

การออกแบบการขึ้นรูปของชิ้นส่วนถังน้ำมันโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบไม่เชิงเส้น

Forming Design of Fuel Tank Component Using Nonlinear Finite Element Method

ทวีภัทร บุรณชิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

อานัติ โหมยิตพิพัฒน์

สาขาวิชาการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์แบบบูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

ปัจจุบันเป็นวิศวกรอาวุโส บริษัท ไทยซัมมิท โอโตพาร์ท อินดัสตรี จำกัด สมุทรปราการ 10540

บทคัดย่อ

ชิ้นส่วนยานยนต์ที่เป็นโลหะจำนวนมากถูกผลิตโดยวิธีปั๊มขึ้นรูป ขณะที่การออกแบบการขึ้นรูปนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่จำนวนมาก เพื่อที่จะสามารถออกแบบการผลิตชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะและกลไกการเปลี่ยนรูปของโลหะเป็นอย่างดี ประกอบกับการนำเอาแบบจำลองคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ก็นำไปผลิตจริง บทความนี้ทำการวิจัยการผลิตชิ้นส่วนถังน้ำมันโดยวิธีปั๊มขึ้นรูป โดยการนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์ความสามารถขึ้นรูปเพื่อหากระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสม โดยปัจจัยหลักๆที่สนใจ คือ แบบขึ้นรูป และรูปร่างของวัสดุ โดยพิจารณาแนวทางการแก้ไขเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ตามที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ 3 กรณีศึกษา พบว่า กรณีที่ 1 ปรากฏรอยย่นและแตกบนชิ้นงาน กรณีที่ 2 ได้มีการสร้างครอปีกรอบชิ้นงานเพื่อแก้ไขรอยย่น พบว่าเกิดรอยย่นและรอยแตกลดลง และกรณีที่ 3 ได้ตัดขอบมุมของชิ้นงาน 2 มุม และปรับขนาดร่องครอปี พบว่าได้ชิ้นงานที่ดีกว่า 2 กรณีแรกและผ่านเงื่อนไขการขึ้นรูปที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น, การออกแบบการขึ้นรูป, การวิเคราะห์ความสามารถการขึ้นรูป, ชิ้นส่วนถังน้ำมัน, ครอปี

Abstract

Many metal automotive parts are produced by stamping while there are many relevant parameters in the process design. To be able to efficiently design the part manufacturing, the designer needs to have sufficient knowledge and understanding to metal part processing as well as to apply computer models before the implementation of physical tryouts is carried out. This paper investigates stamping of a fuel tank component by applying finite element methods to analyze the formability to determine the optimal forming process. The main parameters of interest are the part configuration and blank configuration. A number of correction attempts are successively made to successfully form the part. From the

analysis of 3 case studies, it is found that the first case results wrinkling and tearing. The second case, which has drawbead to correct wrinkles, results a reduction of wrinkling and tearing. The third case, which trims 2 edges of the blank and modifies drawbead groove, results a better part than the previous 2 cases and passes the formability requirements.

Keywords : Nonlinear Finite Element Method, Forming Design, Formability Analysis, Fuel Tank Component, Drawbead

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industry) ถือเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยมีการตั้งวิสัยทัศน์ว่าจะต้องเป็นฐานผลิตรถยนต์ต่างๆ ในการนี้ อุตสาหกรรมสนับสนุนการผลิตยานยนต์จะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อแข่งขันกับประเทศคู่แข่งอื่นๆ ส่วนอุตสาหกรรมสนับสนุนที่สำคัญหนึ่ง คือ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ (Automotive Parts Industry) ซึ่งผู้ประกอบการจำเป็นต้องออกแบบกระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่เป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ

ชิ้นส่วนยานยนต์ที่เป็น โลหะจำนวนมากในปัจจุบันผลิตโดยวิธีปั๊มขึ้นรูป (Stamping) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการเพิ่มมูลค่า (Value-Added) ให้กับวัตถุดิบ และเป็นกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ในทางทฤษฎีแล้วผลผลิตออกมามีคุณภาพเหมือนกัน (repeatable quality) [1] ในการออกแบบการขึ้นรูป (Forming Design) ชิ้นส่วนรถยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนขึ้นรูปโลหะมักมีปัญหา หลักๆ คือ ชนงานฉีกขาด (Tearing) ชนงานเกิดรอยย่น (Wrinkle) และ ชนงานไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้เนื่องจากการสปริงตัวกลับ (Springback) และการแก้ไขแม่พิมพ์ (Die) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่หน้างานนั้นทำได้ยาก เสียค่าใช้จ่ายและเวลาสูง ดังนั้นการวิเคราะห์กระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะก่อนที่จะทำเครื่องมือผลิต (Tooling) จึงมีความจำเป็นจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งส่งผลต่อศักยภาพของการแข่งขันของแต่ละองค์กรในศตวรรษที่ 21 นี้ [2]

การออกแบบชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผลิต จากกระบวนการปั๊มขึ้นรูปผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจกระบวนการผลิตและพฤติกรรมของวัสดุที่ใช้เป็นอย่างดี เพื่อจะให้การออกแบบชิ้นส่วนเป็นไปตามที่ต้องการ กระบวนการผลิตที่นำมาใช้ควรมีขั้นตอนที่น้อยที่สุด และเป็นกระบวนการผลิตที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการสร้างอุปกรณ์ประกอบต่างๆ โดยเฉพาะแม่พิมพ์น้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นการออกแบบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยกระบวนการขึ้นรูปโลหะ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปโลหะ โดยการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ก่อนนำไปทดสอบจริง (Tryouts)

บทความนี้จะนำเสนอชิ้นส่วนถังน้ำมันมาใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการออกแบบการขึ้นรูปโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method หรือ FEM) ด้วยโปรแกรม Dynaform [3] ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากข้อบกพร่อง (defect free) โดยเฉพาะจากการฉีกขาด

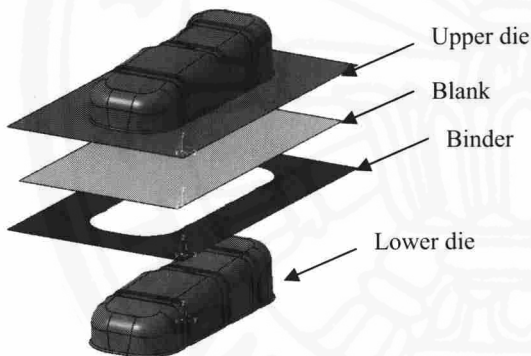
2. ชิ้นส่วนถังน้ำมันและแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนถังน้ำมันที่ต้องการขึ้นรูปในการศึกษานี้แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีขนาดกว้าง×ยาว×ลึก ประมาณ 1 m ×50 cm ×20 cm ชิ้นส่วนนี้ผลิตโดยการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น



รูปที่ 1 รูปชิ้นส่วนของถังน้ำมัน

สำหรับในการออกแบบชิ้นส่วนถังน้ำมัน ผู้ออกแบบมีความตั้งใจที่ต้องการผลิตชิ้นส่วนถังน้ำมัน โดยมีขั้นตอนการผลิตเพียง 3 ขั้นตอน คือ (1) กระบวนการลากขึ้นรูป (Draw process); (2) กระบวนการตัดขอบ (Trim process); (3) กระบวนการเจาะรู (Drill process)



รูปที่ 2 ชุดแม่พิมพ์

จะเห็นว่ากระบวนการลากขึ้นรูป เป็นกระบวนการหลักในการขึ้นรูปร่างของชิ้นงานเพื่อให้ได้ตามแบบที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปโลหะกับแบบชิ้นส่วนถังน้ำมัน และวัสดุที่เป็นวัตถุดิบ

แบบจำลอง CAD ของชุดแม่พิมพ์ จากชิ้นส่วนถังน้ำมันที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 2 เป็นส่วนสำคัญหนึ่งในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปโลหะ โดยที่แม่พิมพ์จะจัดวางแบบการขึ้นรูป ที่ชุดแม่พิมพ์ด้านบน (Upper Die) อยู่ด้านบน และมีตัวกดประสาน (Binder) และแม่พิมพ์ด้านล่าง (Lower Die) อยู่ด้านล่าง ซึ่งชุดแม่พิมพ์ด้านล่าง (Lower Die) จะไม่เคลื่อนที่ตลอดการ

ทำงาน ในการขึ้นรูปชุดแม่พิมพ์ด้านบน (Upper Die) จะเคลื่อนที่ลงมาแนบกับตัวกดประสาน (Binder) และแม่พิมพ์ด้านล่าง (Lower Die) เพื่อขึ้นรูปตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อการสร้างแบบจำลองเป็นไปโดยมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ที่น้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาถึงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Relative Motion) จะพบว่าเป็นไปในทางเดียวกัน

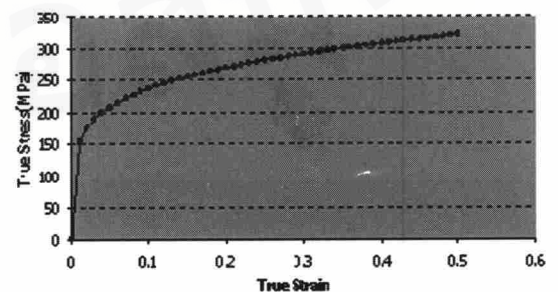
3. คุณสมบัติทางกลของวัสดุในงานขึ้นรูป

วัสดุที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนถังน้ำมันนี้ คือ SGT5E มีความหนา 0.9 mm. ข้อมูลเบื้องต้นบอกว่ามีค่าความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength) มากกว่า 270 MPa ค่าความแข็งแรงที่จุดคดง (Yield Strength) มากกว่า 150 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) มากกว่า 44 เนื่องจากไม่มีข้อมูลมาตรฐานของเส้นการไหล (Flow Curve) จึงต้องใช้เครื่องทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุโดยวิธีการดึง (Uniaxial Tensile Test) โดยสามารถหาค่าความสัมพันธ์พื้นฐานได้ที่ [4-6]

ซึ่งข้อมูลจากเส้นการไหล (Flow curve) ดังแสดงในรูปที่ 3 สามารถแทนด้วยความสัมพันธ์ด้วยกฎยกกำลังดังนี้

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (1)$$

โดยที่ K คือ Strength coefficient และ n คือ Hardening exponent จากการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) จะได้ค่าประมาณ $K = 354.08 \text{ N/mm}^2$ และ $n = 0.18737$



รูปที่ 3 แสดง Flow curve ของวัสดุที่ใช้

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองหาค่า R

ชิ้นงานที่	ความกว้างก่อนทดสอบ(Wo)	ความกว้างหลังทดสอบ(Wx)	ความหนาหน้าทดสอบ(to)	ความหนาหลังทดสอบ(tx)	ค่า ln(Wo/Wx)	ค่า ln(to/tx)	R
1	25.00	21.42	0.9	0.84	0.1545	0.0690	2.2401
2	25.00	21.44	0.9	0.84	0.1536	0.0690	2.2266
3	25.00	21.40	0.9	0.85	0.1555	0.0572	2.7202
4	25.00	21.45	0.9	0.85	0.1532	0.0572	2.6794
5	25.00	21.45	0.9	0.84	0.1532	0.06899	2.2198
avg R ₉₀							2.4172
1	25.00	21.45	0.9	0.85	0.1532	0.05716	2.6794
2	25.00	21.48	0.9	0.85	0.1518	0.05716	2.6550
3	25.00	21.44	0.9	0.86	0.1536	0.04546	3.3790
4	25.00	21.45	0.9	0.85	0.1532	0.05716	2.6794
5	25.00	21.43	0.9	0.86	0.1541	0.04546	3.3893
avg R ₄₅							2.9564
1	25.00	21.46	0.9	0.84	0.1527	0.06899	2.2131
2	25.00	21.47	0.9	0.85	0.1522	0.05716	2.6631
3	25.00	21.45	0.9	0.84	0.1532	0.06899	2.2198
4	25.00	21.46	0.9	0.84	0.1527	0.06899	2.2131
5	25.00	21.47	0.9	0.85	0.1522	0.05716	2.6631
avg R ₀							2.3944

นอกจากนี้จำเป็นต้องทำการทดสอบค่าอัตราส่วนความเครียดดวาร์ (R-value หรือ Plastic Strain Ratio หรือ R) โดยกำหนดให้

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad (2)$$

โดยที่ ε_w คือ ความเครียดด้านข้าง (Width Strain) และ ε_t คือ ความเครียดตามความหนา (Thickness Strain) ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย R_{av} สำหรับวัสดุภายใต้สมมติฐาน Planar Anisotropy ดังต่อไปนี้

$$R_{av} = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4} \quad (3)$$

โดยที่ R_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของ R-value; R_0 , R_{45} , R_{90} คือ ค่า R-value ที่วัดได้ตามแนว 0, 45, 90 องศา ตามแนวรีดของโลหะแผ่นตามลำดับ ซึ่งสำหรับวัสดุนี้มีค่า R_{av} เป็น 2.6811

4. วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear FEM) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองกระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนถึงน้ำมันในบทความนี้ เพื่อหาแนวทางการขึ้นรูปที่เหมาะสมต่อไป กระบวนการสร้างแบบจำลองสามารถแบ่งขั้นตอนดำเนินงานได้ดังนี้

4.1. เตรียมแบบจำลอง

ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลอง (Pre-Processing) นี้ถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญมาก โดยเริ่มจากแบบจำลอง CAD เป็นข้อมูลที่ใช้ในการแบ่งอิลิเมนต์ เพื่อการวิเคราะห์โดย FEM ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Dynaform ในการตีแบ่งอิลิเมนต์ (Meshing) ซึ่งในส่วนที่มีความโค้งเว้ามากหรือบริเวณที่เป็นขอบรู ส่วนเว้าส่วนโค้งนั้นๆ จะต้องแทนบริเวณนั้นด้วยอิลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีความแม่นยำมากขึ้น หรือใช้อิลิเมนต์ที่มีอันดับสูงขึ้น (Higher order elements) แต่ไม่เป็นที่เหมาะสมนักในการวิเคราะห์นี้

อิลิเมนต์โครงสร้างแบบเปลือกสามมิติ (3D -Shell Element) ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่อยู่ในระบบความเค้นระนาบ (Plane Stress) โดยทั่วไปแล้วอิลิเมนต์เปลือกจะมีรูปร่างสามเหลี่ยม หรือรูปร่างสี่เหลี่ยม ซึ่งรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ส่วนใหญ่จะเป็นสี่เหลี่ยม และสมการอิลิเมนต์ที่ใช้คือแบบใน Belytschko-Tsay [7]

ในการแบ่งอิลิเมนต์นั้นควรหลีกเลี่ยงการแบ่งอิลิเมนต์ที่มีรูปร่างต่างจากสี่เหลี่ยมด้านเท่าหรือสามเหลี่ยมด้านเท่ามากๆ เช่น อิลิเมนต์ที่มีมุมป้านมาก หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวมาก เป็นต้น ซึ่งอาจรวมเรียกว่าอิลิเมนต์ที่มีสัดส่วนรูปร่างสูง (Large Aspect Ratio) ควรใช้อิลิเมนต์ที่เป็นสี่เหลี่ยมด้านเท่า หรืออัตราส่วนของความ

กว้างต่อความยาวเข้าใกล้หนึ่ง ควรใช้อิเลเมนต์ขนาดเล็ก ในส่วนที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสูง และแบ่งอิเลเมนต์ขนาดใหญ่ขึ้นในบริเวณที่ไกลออกไป

เมื่อสร้างอิเลเมนต์สำเร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างเงื่อนไขขอบ โดยกำหนดให้แม่พิมพ์เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เพื่อให้เวลาสัมผัสหรือกระแทกกับแผ่นโลหะ แผ่นโลหะจะมีการเปลี่ยนรูปเท่านั้น ทั้งนี้เป็นการช่วยลดความต้องการของเวลาคำนวณอีกด้วย โดยการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ในงานวิจัยนี้กำหนดให้อยู่ระหว่าง 1000-5000 mm/s

4.2. การคำนวณหาผลเฉลย

ขั้นตอนการหาผลเฉลย (Solving) เป็นขั้นตอนที่ส่งข้อมูลสู่ตัวประมวลผลเฉลย (Solver) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม LS-DYNA [8] ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบ Explicit FEM

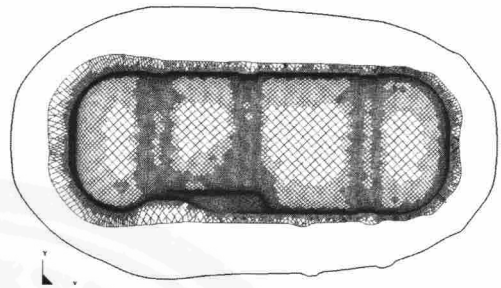
4.2. การวิเคราะห์ผลเฉลย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลเฉลย (Post-Processing) เป็นขั้นตอนวิเคราะห์และประมวลผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรม FEM ซึ่งในการวิจัยนี้ตัวแปรที่น่าสนใจ คือ การฉีกขาด และเกิดการย่น ถ้ามีปรากฏจะต้องสามารถสรุปประเด็นปัญหาและสาเหตุการเกิดปัญหา เพื่อหาแนวทางแก้ไขให้ได้ เมื่อได้แนวทางแก้ไขก็จะกลับไปสู่ขั้นตอนการแก้ไขแบบจำลองตามแนวทางที่ได้ และสู่ขั้นตอนหาผลเฉลย และการวิเคราะห์ผลเฉลยเป็นวัฏจักรจนกว่าจะได้กระบวนการที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้

5. ผลการวิเคราะห์

5.1. ผลเฉลยของรูปร่างแบบลงค้ำในอุดมคติ

ชิ้นส่วนถ่วงน้ำหนักที่น่าสนใจนี้สามารถทำการคลี่รูปร่างของชิ้นส่วน เพื่อหาขนาดของรูปร่างของแบบลงค้ำในอุดมคติ (Ideal Blank Configuration) โดยวิธีการวิเคราะห์ย้อนกลับ (Inverse Analysis) ในโปรแกรม Dynaform ด้วยโปรแกรม MSTEP ได้ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปร่างของแบบลงค้ำในอุดมคติเทียบกับชิ้นงานที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์ย้อนกลับนี้จะต้องใช้ข้อมูลจากรูปที่ 1 เป็นข้อมูลเริ่มต้น เพื่อให้คำนวณหารูปร่างแบบลงค้ำในอุดมคติเพื่อให้ขึ้นรูปได้ตามที่ต้องการ รูปร่างแบบลงค้ำในอุดมคตินี้ค่อนข้างนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาก เนื่องจากเพิ่มต้นทุนในการตัดชิ้นงานมากขึ้น

จากนั้นทำการวิเคราะห์การขึ้นรูปโลหะโดยใช้รูปร่างแบบลงค้ำในอุดมคติในการทดสอบโดย Nonlinear FEM ดังแสดงในรูปที่ 5 ให้เห็นถึงสภาพความสามารถการขึ้นรูป โดยการอ้างอิงกับแผนภูมิขอบเขตการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram หรือ FLD) ซึ่งสามารถพบทวนรายละเอียดได้ที่ [9]

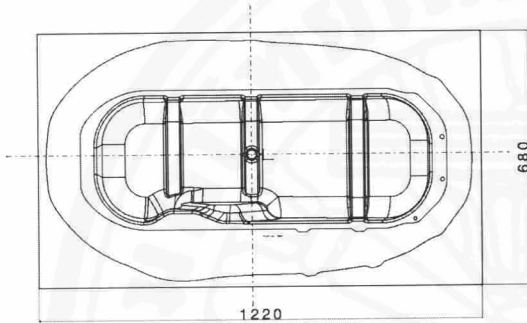


รูปที่ 5 แสดง FLD ของวัสดุขึ้นรูป

จากรูปที่ 5 ทุกอิเลเมนต์อยู่ภายใต้ขอบเขตการขึ้นรูปไม่มีการฉีกขาด มีเพียงบางส่วนที่มีแนวโน้มซึ่งถือว่าไม่ใช่ประเด็นหลักในการวิเคราะห์นี้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ากรณีศึกษาสามารถขึ้นรูปชิ้นส่วนดังกล่าวได้

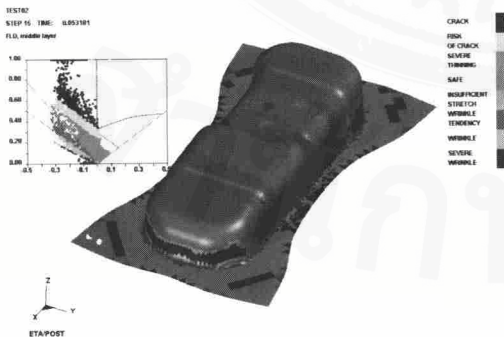
5.2. ผลเฉลยของกรณีขนาดของเบลงค์

เมื่อนำรูปร่างเบลงค์ในอุดมคติมาเปลี่ยนเป็นแผ่นโลหะที่เหลี่ยมซึ่งต่อไปจะเรียกว่าขนาดของเบลงค์ (Blank Size) โดยกำหนดขนาด 680×1220 mm. ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งรูปร่างนี้จะนำมาใช้และพัฒนาต่อไป เนื่องจากในภาคอุตสาหกรรมมักจะเริ่มต้นจากจุดดังกล่าว เพื่อให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการตัด



รูปที่ 6 แสดงขนาดของเบลงค์สำหรับชิ้นส่วนถังน้ำมัน

จากการวิเคราะห์โดยนำขนาดของเบลงค์ (Blank Size) นำมาขึ้นรูป จะพบรอยแตกทั้งด้านบนและด้านล่างอย่างชัดเจน ส่วนบริเวณปีกของขอบชิ้นงาน เกิดรอยย่นติดกับขอบมุมรัศมีของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนั้นชิ้นส่วนนี้ไม่ผ่านการทดสอบ เนื่องจากเกิดรอยแตกจำนวนมาก



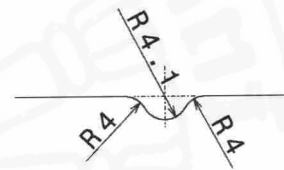
รูปที่ 7 แสดง FLD ของวัสดุขึ้นรูปกรณี Blank size

รอยแตกที่เกิดขึ้นพบว่า เกิดจากการไหลของโลหะในขณะขึ้นรูปไม่สามารถไหลได้ต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดรอยย่น

บริเวณขอบปีกด้านล่างเป็นบริเวณกว้างทำให้การไหลตัวของโลหะเป็นไปได้ยาก จึงทำให้เกิดรอยแตก ณ บริเวณนั้น

5.3. ผลเฉลยของกรณีการแก้ไขครั้งที่ 1

จากกรณีดังกล่าว แม้พิมพ์ควรทำการปรับปรุงโดยควรเพิ่มร่องครอปิด (Drawbead) บริเวณรอบชิ้นงาน ทำให้การไหลของโลหะขณะขึ้นรูปมีการไหลที่ช้าลง เพื่อลดรอยย่นที่เกิดขึ้น ทำการสร้างร่องครอปิดบน Upper Die และ Binder ให้มีเส้นรอบรูปห่างจากขอบชิ้นงานประมาณ 15 mm. ขนาดของร่องครอปิดแสดงตามรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 แสดงเรขาคณิตของ Drawbead



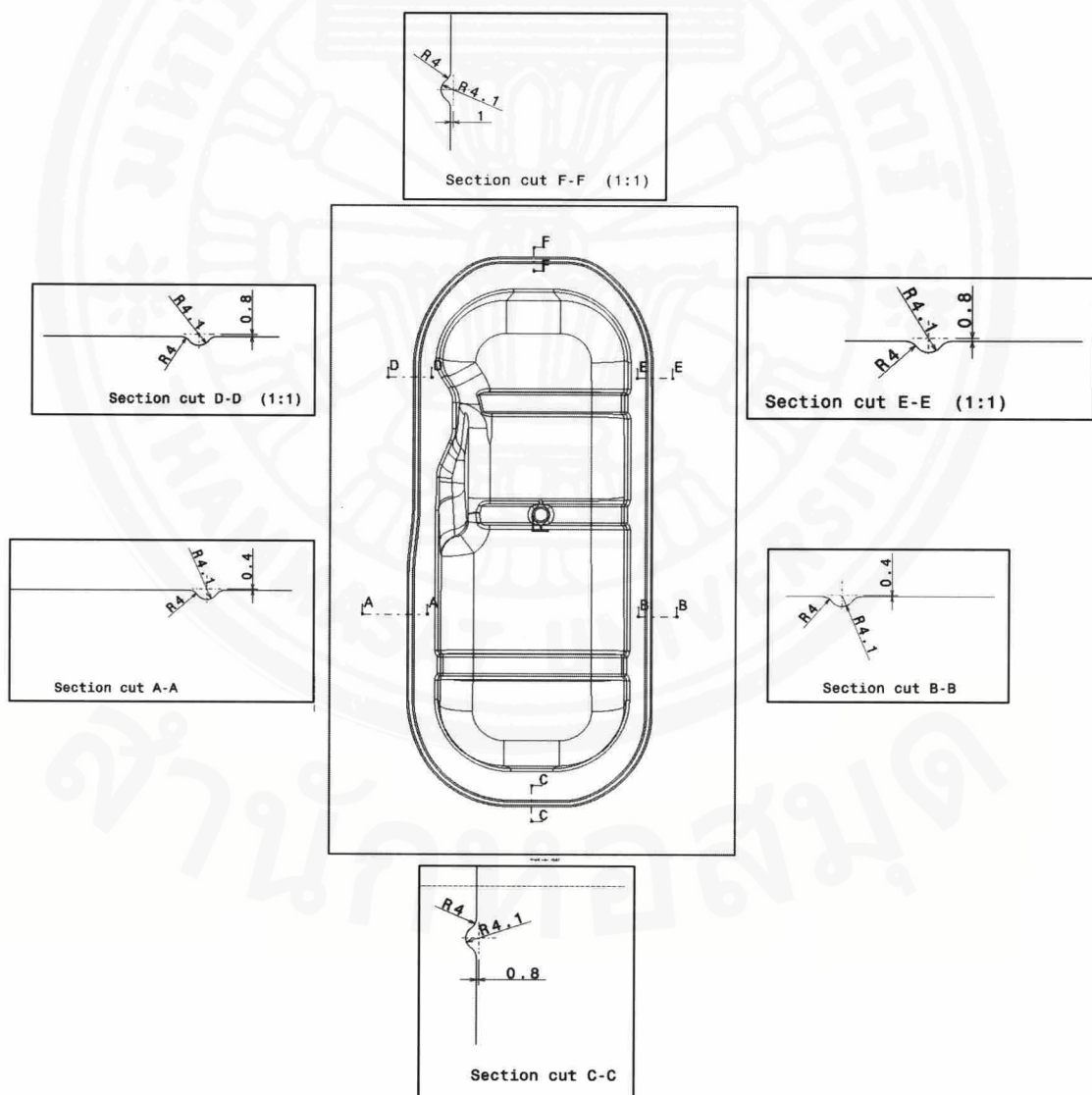
รูปที่ 9 แสดงภาพ Tooling พร้อม Drawbead



รูปที่ 10 แสดงการแก้ไข Blank



รูปที่ 11 แสดง FLD ของกรณีแก้ไขครั้งที่ 1



รูปที่ 12 แสดงการปรับแก้ครั้งที่ 2

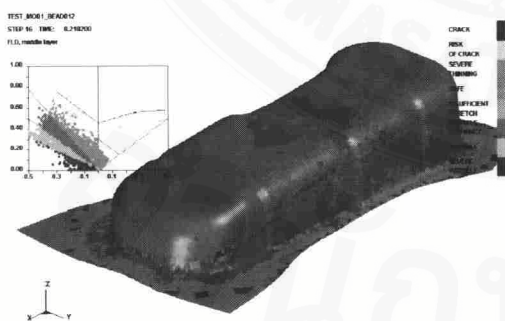
จากการวิเคราะห์กรณี Blank Size ส่วนที่วิ่งไวตามรูปที่ 10 เป็นส่วนที่มีการขึ้นรูปสูง และเป็นจุดที่ขึ้นรูปก่อนบริเวณอื่นๆ ทำให้เกิดการขัดขวางการไหลตัวของโลหะขณะทำการขึ้นรูป จึงจำเป็นต้องแก้ไข Blank โดยตัดมุมบริเวณดังกล่าวเพื่อช่วยให้การไหลตัวของโลหะดีขึ้น

เมื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้แก้ไขดังกล่าวแล้ว ผลการวิเคราะห์โดย FEA ดังแสดงในรูปที่ 11 แสดงว่าบริเวณที่เกิดรอยแตกลดลง อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนนี้ยังไม่ผ่านการทดสอบ เนื่องจากยังมีรอยแตกปรากฏอยู่ และความหนาของชิ้นงานลดลงมาก

รอยแตกที่เกิดขึ้นและความหนาของชิ้นงานลดลง มีสาเหตุจากการไหลของโลหะในขณะขึ้นรูปได้ติดขัด เพราะมีร่องครอบปิด ขัดขวางการไหลของโลหะ ทำให้ความหนาของชิ้นงานลดลง

5.4. ผลเฉลยของกรณีการแก้ไขครั้งที่ 2

จากการแก้ไขครั้งที่ 1 ควรปรับปรุงร่องครอบปิด (Draw bead) บริเวณรอบชิ้นงาน เพื่อให้การไหลของโลหะขณะขึ้นรูปมีการไหลที่ดีขึ้น เพื่อลดรอยแตกของชิ้นงาน ทำโดยการปรับร่องปิดของ Upper Die ให้มีหน้าตัดของครอบปิด ตามดังรูปที่ 12 โดยตลอดความยาวของบิดเปลี่ยนแปลงไปตามหน้าตัดที่กำหนด



รูปที่ 13 แสดง FLD ของกรณีแก้ไขครั้งที่ 2

ภายหลังจากการแก้ไขแบบจำลองให้สอดคล้องกับรูปที่ 12 แล้ว ก็ทำการวิเคราะห์ด้วย FEM ให้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งแสดงบน FLD เหมือนกับกรณีก่อนหน้านี้ พบว่าไม่เกิดรอยแตก แต่มีบางจุดเป็นอาจเกิดผนังบางได้ ประมาณ 0.64 mm.ซึ่งอยู่ในค่าความหนา

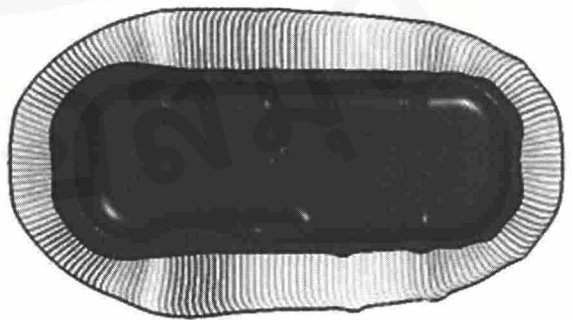
ของชิ้นงานที่ยอมรับได้ $\pm 30\%$ (1.17 - 0.63 mm.) ดังนั้นชิ้นส่วนนี้สามารถผ่านการทดสอบ เนื่องจากไม่เกิดรอยแตกเกิดขึ้น อีกทั้งบริเวณที่น่าจะเกิดความหนาของชิ้นงานลดลงสามารถที่จะแก้ไข โดยปรับครอบปิดของแม่พิมพ์จริงได้อีก ทั้งนี้ผลวิเคราะห์สอดคล้องกับชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ FEA (แสดงใน Parallel mode) กับการขึ้นชิ้นส่วนจริง

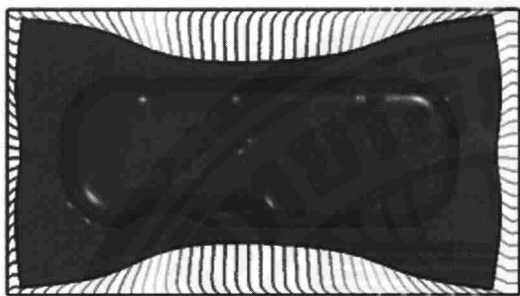
6. อภิปรายผลวิเคราะห์และหมายเหตุสรุป

ในการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างชุดแม่พิมพ์ และเพื่อแก้ปัญหาการแตก และย่นที่เกิดขึ้นของชิ้นงาน ได้พบประเด็นปัญหา คือ เมื่อนำรูปร่างแบบค้ำในอุดมคติมาใช้ในการขึ้นรูปจะสามารถขึ้นรูปได้ดี การไหลตัวของแผ่นโลหะสามารถเข้าไปได้ทุกทิศทางอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงการไหลตัวของวัสดุกรณีรูปร่างแบบค้ำในอุดมคติ

แต่การนำรูปร่างเบลงค์ในอุดมคติไปใช้งานจำเป็นที่จะต้องเพิ่มกระบวนการทำงานขึ้นอีกหนึ่ง คือ กระบวนการเพื่อที่จะตัดแผ่นโลหะให้ได้ ตามรูปร่างของรูปร่างเบลงค์ในอุดมคติ ซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงาน



รูปที่ 16 แสดงการไหลตัวของแผ่นโลหะในกรณีใช้ Blank Size

ส่วนการนำ Blank Size มาใช้ในการขึ้นรูปจะมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ไม่ดี เนื่องจากรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การไหลตัวของแผ่นโลหะแต่ละส่วนไม่เท่ากัน จึงเกิดการขัดขวางขณะขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 16

สำหรับการแก้ปัญหาจำเป็นต้องสร้างร่องครอบปิดเพื่อควบคุมรูปร่างและการไหลตัวของแผ่นโลหะ ความยุ่งยากอยู่ที่การทดลองหาลักษณะของร่องควบคุมการไหลที่เหมาะสม ถ้าร่องครอบปิดควบคุมการไหลมีความลึกมากเกินไป จะทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณร่องครอบปิดเป็นผลให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาคได้ ในทางตรงข้ามหากร่องครอบปิดมีความลึกไม่เพียงพอ ก็จะทำให้ปัญหาการไหลตัวของ



แผ่นโลหะเกิดการขัดกัน ซึ่งในกรณีการแก้ไขครั้งที่ 2 พบว่ามีผลการขึ้นรูปเป็นไปอย่างน่าพอใจ ซึ่งสามารถเห็นการไหลของวัสดุดังแสดงในรูปที่ 17 ที่ 2

รูปที่ 17 แสดงการไหลตัวของแผ่นโลหะในกรณีแก้ไขครั้งที่ 2

ร่องครอบปิดตามลักษณะในการทดลอง แต่ละช่วงจะมีความลึกไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งทำให้สามารถขึ้นรูปได้สำเร็จ แม้จะมีบางบริเวณมีโอกาสที่จะเกิดผ่นบางบ้าง แต่ก็ลดไม่เกิน 30% ของความหนาของแผ่นโลหะ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อีกทั้งการสร้างแม่พิมพ์จริงอาจจะมี การปรับร่องครอบปิดอีกครั้งระหว่างช่วงการทดสอบแม่พิมพ์ เพื่อให้ชิ้นงานที่ดีที่สุด ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับชิ้นงานจริงที่ได้จากการขึ้นแม่พิมพ์จริงด้วย

การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้นในการทดสอบการขึ้นรูปโลหะ จะช่วยให้นักออกแบบสามารถทดสอบเงื่อนไขการขึ้นรูปต่างๆ ได้โดยมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการสร้างแม่พิมพ์สำหรับชิ้นงานนั้นๆ เพื่อให้การออกแบบการขึ้นรูปชิ้นงานต่างๆ เป็นไปได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Engineering Technology Associates Inc. (ETA) USA ที่ช่วยสนับสนุนโปรแกรม Dynaform และ LSDYNA และขอขอบคุณทุนวิจัย มจร. สำหรับสนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนของงานวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Buranathiti, T., Cao, J., Xia, Z.C., and Chen, W., Probabilistic Design in a Sheet Metal Stamping Process under Failure Analysis, The 6th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes NUMISHEET, Detroit, Vol. A; pp. 867-872, 2005.
- [2] ทวีภัทร์ นูรณัติ, การผลิตเสมือนในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับศตวรรษที่ 21, หนังสือที่ระลึกสำหรับการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2549 ของสมาคมนักเรียนทุนรัฐบาลไทย; น. 172-176, 2549.
- [3] ETA, 2005, Dynaform: User's Manual Version 5.2.

- [4] Hill, R., The Mathematical Theory of Plasticity, Clarendon Press, Oxford, 355p, 1950.
- [5] Hosford, W. F., and Caddell, R. M., Metal Forming: Mechanics and Metallurgy, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 364p, 1993.
- [6] Wagoner, R.H., and Chenot, J.-L., Metal Forming Analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 376p, 2001.
- [7] Belytschko, T., Lin, J.I., and Tsai, C.S., Explicit Algorithms for One Point Quadrature Shell Element, Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 42, pp. 225-251, 1984.
- [8] LSTC, 2006, LS-DYNA: User's Manual, Version 970.
- [9] Marciniak, Z., and Kuczynski, K., Limit Strains in the Processes of Stretch-Forming Sheet Metal, International Journal of Mechanical Science, Vol. 9, pp. 609-620, 1967.