

การวิเคราะห์และพัฒนาระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis And Development of Automotive Part Forming by Finite Element Method

พิทักษ์ ยอดราช¹, ชาญ ถนัดงาน², กัมปนาท ศิริเวทิน³
วิชิต บัวแก้ว⁴ และยงยุทธ เนียมทรัพย์⁵

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

³ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

⁵ บริษัท สามมิตรมอเตอร์แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด (มหาชน) สมุทรสาคร 74130

ติดต่อ: โทรศัพท์: 089-9263-275*

E-mail: pitak_rach@yahoo.com^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver และเปรียบเทียบกับ การทดลองจริง ชิ้นส่วนที่ใช้ในการวิจัยคือ Plate Hoodledge Reinf RH ทำด้วยแผ่นเหล็กกล้า SPCC ตามมาตรฐาน JIS G3141 หนา 2.0 mm โดยความหนาชิ้นส่วนสำเร็จต้องมากกว่า 1.6 mm Surface และ Trim Line จะต้องอยู่ในค่ามาตรฐาน 3.0 ± 0.5 mm และ 0.0 ± 0.5 mm ตามลำดับ มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้คือ ออกแบบ Process Die Layout จำลองการขึ้นรูปโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งแบบ Implicit และ Explicit Solver เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับ การทดลองจริง

ผลการวิจัยพบว่า การจำลองการขึ้นรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver สอดคล้องกับผลการทดลองจริง ทั้งขนาดและคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด อีกทั้งลดขั้นตอนการผลิตจาก 4 ขั้นตอนเหลือ 3 ขั้นตอน ลดขนาดและน้ำหนักแผ่นแบลงก์ลงต่อชิ้น 52.59% ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายอันส่งผลต่อการคืนทุนและกำไรเพิ่มมากขึ้น

คำหลัก: การวิเคราะห์และพัฒนาระบวนการขึ้นรูป, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การแก้ปัญหาแบบอิมพลีซิิต และเอ็กพลีซิิต, การขึ้นรูปโลหะ, ชิ้นส่วนยานยนต์

Abstract

The research is aimed to analysis and development of automotive part forming by finite element method with experiments. The selected automobile part is the plate hoodledge reinf rh which is made from SPCC steel material JIS G3141 with the thickness of 2.0 mm The minimum thickness of the automotive part has to be 1.6 mm The surface and trim line within the standard of 3.0 ± 0.5 mm and 0.0 ± 0.5 mm The research is carried out with the design of Process Die Layout which simulates the processing by Finite Element Method both of the Implicit and Explicit Solver technique for further comparison to the actual experiments.

As a result, the the processing of Finite Element Method both Implicit and Explicit Solver certainly relate to the actual experiment in size and quality according to the specify requirements. This also reduce the sequence of process in which the production process is reduced from 4 to 3, the size and weight of blank part is reduced by 52.59% allowing the time to be minimized and reduce the overall cost corresponded to make more profit.

Keywords: Analysis and Development Part Forming, Finite Element Method, Implicit and Explicit Solver, Metal Forming, Automotive Parts

1. บทนำ

ชิ้นส่วน Plate Hoodledge Reinf RH ดังรูปที่ 1 เป็นชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอน คือ ดรอร์, ทริม, ฟอรัม และเพียช โดยใช้เครื่องปั๊ม 4 เครื่องด้วยกันขนาดแผ่นแบลงก์ ก่อนการผลิตมีน้ำหนัก 15.21 N และเมื่อสิ้นสุดการผลิตมีน้ำหนักเพียง 4.86 N จึงเกิดแนวคิดว่าการผลิตชิ้นส่วนดังกล่าวน่าจะสามารถลดกระบวนการผลิตชิ้นส่วนลงได้ในบางกระบวนการผลิต ทำให้ลดจำนวนของแม่พิมพ์และจำนวนของเครื่องจักรลงได้ ส่งผลให้เวลาในการผลิตลดลง อีกทั้งขนาดแผ่นแบลงก์ เองก็น่าที่จะสามารถลดลงได้ทำให้มีน้ำหนักลดลงและจำนวนของชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดแนวความคิดแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการศึกษา Process Planning และ Process Die Layout, การจำลองการออกแบบแม่พิมพ์ (Simulation Die Design) , การใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ผล เพื่อลดขั้นตอนผลิตให้น้อยลง จาก 4 ขั้นตอนเหลือ 3 ขั้นตอน เพิ่มอัตราส่วนชิ้นส่วนสำเร็จสูง (อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักชิ้นส่วนสำเร็จต่อน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น) และใช้เครื่องปั๊มให้น้อยลง ส่งผล

ให้ต้นทุนต่ำ แม่พิมพ์ใช้งานได้ง่าย อายุการใช้งานแม่พิมพ์นาน ชิ้นส่วนที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น



รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนสำเร็จ Plate Hoodledge Reinf RH



รูปที่ 2 แสดงเศษวัสดุและชิ้นส่วนจากขั้นตอนการทริม

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาระบบการขึ้นรูปชิ้นส่วน ยานยนต์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit Solver และ Explicit Solver และเปรียบเทียบ ชิ้นส่วนกับการทดลองจริง

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 ชิ้นส่วนสำหรับการวิจัยชื่อ Plate Hoodledge Reinf RH ทำจากวัสดุ SPCC ความหนา 2.0 mm

1.2.2 การจำลองการขึ้นรูปชิ้นส่วนใช้สัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน 0.12

1.2.3 ความหนาชิ้นส่วนสำเร็จต้องมากกว่า 1.6 mm Surface และ Trim Line จะต้องอยู่ในค่า มาตรฐาน 3.0 ± 0.5 mm และ 0.0 ± 0.5 mm ตามลำดับ

1.2.4 โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้คือ Pamstamp และ Hyper work

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำให้แข็งด้วยความเครียด

การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์นั้น ชิ้นส่วนจะมีการเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติก (Plastic Zone) ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติของโลหะแผ่นคือ Strain Hardening Exponent (n) ซึ่งหมายถึงการเพิ่มความแข็งแรงจากการเปลี่ยนรูปร่าง ผลที่ตามมาคือความเหนียวลดลงและความต้านแรงครากเปลี่ยนไปและ Strength Coefficient(K) ซึ่งมีความสำคัญกับเส้นโค้งความเค้นจริง-ความเครียดจริงของวัสดุ ที่เรียกว่ากฎยกกำลัง (Power Law) อยู่ในรูป

$$\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$$

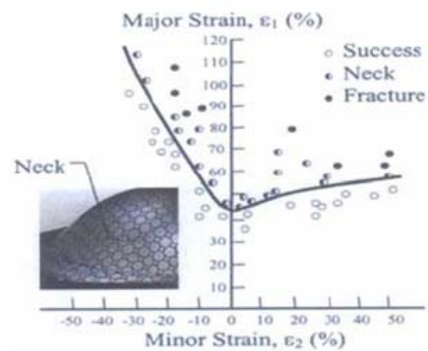
เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การต้านแรง

n คือ เลขชี้กำลังที่ทำให้แข็งด้วยความเครียด

2.2 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram : FLD)

จากรูปที่ 3 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเครียดในบริเวณต่างๆของชิ้นส่วนที่เกิดการย่นจุดปลอดภัยและจุดที่เสียหายแผนภาพขีดจำกัดการ

ขึ้นรูปมีประโยชน์มากในการวินิจฉัยปัญหาที่แท้จริง และแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาในการขึ้นรูปโลหะแผ่น



รูปที่ 3 ภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป

2.3 การศึกษา Process Planning และ Process Die Layout

โพรเซสแพลนนิ่งเป็นขั้นตอนของการวางแผนการผลิตชิ้นส่วน ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานซึ่งมีสิ่งที่ควรพิจารณาคือ ลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วนที่ผลิต, วัสดุที่ใช้ในการผลิต, เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต, การตรวจสอบคุณภาพและการส่งมอบ

โพรเซสตายเลย์เอาต์ คือ การร่างแบบชิ้นส่วนในแต่ละขั้นตอนเพื่อกำหนดแนวทิศทางการเพรสในการผลิตจริงตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น

3. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยเพื่อวิเคราะห์และพัฒนาระบบการขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 การออกแบบ Process Die Layout

การออกแบบ Process Die Layout ของชิ้นส่วน Plate Hoodledge Reinf RH เดิมมี 4 ขั้นตอนขั้นตอนดอร์เป็นขั้นตอนแรกของการขึ้นรูปที่ใช้วัสดุที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นและเมื่อผ่านขั้นตอนทริมจะมีเศษวัสดุที่ต้องทิ้งน้ำหนักมากกว่าชิ้นส่วนสำเร็จถึง 2 เท่า จึงมีการออกแบบ Process Die Layout ใหม่ให้ง่ายขึ้นลดขั้นตอนการผลิตและมีเศษวัสดุที่ต้องทิ้งน้ำหนักน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับน้ำหนักชิ้นส่วน

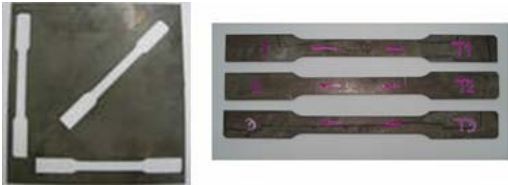
สำเร็จ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัสดุให้มากขึ้น

3.2 การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการขึ้นรูปแบบ Implicit และ Explicit Solver

3.2.1 ก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)

1) เตรียมความเป็นไปได้ในการผลิตและขนาดของชิ้นส่วนโลหะแผ่นเริ่มต้น เป็นการจำลองกระบวนการในเบื้องต้นเพื่อจะศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและช่วยหาขนาดของเครื่องเพรสที่เหมาะสมกับชิ้นส่วนที่จะทำการขึ้นรูป

2) กำหนดสมบัติของวัสดุ ชิ้นส่วน Plate Hoodledge Reinf RH ทำจากวัสดุ SPCC ความหนา 2.0 mm

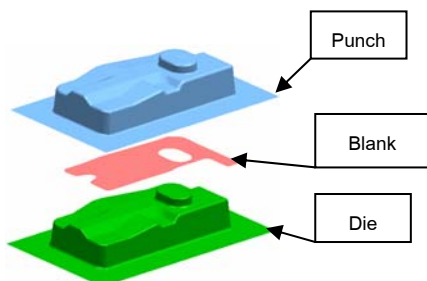


รูปที่ 4 ชิ้นส่วนทดสอบ

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุ

สมบัติ	SPCC
Young's Modulus (E) ; (GPa)	210
Poisson's Ratio (ν)	0.3
Percentage of Elongation (%)	38.7
Yield Strength ; (MPa)	216
Ultimate Tensile Strength (Rm) ; (MPa)	349.92
Strength coefficient (K) ; (MPa)	598.01
Strain-hardening exponent (n)	0.21
Anisotropy coefficients (r_0, r_{45}, r_{90})	1.21, 0.98, 1.14

3) การสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 5 ภาพการจำลองการขึ้นรูป

จากรูปที่ 5 แสดงการสร้างแบบจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver ใช้เอลิเมนต์ชนิดสี่เหลี่ยมขนาด 2 mm แบบ

Implicit มีจำนวนเอลิเมนต์ 87,382 เอลิเมนต์และ Explicit มีจำนวนเอลิเมนต์ 72,459 เอลิเมนต์

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยกำหนดให้มีการสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนกับเครื่องมือ (พื้นซ์และตาย)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

คู่ชิ้นส่วน	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
พื้นซ์ - ชิ้นส่วนแบลงก์	0.12
ตาย - ชิ้นส่วนแบลงก์	0.12

3.2.2 การประมวลผล (Processing)

โดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหาสำหรับกระบวนการจำลองการขึ้นรูป

3.2.3 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผล

(Post Processing)

เมื่อทำการประมวลผลการขึ้นรูปเสร็จสิ้นแล้ว ผลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข ภาพกราฟฟิกและกราฟความสัมพันธ์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver มีผลที่สามารถนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการทดลองเช่น ค่าความหนา, ความเค้นความเครียด, ชีตจำกัดการขึ้นรูป

3.3 การทดลอง



รูปที่ 6 ภาพเครื่อง wire cut

จากการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หาขนาดแผ่นแบลงก์จนได้ขนาดแผ่นแบลงก์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นนำวัสดุมา wire cut ด้วยเครื่อง Makino รุ่น Duo 64 ดังรูปที่ 6

เมื่อได้ขนาดแผ่นแบลงก์ใหม่แล้ว นำแผ่นแบลงก์วางบนชุดแม่พิมพ์ดังรูปที่ 7 แล้วทำการขึ้นรูปขึ้นส่วนด้วยเครื่องเพรส 200 ตัน ดังรูปที่ 8



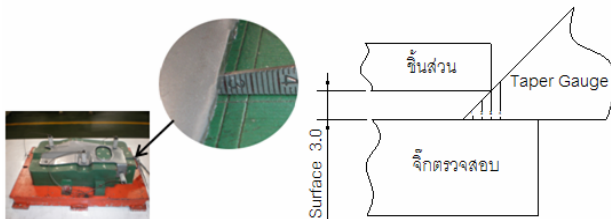
รูปที่ 7 ภาพชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป



รูปที่ 8 ภาพเครื่องเพรส

3.4 การตรวจสอบมาตรฐานชิ้นส่วน

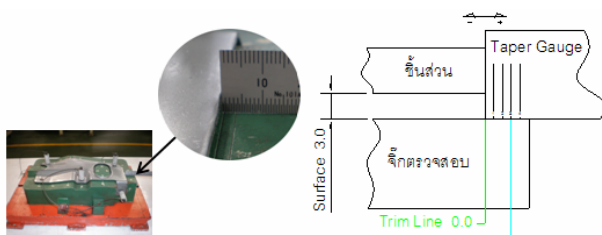
3.4.1 การตรวจสอบ Surface



รูปที่ 9 ภาพการตรวจสอบ Surface

จากรูปที่ 9 แสดงการตรวจสอบ Surface มีค่ามาตรฐานกำหนดอยู่ที่ 3.0 ± 0.5 mm โดยใช้ Taper Gauge และมีจุดตรวจสอบทั้งหมด 24 จุดโดยใช้ชิ้นส่วน 10 ชิ้นในการตรวจสอบจากการตรวจสอบ

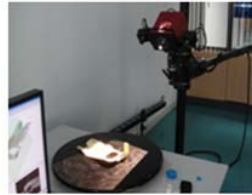
3.4.2 การตรวจสอบ Trim Line



รูปที่ 10 ภาพการตรวจสอบ Trim Line

จากรูปที่ 10 แสดงการตรวจสอบ Trim Line มีค่ามาตรฐานกำหนดอยู่ที่ 0.0 ± 0.5 mm โดยใช้ Taper Gauge และมีจุดตรวจสอบทั้งหมด 24 จุด

3.4.3 การตรวจสอบความหนา



(ก) การสแกนชิ้นส่วน (ข) ชิ้นส่วนใหม่

รูปที่ 11 ภาพการตรวจสอบชิ้นส่วน

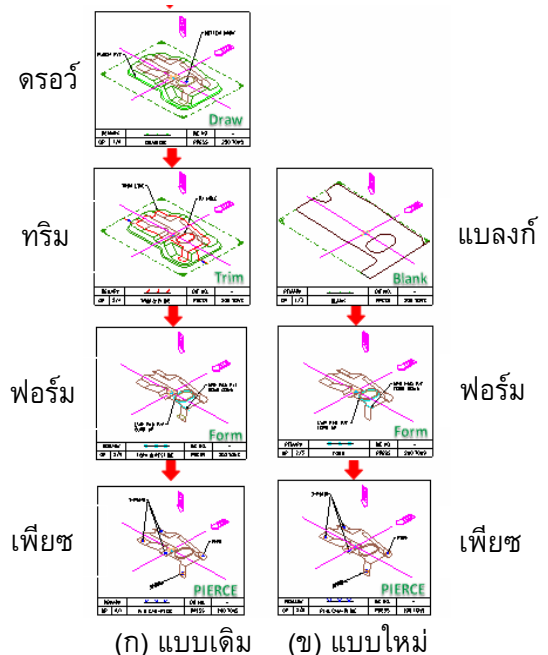
จากรูปที่ 11 แสดงการตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยเครื่องสแกน Gom optical measuring techniques รุ่น ATOSI 2M รูปที่ 11 (ก) แสดงวิธีการสแกนชิ้นส่วน รูปที่ 11 (ข) แสดงชิ้นส่วนที่ผ่านการสแกนเรียบร้อยแล้ว โดยความหนาชิ้นส่วนต้องมากกว่า 1.60 mm

4. ผลการวิจัย

แบ่งการวิเคราะห์ผลการวิจัยออกเป็น 5 ส่วน คือ

4.1 การวิเคราะห์และพัฒนาระบบงานการขึ้นรูปชิ้นส่วน

4.1.1 การออกแบบ Process Die Layout



(ก) แบบเดิม (ข) แบบใหม่

รูปที่ 12 Process Die Layout

จากรูปที่ 12 แสดง Process Die Layout ของชิ้นส่วน Plate Hoodledge Reinf RH แบบเดิมมี 4 ชั้นตอน ตรอว์, ทริม, ฟอรั่ม และเพียช ดังรูปที่ 12 (ก) จึงมีการออกแบบ Process Die Layout แบบใหม่ดังรูปที่ 12 (ข) มี 3 ชั้นตอนคือ แบลงก์, ฟอรั่มและเพียช และทำให้ลดขั้นตอน 1 ขั้นตอน

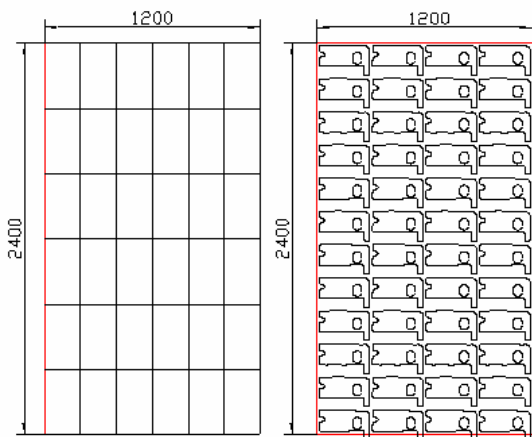
4.1.2 ขนาดแผ่นแบลงก์

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดแผ่นแบลงก์

ลักษณะ	ขนาด (mm)	น้ำหนัก (N)
แบบเดิม	200 x 400	15.21
แบบใหม่	183.5 x 282	8.0

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบขนาดแผ่นแบลงก์แบบเดิมกับแบบใหม่พบว่า แบบเดิมมีขนาด 200x400 mm น้ำหนัก 15.21 N แบบใหม่มีขนาด 183.5 x 282 mm น้ำหนัก 8.0 N ทำให้ขนาดแผ่นแบลงก์แบบใหม่สามารถลดขนาดลงได้จากเดิม 52.59 %

4.1.3 จำนวนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น



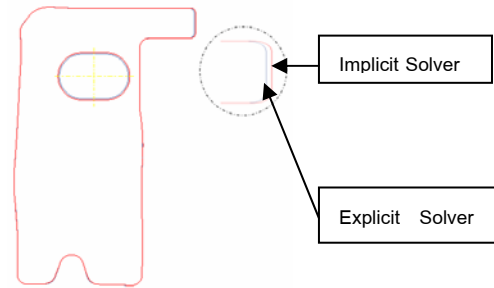
(ก) แบบเดิม (ข) แบบใหม่

รูปที่ 13 ภาพการเปรียบเทียบจำนวนชิ้นส่วนต่อแผ่น

จากการออกแบบ Process Die Layout แบบเดิมได้ชิ้นส่วน 36 ชิ้นดังรูปที่ 13 (ก) และเมื่อออกแบบ Process Die Layout แบบใหม่ชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นจาก 36 ชิ้นเป็น 44 ชิ้นจากเหล็กแผ่นดังรูปที่ 13 (ข)

4.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver

4.2.1 ขนาดแผ่นแบลงก์



รูปที่ 14 ภาพขนาดแผ่นแบลงก์

จากรูปที่ 14 ขนาดแผ่นแบลงก์สำเร็จมีน้ำหนัก 5.17 N และมีความยาวของเส้นรอบรูป 931.06 mm ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบน้ำหนัก

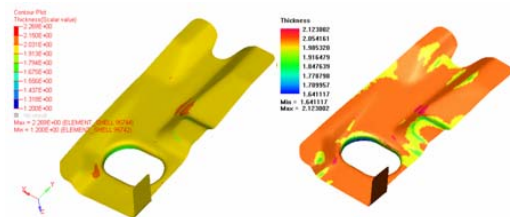
ประเภท	น้ำหนัก (N)	เปรียบเทียบความแตกต่างกับน้ำหนักขนาดแผ่นแบลงก์สำเร็จ (%)
Implicit Solver	5.20	+0.58 %
Explicit Solver	5.18	+0.19 %

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความยาวของเส้นรอบรูป

ประเภท	ความยาวเส้นรอบรูป (mm)	เปรียบเทียบความแตกต่างกับความยาวของเส้นรอบรูปสำเร็จ (%)
Implicit Solver	933.27	+0.23 %
Explicit Solver	932.45	+0.14 %

จากตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Explicit Solver มีน้ำหนักและความยาวของเส้นรอบรูปใกล้เคียงกับชิ้นส่วนสำเร็จมากกว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit Solver

4.2.2 ความหนา



(ก) Implicit Solver (ข) Explicit Solver

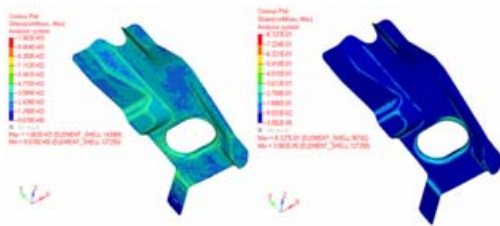
รูปที่ 15 ภาพผลการวิเคราะห์ความหนา

จากรูปที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนา ซึ่งความหนาชิ้นส่วนสำเร็จต้องมากกว่า 1.6 mm ผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver ค่า Max เท่ากับ 2.20 mm และ

2.12 mm ค่า Min เท่ากับ 1.60 mm และ 1.64 mm
ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความหนา

ประเภท	Max (mm)	Min (mm)
Implicit Solver	2.20	1.60
Explicit Solver	2.12	1.64

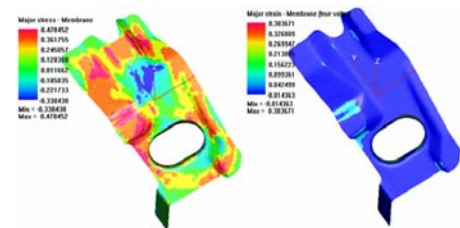
4.2.3 ความเค้นความเครียด



ความเค้น

ความเครียด

(ก) Implicit Solver



ความเค้น

ความเครียด

(ข) Explicit Solver

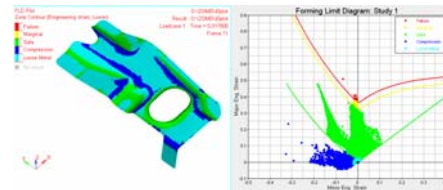
รูปที่ 16 ภาพผลการวิเคราะห์ความเค้นความเครียด

จากรูปที่ 16 ส่วนใหญ่การกระจายความเค้นความเครียดจะกระจายทั่วทั้งบริเวณของชิ้นส่วน หากพิจารณาบริเวณรัศมีและส่วนโค้งของชิ้นส่วนจะมีความเครียดสูง ซึ่งค่าความเครียดจะกระจายรอบๆ บริเวณรัศมีและส่วนโค้งของชิ้นส่วน และมีแนวโน้มจะมีการกระจายตัวของความเครียดในทิศทางเดียวกัน ลักษณะความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นผลจากแรงอัดในเอลิเมนต์ตามแนวขวาง ในบริเวณรัศมีและส่วนโค้งมีความเครียดสูงและเกิดการกระจายออกรอบๆ

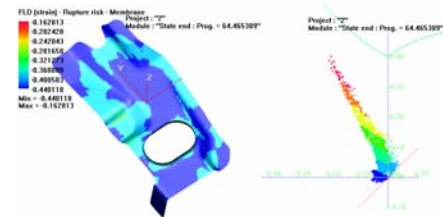
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบความเค้นความเครียด

ประเภท	ความเค้น		ความเครียด	
	Max	Min	Max	Min
Implicit Solver	1.06E1	8.67E0	8.12E1	3.58E-5
Explicit Solver	4.70E-1	-3.30E-1	3.80E-1	-1.00E-2

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLD Curve)



(ก) Implicit Solver



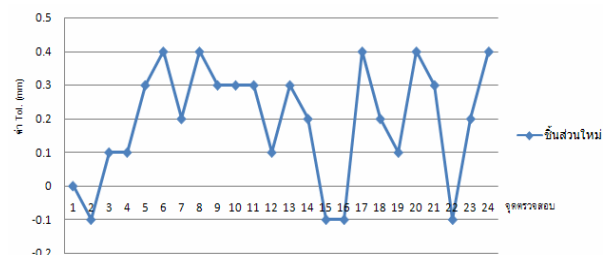
(ข) Explicit Solver

รูปที่ 17 ขีดจำกัดการขึ้นรูป

จากรูปที่ 17 เมื่อใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver จะเกิดการย่นอยู่บริเวณส่วนโค้งและรัศมี (สีน้ำเงิน) แต่บริเวณส่วนใหญ่ของชิ้นส่วน (สีเขียว) เป็นจุดที่แสดงจุดปลอดภัยของชิ้นส่วนและทั้งหมดยังคงสามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 2 Solver

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การตรวจสอบ Surface

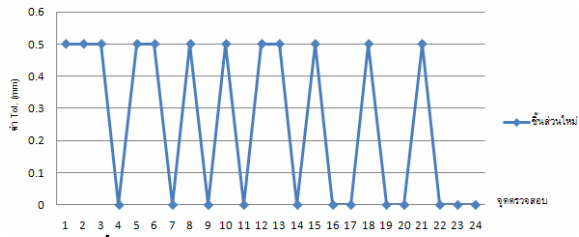


รูปที่ 18 กราฟผลการตรวจสอบ Surface

ค่ามาตรฐาน 3.0 ± 0.5 mm จากจุดตรวจสอบทั้งหมด 24 จุดชิ้นส่วนใหม่อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดดังรูปที่ 18

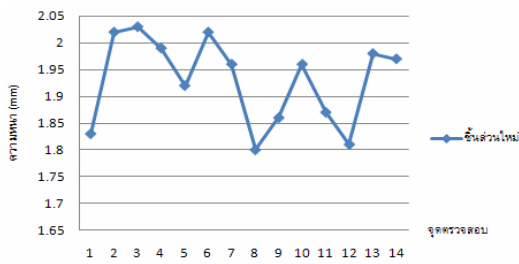
4.3.2 การตรวจสอบ Trim Line

ค่ามาตรฐาน 0.0 ± 0.5 mm จากจุดตรวจสอบทั้งหมด 24 จุดชิ้นส่วนใหม่อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 กราฟผลการตรวจสอบ Trim Line

4.3.3 การตรวจสอบความหนา

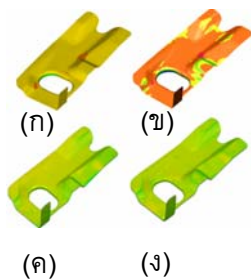


รูปที่ 20 กราฟผลการตรวจสอบความหนา

จากรูปที่ 20 ผลการตรวจสอบความหนาของชิ้นส่วนที่ผ่านการสแกน 3D ผลการสแกนความหนามีค่าต่ำสุด 1.80 mm อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

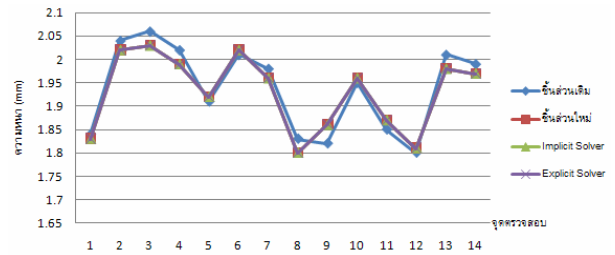
4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver กับผลการทดลอง

4.4.1 ความหนา



รูปที่ 21 ภาพการเปรียบเทียบความหนา

จากรูปที่ 21 โดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit Solver ดังรูปที่ 21 (ก) การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Explicit Solver ดังรูปที่ 21 (ข) ชิ้นส่วนเดิมดังรูปที่ 21 (ค) ชิ้นส่วนใหม่ดังรูปที่ 21 (ง) โดยนำชิ้นส่วนเดิมและชิ้นส่วนใหม่อย่างละ 1 ชิ้นมาสแกน 3D เพื่อเปรียบเทียบความหนาเมื่อความหนาชิ้นส่วนสำเร็จต้องมากกว่า 1.6 mm

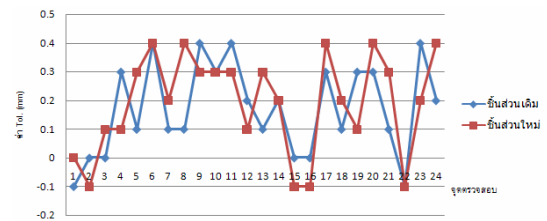


รูปที่ 22 ภาพกราฟผลการตรวจสอบความหนา

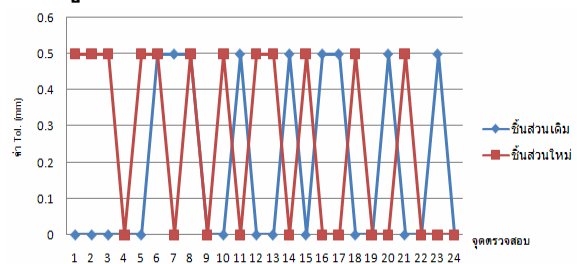
จากรูปที่ 22 ผลการตรวจสอบความหนาทั้ง 14 จุดของทั้ง 4 แบบความหนาอยู่ในค่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยค่าที่ได้คือ 1.93 mm ดังตารางที่ 8 ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความหนา

ประเภทของความหนา	ค่าเฉลี่ย (mm)	เปรียบเทียบความแตกต่างกับความหนาจริง 2 mm (%)
ชิ้นส่วนเดิม	1.93	96.5 %
ชิ้นส่วนใหม่	1.93	96.5 %
แบบ Implicit Solver	1.93	96.5 %
แบบ Explicit Solver	1.93	96.5 %

4.5 การเปรียบเทียบการตรวจสอบ Surface และ Trim Line ชิ้นส่วนเดิมกับชิ้นส่วนใหม่



รูปที่ 23 ภาพกราฟเปรียบเทียบ Surface



รูปที่ 24 ภาพกราฟเปรียบเทียบ Trim Line

ชิ้นส่วนเดิมกับชิ้นส่วนใหม่ การตรวจสอบ Surface ดังรูปที่ 23 และการตรวจสอบ Trim Line ดังรูปที่ 24 ชิ้นส่วนเดิมกับชิ้นส่วนใหม่อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด Surface = 3.0 ± 0.5 mm และ Trim Line = 0.0 ± 0.5 mm

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ชิ้นส่วน Plate Hoodledge Reinf RH มี การออกแบบ Process Die Layout เดิมมี 4 ขั้นตอน คือ ตอร์ว, ทริม, ฟอรั่ม และเพียช หลังการออกแบบ Process Die Layout แบบใหม่มี 3 ขั้นตอนคือ แบลงก์, ฟอรั่มและเพียช ทำให้ลดขั้นตอน 1 ขั้นตอน ลดขนาดแผ่นแบลงก์ลง 52.59% หรือมีน้ำหนักก่อน การผลิต เพียง 8.0 N จำนวนชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นจาก 36 ชิ้นเป็น 44 ชิ้นจากเหล็กแผ่น 1.2 x 2.4 m

5.1.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver พบว่าทิศทางการหนาขึ้นส่วนมีความหนามากกว่า 1.6 mm และสามารถขึ้นรูปขึ้นส่วนได้

5.1.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver กับผลการทดลอง ขนาดแผ่นแบลงก์ของชิ้นส่วน Explicit Solver มีน้ำหนักและความยาวของเส้นรอบรูปใกล้เคียงกับชิ้นส่วนสำเร็จมากกว่าแบบ Implicit Solver อีกทั้งความหนาขึ้นส่วนเฉลี่ยคือ 1.93 mm อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

5.1.4 การเปรียบเทียบชิ้นส่วนเดิมกับชิ้นส่วนใหม่ พบว่าคุณภาพของชิ้นส่วนหลังการขึ้นรูปมีความ สอดคล้องกันทั้งความหนา, Surface และ Trim Line ซึ่งสามารถนำไปผลิตจริงได้

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ Implicit และ Explicit Solver มีผลที่สอดคล้องทั้ง 2 Solver คุณภาพของชิ้นส่วนใหม่หลังการขึ้นรูปใกล้เคียงกับ ชิ้นส่วนเดิม ในทางอุตสาหกรรมโปรแกรมทางระเบียบ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในเชิงพาณิชย์มีมากมายให้เลือกใช้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการในการออกแบบ แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่น ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาใน ขั้นตอนการทดลองแม่พิมพ์ทำให้ลดต้นทุนในการผลิต ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้ง 2 Solver เป็น

ทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ทางอุตสาหกรรมสามารถเลือก นำไปใช้ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุน อุดหนุนการวิจัย เพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาแม่พิมพ์และ ดายพลาสติก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือที่ให้ความอนุเคราะห์การสแกนชิ้นส่วนทดสอบ และให้โปรแกรม Pamstamp ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม ก่อเกล้าพระนครเหนือที่ให้ความอนุเคราะห์ให้โปรแกรม Hyper work ขอขอบพระคุณบริษัททางกอกเมทอล เวิร์คจำกัดที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องจักรเพื่อ งานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ชาญ ฤกษ์งาน, เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ พื้นฐานและการขึ้นรูปโลหะแผ่น. ภาควิชาวิศวกรรม การผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] รศ.ชาญ ฤกษ์งาน, เอกสารประกอบการสอนวิชา Metal Forming Theory. ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
- [3] ปราโมทย์ เตชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงาน วิศวกรรม (ฉบับปรับปรุง) พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550