

## การปรับปรุงกระบวนการทอบขึ้นรูปร่อนล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Process Improvement of Hot Forging Timing Pulley by Finite Element Method

ศุภวิชญ์ อูซชิน<sup>1\*</sup>, ชาญุ ถนัดงาน<sup>2</sup>, กัมปนาท ศิริเวทิน<sup>3</sup>, วิจิต บัวแก้ว<sup>4</sup>, และยงยุทธ เนียมทรัพย์<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

<sup>3</sup> บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

<sup>4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จ.นครนายก 26120

<sup>5</sup> บริษัท สามมิตรมอเตอร์สแมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรสาคร 74130

\*ติดต่อ: E-mail: kwc2530@gmail.com, โทรศัพท์: 08-8016-4532

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแม่พิมพ์ทอบขึ้นรูปร่อนล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว และหาความยาวชิ้นงานเตรียมทอบ (billet- size) โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ ชิ้นส่วนที่ใช้ในงานวิจัยคือล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45CL1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 mm ยาว  $100^{+2}_0$  mm และตัวแปรที่ศึกษา คือ ความยาวชิ้นงานเตรียมทอบ มุมองศาปลายพินช์ รัศมีปลายพินช์และมิติชิ้นส่วน ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัยมีดังนี้คือสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์การทอบขึ้นรูปด้วยโปรแกรม DEFORM 2D ที่ความยาวชิ้นงานเตรียมทอบโดยแปรผันความยาว คือ 102, 100, 96 และ 94 mm ตามลำดับ และเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยพิจารณาค่าความยาวครีบของชิ้นงานที่ผ่านการทอบขึ้นรูป และปรับปรุงรูปทรงแม่พิมพ์ เช่น มุมองศาปลายพินช์ และรัศมีปลายพินช์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิจัยพบว่าที่ความยาวชิ้นงานเตรียมทอบที่มีขนาดสั้นลงแรงที่ใช้ในการทอบขึ้นรูปจะมีค่าลดลงและความยาว 96 mm เป็นความยาวที่เหมาะสมในการใช้งาน ในส่วนของการปรับปรุงแม่พิมพ์พบว่ามุมองศาปลายพินช์และรัศมีปลายพินช์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลให้แรงที่ใช้ในการทอบขึ้นรูปลดลง และมิติของชิ้นส่วนเป็นไปตามแบบที่โรงงานกำหนด

**คำหลัก:** ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การออกแบบแม่พิมพ์, ครีบชิ้นงาน, ล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว

### Abstract

The objective of this research is to improve the hot forging die for optimizing the billet size using Finite Element Method (FEM). The timing pulley was selected for this research. It made of medium carbon steel S45CL1 with 52 mm diameter and  $100^{+2}_0$  mm long. The billet length, punch bottom angle and punch radius were considered in the research. The research was conducted by DEFORM 2D, simulation software. The lengths of billet are varied by 102, 100, 96, 94 mm respectively. The flash length of workpiece was considered in order to improve the die geometries such as punch bottom angle and punch radius. The results that obtained from FEM compared with the experiment.

The results showed that the forging force is proportional to the length of billet size and the appropriate length is 96 mm. In case of die design, it was found that the forging force is decreased when the punch bottom angle and the punch radius which increased. The geometries of workpiece obtained from FEM were accepted by the company specification.

**Keywords:** Finite element method (FEM), Die design, Flash, Timing Pulley.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยกรรมวิธีการทุบขึ้นรูปร้อน มีการเจริญเติบโตขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีความต้องการที่จะพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขปัญหาในด้านกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นเช่น การลดขั้นตอนของการทุบขึ้นรูป การลดจำนวนของชิ้นงานที่เสียให้น้อยลง การลดเศษที่เหลือจากการทุบขึ้นรูป การทำให้แม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปมีอายุการทำงานที่มากขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อช่วยแก้ไขและพัฒนาอุตสาหกรรมการทุบขึ้นรูปโลหะให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น

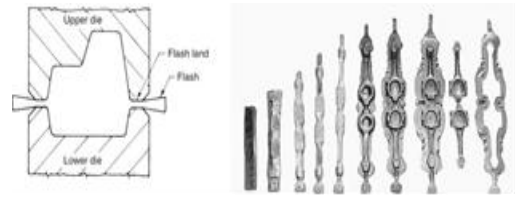
A.N. Bramley และ D.J. Mynors. ได้ศึกษาในเรื่องของการนำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรม ให้มีศักยภาพในการทำงานมากขึ้น โดยเฉพาะในงานทุบขึ้นรูปโลหะ [1]

E. Doege และ R. Bohnsack. ได้ศึกษาถึงความต้องการของงานทุบขึ้นรูปขึ้นงานโดยไม่เกิดครีบทั้งในด้านกระบวนการผลิต ด้านแม่พิมพ์ และด้านการทุบขึ้นรูป ในงานวิจัยยังได้แสดงถึงความแตกต่างของสปริงที่เป็นส่วนประกอบในแม่พิมพ์แบบปิดที่ใช้ในการผลิตเฟืองและก้านสูบ [2]

B. Tomov, R. Radev และ V. Gagov. ได้ให้ความสนใจอยู่ที่บริเวณการเกิดครีบที่แม่พิมพ์ ตัวแปรของการออกแบบช่องว่างครีบของแม่พิมพ์ในกระบวนการทุบขึ้นรูปมีความสำคัญต่อการส่งผลกระทบของอายุแม่พิมพ์ รวมถึงคุณภาพของชิ้นงานทุบขึ้นรูป ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาถึงสมการที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบช่องว่างของครีบของแม่พิมพ์ รวมทั้งตัวแปรอื่นที่มีผลต่อการแก้ไขความหนาของครีบด้วย เช่นการขยายตัวของแม่พิมพ์ เครื่องจักรที่ใช้ทำงาน [3]

กรรมวิธีการผลิตแบบเดิมที่โรงงานใช้คือ การทุบขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์ปิดแบบมีครีบ (Closed-Die Forging with Flash) รูปที่ 1 ซึ่งข้อเสียที่พบคือ ชิ้นงานหลังจากการทุบขึ้นรูปมีขนาดไม่ได้ตามแบบที่

ต้องการ ชิ้นงานเสียหายเป็นจำนวนมากเช่น ชิ้นงานไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานแตกร้าว[4]



รูปที่ 1 การทุบขึ้นรูปในแม่พิมพ์ปิดแบบมีครีบ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากผู้ประกอบการเกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนในยานยนต์ (IT Forging Thailand Co., Ltd. เพื่อร่วมมือกันในการวิจัยศึกษาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานทุบขึ้นรูปร้อนของชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งในงานวิจัยจะนำแบบแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนเดิมที่ทางโรงงานใช้อยู่มาจำลองแบบด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อปรับเทียบค่าให้มีความแม่นยำแล้วจึงออกแบบแม่พิมพ์ใหม่เพื่อให้ความสามารถในการใช้งานให้มากกว่าเดิม

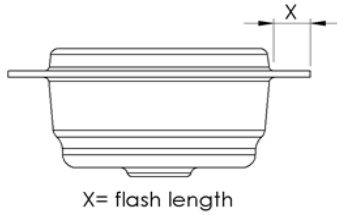


รูปที่ 2 แสดงชิ้นงานล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวที่อยู่  
ในเครื่องยนต์

## 2. การสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45CL1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงานก่อนทุบขึ้นรูปร้อนอยู่ที่ 1200 °C ชิ้นงานที่ใช้ทุบขึ้นรูปล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวที่ทางโรงงานเลือกใช้มีขนาด  $\varnothing 52 \times 100^{+2}_0$  mm เมื่อผ่านกระบวนการทุบขึ้นรูปจะได้ชิ้นงานล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวดังแสดงในรูปที่ 3 และมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1



X= flash length

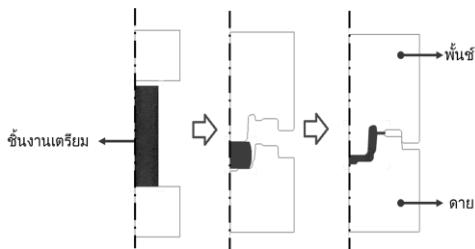
รูปที่ 3 ชิ้นงานล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว

ตารางที่1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ (mass %) [5]

วัสดุ	C	Si	Mn	P	S	N	Pb
S45C	0.43	0.25	0.73	0.011	0.018	0.0030	-
S45CL1	0.43	0.25	0.71	0.012	0.014	0.0023	0.06

กระบวนการชุบขึ้นรูปชิ้นงานจะประกอบด้วย  
ขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ

- pre-form
- forming
- calibrate and trimming



รูปที่ 4 แสดงลำดับขั้นตอนการชุบขึ้นรูปชิ้นงาน

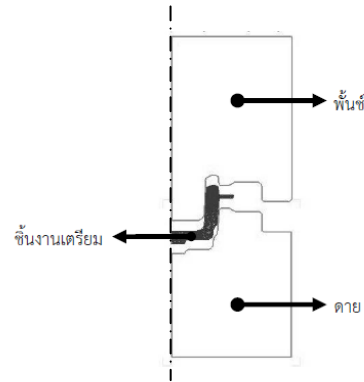
## 2.2 การใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการชุบขึ้นรูปชิ้นงาน

ในงานวิจัยการปรับปรุงกระบวนการชุบขึ้นรูป  
ล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิ  
เมนต์ DEFORM 2D ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์  
ปัญหาทางใน 2 มิติ ลำดับขั้นตอนการใช้โปรแกรมไฟไนต์  
เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์การชุบขึ้นรูปชิ้นงาน แบ่ง  
ออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

- ก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)
- การประมวลผล (Solving)

- แสดงการประมวลผล (Post-Processing)

การกำหนดรูปแบบการจำลองในงานวิจัยนี้  
เลือกเป็นการกำหนดปัญหาแบบอูณหภูมิไม่คงที่ และเป็น  
แบบปัญหาสมมาตรรอบแกน การจำลองแบบงานชุบขึ้น  
รูปชิ้นงาน จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้  
ในการวิเคราะห์ทางกระบวนการดังรูปที่5



รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชิ้นงานแบบจำลองถูกกำหนดให้ใช้เอลิเมนต์ใน  
การวิเคราะห์ที่ 5000 เอลิเมนต์ และเงื่อนไขของ  
เครื่องจักรที่ใช้ในการจำลองแบบใช้ตามเครื่องจักรที่ใช้ใน  
การทดลองจริง คือ Mechanical Press ขนาด 2500  
Ton ความเร็วชุบขึ้นรูป ในแนว -Y 710 mm/s ดัง  
ตารางที่2

ตารางที่2 เงื่อนไขการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

เงื่อนไขการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์	
ความเร็วในการชุบขึ้นรูป	710 mm/s
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	0.3
จำนวนเอลิเมนต์	5000 เอลิเมนต์
ลำดับการจำลอง (step)	400
อุณหภูมิชิ้นงาน	1200 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์	150 °C

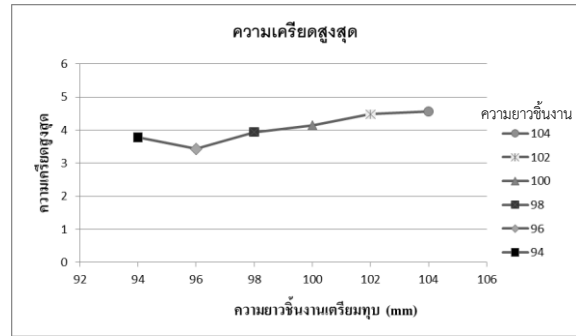
การประมวลผลทำการคำนวณโดยใช้ระเบียบ  
วิธีการเชิงตัวเลขของ นิวตัน-ราฟสัน ในการแก้ปัญหา  
สำหรับกระบวนการจำลองการชุบขึ้นรูปชิ้นงาน

3. ปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ขนาดชิ้นงานเตรียมทูป

3.1 การจำลองแบบชิ้นงานที่ความยาวชิ้นงานเตรียมทูปต่างกัน

การจำลองการทูปขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เลือกใช้ความยาวชิ้นงานเตรียมทูป ดังนี้ 104, 102, 100, 98, 96, 94 mm ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 mm และวัดความยาวครีบบนชิ้นงานด้วยคำสั่งวัดความยาวของโปรแกรม จากการจำลองการทูปขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ยังสามารถทราบถึงแนวโน้มของแรงที่ใช้ในการทูปขึ้นรูป ความเค้นและความเครียดของชิ้นงานได้ดังที่แสดงในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6(ก) พบว่าแรงที่ใช้ในการทูปขึ้นรูปชิ้นงานจะลดลงเมื่อความยาวชิ้นงานเตรียมทูปลดลง แรงที่ใช้ในการทูปขึ้นรูปมากที่สุดอยู่ที่ขนาดของbillet size 104mm และแรงน้อยที่สุดอยู่ที่ขนาดของbillet size 94mm รูปที่ 6(ข) พบว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวชิ้นงานเตรียมทูปมีขนาดลดลง แต่จากรูปที่ 6(ค) ความเครียดสูงสุด ที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานมีแนวโน้มค่อนข้างคงตัว



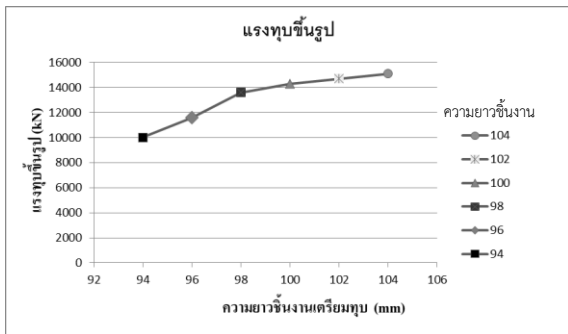
(ค)

รูปที่ 6 กราฟแสดงการจำลองการทูปขึ้นรูปที่ขนาดชิ้นงานเตรียมทูปต่างกัน (ก)แรงทูปขึ้นรูป (ข)ความเค้นสูงสุด (ค)ความเครียดสูงสุด

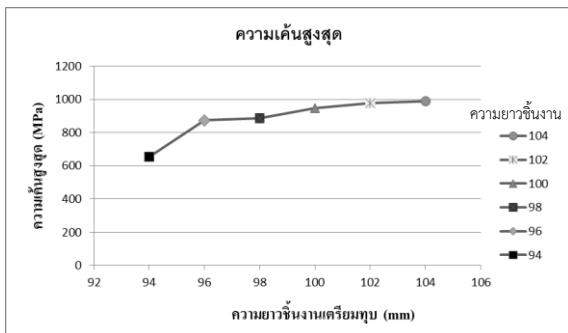
3.2 การทดลองทูปขึ้นรูปชิ้นงาน

ในปัจจุบันยังมีการผลิตชิ้นงานจริงอยู่ในอุตสาหกรรม ชิ้นงานที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการจำลองโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงทำให้ไม่สามารถทดลองได้ทุกช่วงความยาว จึงเลือกช่วงความยาวของชิ้นงานมา 4 ช่วง ดังนี้ 102, 100, 96, 94 mm

วัสดุชิ้นงานสำหรับงานวิจัยคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45CL1) ที่ขนาด  $\varnothing 52 \times 102$  mm,  $\varnothing 52 \times 100$  mm,  $\varnothing 52 \times 96$  mm,  $\varnothing 52 \times 94$  mm อย่างละ 5 ชิ้น ชิ้นงานจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1200° C ก่อนการทูปขึ้นรูป เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองใช้เป็นแบบ Mechanical Press ขนาด 2500 Ton ความเร็วทูปขึ้นรูป ในแนว -Y 710 mm/s ดังรูปที่ 7



(ก)



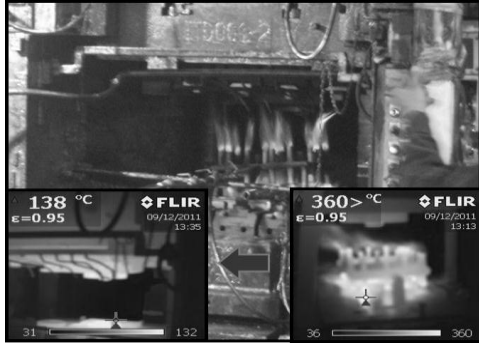
(ข)



รูปที่ 7 Mechanical Press ขนาด 2500 Ton

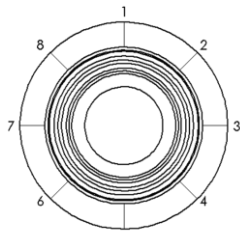
อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทูปขึ้นรูปชิ้นงาน จะถูกให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 300-400° C

ก่อนติดตั้งเครื่องเพรสขนาด 2500 Ton และอุณหภูมิแม่พิมพ์จะลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 150° C หลังจากติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนทُبขึ้นรูป

หลังจากผ่านกระบวนการทُبขึ้นรูปจะได้ชิ้นงานล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งชิ้นงานที่ได้จะไม่นำไปเข้ากระบวนการตัดครีบ เนื่องจากต้องการตรวจวัดความยาวครีบเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และเนื่องจากชิ้นงานที่ทُبขึ้นรูปเสร็จแล้วมีความยาวครีบที่ขบไม่เท่ากันตลอดเส้น รอบวง จึงทำการแบ่งจุดที่จะวัดความยาวครีบชิ้นงานออกเป็น 8 จุดรอบชิ้นงานดังรูปที่9



รูปที่ 9 ตำแหน่งที่วัดความยาวครีบชิ้นงาน

และหาค่าเฉลี่ยของความยาวครีบชิ้นงาน เมื่อได้ค่าเฉลี่ยความยาวครีบของชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้น (ในหนึ่งความยาวของชิ้นงานเตรียมทُبจะทำการทดลอง 5 ชิ้นงาน) จะทำการหาค่าเฉลี่ยความยาวครีบของชิ้นงานอีกครั้ง จนได้ค่าเฉลี่ยความยาวครีบชิ้นงานครบทุกขนาดของชิ้นงานเตรียมทُب (102, 100, 96, 94 mm) ที่ทำการทดลองแล้วจึงจะนำผลการทดลองไปวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า

ความยาวครีบชิ้นงานที่ได้จากการทดลองจริงกับการจำลองการทُبขึ้นรูปชิ้นงานโดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

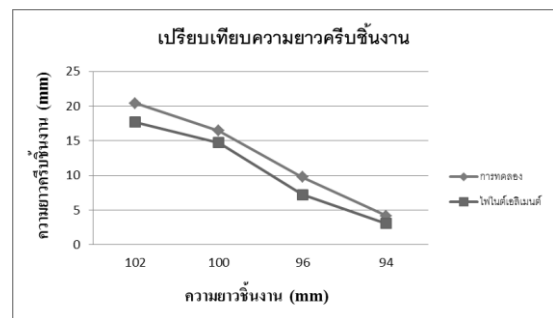
### 3.3 เปรียบเทียบผลการวัดความยาวครีบ

หลังจากที่ได้ค่าความยาวครีบของชิ้นงานจากการทดลองและจากการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จะนำค่าความยาวครีบทั้งสองส่วนมาทำการเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ดูความแม่นยำของโปรแกรมการจำลองงานทُبขึ้นรูปและแนวโน้มของครีบชิ้นงานที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าความยาวครีบของชิ้นงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าความยาวครีบชิ้นงานที่วัดจากการทดลองและการจำลองแบบ

ความยาวชิ้นงาน (mm)	ความยาวครีบชิ้นงาน mm (FEM)	ความยาวครีบชิ้นงาน mm (EXP)	ผลต่างความยาวครีบชิ้นงาน (mm)
102	17.67	20.42	2.75
100	14.71	16.44	1.73
96	7.23	9.77	2.54
94	3.04	4.18	1.14

เมื่อนำค่าที่อยู่ในตารางที่ 2 มาสร้างกราฟจะเห็นได้ว่าชิ้นงานทُبขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง และที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ มีแนวโน้มความยาวครีบชิ้นงานลดลงดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบความยาวครีบชิ้นงาน

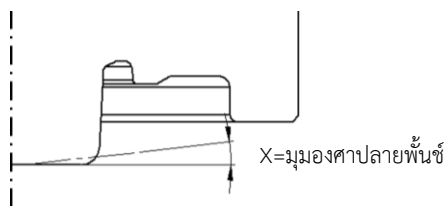
จากรูปที่ 10 พบว่าที่ขนาดชิ้นงานเตรียมทُبลดลงมีผลทำให้ความยาวครีบที่เกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย

ซึ่งแนวโน้มการลดลงของความยาวครีบก้นงานทั้งในส่วนของการทดลองและในส่วนของการจำลองด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเนื่องจากความยาวครีบก้นงานที่เกิดขึ้นจากการทุบขึ้นรูปชิ้นงานเตรียมทุบยาว 94 mm มีความยาวครีบก้นไม่พอที่แม่พิมพ์ตัดครีบก้นจะกดจับได้ ขนาดชิ้นงานเตรียมทุบที่น้อยที่สุดที่ใช้งานจริงจึงเลือกที่ขนาดความยาวชิ้นงานเตรียมทุบที่ 96 mm

4. ปรับปรุงกระบวนการผลิตที่รูปทรงแม่พิมพ์

4.1 การจำลองแบบชิ้นงานที่มุมมองศาลายพันธ์ต่างกัน

หลังจากได้ความยาวชิ้นงานเตรียมทุบที่น้อยที่สุดที่ใช้ในงานทุบขึ้นรูปมาแล้ว จะทำการจำลองแบบการทุบขึ้นรูปชิ้นงานที่ขนาดของมุมมองศาลายพันธ์ที่ต่างกัน ซึ่งมุมมองศาลายพันธ์เดิมมีค่า 0 องศา ในการจำลองแบบการทุบขึ้นรูปกำหนดให้ทดลองที่มุม 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 องศา เพื่อนำไปเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูป ความเค้นสูงสุด และความเครียดสูงสุดของชิ้นงาน ลักษณะของมุมมองศาลายพันธ์แสดงในรูปที่ 11

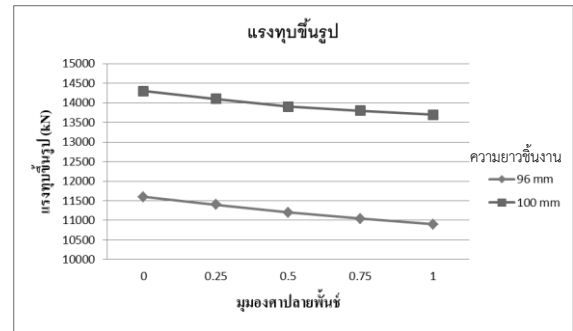


รูปที่ 11 แสดงมุมมองศาลายพันธ์

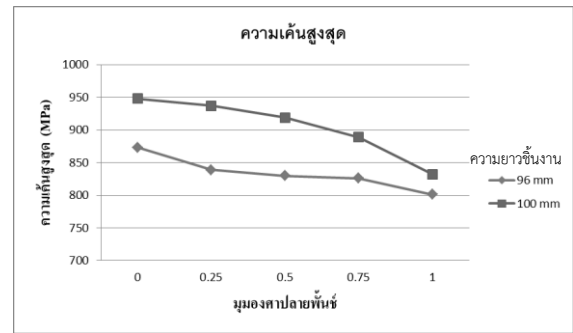
การจำลองการทุบขึ้นรูปที่มุมมองศาลายพันธ์ต่างกันเลือกใช้ที่ขนาดชิ้นงานเดิมคือ 100 mm และที่ขนาดชิ้นงานที่สั้นที่สุดที่ใช้งานได้คือ 96 mm ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่12

จากผลการจำลองการทุบขึ้นรูปชิ้นงานโดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าที่มุมมองศาลายพันธ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูปจะลดลง และความเค้นสูงสุดของชิ้นงานจะลดลงด้วยเช่นกัน เนื่องจาก

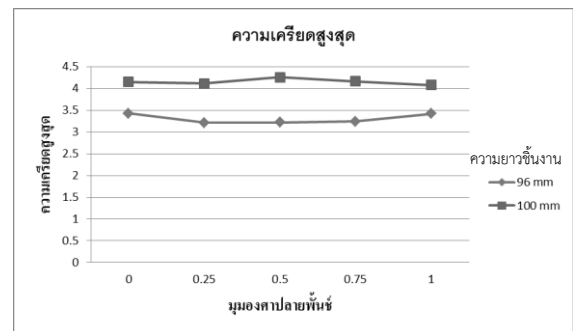
การไหลตัวของวัสดุชิ้นงานที่บริเวณมุมมองศาลายพันธ์สามารถไหลตัวได้ดีมากขึ้น



(ก)



(ข)



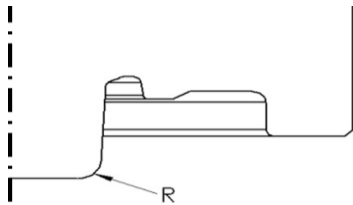
(ค)

รูปที่ 12 กราฟแสดงการจำลองการทุบขึ้นรูปที่ขนาดมุมมองศาลายพันธ์ต่างกัน (ก)แรงทุบขึ้นรูป (ข)ความเค้นสูงสุด (ค)ความเครียดสูงสุด

4.2 การจำลองแบบชิ้นงานที่รัศมีปลายพันธ์ต่างกัน

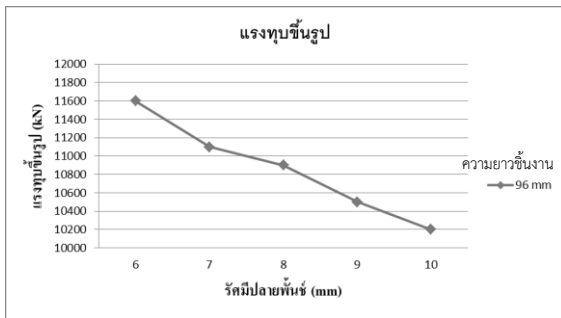
จากการจำลองแบบชิ้นงานที่มุมมองศาลายพันธ์ต่างกัน ได้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดคือขนาดความยาวชิ้นงานเตรียมทุบ 96 mm และมุมมองศาลายพันธ์ 1 องศา ต่อจากนั้นจะนำมาปรับปรุงต่อในส่วนของรัศมีปลายพันธ์

ซึ่งขนาดเดิมของแม่พิมพ์คือ 8 mm และได้กำหนดรัศมีปลายพื้นที่จะจำลองคือ 6, 7, 8, 9, 10 mm เพื่อนำไปเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูป ความเค้นสูงสุด และความเครียดสูงสุดของชิ้นงาน ลักษณะของรัศมีปลายพื้นที่แสดงในรูปที่ 13

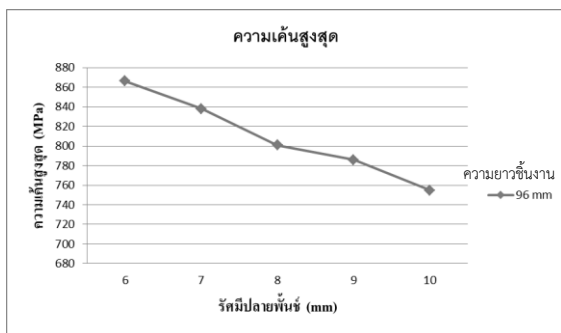


รูปที่ 13 รัศมีปลายพื้นที่ (R)

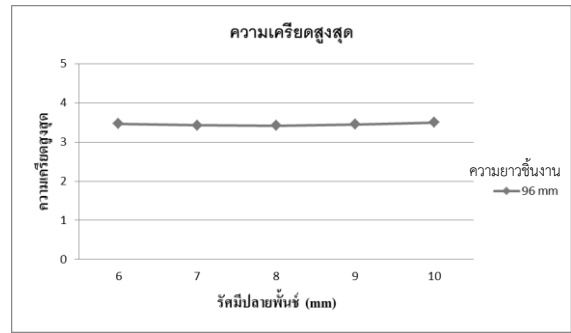
หลังจากจำลองการทุบขึ้นรูปที่ขนาดรัศมีปลายพื้นที่ต่างกันได้ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 14 จากผลการจำลองการทุบขึ้นรูปชิ้นงานโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าที่ขนาดรัศมีปลายพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูปจะลดลง และความเค้นสูงสุดของชิ้นงานจะลดลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากการไหลตัวของวัสดุชิ้นงานที่บริเวณรัศมีปลายพื้นที่สามารถไหลตัวได้ดีมากขึ้น



(ก)



(ข)

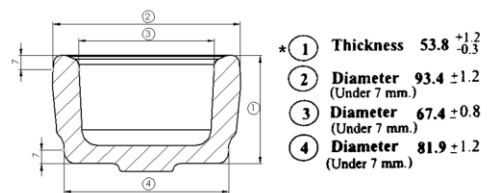


(ค)

รูปที่ 14 กราฟแสดงการจำลองการทุบขึ้นรูปที่ขนาดรัศมีปลายพื้นที่ต่างกัน (ก)แรงทุบขึ้นรูป (ข)ความเค้นสูงสุด (ค)ความเครียดสูงสุด

#### 4.3 การเปรียบเทียบมิติของชิ้นงานจากแม่พิมพ์เดิมกับแม่พิมพ์ที่ปรับปรุงใหม่

จากการจำลองการทุบขึ้นรูปของชิ้นงานล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวตั้งแต่การลดขนาดความยาวของชิ้นงานเตรียมทุบ การปรับปรุงในส่วนของแม่พิมพ์ เช่น มุมองศาปลายพื้นที่ รัศมีปลายพื้นที่ พบว่าที่ขนาดความยาวชิ้นงานเตรียมทุบ 96 mm มุมองศาปลายพื้นที่ 1 องศา และรัศมีปลายพื้นที่ 10 mm ใช้แรงในการทุบขึ้นรูปน้อยที่สุด และความเค้นสูงสุดมีค่าน้อยที่สุดด้วย เมื่อนำชิ้นงานมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการผลิตเดิมเพื่อตรวจสอบถึงมิติของชิ้นงานดังในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงจุดการตรวจวัดมิติชิ้นงาน

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่ามิติของชิ้นงานเดิมกับชิ้นงานใหม่มีขนาดอยู่ในพิสัยที่แบบงานกำหนดโดยจุดตรวจสอบที่ 1 และ 4 ชิ้นงานใหม่มีขนาดลดลง และจุดตรวจสอบที่ 2 และ 3 ชิ้นงานใหม่มีขนาดเพิ่มขึ้น และยังสามารถนำมาเปรียบเทียบในส่วนอื่นดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่4 แสดงผลการเปรียบเทียบมิติชิ้นงานทุบขึ้นรูป

จุดตรวจสอบ	ชิ้นงานเดิม (FEM) B100_A0_R8	ชิ้นงานใหม่ (FEM) B96_A1_R10	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่าง
1	54.64 mm	54.60 mm	- 0.073 %
2	94.00 mm	94.06 mm	+ 0.063 %
3	68.14 mm	68.16 mm	+ 0.029 %
4	83.14 mm	83.12 mm	- 0.024 %

และจากการจำลองการทุบขึ้นรูปชิ้นงานที่มุมมองศาลาย  
พื้นซ์และรัศมีปลายพื้นซ์ที่ขนาดต่างๆ สรุปได้ว่าที่ม  
องศาลายพื้นซ์ 1 องศาและรัศมีปลายพื้นซ์ 10 mm ใช้  
แรงในการทุบขึ้นรูปน้อยที่สุดและเมื่อนำมาเปรียบกับ  
แม่พิมพ์แบบเดิมพบว่าแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูปลดลง  
28.77 % ความเค้นลดลง 20.46 % และเมื่อพิจารณา  
น้ำหนักชิ้นงานยังพบว่าลดลง 4.23 %

ตารางที่5 แสดงการเปรียบเทียบที่ตัวแปรต่างๆ

ตัวแปรที่เปรียบเทียบ	ชิ้นงานเดิม (FEM) B100_A0_R8	ชิ้นงานใหม่ (FEM) B96_A1_R10	เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่าง
แรงทุบขึ้นรูป (kN)	14268	10162	- 28.77 %
ความเค้น (MPa)	948	754	- 20.46 %
ความเครียด	4.154	3.504	- 15.65 %
มวลชิ้นงาน (kg)	1.66	1.59	- 4.23 %

จากตารางที่5 จะเห็นได้ชัดเจนว่าชิ้นงานที่ได้  
จากกระบวนการผลิตใหม่สามารถลดแรงที่ใช้ในการทุบ  
ขึ้นรูปและความเค้นสูงสุดของชิ้นงานลงได้ และเมื่อดูจาก  
น้ำหนักของชิ้นงานที่ได้ ยังสามารถลดการใช้วัสดุชิ้นงาน  
ได้อีกด้วย

### 5. สรุปผลการวิจัย

จากผลของงานวิจัยการปรับปรุงกระบวนการ  
ทุบขึ้นรูปล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยวสามารถทำให้ทราบได้  
ว่า ชิ้นงานเตรียมทุบที่มีความยาวสั้นลงมีผลให้ทำให้แรงที่  
ใช้ในการทุบขึ้นรูปและความเค้นที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลง  
เนื่องจากเนื้อวัสดุชิ้นงานที่ไหลผ่านช่องว่างของครีบน้อยลง  
ซึ่งในงานวิจัยได้ความยาวชิ้นงานเตรียมทุบที่สั้นที่สุดคือ 96 mm ในส่วนของการปรับปรุงแม่พิมพ์พบว่า  
มุมมองศาลายพื้นซ์และรัศมีปลายพื้นซ์ที่มีค่ามากขึ้นมีผล  
ทำให้แรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูปและความเค้นที่เกิดขึ้นมี  
แนวโน้มลดลงเช่นกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์เป็นไปได้อีกว่า  
สาเหตุที่ทำให้แรงทุบขึ้นรูปและความเค้นลดลง เกิดจาก  
การไหลตัวของเนื้อวัสดุชิ้นงานสามารถไหลตัวในแม่พิมพ์  
ที่บริเวณมุมมองศาลายพื้นซ์และรัศมีปลายพื้นซ์ได้ดีขึ้น

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.N. Bramley, D.J. Mynors. The use of forging simulation tools, Materials and Design, vol. 21, 2000, pp. 279-286.
- [2] E. Doege, R. Bohnsack. Closed die technologies for hot forging, Journal of Materials Processing Technology, vol. 98, 2000, pp. 165-170.
- [3] B. Tomov, R. Radev, V. Gagov. Influence of flash design upon process parameters of hot die forging, Journal of Materials Processing Technology, vol. 157-158, 2004, pp. 620-623.
- [4] Victor Vazquez, Taylan Altan. Die design for flashless forging of complex parts, Journal of Materials Processing Technology, vol. 98, 2000, pp. 81-89.
- [5] JFE Steel Corporation, Tokyo, Japan, URL:[http://www.jfe-steel.co.jp/products/car/products/pdf/V3J-00\\_50.pdf](http://www.jfe-steel.co.jp/products/car/products/pdf/V3J-00_50.pdf), access on 4/01/2012.