การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับในการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับการทดลอง

A Study of Springback Action in Semi-Circle Shape Bending of Ferritic Stainless Steel Plate SUS 409 by Finite Element Method Compare with Experiment Method

เลิศศักดิ์ มูหะหมัด[1] ชาญ ถนัดงาน[2] และวิชิต บัวแก้ว[3]
[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 [1]อีเมล์ head_kk@yahoo.com [2]อีเมล์ chn@kmutnb.ac.th
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ นครนายก 26120
อีเมล์ vichitb@swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับในการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับการทดลอง ชิ้นงานสำหรับการวิจัยเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ คือ Damper Exhaust Pipe วัสดุชิ้นงานมีขนาด 105 x 120 x 10 mm, รัศมีดัดโค้ง 30.5 mm และค่าพิกัดความเผื่อ ± 0.5 mm ตัวแปรที่มีผลต่อการดีดกลับ คือรัศมีพั้นช์ขนาด 30.0, 30.5 และ 31.0 mm โดยใช้เครื่องเพรสไฮดรอลิกขนาด 500 Ton ในการขึ้นรูป และโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือ ABAQUS V.6.4-1 ซึ่งพิจารณาเป็นปัญหาแบบความเครียดในระนาบ

ผลการวิจัย พบว่าพฤติกรรมการดีดกลับในการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือไม่เกิดการดีดกลับ และขนาดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปอยู่ในค่าพิกัดที่กำหนด โดยแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก็มีค่าใกล้เคียงกัน

Abstract

The objective of this research is to compare the springback behavior in semi-circle shape bending of ferritic stainless steel plate SUS 409 analyzed by finite element method with experiment. The workpiece for this research is a car damper exhaust pipe. Its dimension is 105 x 120 x 10 mm, bending radius 30.5 mm and tolerance ± 0.5 mm. The parameter effecting springback in forming process is radius of punch which are included of 3 radius sizes 30.0, 30.5 and 31.0 mm. The 500 tons hydraulic press machine was used to perform the forming process. Meanwhile, the ABAQUS V.6.4-1 software was used for forming process such the simulation, and considered as plane strain problem.

The results show that the springback action in semi-circle shape bending of ferritic stainless steel plate SUS 409 by finite element method conforms to experiments which the forming forces are almost the same. In addition, there is no springback effect and dimension of the workpiece deformed is in tolerance.

1. คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านแม่พิมพ์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากการค้นคว้า วิจัย และนวัตกรรมใหม่ๆ ที่พัฒนาขึ้น นอกจากนั้นการผลิตแม่พิมพ์จะต้องประกอบไปด้วยคุณภาพ เวลาการผลิตและการออกแบบที่สั้นลง เนื่องจากความต้องการในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ที่มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไปอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันที ดังนั้นอุตสาหกรรมแม่พิมพ์จึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุตสาหกรรมการบิน อุตสาหกรรมโทรคมนาคม อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมการผลิตด้านอื่นๆก็ตาม ซึ่งส่งผลให้เพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตให้สูงขึ้น รวมถึงลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิตให้ลดลงได้

กรรมวิธีการดัดขึ้นรูปโลหะ เป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงทางเรขาคณิต วัสดุชิ้นงานสามารถเปลี่ยนรูปได้เมื่อรับแรง ทำให้โลหะเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ โดยโลหะจะเริ่มต้นเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นก่อน จากนั้นจึงมีการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้นในช่วงพลาสติก จนกระทั่งความสามารถในการเปลี่ยนรูปของโลหะลดลง เมื่อเอาแรงออกจากวัสดุชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการดีดตัวกลับ สาเหตุเกิดจากบริเวณผิวด้านนอกของชิ้นงานอยู่ในสภาพ

พลาสติก ส่วนบริเวณผิวด้านในยังอยู่ในสภาพยืดหยุ่น ทำให้รูปทรงของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ไม่ได้รูปทรงตามต้องการและเมื่อนำไปประกอบเข้ากับชิ้นงานส่วนอื่น ทำให้เกิดปัญหาไม่สามารถประกอบเข้ากันได้ โดยตัวแปรที่มีผลทำให้ชิ้นงานเกิดการดีดกลับ เนื่องมาจากความหนาของแผ่นวัสดุชิ้นงาน ขนาดรัศมีภายในของการดัดขึ้นรูป ช่องว่างระหว่างพั้นช์กับดาย แนวทิศทางการรีดของวัสดุ และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจำเป็น ต้องทราบถึงกรรมวิธีการดัดขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานให้ได้รูปทรงตามต้องการนั้น ซึ่งอาจแก้ปัญหาได้โดยการสร้างแม่พิมพ์ทดลองการผลิตแบบลองผิดลองถูกหรือใช้หลักการคำนวณทางทฤษฎี ทำให้เกิดความล่าช้าเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ปัจจุบันเทคนิคการสร้างแม่พิมพ์สมัยใหม่ ได้ถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นลักษณะการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างหลักการออกแบบทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะ ความเชี่ยวชาญในการทดลองและการปรับแต่งแม่พิมพ์เข้าไว้ด้วยกัน โดยการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อทำนายถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนกระบวนการดัดขึ้นรูป เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปออกแบบแม่พิมพ์ได้อย่างถูกต้อง และช่วยลดเวลาในขั้นตอนการทดลองแม่พิมพ์ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

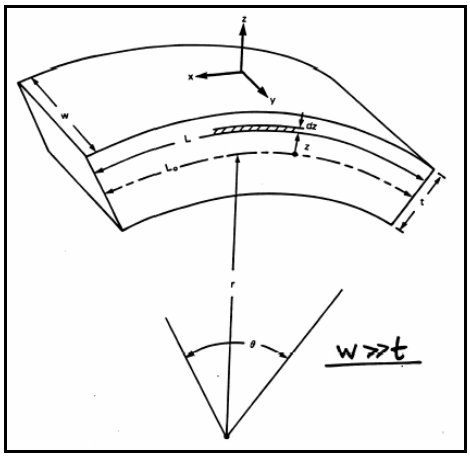
เพื่อศึกษาพฤติกรรม การดีดกลับในการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับการทดลอง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 กระบวนการดัดขึ้นรูป

การดัดมีสมมติฐานเช่นเดียวกับการขึ้นรูปโดยวิธีอื่น คือวัสดุชิ้นงานสามารถเปลี่ยนรูปได้เมื่อได้รับแรง เมื่อทำให้โลหะเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ โลหะเริ่มต้นเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นก่อน จากนั้นมีการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้นในช่วงพลาสติกจนกระทั่งความสามารถในการเปลี่ยนรูปของโลหะลดลง สุดท้ายจึงเกิดความเสียหายขึ้น เมื่อต้องการลดการแตกของชิ้นงานในระหว่างการดัด วัสดุจึงควรมีความยืดหยุ่นในการดัดน้อย เพราะความยืดหยุ่นจะทำให้ชิ้นงานเกิดการดีดกลับ ภายหลังการคลายแรงที่ใช้ในการดัดออก การดีดกลับยืดหยุ่น (Elastic Springback) บางส่วนอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเค้นเหลือค้างได้ ถ้ารัศมีการดัดมีขนาดเล็กมาก ความเครียดดึงที่บริเวณผิวด้านนอกก็จะมีค่ามาก อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายส่วนบริเวณผิวด้านในของการดัด จะเกิดความเครียดกดมากเกินไปอาจเกิดการป่องหรือบวม (Buckling) การทำความเข้าใจกลไกของการดัดจึงพิจารณากรณีที่ง่ายมาก คือการดัดวัสดุแผ่นแบนที่ไม่เกิดการทำให้แข็งด้วยความเครียดโดยใช้โมเมนต์ดัดอย่างเดียว

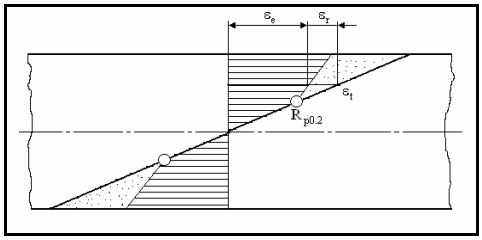
ระบบพิกัดสำหรับการดัด ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยให้ r เป็นรัศมีความโค้งวัดถึงระนาบกึ่งกลาง และ z คือระยะที่วัดจากระนาบกึ่งกลางถึงเอลิเมนต์



รูปที่ 1 ระบบพิกัดสำหรับวิเคราะห์การดัด

3.2 การดีดกลับ (Springback)

เมื่อมีแรงดัดแผ่นวัสดุที่กึ่งกลางของความหนาแผ่นวัสดุ จะมีการเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นเท่านั้น บริเวณหน้าตัดส่วนที่เหลือของแผ่นวัสดุจึงมีการเปลี่ยนรูปที่มีการบังคับในช่วงยืดหยุ่น และการเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติก จากรูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนรูปในแผ่นวัสดุ เห็นได้ว่าการเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นเป็นสัดส่วนกับความเค้นดัด เมื่อคลายแรงดัดแผ่นวัสดุเกิดความโค้งกลับคืน ซึ่งเป็นการคืนตัวยืดหยุ่น (Elastic Recovery)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนรูปในแผ่นวัสดุ

ε_t ความเครียดทั้งหมด, ε_e ความเครียดยืดหยุ่น,

ε_r ความเครียดพลาสติก, $R_{p0.2}$ ความเค้นพิสูจน์ 0.2%

การยืดตัวในช่วงยืดหยุ่น และความเค้นในช่วงยืดหยุ่นในแผ่นวัสดุเมื่อแรงกระทำกับแผ่นวัสดุทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้น แต่เมื่อโมเมนต์ด้านนอกหายไปบางส่วนก็จะไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการสมดุล ดังนั้นแผ่นวัสดุ จึงต้องโค้งกลับจนกระทั่งถึงเงื่อนไขการสมดุลระหว่างแรงกับโมเมนต์ ผิวชั้นนอกที่เดิมเป็นด้านดึง นอกจากไม่มีความเค้นดึงเหลืออยู่ แต่ยังมีความเค้นกดเป็นความเค้นตกค้างด้วย ส่วนบริเวณผิวชั้นนอกที่เดิมเป็นด้านกดก็จะมีความเค้นตกค้างเป็นความเค้นดึง เพื่อใช้คลายโหลดบนแผ่นวัสดุมีค่าเท่ากับโมเมนต์ดัด แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งความเค้นมีความหมายว่า การกระจายความเค้นซ้อนทับการกระจายความเค้นยืดหยุ่น - พลาสติก ซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก แต่เป็น

ผลจากโมเมนต์ที่มีค่าเท่ากัน ความแตกต่างของพื้นที่โมเมนต์ทั้งสองเท่ากับพื้นที่ความเค้นตกค้าง

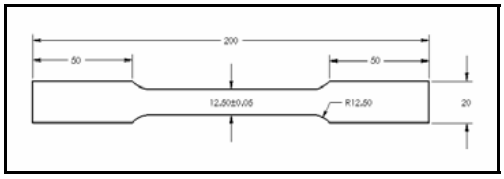
4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับในการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1 การดำเนินการวิจัยโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการขึ้นรูป (Finite Element Method Simulation)

4.1.1 การทดสอบการดึง

ชิ้นทดสอบวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 ขนาดความหนา 10 mm ทำเป็นชิ้นทดสอบ (Specimens) ซึ่งมีขนาดดังรูปที่ 3 โดยอ้างอิงจาก ASTM E8M-01 จากนั้นทดสอบการดึงด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลอินสตรอน รุ่น I55R4502 เพื่อนำค่าสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 ดังแสดงในตารางที่ 1 ไปประกอบการวิเคราะห์ทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3 แสดงชิ้นทดสอบการดึง

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการขึ้นรูป

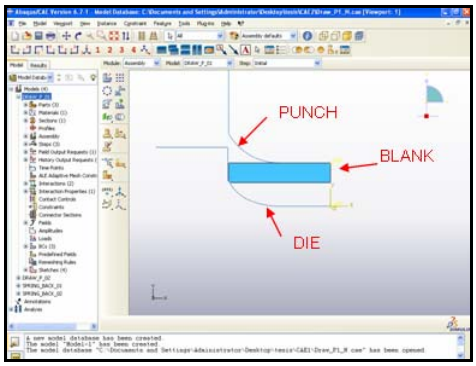
สมบัติทางกลของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS409	
Young's Modulus (E) ; GPa	186.67
Poisson's ratio (V)	0.3
Yield strength ; MPa	252.22
Strength coefficient (K) ; MPa	592.1
Strain – hardening exponent (n)	0.1812

4.1.2 การสร้างแบบจำลอง

โดยใช้โปรแกรม ABAQUS V.6.4-1 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และจำลองการสร้าง Tooling ซึ่งขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนการทำงาน

4.1.2.1 ก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)

การสร้างแบบจำลองการขึ้นรูปครั้งที่ 1 กำหนดให้วัสดุชิ้นงานมีขนาด 10 x 52.5 mm รัศมีพั้นช์ 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm และการสร้างแบบจำลองการขึ้นรูปครั้งที่ 2 กำหนดให้รัศมีพั้นช์มีขนาด 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดาย 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ ซึ่งจะสมมุติว่าพั้นช์และดายมีสมบัติเป็นวัสดุแข็งเกร็ง จะไม่มีการเสียรูปเกิดขึ้น และวัสดุชิ้นงานมีสมบัติเป็นวัตถุเสียรูปได้ ดังรูปที่ 4 แสดงแบบจำลองการขึ้นรูปครั้งที่ 1



รูปที่ 4 แบบจำลองการขึ้นรูปครั้งที่ 1

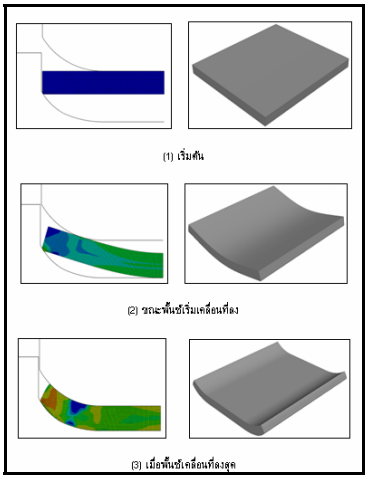
การกำหนดสมบัติของวัสดุชิ้นงาน วัสดุชิ้นงานคือเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 สมบัติของวัสดุเป็นแบบไอโซโทรปิก สภาพความเค้นแบบความเครียดในระนาบ วัสดุชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปตามทฤษฎีสภาพพลาสติก จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขต โดยการจัดเรียงตำแหน่งของเครื่องมือ เพื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ให้กับเครื่องมือแต่ละตัว โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.1 จากนั้นแบ่งส่วนเอลิเมนต์ โดยกำหนดให้แบบจำลองมีลักษณะเป็น 2 มิติ และเลือกชนิดของเอลิเมนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.5 mm จะได้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 2,139 เอลิเมนต์ และจำนวนโหนดเท่ากับ 2,266 โหนด

4.1.2.2 การประมวลผล (Processing)

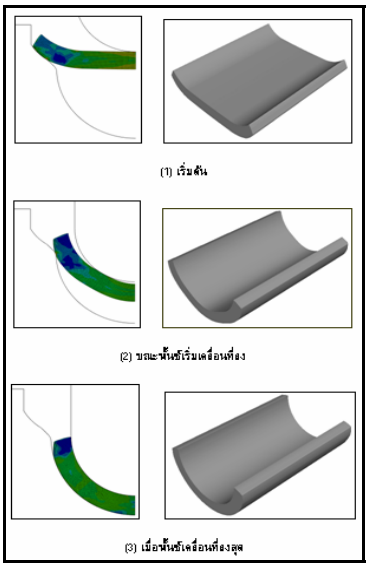
เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองครบถ้วนแล้ว ในขั้นตอนนี้ให้โปรแกรมทำการประมวลผล โดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหาสำหรับกระบวนการจำลองการขึ้นรูป

4.1.2.3 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผล (Post-processing)

ลักษณะโดยทั่วไป กระบวนการดัดขึ้นรูปครึ่งวงกลมของโลหะแผ่นหนาเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 จากการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าการดีดกลับภายหลังการดัดขึ้นรูป ซึ่งแสดงการจำลองกระบวนการขึ้นรูป ดังในรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงการจำลองลักษณะการขึ้นรูปครั้งที่ 1

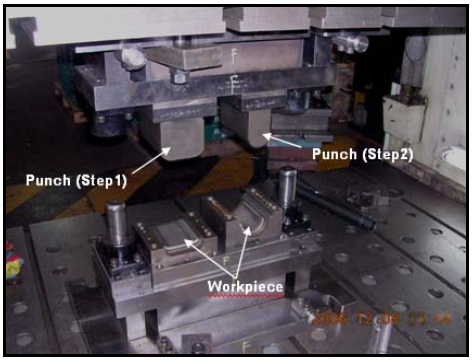


รูปที่ 6 แสดงการจำลองลักษณะการขึ้นรูปครั้งที่ 2

4.2 การดำเนินการวิจัยโดยการทดลอง (Experiment)

4.2.1 การทดลองโดยการขึ้นรูปชิ้นงาน

เตรียมวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 ขนาด 105 x 120 x 10 mm เพื่อใช้ในการทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน วางในชุดแม่พิมพ์ จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงาน ดังรูปที่ 7 แสดงการทดลองขึ้นรูป และรูปที่ 8 แสดงชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูป

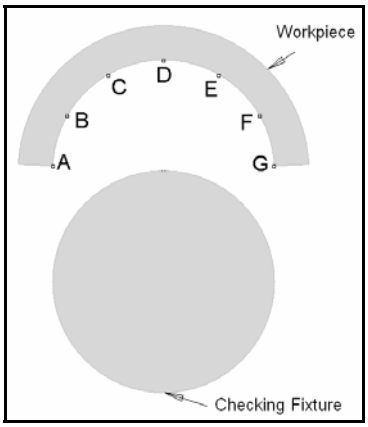


รูปที่ 7 การทดลองขึ้นรูป

รูปที่ 8 แสดงชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูป

4.2.2 การตรวจสอบชิ้นงาน

การตรวจสอบชิ้นงาน โดยทำการตรวจสอบกับฟิกเจอร์ตรวจสอบ (Checking Fixture) เพื่อวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งจุด A-G ตามแบบชิ้นงาน ดังรูปที่ 9 แสดงการตรวจสอบชิ้นงาน

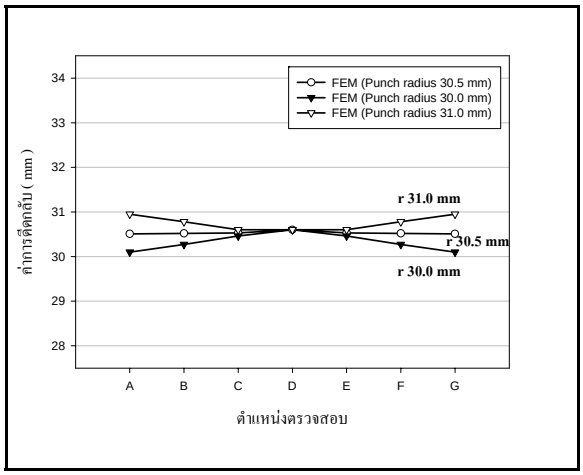


รูปที่ 9 การตรวจสอบชิ้นงาน

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

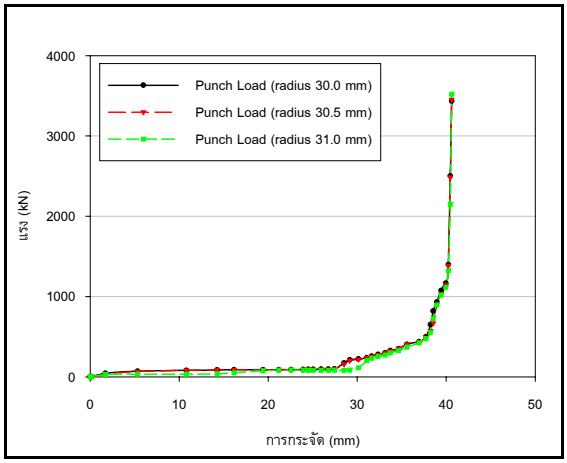
5.1.1 การดีดกลับ



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการดีดกลับและตำแหน่งตรวจสอบที่ขนาดรัศมีพั้นช์ 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดายขนาด 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ

จากรูปที่ 10 ค่าการดีดกลับที่ขนาดรัศมีพั้นช์ 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดายขนาด 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ พบว่าที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานการตรวจสอบมากที่สุด โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่ต้องการอยู่ 0.03 ถึง 0.33% ซึ่งค่าความแตกต่างสูงสุดที่ตำแหน่ง D และค่าความแตกต่างต่ำสุดที่ตำแหน่ง A และ G

5.1.2 แรงในการขึ้นรูป

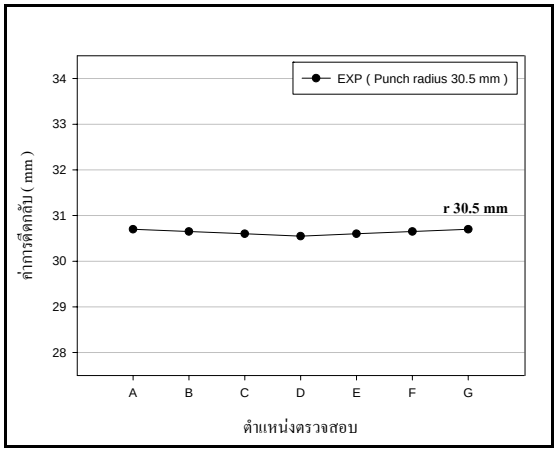


รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด ที่ขนาดรัศมีพั้นช์ 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดายขนาด 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ

จากรูปที่ 11 พบว่าแรงใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ขนาดรัศมีพั้นช์ 30.0 mm แรงในการขึ้นรูปเท่ากับ 3,661.67 kN, รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm แรงในการขึ้นรูปเท่ากับ 3,695.64 kN และรัศมีพั้นช์ขนาด 31.0 mm แรงในการขึ้นรูปเท่ากับ 3,784.54 kN

5.2 ผลการทดลอง

5.2.1 การดีดกลับ



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการดีดกลับและตำแหน่งตรวจสอบที่รัศมีพั้นช์ 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm

จากรูปที่ 12 ค่าการดีดกลับภายหลังการขึ้นรูปของวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก SUS 409 จากการทดลองที่ขนาดรัศมีพั้นช์ 30.5 mm พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานการตรวจสอบ โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าที่ต้องการอยู่ 0.16 ถึง 0.66% ซึ่งค่าความแตกต่างสูงสุดที่ตำแหน่ง A และ G และค่าความแตกต่างต่ำสุดที่ตำแหน่ง D

5.2.2 แรงในการขึ้นรูป

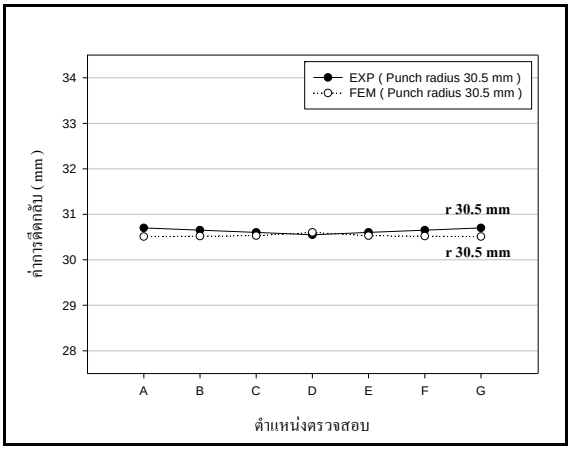
ตารางที่ 2 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ความหนาชิ้นงานขนาด 10.0 mm รัศมีพั้นช์ 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm ที่ได้จากการทดลอง

รัศมีพั้นช์ (mm)	รัศมีดาย (mm)	แรงในการขึ้นรูปจากการทดลอง (kN)
30.5	40.5	3,500

จากตารางที่ 2 พบว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจากการทดลองที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีค่าใกล้เคียงกัน โดยแรงในการขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 3,500 kN

5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลอง

5.3.1 การดีดกลับ



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการดีดกลับและตำแหน่งตรวจสอบที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง

จากรูปที่ 13 เปรียบเทียบการดีดกลับภายหลังการขึ้นรูประหว่างระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าจากการทดลองอยู่ระหว่าง 0.16 ถึง 0.62% ซึ่งค่าความแตกต่างสูงสุดที่ตำแหน่ง A และ G และค่าความแตกต่างต่ำสุดที่ตำแหน่ง D

5.3.2 แรงในการขึ้นรูป

ตารางที่ 3 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ที่ความหนาชิ้นงานขนาด 10.0 mm รัศมีพั้นช์ 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm จากการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง

แรงในการขึ้นรูป (kN)		ความแตกต่าง (kN)	ความแตกต่าง (%)
การทดลอง	FEM		
3,500	3,695.64	195.64	5.59

จากตารางที่ 3 พบว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดาย 40.5 mm มีค่าใกล้เคียงกัน โดยแรงในการขึ้นรูปมีค่าความแตกต่างเท่ากับ 195.64 kN หรือ 5.59%

6. สรุปผลและอภิปรายผล

6.1 สรุปผล

6.1.1 จากผลการวิเคราะห์การดีดกลับ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่ต้องการที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดายขนาด 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ มีค่าอยู่ในพิกัดที่กำหนดและไม่เกิดการดีดกลับ โดยรัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีค่าสอดคล้องกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยแตกต่างกัน 0.1% และแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเท่ากับ 3,695.64 kN

6.1.2 จากผลการทดลองการดัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องเพรสไฮดรอลิก ขนาด 500 Ton ที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีความสอดคล้องกับค่าที่ต้องการ ซึ่งมีค่าอยู่ในพิกัดที่กำหนดและไม่เกิดการดีดกลับ โดยมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยแตกต่างกัน 0.44% และแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเท่ากับ 3,500 kN

6.1.3 จากผลการวิเคราะห์การดีดกลับ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองมีความสอดคล้องกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในพิกัดที่กำหนดและไม่เกิดการดีดกลับ โดยรัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยแตกต่างกัน 0.04% และแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยแตกต่างกัน 5.59%

6.2 อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ค่าการดีดกลับโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.0, 30.5 และ 31.0 mm และรัศมีดายขนาด 40.0, 40.5 และ 41.0 mm ตามลำดับ พบว่าผลลัพธ์มีค่าอยู่ในพิกัดที่กำหนด ซึ่งยอมรับได้ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถประยุกต์ใช้ในการจำลองการขึ้นรูป และปรับพารามิเตอร์ต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงค่าการดีดกลับ จากผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.5 mm และรัศมีดายขนาด 40.5 mm มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด พบว่าการดีดกลับจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากค่าความเค้นและความเครียดกระจายสม่ำเสมอส่งผลให้วัสดุชิ้นงานมีสภาพเป็นพลาสติกสมบูรณ์

ในส่วนของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป พบว่าที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.0, 30.5 และ 31.0 mm ขนาดของแรงกดพั้นช์มีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง ซึ่งแรงกดพั้นช์มีค่าสูงที่รัศมีพั้นช์ขนาด 31.0 mm และแรงมีค่าน้อยที่รัศมีพั้นช์ขนาด 30.0 mm เนื่องจากขนาดรัศมีพั้นช์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุชิ้นงานพยายามต้านแรงกด จึงเกิดการอัดตัวอย่างแรงตามแนวความหนาของวัสดุชิ้นงาน ทำให้ต้องใช้แรงในการกดดัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ความเค้นภายในชิ้นงานมีค่าสูงกว่าจุดคราก(ของวัสดุชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ยานภัณฑ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูลและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทดสอบวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

1. ชาญ ถนัดงาน และคณะ. คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก. กรุงเทพมหานคร : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, 2538.
2. William F. Hosford and Robert M. Caddell. Metal Forming Mechanical and Metallurgy. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1993.
3. ชาญ ถนัดงาน. เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ. (เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ.) กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.
4. ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
5. R. W. Rowe, et al. Finite-element Plasticity and Metalforming Analysis. London : Cambridge University Press, 1991.
6. Annika Nilsson, Lars Melin, and Claes Magnusson. “Finite - element simulation of V-die bending : a comparison with experimental results.” Journal of Materials Processing Technology. 65(1997) : 52-58.
7. H. Livatyali and T. Altan. “Prediction and Elimination of Springback in Straight Flanging Using CAD Methods.” Part-1 Journal of Materials Processing Technology. 117(2001) : 262-268.
8. Li-Ping Lei, Sang-Moon Hwang and Beom-Soo Kang. “Finite Element Analysis and Design in Stainless Steel Sheet Forming and its Experimental Comparison.” Journal of Materials Processing Technology. 110(2001) : 70-77.