

การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนกันชนหลัง: Shell Bar RR Impact RH/LH จากเหล็กกล้า  
ความแข็งแรงสูงโดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Development of Forming Processes for back bumper: Shell Bar RR Impact RH/LH  
from High Strength Steel using Finite Element Simulation

เอกพล สุนันตา, สุรศักดิ์ สุรนันทชัย\*  
Aekkapon Sunanta, Surasak Suranuntchai\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
Department of Tool and Materials Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi

\* Corresponding author E-mail: surasak.sur@kmutt.ac.th

(Received: February 19, 2018, Revised: September 7, 2018, Accepted: February 15, 2019)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถลดปัญหารอยย่นและรอยแตกบนชิ้นส่วนกันชนหลังรถยนต์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการลากขึ้นรูปลึก “Shell Bar RR Impact RH/LH” ซึ่งขึ้นรูปจากแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JSC440W ตัวแปรที่ถูกนำมาวิเคราะห์ได้แก่ แรงจับยึดชิ้นงาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และแรงหน่วงเหนี่ยวจากดรอว์บีต จากผลการทดลองเมื่อลดแรงจับยึดชิ้นงานจากเดิมลงจนถึง 30 ตัน และปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงจากเดิม เป็น 0.05 รอยแตกบนชิ้นงานมีปริมาณน้อยลง แต่รอยย่นมีอัตราการขยายตัวในขอบเขตชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะไม่สมมาตรกัน จากผลที่ได้ดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นไปในการแก้ไขปัญหาที่การออกแบบแม่พิมพ์ และได้ทำการปรับค่าแรงหน่วงเหนี่ยวที่ดรอว์บีตแต่ละตัว พบว่าการใช้แรงหน่วงเหนี่ยวจากดรอว์บีตหมายเลข 1 เป็น 154.49 N/mm (มีขนาดรัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความสูง 5 มิลลิเมตร และความกว้าง 15 มิลลิเมตร) และแรงหน่วงเหนี่ยวจากดรอว์บีตหมายเลข 3 เป็น 99.75 N/mm (มีขนาดรัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความสูง 3.5 มิลลิเมตร และความกว้าง 15 มิลลิเมตร) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้โดยไม่เกิดปัญหาบนชิ้นงาน อีกทั้งยังทำให้คุณภาพของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจริง อีกทั้งยังลดเวลาและของเสียในการปรับแม่พิมพ์โดยการลองผิดลองถูกได้อย่างแม่นยำ

**คำสำคัญ:** กระบวนการลากขึ้นรูปลึก, การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์, ชิ้นส่วนยานยนต์, ดรอว์บีต, เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

**Abstract**

The purpose of this research was to use Finite element method (FEM) to predict the optimal deep drawing parameters that can eliminate defects such cracks and wrinkles in a specific back bumper part "Shell Bar RR Impact RH/LH". The material used was a high strength sheet steel JSC440W sheet. The parameters investigated were the blank holder force (BHF), the coefficient of friction and the drawbead restraining force (DBRF). From the results, when the blank holder force was decreased to 30 tons and the coefficient of friction to 0.05, the number of cracks on the part were decreased, but the number of wrinkles have a tendency to increase due to the asymmetrical shape of the part. For this reason, researcher have to focus at die design problems and adjust DBRF in each drawbeads. The used of a DBRF of number one drawbead at 154.49 N/mm (radius 5 mm, height 5 mm

and width 15 mm) and DBRF of number three drawbead at 99.75 N/mm (radius 5 mm, height 3.5 mm and width 15 mm) was found to eliminated part defects and improved product quality. In conclusion FEM can eliminated the problem on the actual workpiece, in the same way it can reduced time and waste in trial and error process precisely.

**Keywords:** Deep Drawing Processes, Finite Element Simulation, Automotive part, Drawbead, High strength steel

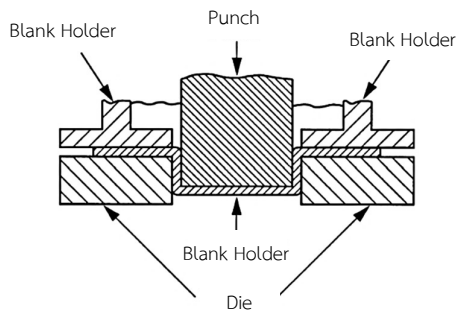
## 1. บทนำ

กระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) เป็นหนึ่งในกรรมวิธีที่ใช้ขึ้นรูปโลหะแผ่นชนิดหนึ่ง ส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch) แม่พิมพ์ตัวเมีย (Die) และ แผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank Holder) ดังแสดงในรูปที่ 1 ขึ้นรูปโลหะโดยใช้แม่พิมพ์ตัวผู้ทำการกดแผ่นชิ้นงาน (Blank) และดึงแผ่นโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ตัวเมีย ขณะที่แผ่นจับยึดชิ้นงานทำหน้าที่คอยควบคุมการไหลของแผ่นชิ้นงาน ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูปลึกได้แก่ การเกิดรอยแตก (Crack) และรอยย่น (Wrinkle) ด้วยเหตุนี้จึงได้เลือกนำเอาระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาเป็นเครื่องมือในการทำนายออกแบบแก้ไขแม่พิมพ์ และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป เพื่อเป็นการลดเวลาและต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบแม่พิมพ์ ในแนวทางเดียวกัน Yoshihara และคณะ [1] ได้ทำการทดลองศึกษาปรับค่าแรงจับยึดชิ้นงาน (Blank holder force) เพื่อศึกษาผลของความเค้นที่ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นบนชิ้นงาน ต่อมา Buranathiti และ Phongphay [2] ได้ทำการจำลองการขึ้นรูปขึ้นส่วนขวางยึดเครื่องยนต์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งขึ้นส่วนดังกล่าวใช้โลหะเกรด JSC440W เป็นวัตถุดิบในการผลิต พบว่าการใช้ดรอร์บีด (Drawbead) สามารถควบคุมการไหลของแผ่นชิ้นงานได้ดีกว่าการใช้แรงจับยึดชิ้นงานเพียงอย่างเดียวและยังสามารถลดรอยย่นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานได้อีกทั้ง Lee และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาระงับการแตกร้าว โดยทำการจำลองการขึ้นรูปขึ้นงานแผ่น SPCC โดยติดตั้งดรอร์บีด (Drawbead) ชนิดหน้าตัดครึ่งวงกลมบนผิวแม่พิมพ์ พบว่าแรงร่นงับที่เกิดขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวดรอร์บีดกับผิวของแผ่นชิ้นงาน รวมไปถึงขนาดและรูปร่างของดรอร์บีดด้วย

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการลากขึ้นรูป (Deep drawing process) เป็นหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปโลหะวิธีหนึ่ง โดยใช้แม่พิมพ์ตัวผู้ กดแผ่นชิ้นงานลากผ่านปากของแม่พิมพ์ตัวเมีย เมื่อแผ่นชิ้นงานได้รับแรงกดจนวัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic deformation) เนื้อชิ้นงานในแนวเส้นรอบวงจะเกิดความเค้นอัด (Compressive stress) เนื่องจากแผ่นชิ้นงานถูกแม่พิมพ์ตัวผู้กดจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลง ทำให้เนื้อวัสดุเกิดการบิดตัวกันขึ้น ในขณะเดียวกันในแนวรัศมีจะเกิดความเค้นดึง (Tensile stress) ทำให้เนื้อโลหะที่ไหลผ่านเข้าไปในปากแม่พิมพ์ตัวเมียเกิดการดัด (Bending) ขึ้น หลังจากจบกระบวนการ รูปร่างชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ โดยทั่วไปความเสียหายที่เกิดขึ้นหลัก ๆ ที่พบในกระบวนการนี้คือปัญหารอยย่น และรอยแตก วิธีการแก้ปัญหาที่รอยย่นที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องอาศัยแผ่นจับยึด ช่วยกดแผ่นชิ้นงานเอาไว้เพื่อควบคุมอัตราการไหลตัวที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดรอยย่นขึ้น แต่การใช้แรงจับยึด ที่มากจนเกินไปอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดได้เนื่องจากแผ่นชิ้นงานไม่สามารถไหลตัวเข้าไปในแม่พิมพ์ตัวเมียได้ดีพอ ทำให้เกิดความเค้นดึงสูงขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุ

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการนำวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อแก้ไขปัญหาการแตกร้าวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานหลังทำการขึ้นรูปกันชนหลังรถยนต์ Shell Bar RR Impact RH/LH



รูปที่ 1 ภาพแสดงส่วนประกอบแม่พิมพ์ในงานลากขึ้นรูป [4]

## 2.1 แอนไอโซทรอปี (Anisotropy) [5]

แอนไอโซทรอปี (Anisotropy) คือคุณสมบัติทางกลของวัสดุอย่างหนึ่งซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทางเมื่อถูกแรงกระทำ โดยจะมีผลต่อการคราก (Yielding) และการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร เป็นผลอันเนื่องมาจากการที่โลหะผ่านกระบวนการรีดเย็น (Cold rolling) เพื่อให้ได้ชิ้นงานเป็นเหล็กแผ่น ในขณะที่ทำการรีดเย็นนั้นการเรียงตัวของผลึกในแผ่นโลหะในแต่ละทิศทางมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ โดยการวัดสภาพความเป็นแอนไอโซทรอปีนั้นจะวัดจากค่าอัตราส่วนความเครียดพลาสติก (Plastic strain ratio,  $r$  value) ค่า  $r$  คำนวณได้จากอัตราส่วนความเครียดในแนวกว้างต่อความเครียดในแนวความหนาของชิ้นงานทดสอบแรงดึง ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$r = \frac{\ln\left(\frac{w}{w_0}\right)}{\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)} \quad (1)$$

เมื่อ  $w$  คือ ระยะความกว้างหลังการทดสอบ (มิลลิเมตร)

$w_0$  คือ ระยะความกว้างเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

$t$  คือ ระยะความหนาหลังการทดสอบ (มิลลิเมตร)

$t_0$  คือ ระยะความหนาก่อนการทดสอบ (มิลลิเมตร)

โดยในโลหะแผ่น ๆ หนึ่งนั้นจะมีค่า  $r$  ที่แตกต่างกันออกไปตามทิศทางเช่น ทิศทางขนานกับแนวรีด ทิศทางตั้งฉากกับแนวรีด และทิศทางทำมุม  $45^\circ$  กับแนวรีด ซึ่งแผ่นเหล็กที่ขึ้นรูปได้ดีจะมีค่า  $r$  เฉลี่ยสูง ค่า  $r$  เฉลี่ยคิดได้จากสมการที่ (2) [6, 7]

$$r_m = \frac{r_0 + r_{90} + 2r_{45}}{4} \quad (2)$$

เมื่อ  $r_m$  คือ อัตราส่วนความเครียดพลาสติกเฉลี่ย

$r_0$  คือ อัตราส่วนความเครียดพลาสติกในทิศทางขนานกับแนวรีด

$r_{45}$  คือ อัตราส่วนความเครียดพลาสติกในทิศทางทำมุม  $45^\circ$  กับแนวรีด

$r_{90}$  คือ อัตราส่วนความเครียดพลาสติกในทิศทางตั้งฉากกับแนวรีด

## 2.2 แบบจำลองวัสดุของ Barlat [7]

เกณฑ์การครากของ Barlat 3-Parameter หาได้จากสมการที่ (3)

$$f = a|k_1 + k_2|^M + a|k_1 - k_2|^M + c|2k_2|^M = 2\sigma_e^M \quad (3)$$

โดยค่า  $k_1$  และ  $k_2$  หาได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$k_1 = \frac{\sigma_{11} + h\sigma_{22}}{2} \quad (4)$$

$$k_2 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{2}\right)^2 + p^2\sigma_{12}^2} \quad (5)$$

ตัวแปร  $a, c, h$  และ  $p$  หาได้จากสมการที่ (6), (7) และ (8)

$$a = 2 - c = 2 - 2\sqrt{\frac{r_0}{1+r_0} \cdot \frac{r_{90}}{1-r_{90}}} \quad (6)$$

$$h = \sqrt{\frac{r_0}{1+r_0} \cdot \frac{1+r_{90}}{r_{90}}} \quad (7)$$

$$p = \frac{\sigma_e}{\tau_s} \left( \frac{2}{2a+2^M c} \right)^{\frac{1}{M}} \quad (8)$$

เมื่อ  $f$  คือ ค่าความแข็งแรงจุดคราก (MPa)

$\sigma_e$  คือ หน่วยแรงประสิทธิผล (MPa)

$\tau_s$  คือ ความเค้นเฉือนที่จุดคราก (MPa)

$M$  คือ ค่าอัตราของโครงสร้างผลึก

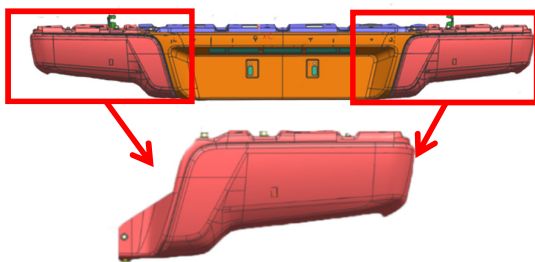
โดยที่  $M = 6$  เมื่อวัสดุมีโครงสร้างผลึกแบบ Body Centered Cubic (BCC) และ  $M = 8$  สำหรับวัสดุที่มี

โครงสร้างผลึกแบบ Face Centered Cubic (FCC)  
ตามลำดับ

### 3. ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่ต้องศึกษาประกอบไปด้วย รูปแบบชิ้นงาน ชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูปทั้งหมด รวมทั้งตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์



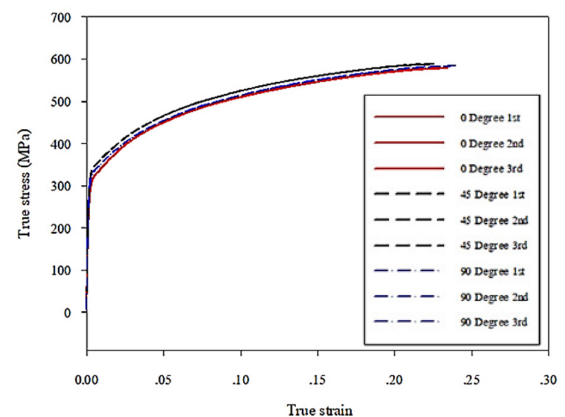
รูปที่ 2 ชิ้นส่วนที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (Shell Bar RR Impact RH/LH)

จากรูปที่ 2 แสดงรูปร่างของชิ้นส่วนกันชนหลังรถยนต์ Shell Bar RR Impact RH/LH ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปทั้งหมดของชิ้นส่วนนี้ประกอบไปด้วย 8 กระบวนการ ได้แก่ ลากขึ้นรูป ตัดขอบแบบหยาบ กดย้ำ ตัดขอบแบบระเอียด กดย้ำครั้งที่ 2 เจาะรูผิวด้านนอก เจาะรูผิวด้านใน และกดย้ำครั้งที่ 3 โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในกระบวนการลากขึ้นรูปเท่านั้น ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นของกระบวนการทั้งหมดและเป็นกระบวนการที่พบปัญหาบนชิ้นงานหลังทำการขึ้นรูป

#### 3.2 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ

นำวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป โลหะแผ่นเกรด JSC440W ความหนา 1.8 มิลลิเมตร มาทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน JIS Z 2241 เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) และค่าพารามิเตอร์ของวัสดุ (Material Parameters) ที่จำเป็นต่อการทำนายตามสมการที่เลือกมาใช้งาน Barlat 3-parameters (Material 36) ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 3 ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าวัสดุมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทาง

| ทิศทาง  | มอดูลัส<br>ยืดหยุ่น<br>(GPa) | ความ<br>แข็งแรง<br>คราก<br>(MPa) | อัตราส่วนความเครียดพลาสติก ( $r$ ) |              |              |        |
|---------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------|
|         |                              |                                  | ชั้นที่<br>1                       | ชั้นที่<br>2 | ชั้นที่<br>3 | เฉลี่ย |
| 0 องศา  | 162.577                      | 312.406                          | 1.101                              | 1.055        | 1.080        | 1.079  |
| 45 องศา | 193.319                      | 337.4867                         | 0.904                              | 0.918        | 0.883        | 0.901  |
| 90 องศา | 189.224                      | 327.5067                         | 1.353                              | 1.354        | 1.424        | 1.377  |

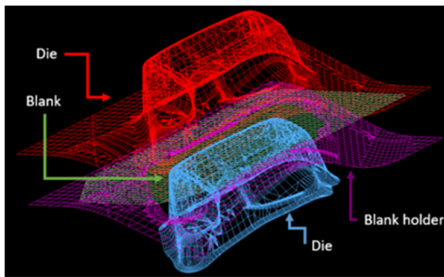


รูปที่ 3 กราฟเส้นโค้งความเค้นจริง-ความเครียดจริง (True stress – True strain curve) ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้ง 3 ทิศทางของเหล็กเกรด JSC440W

#### 3.3 การสร้างแบบจำลองการขึ้นรูป

ทำการสร้างแบบจำลองการขึ้นรูปในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ Dynaform 5.7.3 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมและนิยมในการนำมาจำลองการขึ้นรูปโลหะแผ่น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายและมีความแม่นยำ ขอบเขตเงื่อนไขของการสร้างแบบจำลองการขึ้นรูป ในส่วนของ แม่พิมพ์ตัวผู้ และ แม่พิมพ์ตัวเมีย ได้ถูกกำหนดให้เป็นเอลิเมนต์แบบเปลือกบาง ขนาดของเอลิเมนต์สามารถปรับได้ตามความเหมาะสมมีค่าระหว่าง 0.5-25 มิลลิเมตร และส่วนของแผ่นชิ้นงานกำหนดให้มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 12 มิลลิเมตร อีกทั้งยังสามารถปรับลดขึ้นลงได้ตามความเหมาะสม 4 เท่า โดยแบบจำลองของส่วนต่าง ๆ ในกระบวนการมีลักษณะดังรูปที่ 4

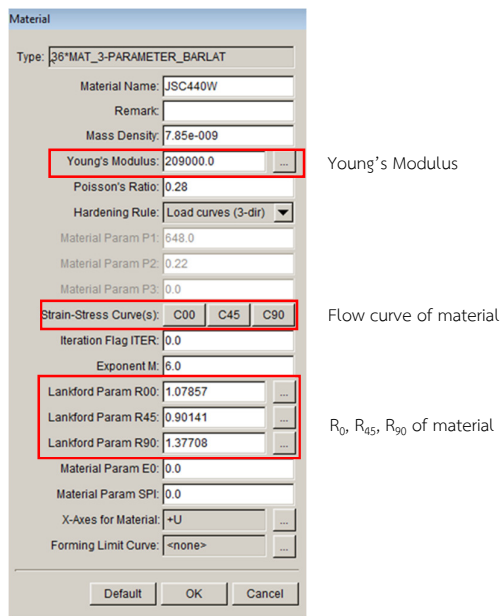
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของโลหะแผ่นเกรด JSC440W ที่ได้จากการทดสอบการดึง



รูปที่ 4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงส่วนต่างๆ

### 3.4 การป้อนค่าตัวแปรภายในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ป้อนค่าตัวแปรภายในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยอาศัยแบบจำลองวัสดุของ Barlat 3-Parameter ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการทำนายพฤติกรรมการขึ้นรูปที่โปรแกรมต้องการประกอบด้วย ค่า Yield Stress, แผนภูมิการไหลตัวของวัสดุ และค่าแอนไอโซทรอปิกของวัสดุทั้ง 3 ทิศทาง ซึ่งได้แสดงหน้าต่างการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การป้อนค่าตัวแปรในแบบจำลองวัสดุของ Barlat 3-Parameter

### 3.5 การปรับตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูป

ทำการทดลองปรับค่าตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานเช่น ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ความเร็วในการขึ้นรูป แรงจับยึดชิ้นงาน ขนาดของดอร์บิต เป็นต้น เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสม

ที่สุดในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยที่ไม่ทำให้เกิดข้อบกพร่องชิ้นงาน

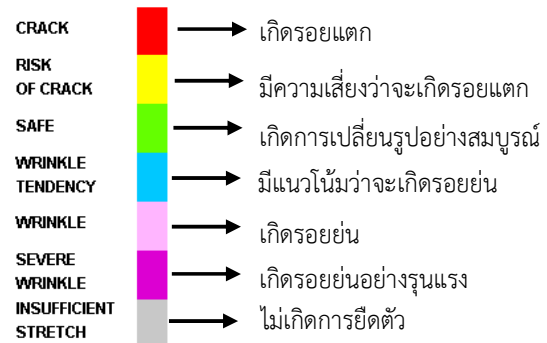
### 3.6 การปรับปรุงกระบวนการและทดลองขึ้นรูปจริงเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

หลังจากที่ได้ค่าตัวแปรในการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุด นำค่าตัวแปรเหล่านั้นไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริง ทดลองการขึ้นรูปจริง และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

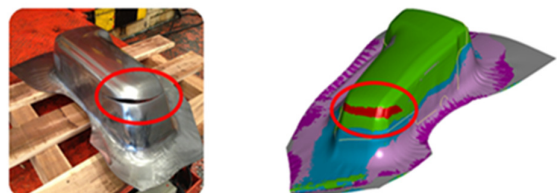
## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 ผลการจำลองขึ้นรูปด้วยชุดแม่พิมพ์และตัวแปรเดิมที่ใช้

เริ่มต้นด้วยการจำลองการขึ้นรูปโดยการตั้งค่าด้วยสภาวะและตัวแปรที่ใช้ขึ้นรูปเดิมที่เกิดปัญหาขึ้นบนชิ้นงานจริง ผลการจำลองแสดงสภาพพื้นที่ต่าง ๆ บนชิ้นงานหลังการขึ้นรูปด้วยภาพสีดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่ตัวแปรที่ถูกปรับตามค่าที่ใช้จริงได้แก่ แรงจับยึดชิ้นงานเท่ากับ 50 ตัน และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.1 พบว่าเกิดรอยแตกขึ้นบริเวณมุมด้านหลังของชิ้นงานซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับปัญหาที่เกิดขึ้นงานจริงดังรูปที่ 7



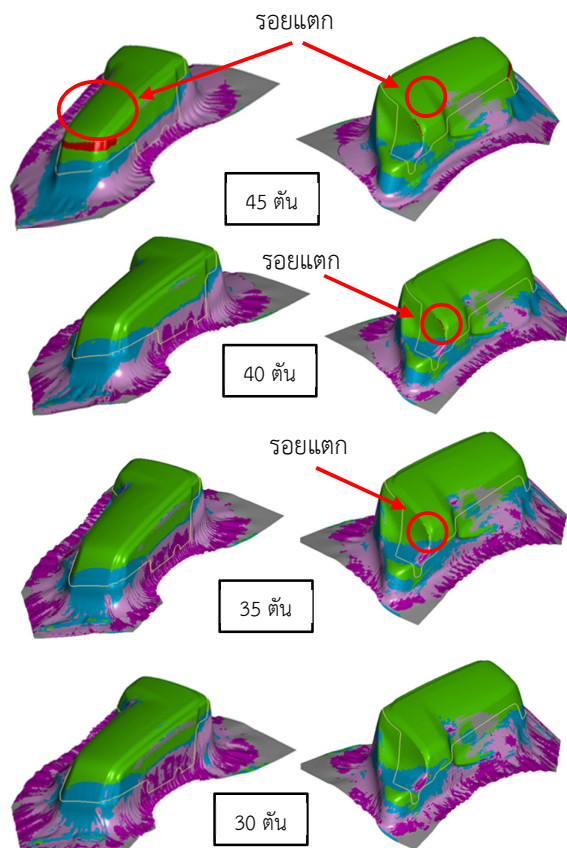
รูปที่ 6 แถบสีแสดงสภาพพื้นที่ต่างๆ บนชิ้นงานหลังผ่านการขึ้นรูป



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งรอยแตกบนชิ้นงานจริงและผลการจำลอง

#### 4.2 ผลการจำลองการปรับแรงจذبยึดชิ้นงาน

เนื่องจากการเกิดปัญหารอยแตกขึ้นบนชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงได้ทดลองทำการเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป โดยการลดแรงจذبยึดแผ่นชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานสามารถไหลตัวเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น



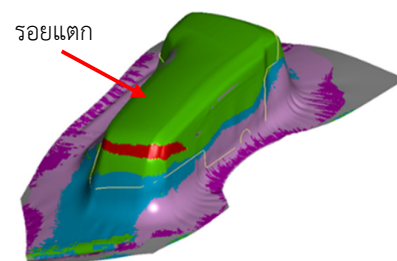
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบผลการจำลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยปรับแรงจذبยึดชิ้นงานตั้งแต่ 30-45 ตัน (ด้านหลัง-ด้านหน้า)

จากการทดลองปรับแรงจذبยึดชิ้นงานลงเพื่อพยายามลดรอยแตกที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน การปรับลดแรงจذبยึดชิ้นงานเท่ากับ 45 ตัน พบว่ารอยแตก (บริเวณพื้นที่สีแดง) ยังคงเกิดขึ้นในขอบเขตของชิ้นงาน (แสดงด้วยเส้นกรอบสีเหลือง) ทั้งบริเวณด้านหน้าและด้านหลัง การปรับลดแรงจذبยึดชิ้นงานลงเป็น 40 ตัน สามารถกำจัดรอยแตกบริเวณด้านหลังของชิ้นงานออกไปได้ แต่รอยแตกบริเวณด้านหน้าของชิ้นงานยังคงอยู่ จากนั้นทำการปรับแรงจذبยึดชิ้นงานลงเพิ่มเติม เพื่อกำจัดรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าโดยการปรับลดแรงจذبยึดชิ้นงานจนถึง 30 ตัน พบว่าไม่มีบริเวณรอยแตกเกิดขึ้นบนชิ้นงาน แต่พบว่ามีบริเวณที่

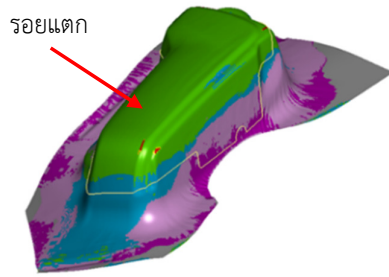
เป็นรอยย่น (แสดงด้วยพื้นที่สีชมพู) และรอยย่นอย่างรุนแรง (แสดงด้วยพื้นที่สีม่วง) เพิ่มขึ้นในขอบเขตชิ้นงานเป็นปริมาณมาก เมื่อสังเกตจากรูปที่ 8 ที่แสดงการเปรียบเทียบผลจากการปรับค่าทั้งหมด จะเห็นว่าการปรับลดค่าแรงจذبยึดชิ้นงานเพียงค่าเดียวไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานได้ เมื่อพยายามลดแรงจذبยึดชิ้นงานลงเพื่อให้ชิ้นงานสามารถไหลตัวได้ง่ายขึ้นนั้นทำให้อัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากแรงที่ใช้ชะลอการไหลตัวในแต่ละทิศทางของแผ่นชิ้นงานมีค่าไม่เหมาะสม

#### 4.3 ผลการจำลองการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากการทดลองโดยการปรับค่าแรงจذبยึดชิ้นงานไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ จึงได้ทำการทดลองปรับลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเดิมนั้น ใช้สารหล่อลื่นประเภทน้ำมันหล่อลื่นทาที่ผิวของแม่พิมพ์และแผ่นชิ้นงาน เพื่อช่วยในการเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปจากการสอบถามจากฝ่ายวิจัยและพัฒนาของทางโรงงานพบว่า สารหล่อลื่นที่เลือกใช้นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.1 และจากทฤษฎีที่กล่าวว่า การใช้สารหล่อลื่นที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยสามารถเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นงานได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงเป็น 0.05 โดยยังเลือกใช้แรงจذبยึดชิ้นงานค่าเดิมที่ใช้อยู่ซึ่งเท่ากับ 50 ตัน ผลที่ได้จากการจำลองแสดงดังนี้



รูปที่ 9 ผลการจำลองขึ้นรูปโดยปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.1 (ด้านหลัง)



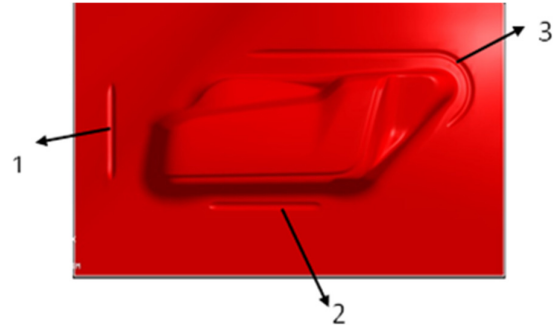
รูปที่ 10 ผลการจำลองขึ้นรูปโดยปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.05 (ด้านหลัง)

จากผลการจำลองการขึ้นรูปขึ้นงานโดยการปรับลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายลง เพื่อเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นงาน เมื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายลงเท่ากับ 0.05 ดังรูปที่ 10 พบว่าพื้นที่ที่เกิดรอยแตก (แสดงด้วยพื้นที่สีแดง) มีขนาดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.1 ในรูปที่ 9 แต่ยังมีหลงเหลืออยู่เล็กน้อย ในขณะที่รอยแตกภายในขอบเขตชิ้นงานลดลง พื้นที่บริเวณที่เกิดรอยย่น (แสดงด้วยพื้นที่สีชมพู) และรอยย่นอย่างรุนแรง (แสดงด้วยพื้นที่สีม่วง) มีปริมาณเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย ทำให้การปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายให้มีค่าลดลงไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานได้ อีกทั้งการเปลี่ยนชนิดของสารหล่อลื่นให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นทำให้ต้นทุนในการผลิตชิ้นงานสูงขึ้นตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากความสามารถในการไหลตัวของแผ่นขึ้นงานในแต่ละทิศทางยังไม่เหมาะสม เนื่องจากรูปร่างชิ้นงานมีลักษณะไม่สมมาตร ทำให้การควบคุมการไหลด้วยแรงจذبยึดชิ้นงานและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายทำได้ยาก

#### 4.4 ผลการจำลองการใส่ดรอร์ปิด

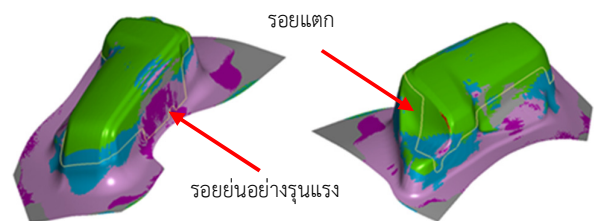
จากข้อสันนิษฐานสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหารอยแตกและรอยย่นบนชิ้นงานจากการที่แผ่นขึ้นงานมีอัตราการไหลตัวเข้าสู่แม่พิมพ์ตัวเมียที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะไม่สมมาตร ดังนั้นการปรับขนาดของดรอร์ปิดจึงเป็นตัวแปรที่เข้ามามีบทบาทในการแก้ไขปัญหาขึ้นนี้ ขึ้นแรกผู้วิจัยจึงได้จำลองผลการขึ้นรูปโดยการนำดรอร์ปิดแต่ละตัวบนผิวหน้าแม่พิมพ์ออกเพื่อศึกษาการไหลตัวของแผ่นขึ้นงานว่าทิศทางใดมีการไหลตัวที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาขึ้นบนชิ้นงาน เพื่อเป็นแนวทางใน

การแก้ไขปัญหาต่อไป โดยดรอร์ปิดบนผิวหน้าแม่พิมพ์มีอยู่ทั้งหมด 3 ตัว มีลักษณะดังรูปที่ 11

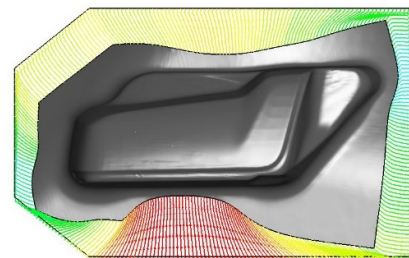


รูปที่ 11 ภาพแสดงตำแหน่งของดรอร์ปิดบนผิวหน้าแม่พิมพ์

#### 4.4.1 ผลการจำลองขึ้นรูปขึ้นงานโดยนำดรอร์ปิดออกจากแม่พิมพ์



รูปที่ 12 ผลการจำลองขึ้นรูปขึ้นงานโดยนำดรอร์ปิดออกจากแม่พิมพ์ทั้งหมด (ด้านหลัง-ด้านหน้า)

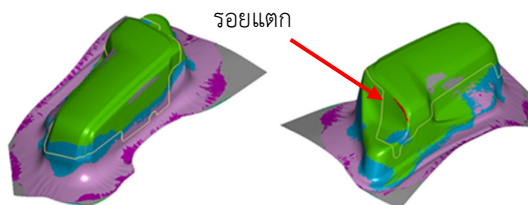


รูปที่ 13 ผลแสดงระยะการไหลตัวของขอบชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ไม่มีดรอร์ปิด

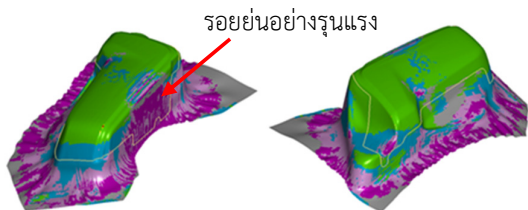
จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อนำดรอร์ปิดทั้ง 3 ตัวออกจากผิวหน้าแม่พิมพ์ ภายในพื้นที่ขอบเขตชิ้นงานยังคงมีทั้งปัญหารอยแตกและรอยย่นปรากฏอยู่ จะเห็นได้ชัดว่าผิวชิ้นงานบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งของดรอร์ปิดหมายเลข 2 เกิดรอยย่นขึ้นมากกว่าทิศทางอื่น ๆ เนื่องจากทิศทางนี้เป็นทิศทางที่แผ่นโลหะ

มีการไหลตัวเข้าสู่ชุดแม่พิมพ์ได้มากที่สุดดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 13 ทิศทางที่เกิดการไหลตัวมากที่สุดแสดงด้วยเส้นลูกศรสีแดง เมื่อขาดรอร์ปิดที่คอยควบคุมการไหลตัวในทิศทางนี้ไว้จะทำให้เกิดรอยย่นภายในพื้นที่ขึ้นงานอย่างรุนแรงมาก จากผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงทำการทดลองจำลองการขึ้นรูปโดยการนำดรอร์ปิดในแต่ละตำแหน่งออกเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด

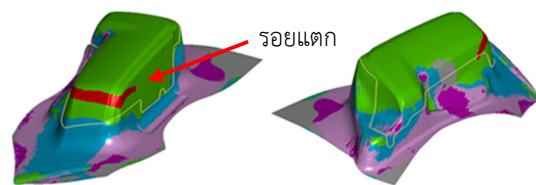
#### 4.4.2 การทดลองนำดรอร์ปิดหมายเลข 1, 2 และ 3 ออกจากผิวหน้าแม่พิมพ์ทีละตัว



รูปที่ 14 ผลการจำลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยนำดรอร์ปิดหมายเลข 1 ออก (ด้านหลัง-ด้านหน้า)



รูปที่ 15 ผลการจำลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยนำดรอร์ปิดหมายเลข 2 ออก (ด้านหลัง-ด้านหน้า)



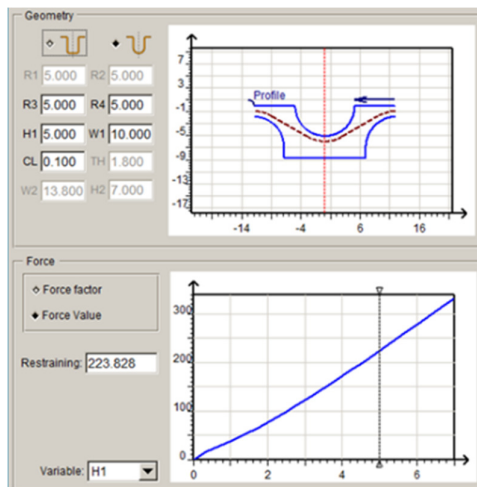
รูปที่ 16 ผลการจำลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยนำดรอร์ปิดหมายเลข 3 ออก (ด้านหลัง-ด้านหน้า)

จากผลการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการนำดรอร์ปิดออกจากผิวแม่พิมพ์ทีละตัวในรูปที่ 14-16 เพื่อศึกษาว่าปัญหาการรอยแตกที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเกิดจากปัญหาการไหลตัวของแผ่นขึ้นงานในทิศทางใด พบว่าการนำดรอร์ปิดหมายเลข 1 ออกเพียงตัวเดียวนั้นสามารถกำจัดรอยแตกบริเวณด้านหลังของ

ชิ้นงานได้ แต่ยังคงมีรอยแตกบริเวณด้านหน้าอยู่ การนำดรอร์ปิดหมายเลข 2 ออกจากผิวแม่พิมพ์ทำให้แผ่นขึ้นงานไหลเข้ามาทางทิศทางด้านนั้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกบนชิ้นงานน้อยมาก แต่เกิดรอยย่นกระจายตัวทั่วชิ้นงาน โดยจะเกิดรุนแรงที่สุดบริเวณใกล้กับตำแหน่งของดรอร์ปิดหมายเลข 2 และการนำดรอร์ปิดหมายเลข 3 ออกจากผิวแม่พิมพ์มีผลทำให้รอยแตกบริเวณด้านหน้าหายไป แต่ยังคงมีรอยแตกขนาดใหญ่ที่บริเวณด้านหลังของชิ้นงานอยู่ จากการทดลองชุดนี้พบว่าดรอร์ปิดที่มีอิทธิพลต่อรอยแตกทั้งสองจุดคือดรอร์ปิดหมายเลข 1 และ 3 โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นบนชิ้นงานเกิดจากดรอร์ปิดทั้งสองมีความสามารถในการควบคุมการไหลในทิศทางนั้นมากจนเกินไป ทำให้โลหะไหลตัวได้ยาก แนวทางการทดลองต่อไปจึงเป็นการปรับให้ดรอร์ปิดทั้งสองตัวนั้นมีความสามารถในการควบคุมการไหลตัวได้น้อยลงหรือทำให้แรงหน่วงเหนี่ยวลดน้อยลง

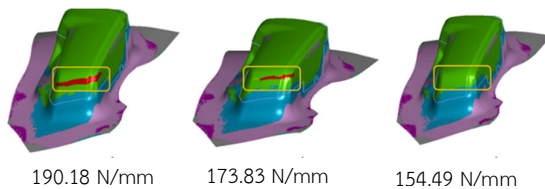
#### 4.5 ผลการปรับแรงหน่วงเหนี่ยวของดรอร์ปิด

จากข้อสันนิษฐานว่าดรอร์ปิดหมายเลข 1 และ 3 มีการควบคุมการไหลตัวของแผ่นขึ้นงานมากเกินไปจึงได้ทดลองปรับลดค่าแรงหน่วงเหนี่ยวชิ้นงานลงหรือที่เรียกว่า Drawbead restraining force (DBRF) ซึ่งแรงหน่วงเหนี่ยวนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปทรงของดรอร์ปิดบนผิวแม่พิมพ์ เช่น รัศมีดรอร์ปิด ความกว้างและความสูง [8] โดยในการทดลองนี้จะทำการจำลองหาแรงหน่วงเหนี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 1 และ 3 ที่เหมาะสมที่สุด โดยที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาขึ้นในขอบเขตชิ้นงานในขณะที่ไม่มีการปรับที่ดรอร์ปิดหมายเลข 2 เนื่องจากการปรับลดแรงหน่วงเหนี่ยวที่ดรอร์ปิดหมายเลข 2 อาจทำให้เกิดรอยย่นอย่างรุนแรง (บริเวณผิวสีม่วง) เพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นจึงใช้โปรแกรมจำลองหาขนาดต่าง ๆ ของดรอร์ปิดที่ให้แรงหน่วงเหนี่ยวนั้นๆ เพื่อนำไปปรับแก้ใช้งานจริงต่อไป โดยที่ขนาดของดรอร์ปิดที่ใช้อยู่เดิมนั้นมีขนาดและรูปร่างที่เท่ากัน ได้แก่ มีขนาดรัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมคำนวณแรงหน่วงเหนี่ยวจากชนิดของแผ่นวัสดุที่ใช้และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์และแผ่นขึ้นงานได้เท่ากับ 223.83 N/mm ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 หน้าต่างแสดงแรงห้วงเหี่ยวตามขนาดเดิมของดรอร์ปิด

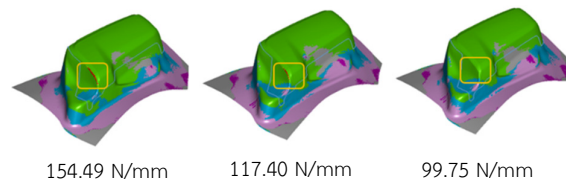
#### 4.5.1 การปรับแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 1



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยการปรับลดแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 1 (ด้านหลัง)

จากผลการจำลองในรูปที่ 18 แสดงให้เห็นว่าการปรับแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 1 ซึ่งเป็นดรอร์ปิดที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลตัวของแผ่นชิ้นงานบริเวณด้านหลัง การปรับลดแรงห้วงเหี่ยวลงเป็น 190.18 N/mm ทำให้รอยแตกบริเวณด้านหลังลดลงเล็กน้อย จากนั้นปรับลดแรงห้วงเหี่ยวลงเป็น 173.83 N/mm พบว่าขนาดของรอยแตกบริเวณด้านหลังมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนปรับแรงห้วงเหี่ยวจนถึง 154.49 N/mm สามารถจัดรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหลังชิ้นงานออกไปได้

#### 4.5.2 การปรับแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 3



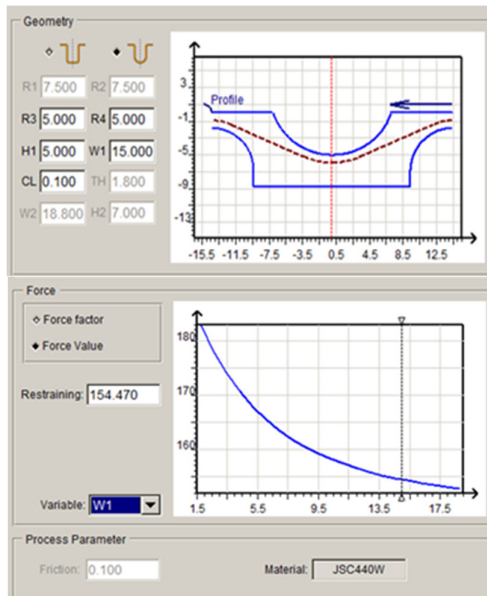
รูปที่ 19 การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยการปรับลดแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 3 (ด้านหน้า)

จากรูปที่ 19 การปรับแรงห้วงเหี่ยวของดรอร์ปิดหมายเลข 3 ลงเพื่อกำจัดรอยแตกบริเวณด้านหน้าชิ้นงาน ที่เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ดรอร์ปิดมีแรงห้วงเหี่ยวสูงจนเกินไปทำให้เนื้อวัสดุไหลตัวได้ยาก จากการปรับลดแรงห้วงเหี่ยวลงเหลือ 154.49 N/mm ทำให้ปริมาณรอยแตกมุมด้านหน้าลดลงเพียงเล็กน้อย จากนั้นทำการปรับลดแรงห้วงเหี่ยวเป็น 117.40 N/mm จะเห็นว่าปริมาณรอยแตกบนชิ้นงานยังคงหลงเหลือเพียงเล็กน้อย และสุดท้ายทำการปรับแรงห้วงเหี่ยวลงจนถึง 99.75 N/mm จึงจะสามารถกำจัดรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าออกไปได้

#### 4.6 ผลการรูปร่างของดรอร์ปิดตามแรงห้วงเหี่ยวจากการทดลอง

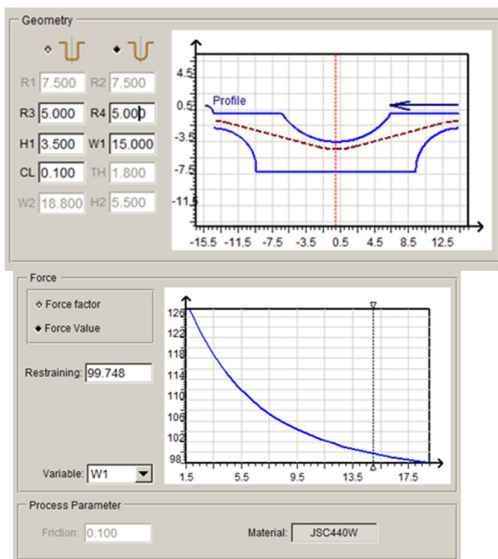
จากการทดลองปรับค่าแรงห้วงเหี่ยว (DBRF) ของดรอร์ปิดหมายเลข 1 และ 3 ซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานโดยไม่เกิดปัญหาภายในขอบเขตชิ้นงานจริงได้แก่ 154.49 N/mm และ 99.75 N/mm ตามลำดับ นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาขนาดต่างๆ ของดรอร์ปิดโดยใช้การคำนวณผ่านโปรแกรมจำลองการขึ้นรูปได้ผลดังต่อไปนี้

##### 4.6.1 การหาขนาดของดรอร์ปิดหมายเลข 1 ที่ให้แรงห้วงเหี่ยว (DBRF) เท่ากับ 154.49 N/mm



รูปที่ 20 การหาขนาดของดรอร์ปิดหมายเลข 1 ตามแรงหน่วงเหนี่ยวที่ได้จากการจำลอง

4.6.2 การหาขนาดของดรอร์ปิดหมายเลข 3 ที่ให้แรงหน่วงเหนี่ยว (DBRF) เท่ากับ 99.75 N/mm



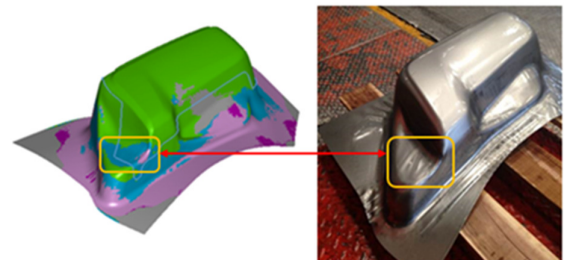
รูปที่ 21 การหาขนาดของดรอร์ปิดหมายเลข 3 ตามแรงยึดเหนี่ยวที่ได้จากการจำลอง

จากรูปที่ 20 และ 21 จะเห็นว่าโปรแกรมสามารถคำนวณขนาดต่างๆ ของดรอร์ปิดตามแรงหน่วงเหนี่ยวที่ต้องการ โดย

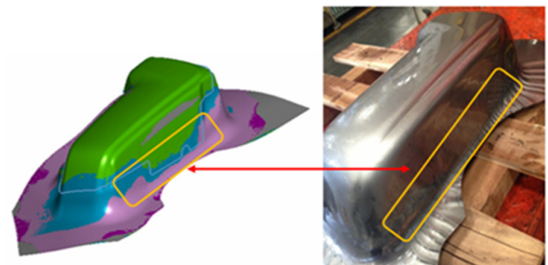
ดรอร์ปิดหมายเลข 1 ต้องการแรงหน่วงเหนี่ยวเท่ากับ 154.49 N/mm โดยผู้ทดลองเลือกขนาดของดรอร์ปิดเป็นตัวเลขที่ลงตัวซึ่งมีขนาดต่างๆ ดังนี้ รัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ส่วนดรอร์ปิดหมายเลข 3 ที่ต้องการแรงหน่วงเหนี่ยวเท่ากับ 99.75 N/mm คำนวณหาขนาดที่เหมาะสมได้แก่ รัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร โดยที่ขนาดของดรอร์ปิดทั้งสองจะถูกนำไปปรับปรุงกับผิวแม่พิมพ์จริงและทำการทดสอบขึ้นรูปจริงต่อไป

#### 4.7 ผลการทดสอบขึ้นรูปจริง

เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขผิวหน้าแม่พิมพ์จริงตามขนาดดรอร์ปิดที่เหมาะสมได้แก่ ดรอร์ปิดหมายเลข 1 มีรัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และดรอร์ปิดหมายเลข 3 ที่มีขนาดรัศมีเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปจริงโดยใช้แม่พิมพ์ที่ปรับปรุงแล้วขึ้นรูปด้วยแรงจับยึดชิ้นงานเท่ากับ 50 ตัน และใช้สารหล่อลื่นที่เคยใช้แต่เดิม ได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้



รูปที่ 22 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการขึ้นรูปจริง (ด้านหน้า)



รูปที่ 23 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการขึ้นรูปจริง (ด้านหลัง)  
หลังจากที่ได้ตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมแล้วทำการขึ้นรูปขึ้นงานจริงเปรียบเทียบกับผลการจำลองการขึ้นรูปที่ได้จากโปรแกรม Dynaform จะเห็นว่าบริเวณด้านหน้าของชิ้นงาน

ตามรูปที่ 22 ชิ้นงานจริงที่ได้เกิดปัญหารอยย่นเกิดขึ้นซึ่งได้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการจำลองการขึ้นรูป โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยย่นนั้นเป็นผลมาจากผิวชิ้นงานบริเวณด้านข้างเกิดการเบียดกับผิวของแม่พิมพ์ขึ้นทำให้เนื้อวัสดุบริเวณที่เกิดรอยย่นไม่สามารถไหลตัวไปตามแบบของแม่พิมพ์ได้สมบูรณ์จนถูกแม่พิมพ์กดทับเกิดเป็นรอยย่นขึ้นมา ซึ่งรอยย่นดังกล่าวไม่สามารถกำจัดให้ออกไปได้ หลังจากสรุปผลร่วมกับผู้ผลิตพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องถูกขึ้นส่วนอื่นมาประกอบปิดเอาไว้ และจากรูปที่ 23 บริเวณด้านข้างของชิ้นงานที่ถูกแสดงไว้ในกรอบสี่เหลี่ยมเกิดรอยย่นขึ้นในขอบเขตชิ้นงานเล็กน้อย แต่สามารถปรับแต่งรอยย่นเหล่านี้ได้โดยกระบวนการที่เหลือหลังจากนี้ได้ ทำให้ได้ข้อสรุปว่าสามารถใช้ตัวแปรต่าง ๆ ตามที่ได้ทดลองนี้ขึ้นรูปชิ้นงานจริงในกระบวนการลากขึ้นรูปสีกนี้ได้โดยไม่เกิดปัญหารอยแตกและรอยย่นที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการนำระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูปสีกขึ้นงานกันชนหลัง Shell Bar RR impact RH/LH โดยแบ่งแนวทางการปรับแก้เป็น 2 แนวทางดังนี้

### 5.1 การปรับแก้โดยการปรับตัวแปรในการผลิต

จากการทดสอบปรับตัวแปรทั้งแรงจับยึดแผ่นขึ้นงานและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความคมลักษณะการไหลตัวของแผ่นขึ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์ตัวเมียพบว่าเมื่อทำการลดตัวแปรดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหารอยแตกได้ แต่ในขณะเดียวกันกลับมีปัญหารอยย่นเกิดขึ้นบนชิ้นงานอย่างรุนแรง จึงสรุปได้ว่าแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

### 5.2 การปรับแก้แม่พิมพ์โดยการเพิ่มดรอว์บีด

หลังจากที่แก้ไขปัญหามาโดยการปรับตัวแปรการผลิตไม่ประสบความสำเร็จ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปในทางการแก้ไขปัญหามาจากการปรับขนาดและรูปร่างของดรอว์บีดโดยปรับที่ค่าแรงหน่วงเหนี่ยวของดรอว์บีด โดยดรอว์บีดที่ทำการปรับค่าได้แก่ดรอว์บีดหมายเลข 1 และ 3 ซึ่งเป็นดรอว์บีดที่มีอิทธิพลต่อปัญหาการไหลตัวของวัสดุที่เกิดขึ้นแต่ละจุด พบว่าการปรับลดแรงหน่วงเหนี่ยวลงจนถึงค่า เท่ากับ 154.49 N/mm (ดรอว์บีดมีขนาดรัศมี 5 มิลลิเมตร ความสูง 5 มิลลิเมตร และความกว้าง 15

มิลลิเมตร) และ 99.75 N/mm (ดรอว์บีดมีขนาดรัศมี 5 มิลลิเมตร ความสูง 3.5 มิลลิเมตร และความกว้าง 15 มิลลิเมตร) ตามลำดับ สามารถกำจัดรอยแตกบนชิ้นงานได้โดยไม่เกิดรอยย่นได้ หลังจากที่ได้ขนาดดรอว์บีดที่เหมาะสมแล้วนำค่าที่ได้จากการจำลองไปแก้ไขขนาดดรอว์บีดแม่พิมพ์แล้วทำการขึ้นรูป พบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลการจำลองโดยภายในขอบเขตชิ้นงานมีรอยย่นเกิดขึ้นสองจุด ซึ่งรอยย่นดังกล่าวทางผู้ผลิตสามารถยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าการปรับขนาดของดรอว์บีดหมายเลข 1 และ 3 สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ และยังสามารถแนะนำแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวไปแก้ไขปัญหาลักษณะที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยซัมมิท โอโตโมทีฟ จำกัด ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลอง สถานที่ในการทดลอง และข้อมูลต่างๆที่สำคัญต่อการดำเนินการวิจัย อีกทั้งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปรินญาโท ปีงบประมาณ 1/2558 ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yoshihara, S., Manabe, K. & Nishimura, H. (2005). Effect of blank holder force control in deep-drawing process of magnesium alloy sheet. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 579-585.
- [2] Buranathiti, T., & Phongphay, T. (2007). Forming design of engine cross member via tearing and wrinkling analysis. *The Journal of KMUNB*, 17 (2), 52-60.
- [3] Lee, M.G., Chung, K., Wagoner, R.H., & Keum, Y.T. (2008). A numerical method for rapid estimation of drawbead restraining force based on non-linear, anisotropic constitutive equations. *International Journal of Solids and Structures*, 45, 3375-3391.
- [4] Kadkhodayan, M., & Moayyedean, F. (2011). Analytical elastic-plastic study on flange wrinkling in deep drawing process. *Scientia Iranica*, 18, 250-260
- [5] Hu, J., Marciniak, Z., & Duncan, J. (2002). *Mechanics of sheet metal forming (2nd ed.)*, MA: Butterworth-heinemann.

- [6] *Standard Test Method for Plastic Strain Ratio  $r$  for Sheet Metal*. (2010). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [7] Banabic, D. (2010). *Sheet Metal Forming Processes Constitutive Modelling and Numerical Simulation*, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [8] Bae, G.H., Song, J.H., Huh, H., Kim, S.H., & Park, S.H. (2007). Simulation-based prediction model of the draw-bead restraining force and its application to sheet metal forming process. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 123-127