

การวิเคราะห์เพื่อลดกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Sheet Metal Forming Process Optimization Using FEM Analysis

ไมตรี กมลรัตนพิสุทธิ์ และ สุรังสี เดชเจริญ*

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*E-mail: surang@kmitnb.ac.th

Maitri Kamonrattapisut and Surangsee Dechjareen*

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

1518 Piboonsongkram Rd, Bangsue, Bangkok 10800

*E-mail : surang@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับงานขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อช่วยลดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ขึ้นส่วนยานยนต์โดยใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์วิธีการผลิตที่เหมาะสมและลดต้นทุนของการผลิตลง ชิ้นงานที่ใช้วิเคราะห์เป็นวัสดุ เหล็กแผ่น SPHC ตามมาตรฐาน JIS 3131 หนา 1.2 มม. ในการจำลองใช้คุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ isothermal พฤติกรรมเป็นแบบ elastoviscoplastic with strain hardening และทิศทางการรีดมีผลต่อวัสดุ (Anisotropic) โดยไม่คำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้น และมีการเสียดสีระหว่างกันตามกฎของ Coulomb's โดยใช้แม่พิมพ์เป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid Body) และชิ้นงานเป็นแบบ Elastoplastic ผลจากการศึกษาตรงกับกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานจริงโดยมีการฉีกขาดเกิดขึ้น จากนั้นได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของ draw bead, die entry radius, ขนาดของ blank size และแรงกดของ holder ต่อการไหลของวัสดุในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อจัดการฉีกขาดและลดจำนวนกระบวนการขึ้นรูป โดยกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเดิมของโรงงานอุตสาหกรรมจะมีทั้งหมด 7 กระบวนการ ทำให้สิ้นเปลือง เนื่องจากการออกแบบที่ไม่ใช้ศึกษาตัวแปรให้ดีที่สุด จากการศึกษาโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยวิเคราะห์อิทธิพลของ draw bead, die entry radius, ขนาดของ blank size และแรงกดของ holder ต่อการไหลของวัสดุในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสามารถออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ที่ใช้ขนาดชิ้นงานเริ่มต้นและตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสม ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ในกระบวนการเดียวได้ใกล้เคียงกับขนาดสุดท้ายมากที่สุด ส่งผลให้สามารถลดจำนวนกระบวนการผลิตลงเหลือ 3 กระบวนการ จากวิธีการนี้ทำให้ใช้แม่พิมพ์เพียง 2 ตัว และยังประหยัดเนื้อชิ้นงานเริ่มต้นลงอย่างมาก ทำให้ลดต้นทุนทางการผลิตได้ในอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถแข่งขันกับตลาดได้

Abstract

At the present time, design of sheet metal forming die geometry is primarily based on trial and error. The experience of the die designer, the press operator and the die corrector to a large extent determine the performance of the process. This work aims at the numerical investigation on splitting characteristics of the process parameters of sheet metal forming in order to reduce process procedures. A three dimensional elastoplastic finite element analysis of a forming process of 1.2 mm-SPHC steel has been successfully developed. The material flow stress used in this work was obtained from the viscous pressure bulge test under biaxial state of stress. The model was validated with the experimental tests and the results agree well. The effective strain and percentage in thinning distributions were examined. The original process design contain 7 processes to complete such a workpiece. Two alternative methods were studied to investigate the better process design. The first option is to use draw bead to get rid of the splitting and reduce processing steps down to 5 steps. The second approach is to design the new forming die and near finish blank shape. This method will allow the workpiece to be made within one single step. The case studies demonstrates that magnitude of global splitting and number of processing step are influenced by the process parameters i.e. draw bead, die design shape. The optimum die design was found to reduce the cost of manufacturing down significantly by reducing number of step from 7 to 3.

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการขึ้นรูปโลหะ (Metal forming) ต้องการความแม่นยำ ความเที่ยงตรงของชิ้นส่วนสูง รวมทั้งต้องการลดขั้นตอนในการผลิตน้อยที่สุดนั้น การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เพื่อช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อสร้างคำแนะนำในการออกแบบแม่พิมพ์ และกำหนดขั้นตอนในการขึ้นรูปที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิต เพื่อหาสาเหตุความผิดพลาดได้เช่นกัน วิธีนี้จะช่วยลดจำนวนการลองผิดลองถูก (Trials and Errors) เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย เวลา และลดช่วงเวลานำ (lead time) อีกทั้งยังมีส่วนในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถพึ่งพาตนเองเชิงเทคโนโลยีการผลิต เพิ่มความสามารถในการผลิตพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์ และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศ ลดต้นทุนการสูญเสียวัตถุดิบแรงงานและเวลาในการผลิต และจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกแก่ผู้ผลิตไทย

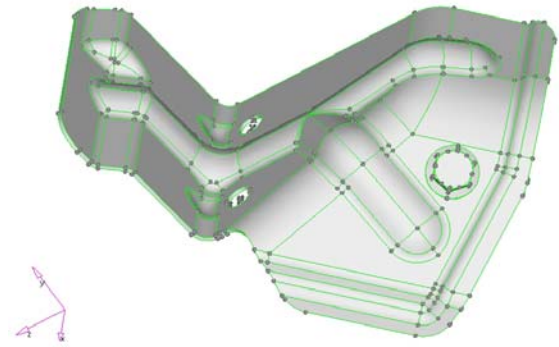
การขึ้นรูปโลหะแผ่นนั้นมักจะเกิดความเสียหายแบบ การคอด (Necking) การแตกฉีก (Rupture or Splitting) รอยย่น (Wrinkling) และเกิดการดีดกลับ (Spring back) [1,2] จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จะนำแผ่นเหล็กบางมาขึ้นรูป เพื่อลดเนื้อวัสดุและลดต้นทุนการผลิตลง จึงมีโอกาที่จะเกิดรอยตำหนิ จากการผลิตได้ง่าย ดังเช่น รอยย่น การแตก ของชิ้นงาน วิธีการที่จะทำให้การผลิตชิ้นส่วนได้สะดวกและรวดเร็วจึงจำเป็นต้องนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาจำลองการขึ้นรูปชิ้นส่วน เพื่อที่จะทำนายการเกิดความเสียหายและกำหนดเงื่อนไข ในการผลิตจริงต่อไป การวิเคราะห์ด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้พื้นฐานความรู้อย่างลึกซึ้งในเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ และ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อที่จะสามารถจำลองโมเดลการขึ้นรูปให้ใกล้เคียงกับ การขึ้นรูปจริงให้มากที่สุด ถ้าหากขาดพื้นฐานความรู้และประสบการณ์ สิ่งหนึ่งสิ่งใดไปแล้วก็จะทำให้ผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณคลาดเคลื่อนไป หรืออาจจะนำไปใช้งานจริงไม่ได้ การเสียรูปจะมีการเสียรูปอยู่ 2 ส่วน คือ การเสียรูปในช่วงยืดหยุ่น (Elasticity) และ ช่วงพลาสติก (Plasticity) แต่พบว่าการเสียรูปในช่วงยืดหยุ่น นั้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเสียรูปทั้งหมด จึงสนใจเฉพาะการเสียรูปในช่วง พลาสติกเท่านั้น

ในส่วนของ Blank sheet ที่ได้รับความเค้น จะรับความเค้นแบบ Compressive stress แนวแกนรัศมีซึ่งช่วยไม่ให้เกิดปัญหารอยย่นคือ การใช้ Blank holder pressure เข้ามาช่วย ซึ่งการคำนวณหา Blank holder pressure สามารถ ใช้แทนแรงดัน ด้วย P_{BH} ส่วนพื้นที่ในการรับแรง แทนด้วย A_{BH} และสามารถคำนวณแรงที่กระทำที่ Blank holder ได้จาก

$$F_{BH} = A_{BH} P_{BH} \quad (1)$$

2. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปโลหะ

2.1 การกำหนดรูปร่างของกระบวนการขึ้นรูป



รูปที่ 1 รูป CAD ของชิ้นงานซึ่งโรงงานได้มาจากลูกค้า

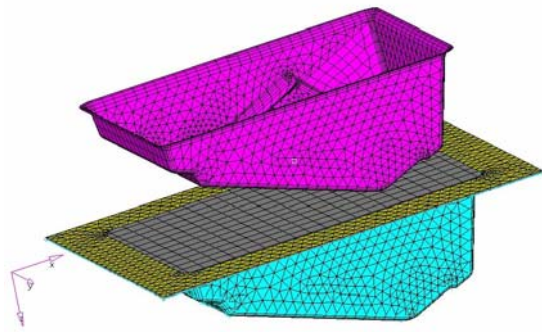
ชิ้นงานที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงานที่โรงงานได้ทำการออกแบบกระบวนการผลิตแล้วแต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการฉีกขาดและการผลิตต้องใช้หลายขั้นตอนซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลา รวมทั้งขนาดของ blank size ที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะมีวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตค่อนข้างมากทำให้ต้นทุนต่อชิ้นสูงเกินความจำเป็น โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 1 ว่าชิ้นงานนี้ต้องมีการขึ้นรูปและทำการ bending ต่อ และมีความซับซ้อน โดยมีขั้นตอนในการผลิตชิ้นส่วนนี้จะแบ่งเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

1. ขึ้นรูปครั้งที่ 1
2. ขึ้นรูปครั้งที่ 2
3. Trimming ครั้งที่ 1
4. Trimming ครั้งที่ 2 และ เจาะรู
5. Trimming ครั้งที่ 3
6. Trimming ครั้งที่ 4
7. พับขึ้นรูป

ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้องเสียเวลาค่อนข้างมากอีกทั้งยังมี กระบวนการ Trimming บางส่วนที่ต้องอาศัยการทำด้วยมือ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปแค่ครั้งเดียวเพื่อลดการขึ้นรูปครั้งที่ 1 โดยไม่ให้เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานเกิดขึ้น เพื่อความสะดวกในการ trimming ซึ่งอาจทำให้ลดขั้นตอนการ trimming ลงได้เช่นกัน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดขั้นตอนในการผลิตรวมทั้งการลดขนาดของ blank ด้วยเพื่อลดต้นทุน โดยกระบวนการจำลอง Finite elements [3].

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานได้ถูกจำลองดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการจำลองชิ้นส่วนต่างๆโดยใช้แบบที่ได้มาจาก CAD drawing ของแม่พิมพ์ในขั้นที่ 2 โดยได้ทำการจำลองโดยใช้ shell element เพื่อให้สามารถศึกษาความเค้นความเครียดที่เกิดขึ้นบนแม่พิมพ์ได้ การจำลองหัวกดขึ้นรูป (Punch) และชุดกดยึดแผ่น (Blank holder) จากแบบจำลองของแม่พิมพ์ได้กำหนดให้เป็นเอลิเมนต์แบบแข็งเกร็ง (Rigid body) เหมือนกันทั้งสองชิ้นส่วน ในส่วนของแบบจำลองของแผ่นโลหะ (blank) ได้แบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เริ่มต้นด้วย

จำนวน 24 เอลิเมนต์และใช้เทคนิค adaptive mesh เพื่อให้มีการเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ในบริเวณที่มีการเสียรูปมาก [4].



รูปที่ 2 รูปของ Mesh ของแบบจำลอง finite element ของกระบวนการ Deep Draw

2.2 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

ในการศึกษาวัสดุของชิ้นงานที่ใช้คือ SPHC ผลิตตามมาตรฐาน JIS G3131 ความหนา 1.2 มม. ในการจำลองใช้คุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ isothermal พฤติกรรมเป็นแบบ elasto-viscoplastic with strain hardening การคำนวณหา Hardening curve เพื่อกำหนด Stress และ strain โปรแกรม Hyperform ได้ใช้วิธีของ Krupkowski-Swift law. [6] ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\sigma(\epsilon) = k (\epsilon_0 + \epsilon)^n \quad (2)$$

เมื่อ ϵ_0 = offset strain, ϵ = Effective strain, k = Hardening coefficient, n = Hardening Exponent โดยมีการพิจารณาถึงความร้อนที่เกิดขึ้นและมีการเสียดสีระหว่างกันตามกฎของ Coulomb's และพิจารณาผลของแอนไอโซโทรปีโดยค่าที่ใช้ได้นั้นมาจากค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุโดยใช้ Bulge test ของวัสดุ [5] ดังแสดงในตารางที่ 1 ในขณะที่แม่พิมพ์ทำจากเหล็กแม่พิมพ์ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตาราง 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ SPHC ที่ใช้ในแบบจำลอง

คุณสมบัติเชิงกล	SPHC	Tool Steel (AISI-S5)
Tensile strength (Mpa)	348.915	2230
Modulus young's (Mpa)	210e+03	140e+03
Yield stress (Mpa)	216	1730
คุณสมบัติเชิงกล	SPHC	AISI-S5
Poisson's Ratio	0.3	-
Hardening Exponent	0.21	-
Hardening coefficient	597.390	-
Offset strain	7.874e-03	-
Anisotropy coefficients (γ_0 , γ_{45} , γ_{90})	1.14, 0.94, 1.43	-

2.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการขึ้นรูป

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ได้กำหนดการบังคับการขจัด การกระทำ และคู่สัมผัส ซึ่งประกอบด้วย การบังคับการขจัดของแบบจำลอง Punch และ Blank holder คือ $u_x = u_y = 0$ และ $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$ การบังคับการขจัดของแบบจำลอง Die คือ $u_x = u_y = u_z = 0$ และ $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$ และการบังคับการขจัดของแบบจำลองโลหะแผ่น SPHC ให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกแนวแกน แต่ $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

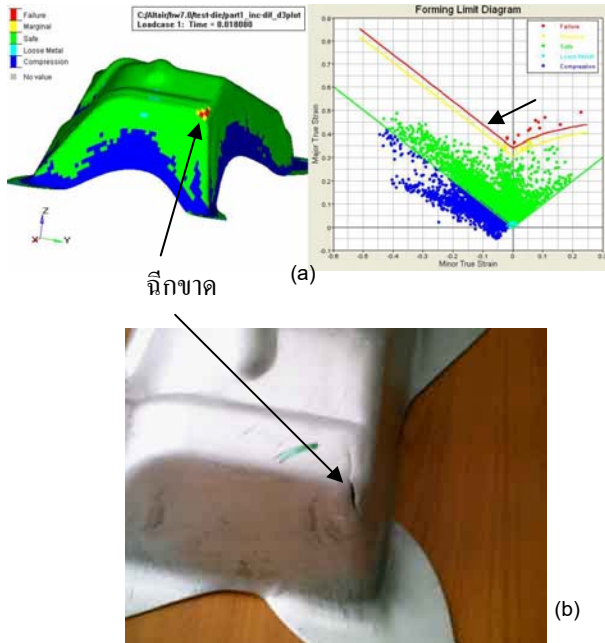
ภาระที่กระทำของ Punch คือ 250 ตัน ภาระที่กระทำของ Blank holder คือ 100,150,200,250 kN การกำหนดคู่สัมผัส ซึ่งประกอบด้วย คู่สัมผัสระหว่างแบบจำลอง Punch เป็นผิวหลักและผิวด้านบนของแผ่นโลหะ SPHC เป็นผิวนรอง คู่สัมผัสระหว่างแบบจำลอง Blank holder เป็นผิวหลักและผิวด้านบนของแผ่นโลหะ SPCCเป็นผิวนรอง คู่สัมผัสระหว่างแบบจำลอง Die เป็นผิวหลักและผิวด้านล่างของแผ่นโลหะ SPCC เป็นผิวนรอง โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทุกคู่สัมผัสมีค่า เป็น 0.125 และค่าขอบเขตเงื่อนไขในการขึ้นรูปตามข้อมูลที่ใช้ในโรงงานดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการขึ้นรูปลึก

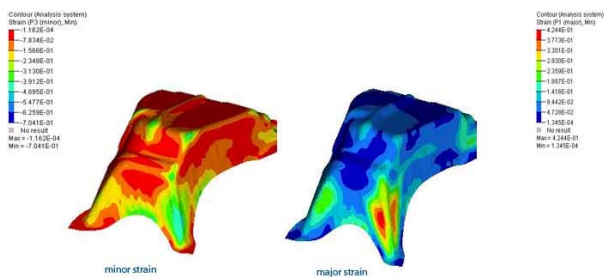
ข้อมูล	ค่าที่ออกแบบ
ความหนาแผ่นทดลอง	1.2 mm.
ขนาดเริ่มต้นของแผ่นทดลอง	177 x 250 mm ² . -แบบจำลอง 250*250 mm ² -ชิ้นงานจริง
แรงกดยึดชิ้นงาน	100kN
ความเร็วในการขึ้นรูป	-5000 mm/s
ระยะกดขึ้นรูป	80.42 mm.
Clearance	10 % ของความหนา

3. ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ในขั้นที่ 2 และแผ่นชิ้นงานเริ่มต้นซึ่งไม่มีกระบวนการ perform จากผลของการวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram – FLD) ทำให้ทราบว่าชิ้นงานเกิดความเสียหายระหว่างการขึ้นรูป จะเห็นได้ว่ามีจุดที่อยู่เหนือเส้นสีแดงซึ่งเป็นเส้นที่วัสดุจะเกิดการฉีกขาดเกิดขึ้น โดยบริเวณที่เกิดการฉีกขาดขึ้นนั้นอยู่ที่ยอดของโดมด้านบน รวมทั้งมีบางจุดที่เป็นสีน้ำเงินคืออยู่ใต้เส้นที่จะเกิดการยุบเนื่องจากมีความเครียดตกขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในการขึ้นรูปที่โรงงานในรูปที่ 3 จะเห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลได้อย่างแม่นยำมาก จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าบริเวณขอบที่เกิดการฉีกขาดขึ้นนั้นมีค่า major strainที่สูงมากถึง 0.8 อีกทั้งยังมีค่า minor strain ที่เป็นลบที่สูงมากเช่นกันโดยมีค่าเป็น -0.4 ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วัสดุฉีกขาด



รูปที่ 3 (a) Forming Limit Diagram ของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป และ (b) ชิ้นงานจริงจากการขึ้นรูปครั้งที่ 2 แสดงการฉีกขาดและรอยยุบ



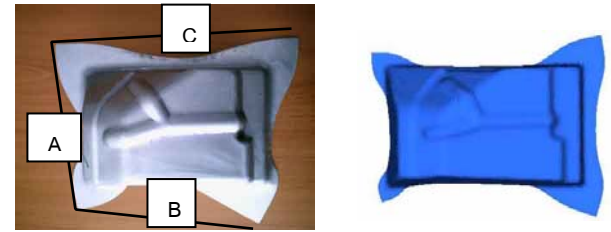
รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวความเครียดหลัก (major strain) และความเครียดรอง (minor strain) ของชิ้นงาน

3.3 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการขึ้นรูปจริง

รูปที่ 5 แสดงผลการเสียรูปจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับขนาดของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปจริงโดยใช้การขึ้นรูป 2 ครั้ง บนเครื่องเพรสขนาด 200 ตัน ใช้ Blank sheet ขนาด 250x250 มม.² ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าที่ใช้ในการจำลอง และใช้เงื่อนไขในการขึ้นรูปอื่น ๆ ตามที่กำหนดในแบบจำลองการขึ้นรูป ผลที่ได้ คือ จะเกิดรอยยุบ ที่จุดซ้ายมือ ซึ่งใกล้เคียงกับการจำลองในไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของชิ้นงานระหว่างแบบจำลองกับงานขึ้นรูปจริง โดยเปรียบกับขนาดของชิ้นงานจริง 3 จุด (A, B, C) ดังรูป 5 ซึ่งทำให้รู้ว่าเกิดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานไปเท่าไร ผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ประมาณ 25% เนื่องมาจากขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นในแนว A ของแบบจำลองมีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานจริง และอาจเป็นเพราะค่าความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสที่ใช้จากการจำลองนั้นอาจไม่ตรงกับความเป็นจริง

เป็นจริง นอกจากนี้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ได้มาจากการทดลองขึ้นรูปโดย tensile test ซึ่งเป็น uniaxial เท่านั้น



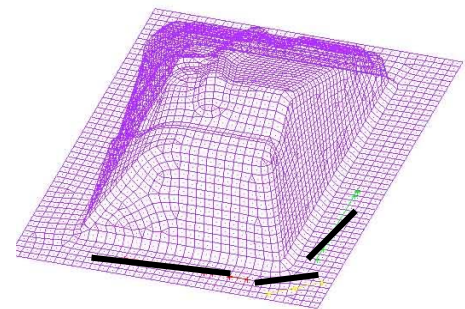
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบชิ้นงานจริงโดยการขึ้นรูป 2 ครั้งกับผลการจำลองที่ได้จากการขึ้นรูปครั้งเดียว ของกระบวนการ Deep Draw

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับงานขึ้นรูปจริง

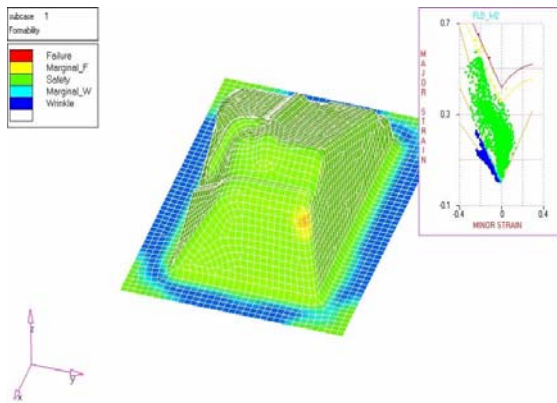
	ระยะ A (mm)	ระยะB (mm)	ระยะC (mm)
งานจริง	184	199	260
แบบจำลอง	143	205	220

3.4 การทดลองศึกษาการใช้ Draw bead เพื่อแก้ปัญหาการฉีกขาดของชิ้นงาน

การผลการจำลองจะเห็นได้ว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายได้ในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามที่ออกแบบมาจึงได้ทำการทดลองปรับแม่พิมพ์โดยใช้ draw bead โดยได้มีการจำลองสร้าง draw bead ในหลายตำแหน่งด้วยกัน เพื่อที่จะเพิ่มและลดอัตราการไหลของวัสดุผ่านแม่พิมพ์ รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของ draw bead ที่ได้ทำการทดสอบและให้ผลการขึ้นรูปที่ไม่เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานขึ้นดังผลของแผนภาพ FLD(Forming Limit Diagram)ของชิ้นงานซึ่งแสดงในรูปที่ 7



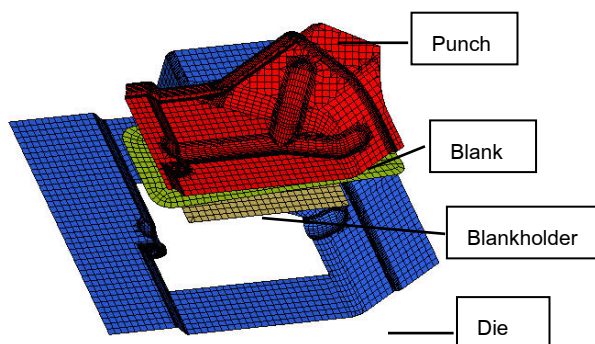
รูปที่ 6 ภาพแสดงตำแหน่งของ Draw bead ที่ให้ผลดีที่สุด



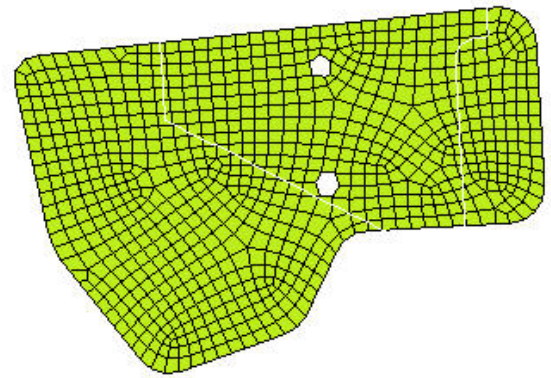
รูปที่ 7 Forming Limit Diagram ของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปโดยใช้ Draw bead

3.5 การแก้ปัญหาการฉีกขาดของชิ้นงานและลดขั้นตอนการผลิตโดยใช้การออกแบบแม่พิมพ์ใหม่

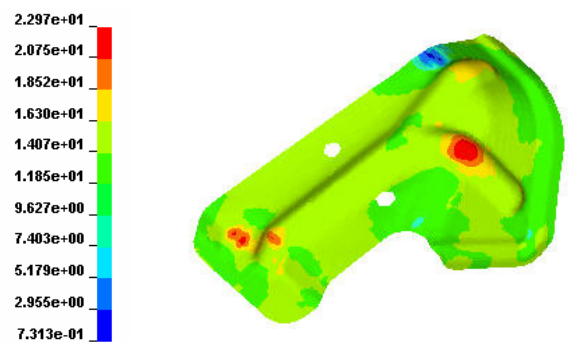
การผลการจำลองจะเห็นว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายได้ในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามที่ออกแบบมาจึงได้ทำการทดลองปรับแม่พิมพ์ อีกทั้งยังมีการสูญเสียวัสดุเป็นจำนวนมากเนื่องจากการใช้ blank ขนาดใหญ่และใช้เวลาในการผลิตหลายขั้นตอน ดังนั้นจึงมีการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ให้เป็นการ form ครั้งเดียว (รูปที่ 8) ให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการโดยเริ่มจาก blank ที่มีรูปร่างจากการที่คลี่ชิ้นงานสุดท้ายออกมา ดังแสดงในรูปที่ 9 ผลการขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ภายในครั้งเดียวโดยเมื่อดูจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนาของชิ้นงานจะเห็นว่าค่าไม่เกิน 25% (รูปที่ 10) และที่ไม่เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานขึ้นดังผลของแผนภาพ FLD ของชิ้นงานซึ่งแสดงในรูปที่ 11 อย่างไรก็ตามในขณะนี้ผลของชิ้นงานที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากขนาดของชิ้นงานที่บริษัทลูกค้าต้องการประมาณ 20% และจึงได้มีการปรับขนาดของชิ้นงานเริ่มต้น (blank size) เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานสุดท้ายที่ไม่ต้องมีการ trim ออกเลย หรือเรียกว่าขึ้นรูปได้ขนาดสุดท้ายเลย โดยได้มีการทดลองปรับขนาดโดยใช้ finite element แล้วและทดลองใช้ขนาดที่แนะนำจากทางโรงงานได้ผลดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดเดียวกับชิ้นงานสุดท้ายที่ต้องการโดยขึ้นรูปเพียงครั้งเดียวเท่านั้น



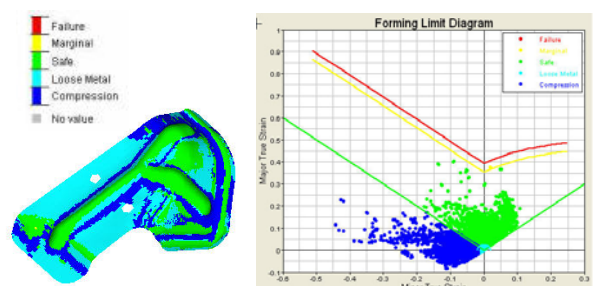
รูปที่ 8 รูปของ Mesh ของแบบจำลอง finite element ของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบครั้งเดียว แบบ Forming



รูปที่ 9 ชิ้นงานเริ่มต้น (Blank) ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบครั้งเดียวของกระบวนการ Forming



รูปที่ 10 การกระจายตัวของความหนาที่ลดลง (%) ของชิ้นงาน ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบครั้งเดียว ของกระบวนการ Forming

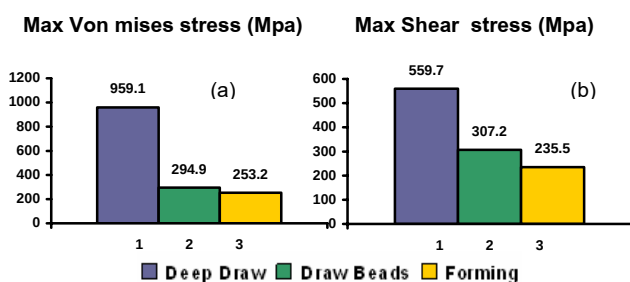


รูปที่ 11 Forming Limit Diagram ของชิ้นงานที่ได้การขึ้นรูปชิ้นงานแบบครั้งเดียว ของกระบวนการ Forming

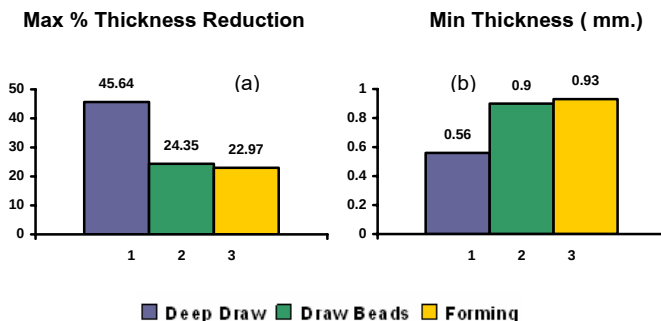


รูปที่ 12 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปครั้งเดียวโดยวิธี forming

รูปที่ 13 (a) และ (b) แสดงค่าของความเค้น Von mises และความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานขึ้นรูปในแต่ละกรณีศึกษา โดยจะเห็นได้ว่าการออกแบบครั้งแรกตามแบบของโรงงานจะให้ค่าความเค้นที่สูงในขณะทำการออกแบบใหม่โดยใช้ draw bead ช่วยและการเปลี่ยนแม่พิมพ์เป็นการขึ้นรูปครั้งเดียวจะให้ค่าความเค้น Von mises และความเค้นเฉือนที่ต่ำกว่า รูปที่ 14(a) และ (b) แสดงค่าของการลดลงสูงสุดของความหนาและความหนาที่ต่ำที่สุด (บางที่สุด) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานขึ้นรูปในแต่ละกรณีศึกษาตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าการออกแบบครั้งแรกตามแบบของโรงงานจะทำให้ความหนาลดลงสูงสุดในขณะทำการออกแบบใหม่โดยใช้ draw bead ช่วยและการเปลี่ยนแม่พิมพ์เป็นการขึ้นรูปครั้งเดียวจะให้ค่าความหนาลดลงในระดับที่ไม่สูงเกินไป และมีค่าความหนาสุดท้ายที่สูงกว่า



รูปที่ 13 กราฟแสดง (a) ค่า Maximum Von mises stress และ (b) ค่า Maximum Shear stress เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตที่ศึกษา 3 กรณี



รูปที่ 14 กราฟ 3.2 แสดง (a) ค่า Maximum % Thickness Reduction และ (b) ค่าความหนาที่ต่ำที่สุดเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตที่ศึกษา 3 กรณี

5.สรุปผลการทดลอง

จากผลการจำลอง กระบวนการ Deep Draw จะเห็นได้ว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายได้ในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามที่ออกแบบมา จึงได้ทำการ ทดลองปรับแม่พิมพ์โดยใช้ draw bead โดยได้มีการจำลองสร้าง draw bead ในหลายตำแหน่งด้วยกัน เพื่อที่จะเพิ่มและลดอัตราการไหลของวัสดุผ่านแม่พิมพ์ รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของ draw bead ที่ได้ทำการทดสอบและให้ผลการขึ้นรูปที่ไม่เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานขึ้นตั้งผลของแผนภาพ FLD (Forming Limit Diagram) ของชิ้นงาน

ส่วนผลการจำลองแบบเปลี่ยนวิธีขึ้นรูปจะเห็นว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายได้ในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามที่ออกแบบมาจึงได้ทำการทดลองปรับแม่พิมพ์ อีกทั้งยังมีการสูญเสียวัสดุเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีการใช้ blank ขนาดใหญ่และใช้เวลาในการผลิตหลายขั้นตอน ดังนั้นจึงมีการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ให้เป็นการขึ้นรูป ครั้งเดียวให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการโดยเริ่มจาก blank ที่มีรูปร่างจากการที่คลี่ชิ้นงานสุดท้ายออกมาผลการขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ภายในครั้งเดียวโดยเมื่อดูจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ ความหนาของชิ้นงานจะเห็นว่าไม่เกินไป 25% และที่ไม่เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานขึ้นตั้งผลของ แผนภาพ FLD (Forming Limit Diagram) ของชิ้นงาน

จากผลข้างต้นดังกล่าว จึงทำให้สามารถลดขั้นตอนการขึ้นรูปจาก ทั้งหมด 7 กระบวนการ เหลือ 3 กระบวนการ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตแม่พิมพ์ลงไปได้ประมาณ 50 % ทำให้ผู้ประกอบการสามารถแข่งขันกับตลาดได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์สถาบันไทย-เยอรมัน ที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ บริษัท บราเดอร์อโต้พาท จำกัดและทีมงานที่เอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ ในงานวิจัย

Reference

- [1] T. Ohata, Y. Nakamura, T. Katayama, et al., Development of optimum process design system by numerical simulation, J. Mater. Proc. Technol. 60 (1996) 543–548. optimization methods, in: Proceedings of the Numiform'98, 1998, pp. 787–792.
- [2] Hariharasudhan Palaniswamy, Gracious Ngaile, Taylan Altan. Optimiztion of blank dimensions to reduce springback in the flexforming process. J. Mater. Process. Technology. 105 Volume146 (2004).
- [3] Xiaoxiang Shi a., Jun Chenb, Yinghong Peng b, Xueyu Ruan, A new approach of die shape optimization for sheet metal forming processes, Journal of Materials Processing Technology (2004)
- [4] H. Naceur., A. Delaméziere, J.L. Batoz , Y.Q. Guob, C. Knopf-Lenoir, Some improvements on the optimum process design in deep drawing using the inverse approach, Journal of Materials Processing Technology 146 (2004) 250–262.
- [5] Gerhard Gutscher, Hsien-Chin wu, Gracious Ngail, Taylan Altan. Determination of flow stress for sheet metal forming using the viscous Pressure bulge (VPB) test, Journal of Mater. Process. Technology. 105, Volume146 (2004).
- [6] HyperWork User's Manual, Version 7.0, Altair Engineering, Inc., Troy, MI 48084, 2003.