ้นงานจำนวนไม่มากนัก จึงทำให้เกิดปัญหาต้นทุนแพง นอกจากนี้ ลักษณะของชิ้นงานที่มีมุมย้อนกับทิศทางถอดแบบ (Undercut) หรือชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ทำให้มีความยากในการสร้างแม่พิมพ์โลหะ เนื่องจากแม่พิมพ์ยางที่ใช้ฉีดหรือหล่อเหวี่ยงเครื่องประดับมีความง่าย และรวดเร็วในการสร้างแม่พิมพ์ ทั้งไม่ติดปัญหาเรื่องมุมย้อนกับทิศทางถอดแบบ และสามารถเก็บรายละเอียดได้ดีเยี่ยม

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้ยางทำเป็นแม่พิมพ์ สำหรับขึ้นรูปวัสดุกันอย่างแพร่หลาย เช่น Lee และ Kim [1] ได้ศึกษาถึงผลของการเกาะยึดและแรงเสียดทานของการใช้ยางในการอัดวัสดุผง Gatto และ Luliano [2] ได้ใช้แม่พิมพ์ยางสำหรับหล่อโลหะเพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนที่เป็น Insert ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และยังมีการวิจัยการใช้แม่พิมพ์ยาง ในการขึ้นรูปโลหะผงอีกด้วย [3,4,5] Yang และคณะ [3] ได้ใช้ไฟไนท์อิลิเมนท์ เพื่อทำการศึกษาถึงความเสียดทานของแม่พิมพ์ยางที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะผง (Powder metallurgy) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของแม่พิมพ์ยาง สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานยูรีเทนโฟมที่ต้องใช้ความดันฉีดต่ำ Low-pressure injection [6] แต่ยังไม่พบว่ามีการใช้แม่พิมพ์ยางสำหรับการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก ดังนั้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ ในการใช้แม่พิมพ์ทำจากยางในการฉีดพลาสติก เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำวิจัย และใช้เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการสร้างแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว ในการผลิตชิ้นงานที่มีจำนวนไม่มากนัก (ประมาณ 10 – 200 ชิ้น) โดยเป็นชิ้นส่วนที่ได้จากชิ้นงานที่มีอยู่แล้ว หรือ ชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากเครื่อง Rapid Prototype

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

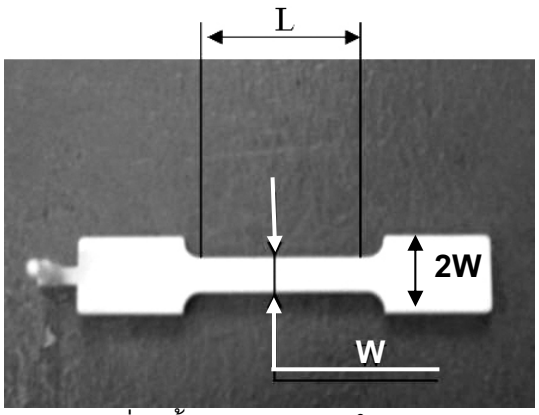
วิธีดำเนินการทดลอง แสดงดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 แผนภูมิการดำเนินการวิจัย

### 2.1 การออกแบบแม่พิมพ์

เนื่องจากเป็นการศึกษาขั้นเริ่มต้น เพื่อหาความเป็นไปได้ ในการฉีดพลาสติกด้วยแม่พิมพ์ทำจากยาง ในการทดลองเริ่มจากการออกแบบแม่พิมพ์ โดยชิ้นทดสอบจะไม่มีรูปร่างซับซ้อน มีขนาดและรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง ในช่วงเกจ (Gage length) มีความยาวเกจ (L) มีค่า 32 มิลลิเมตร มีขนาดความกว้างเกจ (W) มีค่า 6 มิลลิเมตร ชิ้นงานมีความ หนา 3 มิลลิเมตร ส่วนที่ใช้จับในการทดสอบแรงดึงมีความกว้างเป็นสองเท่า ของความกว้างของช่วงเกจ (2W)



รูปที่ 2 ชิ้นงานฉีดสำหรับใช้ทดสอบ

**2.2 การสร้างแม่พิมพ์**

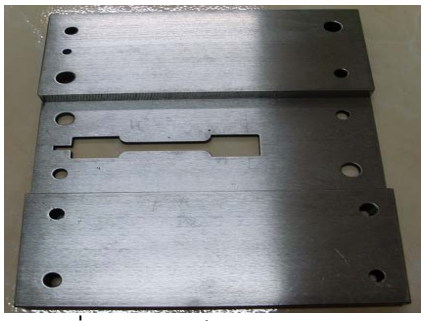
แม่พิมพ์ที่ใช้เป็น แม่พิมพ์ชนิดที่ทำด้วยยาง และแม่พิมพ์ชนิดที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ชนิดสองแผ่น

การสร้างแม่พิมพ์ชนิดที่ทำด้วยยาง ทำได้โดยการอัดยางลงในบล็อกอะลูมิเนียมสี่เหลี่ยมให้เป็นแม่พิมพ์ โดยมีชิ้นโลหะ ซึ่งมีทางเข้าและทางวิ่งเป็นแม่แบบอยู่ตรงกลาง หลังจากนั้นให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 120 $^{o}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ยางแข็งตัว รอให้เย็นตัวจนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง ต่อมาทำการแบ่งยางออกเป็นสองซีก ตามแนวแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line) ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นจะนำใส่ในบล็อคอะลูมิเนียมสำหรับฉีด ยางที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ เป็นยางสังเคราะห์เกรดทางการค้า ที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดเทียนในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ ที่ไม่เปิดเผยชนิดของยาง

รูปที่ 2 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ทำด้วยยาง 2 ซีก

ในการทดลองนี้ ใช้ยาง 3 เกรดต่างกัน ซึ่งมีชื่อทางการค้ากว่า ARB-011, ARB-012 และ ARB-013 ส่วนในที่นี้จะเรียกชื่อยางว่า ยางเกรด A, ยางเกรด B และยางเกรด C ตามลำดับ

การสร้างแม่พิมพ์โลหะ โลหะที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กเกรด SS400 เริ่มต้นจากการเจียรนัยเรียบ ให้ได้ความหนา 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้น ตัดแผ่นโลหะให้เป็นรูปร่างชิ้นงาน ด้วยเครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (CNC wire cut) และปะกบด้วยแผ่นโลหะบนที่เจาะรูสำหรับฉีดและแผ่นโลหะปิดล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3


รูปที่ 3 แม่พิมพ์ทำด้วยเหล็ก

**2.3 เงื่อนไขในการทดลอง**

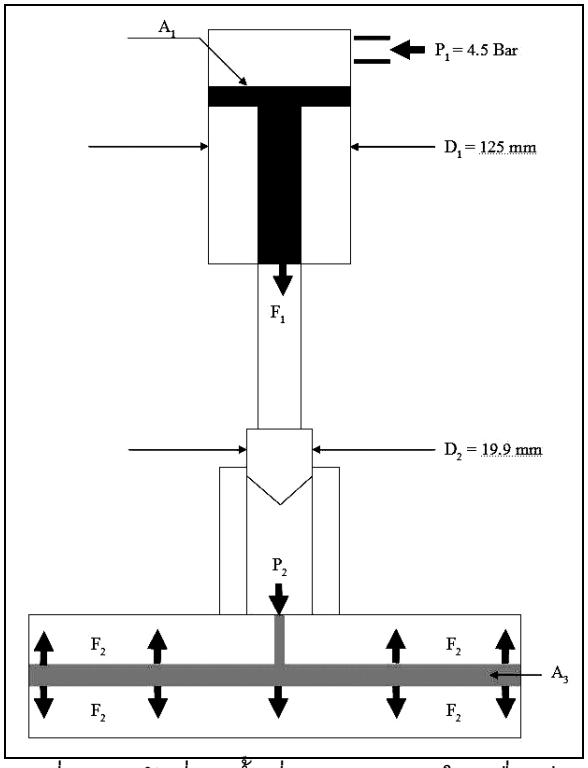
วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการฉีดชิ้นงาน เป็นเม็ดพลาสติกเอบีเอส (ABS) ผลิตโดยบริษัท TPI สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดชิ้นงาน กำหนดให้แรงดันที่กระบอกกดก้านฉีด (Plunger) เป็น 1.5, 2.0, และ 4.5 N/mm$^2$ และ อุณหภูมิฉีดพลาสติกวัดที่ผนังบาเรลเป็น 197 $^{o}$C และ 193 $^{o}$C

การคำนวณแรงดันในโพรงแบบ จากรูปที่ 4 สามารถคำนวณหาความดันที่ Plunger ฉีดพลาสติกเข้าสู่ชิ้นงาน (P2) ได้จากสมการดังนี้

$$F_2 = P_1 \times \pi \times \frac{D_1^{\,2}}{4} \qquad (1)$$

$$P_2 = \frac{F_2}{\left(\frac{\pi \times D_2^{\,2}}{4}\right)} \qquad (2)$$

$$P_2 = \frac{P_1 \times D_1^{\,2}}{D_2^{\,2}} \qquad (3)$$




รูปที่ 4 แรงดันที่เกิดขึ้นที่บริเวณต่าง ๆ ในเครื่องฉีดพลาสติก

โดยที่

$P_1$ = ความดันที่กระบอกกด Plunger ($N/mm^2$)

$D_1$ = เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกกด Plunger ($mm^2$)

$F_2$ = แรงดันที่ก้านกด Plunger (N)

$D_2$ = เส้นผ่านศูนย์กลาง Plunger ($mm^2$)

$P_2$ = ความดันที่ Plunger ($N/mm^2$)

หลังจากการคำนวณแล้ว ได้ค่าความดันที่ฉีดพลาสติกเข้าโพรงแบบ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความดันฉีดพลาสติกที่ Plunger

| ความดันที่กระบอกกด Plunger ($N/mm^2$) | ความดันที่ Plunger ($N/mm^2$) |
|---|---|
| 4.5 | 177.55 |
| 2.0 | 78.91 |

**2.4 การทดลองฉีดขึ้นรูปและตรวจสอบ**

เครื่องที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป ใช้เครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง ที่พัฒนาขึ้นเอง สำหรับการฉีดด้วยความดันต่ำ (ไม่เกิน 7 บาร์) การวัดความแข็งของยางที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ใช้เครื่องวัดความแข็งแบบ Durometer หัวกดเป็น Shore A การวัดขนาดชิ้นงานใช้เวอร์เนียร์แบบดิจิตอล วัดขนาดของชิ้นงาน 2 บริเวณ ได้แก่ ขนาดของความกว้าง และ ความยาวของระยะเกจ แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ค่า ในแต่ละบริเวณ

**3. ผลการทดลอง**

ผลการวัดความแข็งของแม่พิมพ์ยาง เกรด A, B และ C โดยใช้หัวกดสเกล Shore A แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ายางทั้ง 3 เกรด มีค่าความแข็งแตกต่างกัน ชนิด A มีค่าความแข็งสูงที่สุด

ตารางที่ 2 ความแข็งของแม่พิมพ์ยาง

| ชนิดของยางเกรด | ความแข็งของยาง (Shore A) |
|---|---|
| A | 52.8 |
| B | 44.2 |
| C | 39.2 |

ผลการวัดขนาดชิ้นงาน เปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากยาง และชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากเหล็ก โดยใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกที่ 197 $^{o}C$ ใช้ความดัน 177.55 $N/mm^2$ แสดงในตารางที่ 3 พบว่าชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์เหล็กมีความกว้างที่เกจลดลงจากแม่พิมพ์ซึ่งมีค่า 6 มิลลิเมตร เหลือ 5.94 มิลลิเมตร ส่วนความยาวเกจมีขนาดลดลงจากแม่พิมพ์ซึ่งมีขนาด 32 มิลลิเมตร เหลือ 31.96 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปจากการฉีดพลาสติกด้วยแม่พิมพ์โลหะ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งจึงทำให้พลาสติกหดตัวลง [7] ส่วนชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์ยางทั้ง 3 เกรด ไม่สามารถวัดขนาดที่แน่นอนได้ เนื่องจากชิ้นงานเกิดครีบ (Flash) ที่บริเวณหน้าผ่า

ตารางที่ 3 ขนาดชิ้นงานจากการทดลองฉีดที่ความดัน 177.55 N/mm$^2$ และอุณหภูมิ 197 $^{\circ}$C

| ชนิดแม่พิมพ์ | ความกว้างเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) | ความยาวเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|
| เหล็ก | 5.94 | 31.96 |
| ยาง A | Flash | Flash |
| ยาง B | Flash | Flash |
| ยาง C | Flash | Flash |

ผลการวัดขนาดชิ้นงาน เปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากยาง และชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากเหล็ก โดยใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกที่ 197 $^{\circ}$C ใช้ความดัน 78.91 N/mm$^2$ แสดงในตารางที่ 4 พบว่าชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์เหล็ก ไม่สามารถฉีดชิ้นงานได้เต็มแบบ (Short shot) ส่วนชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์ยางทั้ง 3 เกรด พบว่าได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ ไม่เกิดครีบบริเวณหน้าผ่า มีความกว้าง และความยาวเกจเพิ่มขึ้นทั้งหมด

ตารางที่ 4 ขนาดชิ้นงานจากการทดลองฉีดที่ความดัน 78.91 N/mm$^2$และอุณหภูมิ 197 $^{\circ}$C

| ชนิดแม่พิมพ์ | ความกว้างเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) | ความยาวเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|
| เหล็ก | Short shot | Short shot |
| ยาง A | 6.09 | 32.11 |
| ยาง B | 6.08 | 32.10 |
| ยาง C | 6.37 | 32.40 |

ผลการวัดขนาดชิ้นงาน เปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากยาง และชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ทำจากเหล็ก โดยใช้อุณหภูมิหลอมพลาสติกที่ 193 $^{\circ}$C ใช้ความดัน 78.91 N/mm$^2$ แสดงในตารางที่ 5 พบว่าชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์เหล็ก ไม่สามารถฉีดชิ้นงานได้เต็มแบบ (Short shot) ชิ้นงานที่ฉีดโดยใช้แม่พิมพ์ยางทั้ง 3 เกรด มีขนาดความกว้าง และความยาวเกจเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ขนาดชิ้นงานจากการทดลองฉีดที่ความดัน 78.91 N/mm$^2$ และอุณหภูมิ 193 $^{\circ}$C

| ชนิดแม่พิมพ์ | ความกว้างเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) | ความยาวเกจเฉลี่ย (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|
| เหล็ก | Short shot | Short shot |
| ยาง A | 6.05 | 32.07 |
| ยาง B | 6.12 | 32.16 |
| ยาง C | 6.36 | 32.39 |

## 4. การวิเคราะห์ผล

การฉีดชิ้นงานพลาสติก โดยใช้อุณหภูมิ 197 $^{\circ}$C และความดันฉีด 177.55 N/mm$^2$ สามารถฉีดชิ้นงานพลาสติก ด้วยแม่พิมพ์เหล็กได้เต็มแบบพอดีแต่เมื่อใช้ฉีดด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากยาง ทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ ที่แนวเส้นแบ่งแม่พิมพ์ ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กนำความร้อนได้ดีกว่ายาง ทำให้พลาสติกที่ไหลเข้าแบบแม่พิมพ์เหล็กบริเวณผิวแม่พิมพ์เย็นเร็วกว่าเกิดเป็นเปลือกพลาสติกแข็งตัว และเหลือช่องว่างให้พลาสติกเหลวไหลได้แคบกว่าจึงต้องใช้ความดันฉีดเข้าแบบสูงกว่าแม่พิมพ์ยาง [7] ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 3 เมื่อชิ้นงานในแม่พิมพ์เหล็กเต็มพอดีจึงทำให้ชิ้นงานที่ฉีดด้วยเงื่อนไขเดียวกันในแม่พิมพ์ยางเกิดครีบที่บริเวณรอยผ่า

ในขณะที่ลดความดันฉีดลง การใช้แม่พิมพ์ยางฉีดชิ้นงานได้เต็มแบบพอดี แม่พิมพ์โลหะจะเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (จากตารางที่ 4) นอกจากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิหลอมพลาสติกลง พลาสติกจะแข็งตัวเร็วมากขึ้น เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ทำจากยางมีความอ่อนกว่าเหล็ก เมื่อฉีดพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ยาง ยางจึงถูกแรงดันให้เนื้อยางยุบตัว ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์เล็กน้อยเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลง จะเห็นได้ชัดเจนว่าแม่พิมพ์ที่ทำด้วยยางที่อ่อนกว่าจะเกิดการยุบตัวมากกว่า (ตารางที่2) และทำให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งไม่ปรากฏในแม่พิมพ์โลหะ

## 5. สรุป

1. สามารถใช้แม่พิมพ์ทำด้วยยางในการฉีดชิ้นงานพลาสติกได้แต่ขนาดชิ้นงานจะใหญ่กว่าโพรงแบบ (Cavity) เล็กน้อย

2. แม่พิมพ์ยางทั้งสามเกรด สามารถฉีดชิ้นงานได้เต็มแบบ โดยความดันฉีดเข้าแบบที่เหมาะสมมีค่า 78.9 $N/mm^2$ และได้ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์เล็กน้อยคิด ที่ค่าใหญ่กว่าแม่พิมพ์สูงสุดมีค่า 0.4 มิลลิเมตร ได้จากการใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากยางเกรด C

3. แม่พิมพ์เหล็กจะใช้ความดันฉีดเข้าแบบที่ 177.55 $N/mm^2$ ได้ชิ้นงานเล็กกว่าแม่พิมพ์ ประมาณ 0.04 มิลลิเมตร

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Lee S.C., Kim K.T., (2008). A densification model for powder materials under cold isostatic Pressing-Effect of adhesion and friction of rubber molds, *Materials Science and Engineering,* A 498, pp. 359–368.

[2] Gatto A., Iuliano L. (2001). Evaluation of inserts for modular thermoplastic injection moulds produced by spin casting, *Journal of materials processing technology*, 188, pp. 411–416.

[3] Yang H.C., Kim J.K., Kim K.T. (2004). Rubber isostatic pressing and cold isostatic pressing of metal powder, *Materials Science and Engineering*, A 382, pp. 41–49.

[4] Yang H.C., Lee J.W., Kim K.T. (2004). Rubber isostatic pressing of metal powder under warm temperatures, *Powder Technology*, 139, pp. 240–251.

[5] Masato S., Hiroshi N., Toshihiro W., Osamu I., (2000) Rubber isostatic pressing _RIP/ of powders for magnets and other materials, *Materials and Design*, 21, pp. 243-249.

[6] Caldwell, C.C., 1973, Silicone rubber for mould making, PRT Polymer Age 4 (10), pp. 372-374.

[7] Shoemaker J., (2006). *Mould Flow Design Guide: A Resource for Plastics Engineers*, Hanser Gardner Publications. Inc.