การลดการดีดตัวกลับในการพับชิ้นส่วนรางบนของรางเลื่อนเบาะรถยนต์โดยใช้ FEM

Elimination of Springback in the Bending of Upper Channel for Vehicle Seat Adjusting by FEM

ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่[1*] คมกริช ละวรรณวงษ์[1] พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์[2] อนรรฆ ขันธะชวนะ[2] วารุณี เปรมานนท์[3]
[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร 0-2470-9209 โทรสาร 0-2470-9210 [*]อีเมล์ nutthanun.moo@kmutt.ac.th
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร 0-2470-9117 โทรสาร 0-2470-9111 อีเมล์ pongpan.kae@kmutt.ac.th
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร 0-2470-9209 โทรสาร 0-2470-9210 อีเมล์ varunee.pre@kmutt.ac.th

Nutthanun Moolsradoo[1*], Komgrit Lawanwong[1], Pongpan Kaewtatip[2], Anak Khantachawana[2], Varunee Premanond[3],
[1] Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140, Thailand
Tel: 0-2470-9209, Fax: 0-2470-9210, [*]E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Bangmod, Bangkok 10140, Thailand, Tel: 0-2470-9209, Fax: 0-2470-9210, E-mail: pongpan.kae@kmutt.ac.th
[3] Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Bangmod, Bangkok 10140, Thailand, Tel: 0-2470-9209, Fax: 0-2470-9210, E-mail: varunee.pre@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการผลิตชิ้นส่วนรางบนของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ให้ได้ขนาดตามที่กำหนด โดยทำการทดลองควบคู่กับการวิเคราะห์โดยใช้ FEM ชิ้นงานเป็นวัสดุ SPFC440 ความหนาชิ้นงาน 2.3 มิลลิเมตร ซึ่งในการผลิตพบชิ้นงานที่ไม่ได้ขนาดตามพิกัดทำให้ต้องเพิ่มขั้นตอนแก้ไขขนาดชิ้นงานอีก 1 ขั้นตอน และจากการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตทั้ง 6 ขั้นตอนพบว่าการพับขึ้นรูปชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 4 เกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานจากมุมที่กำหนดไว้ 89.4 องศากลายเป็น 91.6 องศา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดทางด้านรูปร่างขึ้น จึงได้ปรับปรุงขั้นตอนดังกล่าวโดยใช้วิธีการพับให้มากกว่าความต้องการ โดยได้กำหนดมุมพับใหม่ให้เท่ากับ 86 องศา และทำการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นมาใหม่ เพื่อทดสอบแนวทางการปรับปรุง จากผลการทดลองพบว่าหลังการแก้ไขแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนทั้งหมดมีความกว้างของรางอยู่ในพิกัดที่กำหนด และจากการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM2D ช่วยวิเคราะห์กระบวนการพับดังกล่าว ผลที่ได้จากการจำลองสามารถทำนายขนาดมุมชิ้นงานที่ได้จากการพับได้แม่นยำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของชิ้นงานสูงกว่า 99%

Abstract

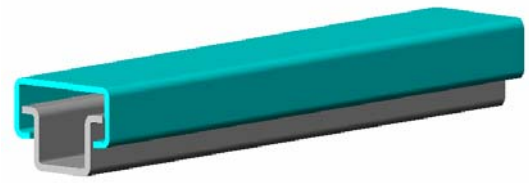
The purpose of this study is to improve the production line ∀Upper channel for vehicle seat adjusting∀ this part is made form steel SPFC 440 (JIS) having 2.3 mm thickness. Before improvement, 95% of points produced were out of tolerance controlled. Therefore, an additional process of restriking was necessary. It has been found form process investigation that error due to spring back of sheet material was generated at bending step. The design angle of 89.4 was deviated to 91.6 degree due to spring back. The tool was modified using over bending technique. The part was bended to 86 degree. After improvement, parts can be produced within dimensional limit. It is

also found that finite element simulation results using DEFORM-2D program agree well with the experiment results.

1. บทนำ

รางเลื่อนเบาะรถยนต์ (Vehicle seat adjusting part) ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบกับชุดเบาะนั่งภายในรถยนต์ มีหน้าที่ปรับเบาะนั่งฝั่งคนขับรถและข้างคนขับรถ ให้ได้ตำแหน่งการนั่งภายในรถยนต์ที่มีความเหมาะสม รางเลื่อนเบาะรถยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วนคือ รางบน (Upper Channel) รางล่าง (Lower Channel) และลูกบอล (Ball) ซึ่งคั่นอยู่ระหว่างรางบนและรางล่าง

ขบวนการผลิตชิ้นส่วนรางบนของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ใช้กรรมวิธีการพับขึ้นรูป (Bending) ให้ได้ขนาดตามที่กำหนด ซึ่งปัญหาหลักที่พบในชิ้นงานสำเร็จคือความกว้างของรางไม่อยู่ในพิกัดที่กำหนดเกือบจะทั้งหมด ทำให้ต้องนำชิ้นงานดังกล่าวไปผ่านขั้นตอนการบีบด้านข้างเพื่อให้ได้ความกว้างตามที่ต้องการ ส่งผลให้ต้นทุนและเวลาในการผลิตมากขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตทั้งหมด 6 ขั้นตอนพบว่าภายหลังการพับขึ้นรูปในขั้นตอนที่ 4 ชิ้นงานเกิดการดีดตัวกลับ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ในขั้นตอนนี้ โดยใช้วิธีการพับให้มากกว่าความต้องการ (Over bending) พร้อมกันนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เพื่อใช้ผลที่ได้เป็นข้อมูลช่วยในการปรับปรุงแม่พิมพ์ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาชิ้นงานแล้วจะเห็นว่ามีรูปร่างไม่ซับซ้อนมาก สามารถวิเคราะห์ได้ในสองมิติแบบความเครียดในระนาบ (Plain strain) จึงเลือกใช้โปรแกรม DEFORM2D ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์การขึ้นรูปในแบบสองมิติ

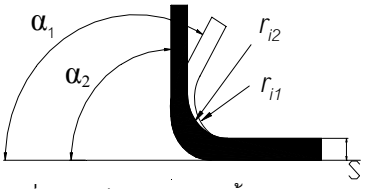


รูปที่ 1 ภาพประกอบชุดรางเลื่อนเบาะรถยนต์

2. กรรมวิธีการพับขึ้นรูป (Bending)

2.1 การดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับ (Spring back after bending)

การดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับ หมายถึงการพยายามคืนรูปของโลหะหลังการพับซึ่งเกิดขึ้นหลังจากพ้นภาวะการรับแรง ความเค้นในเนื้อโลหะตรงบริเวณเส้นแกนกลางจะเป็นศูนย์ และยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic limits) เมื่อยกพันช์ออกจากดายโลหะส่วนนี้จะพยายามดีดตัวกลับสู่รูปร่างเดิม แต่โลหะส่วนที่อยู่ห่างจากเส้นแกนกลางจะมีความเค้นเกิดขึ้นเกินจุดครากตัว ทำให้ต้านการกลับสู่รูปร่างเดิม ดังนั้นเมื่อโลหะดัดงอไปจนเปลี่ยนรูปร่างแล้ว จะยังคงมีเนื้อโลหะบางส่วนยังอยู่ในสภาวะยืดหยุ่นและทำให้เกิดการดีดตัวกลับขึ้น ดังรูปที่ 2 ซึ่งปริมาณการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับคำนวณได้จากอัตราส่วนของมุมของชิ้นงานหลังการพับต่อมุมของดาย โดยเรียกค่าดังกล่าวว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการดีดตัวกลับ (Spring back factor ;K_R) และวัสดุชิ้นงานพับแต่ละชนิด จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการดีดตัวกลับแตกต่างกัน ซึ่งสามารถคำนวณการดีดตัวกลับหลังการพับได้จากสมการที่ 1 [1].



รูปที่ 2 การดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับ

$$K_R = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{i1} + 0.5s}{r_{i2} + 0.5s} \qquad (1)$$

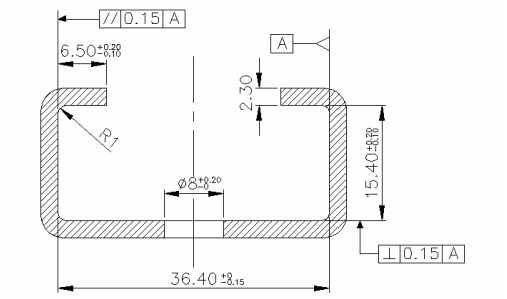
เมื่อ α_1 คือ มุมของดาย (องศา)
α_2 คือ มุมของชิ้นงานที่วัดได้หลังการพับขึ้นรูป (องศา)
S คือ ความหนาของวัสดุชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
r_{i_1} คือ รัศมีด้านในของดาย (มิลลิเมตร)
r_{i_2} คือ รัศมีด้านในของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

2.2 วิธีการพับให้มากกว่าความต้องการ (Over bending)

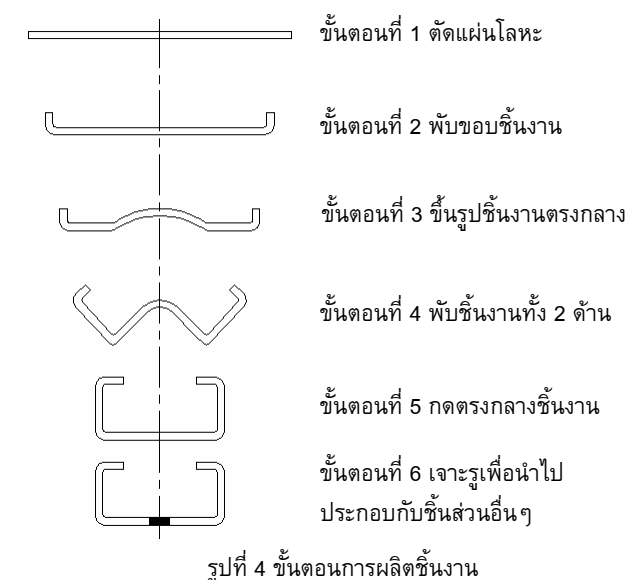
การป้องกันการดีดตัวกลับด้วยวิธีการพับให้มากกว่าความต้องการเป็นการกำหนดให้ชิ้นงานที่เกิดการดีดตัวกลับแล้วได้มุมที่ต้องการพอดี โดยทำมุมที่พันช์หรือดายให้เล็กลง ซึ่งต้องมีการคำนวณมุมที่ทำการพับให้เหมาะสม

3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อลดการดีดตัวกลับของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ ซึ่งมีขนาดของชิ้นงานสำเร็จแสดงดังรูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตชิ้นงานมีทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังรูปที่ 4 วัสดุชิ้นงานคือ SPFC440 หนา 2.3 มิลลิเมตรและยาว 398 มิลลิเมตร นอกจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ FEM ควบคู่กับการทดลอง ซึ่งคุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานได้จากการทดสอบการดึงจริง โดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 และมีเงื่อนไขในการจำลองดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 แบบของชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 4 ขั้นตอนการผลิตชิ้นงาน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ SPFC440

คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	ค่าที่ได้
Young's Modulus	240 GPa
Poison Ratio	0.3
Strain Hardening Exponent (n)	0.148
Stress Coefficient (K)	897.2 MPa

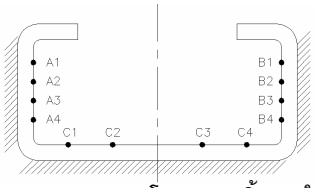
ตารางที่ 2 เงื่อนไขการจำลองการพับด้วยโปรแกรม DEFORM2D

Analytical Type		Axis - Symmetry
Friction coefficient		μ = 0.1
Type of Materials	Tools	Rigid body
	Work piece	Elastic - Plastic
Number of Element		1500
Bending Velocity		16 mm/sec

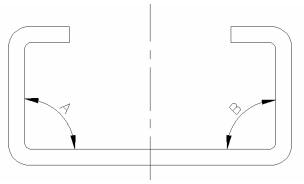
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด

การผลิตชิ้นงานแล้วความกว้างขอบของชิ้นงานสำเร็จ ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนดนั้น ได้วิเคราะห์หาสาเหตุโดยตั้งสมมติฐานว่าชิ้นงานโก่งงอไม่ได้ขนาดและมุมภายหลังการพับไม่ได้ขนาด ซึ่งการตรวจสอบการโก่งงอของชิ้นงานและการตรวจสอบมุมภายหลังการพับนั้นเพื่อต้องการทราบว่า ที่ขั้นตอนดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อความกว้างขอบชิ้นงานหรือไม่ วิธีการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 โดยจะเริ่มตรวจวัดจากขั้นตอนที่ 5 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่มีผลต่อความกว้างของชิ้นงาน

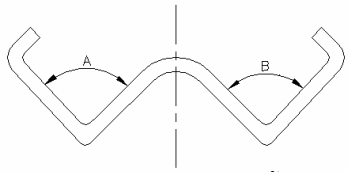


รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบการโก่งงอของชิ้นงานในขั้นตอนที่ 5



รูปที่ 6 แสดงการตรวจสอบมุมภายในของชิ้นงานในขั้นตอนที่ 5

จากการตรวจสอบการโก่งงอของชิ้นงานบริเวณผนังด้านล่าง และด้านข้างดังรูปที่ 5 พบว่าความโก่งงอมีน้อยมากคือไม่เกิน 0.03 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงที่ยอมรับได้ของความกว้างของชิ้นงาน ส่วนการตรวจสอบมุมภายในของชิ้นงานดังรูปที่ 6 พบว่ามุม A และมุม B วัดได้เท่ากับ 91.60 องศา และ 91.59 องศา ซึ่งมากกว่าขนาดที่กำหนด (90 องศา) หลังจากนั้นจึงตรวจสอบในขั้นตอนที่ 4 ดังรูปที่ 7 เพื่อหาว่าสาเหตุเกิดจากขั้นตอนใด จากการตรวจสอบพบว่ามุม A และมุม B วัดได้เท่ากับ 91.26 องศา และ 91.27 องศา ซึ่งยังมากกว่า 90 องศาอยู่เช่นกัน ส่วนขั้นตอนถัดไปไม่ได้ทำการตรวจสอบเนื่องจากไม่เกี่ยวข้องกับมุมภายในของชิ้นงาน



รูปที่ 7 แสดงการตรวจสอบมุมภายในของชิ้นงานในขั้นตอนที่ 4

จากการตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้ความกว้างขอบของชิ้นงานสำเร็จไม่ได้ขนาดตามที่กำหนดนั้นพบว่าสาเหตุเกิดจากขั้นตอนที่ 4 ซึ่งชิ้นงานเกิดการดีดตัวกลับ และส่งผลให้ความกว้างชิ้นงานสำเร็จไม่อยู่ในพิกัดที่ต้องการ ดังนั้นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะใช้ทฤษฎีการพับให้มากกว่าความต้องการ โดยใช้หลักการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดีดตัวกลับในการคำนวณหามุมของพันช์ ที่จะใช้ในการพับขึ้นรูปชิ้นงานในขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

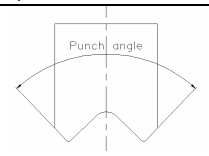
4.2 ผลการวิเคราะห์การปรับปรุงมุมของพันช์ในขั้นตอนที่ 4

จากเดิมที่มุมของพันช์ที่ใช้ในการพับชิ้นงานในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งส่งผลให้ความกว้างขอบของชิ้นงานสำเร็จไม่ได้ขนาดตามที่กำหนดดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.1 แล้วนั้น จึงได้ทำการแก้ไขปรับเปลี่ยนมุมใหม่ด้วยวิธีการพับให้มากกว่าความต้องการ โดยใช้หลักการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดีดตัวกลับ (K_R) ดังสมการที่ 1 โดยได้ค่า K_R ในขั้นตอนที่ 4 และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 3 และจากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถหามุมของพันช์ที่ปรับปรุงแล้วดังแสดงในตารางที่ 4 และนำค่ามุมที่ปรับปรุงใหม่นี้ไปทำการเก็บผลการทดลอง ซึ่งผลการวัดมุมชิ้นงานที่ได้จากการใช้มุมของพันช์ที่ปรับปรุงแล้วแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่า K_R

ขั้นตอน	ค่า K_R ก่อนปรับปรุงมุมของพันช์ (มุมพันช์ = 89.4°)
4	0.979
5	0.975

ตารางที่ 4 แสดงมุมของพันช์ก่อนและหลังปรับปรุง

มุมพันช์ในขั้นตอนที่ 4	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	89.4°	86°

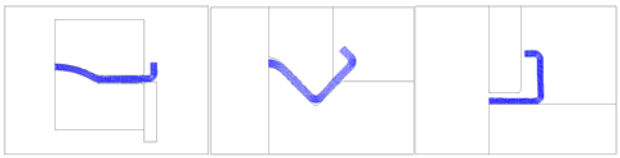
ตารางที่ 5 ผลการวัดมุมการดีดตัวกลับของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมุมของพันช์

ขั้นตอน	ตำแหน่งที่ทำการวัด	มุมที่วัดได้ก่อนปรับปรุงมุมพันช์ (มุมพันช์ = 89.4°)	มุมที่วัดได้หลังปรับปรุงมุมพันช์ (มุมพันช์ = 86°)
4	A	91.26°	89.89
	B	91.27°	89.90
5	A	91.60°	89.88
	B	91.59°	89.89

จากผลการทดลองในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการแก้ไขแม่พิมพ์ตามหลักการ Over bending โดยการปรับมุมพันช์ให้เล็กลง จะทำให้ลดการเกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานลงได้ และทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการพับมีขนาดมุมอยู่ในพิกัดที่ยอมรับได้

4.3 ผลการวิเคราะห์การปรับปรุงมุมของพันช์ในขั้นตอนที่ 4 ด้วย FEM

จากการจำลองการพับขึ้นรูปชิ้นงานดังรูปที่ 8 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ ควบคู่กับการทำการทดลองจริงนั้น เนื่องจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 ไม่ได้ส่งผลให้เกิดการดีดตัวกลับที่มีผลต่อขนาดความกว้างของชิ้นงานในขั้นตอนที่ 5 จึงไม่ได้ทำการจำลองแต่จะเริ่มทำการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงานตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 จนถึงขั้นตอนที่ 5 และแสดงผลการจำลองเปรียบเทียบกับการทดลองจริงดังตารางที่ 6



ก) ขั้นตอนที่ 3 ข) ขั้นตอนที่ 4 ค) ขั้นตอนที่ 5

รูปที่ 8 แสดงการจำลองการพับชิ้นงานขั้นตอนที่ 3-5

ตารางที่ 6 ผลการวัดมุมชิ้นงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองจริง โดยใช้มุมพันช์หลังการปรับปรุง เท่ากับ 86°

ขั้นตอน	ตำแหน่งที่ทำการวัด	มุมจากการวัดงานจริง	มุมจากการจำลอง
4	A	89.89°	91.30°
	B	89.90°	91.30°
5	A	89.88°	91.60°
	B	89.89°	91.60°

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลการทดลองจริงและการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้มุมพันช์หลังปรับปรุง (86°)

ขั้นตอน	ค่า K_R จากการทดลอง	ค่า K_R จากการจำลองด้วย FEM	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจาก FEM
4	0.958	0.954	99%
5	0.958	0.960	99%

จากผลการจำลองในตารางที่ 6-7แสดงให้เห็นว่าการแก้ไขแม่พิมพ์ตามหลักการ Over bending โดยการปรับมุมพันช์จะทำให้ลดการเกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานลงได้ และทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการพับมีขนาดมุมตามที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจริง และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของค่าที่ได้จากการจำลองเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง ซึ่งต้องพิจารณาจากค่า K_R เพราะเป็นค่าที่ต้องใช้ในการปรับแก้แม่พิมพ์ในการลดการดีดตัวกลับด้วยวิธีพับมากกว่ามุมที่ต้องการ โดยพบว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM2D สามารถทำนายขนาดมุมชิ้นงานที่ได้จากการพับ หรือทำนายมุมชิ้นงานหลังเกิดการดีดตัวกลับได้แม่นยำสูงมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของชิ้นงานสูงกว่า 99% และผลที่ได้จากการจำลองจะช่วยในการออกแบบ หรือปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลการวิจัย

1. การแก้ไขแม่พิมพ์ตามหลักการ Over bending โดยการปรับมุมพันช์จะทำให้ลดการเกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานลงได้
2. การจำลองการพับขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยทำนายผลการเกิดการดีดตัวกลับได้ค่อนข้างแม่นยำ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสถาบันไทยเยอรมันและขอขอบคุณ นายทรงพล กมลสรวงเกษม นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ ที่ช่วยดำเนินการทดลองและทำการวัดตรวจเก็บผล

เอกสารอ้างอิง

[1] Schuller, 1998, Metal Forming Handbook, Springer, Berlin, pp. 366-373.