

อิทธิพลของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อคุณภาพชิ้นงาน ในการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม

มนฤดี ผาบลิมมา^{1*}, กังวาล นาคศุภรังษี², สว่าง ฉันทวิทย์³

^{1,2,3}สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120 โทร. 02-2879600
Email. : yiemolly@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการลากขึ้นรูปลึกได้พัฒนามากขึ้นมีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบตำแหน่งที่ไม่ต้องการให้มีร่องรอยของดรอร์ปิด บนชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคใหม่เพื่อไม่ให้เกิดร่องรอยของ ดรอร์ปิดขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าที่เหมาะสมของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างส่วนเรียบตรงกับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม ด้วยวิธีการกำหนดอัตราส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าต่างๆ โดยใช้วัสดุเหล็กกล้ารีดเย็นตามมาตรฐาน JIS SPCC ความหนา 0.5 มิลลิเมตรใช้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมเท่ากับ 0.057, 0.061, 0.067, 0.073, และ 0.080 ตามลำดับและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานส่วนเรียบตรงคงที่ 0.16 ขนาดชิ้นงานกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร ลึก 50 มิลลิเมตรหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว ใช้ความเร็วในการลากขึ้นรูปคงที่ 35 mm/sec จากผลลัพธ์การจำลอง และการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำจะทำให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปชิ้นงานดีขึ้นและในขณะเดียวกันอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยังมีค่ามากยิ่งทำให้การลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามรัศมีพันซ์และรัศมีปากตายต่ำจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณก้นถ้วยมีค่ามากขึ้นและยังส่งผลต่อแรงในการลากขึ้นรูปที่มากขึ้นตามขนาดของรัศมีพันซ์และรัศมีปากตายที่เปลี่ยนไป การลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมยิ่งมากยิ่งจะเป็นผลดีต่อการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม และจากผลการวิจัยยังพบว่าการใช้ระบบเปียกวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการทำนายกระบวนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อลดต้นทุนการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์รวมถึงช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดีและสามารถทำให้ทราบถึงเงื่อนไขขอบเขตความสามารถในการลากขึ้นรูปลึกรวมถึงการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ในการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการลากขึ้นรูปลึกได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ กระบวนการลากขึ้นรูปลึก/ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน/ การออกแบบแม่พิมพ์/ ไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

Now days, to designing products in deep drawing technology are more complicate especially, to design of the unwanted of draw bead on work-piece. So, the new techniques are requiring designing for decrease draw bead. Therefore, this research aims to study the ratio of friction coefficient between the strain edge and corner of rectangular box deep drawing process by using standard JIS SPCC cold roll steel material, 0.5 mm of thickness. Friction coefficient in box corner were used; .057, .061, 0.067, 0.073, and 0.080 respectively, and friction coefficient in staring edge fixed to 0.16 with 100 x 120 x 50 mm of box sized, with lubricant oil, deep drawing velocity 35 mm/ sec. The results from

simulation and experiment found that the form ability increase when the friction coefficient decrease meanwhile, when the friction coefficient ratio increase the efficiency of rectangular box deep drawing increase too. However, as the punch and die radius decrease results to increase the strain on bottom corner of box and deep drawing force increase. To reduce the friction coefficient in bottom corner of box was increase the deep drawing efficiency. That is to say, the finite element simulation can prediction of the deep drawing box to reduce cost in design and manufacturing tools and forming ability conditions for use these available in rectangular box deep drawing process.

Keyword: Deep drawing process/ Friction Coefficient / Die Design/Finite Element

บทนำ

กระบวนการลากขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและมีการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากหากออกแบบแม่พิมพ์ไม่ดีอาจทำให้เสียเวลาในการลองผิดลองถูก ต้นทุนการผลิตสูง สิ่งเหล่านี้อาจเกิดจากตัวแปรอื่นที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพชิ้นงาน เช่น สัดส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน [1] ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดรอยย่น รัศมีปาดาย การออกแบบและติดตั้งดรรชนีเปิดและการไหลตัวของวัสดุ [2-7] แต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างส่วนเรียบตรงกับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมในการทดแทนการใช้ดรรชนีเปิดโดยวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับการทดลอง กำหนดเงื่อนไขการออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแตกต่างกัน 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งมุมกล่องสี่เหลี่ยม และตำแหน่งของส่วนเรียบตรง เพื่อให้ได้ความสามารถในการลากขึ้นรูปที่เหมาะสมต่อไป

การดำเนินงานวิจัย

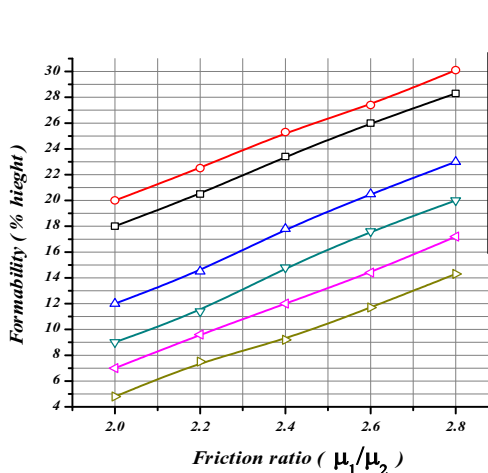
งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ การจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม (μ_1) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.057, 0.061, 0.067,

0.073 และ 0.08 ตามลำดับ และบริเวณส่วนเรียบตรง (μ_2) กำหนดให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 0.16 อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมและบริเวณส่วนเรียบตรง มีค่าเท่ากับ 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, และ 2.8 ตามลำดับ เพื่อให้แผ่นชิ้นงานเริ่มต้นไหลลงสู่ปาดายพร้อมกันและความสามารถในการลากขึ้นรูปที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ผลการจำลองและการทดลอง

จากผลลัพธ์การทดลองผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานส่วนเรียบตรง μ_1 และตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม μ_2 ในอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ระดับต่าง ๆ และใช้รัศมีปาดายในอัตราส่วนต่างกัน 6 ระดับ ดังภาพที่ 1 พบว่า อิทธิพลของอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีผลต่อความสามารถในการลากขึ้นรูปมาก กล่าวคือ อัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าน้อยส่งผลให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นความสามารถในการลากขึ้นรูปจะสูงขึ้นตามลำดับเนื่องจากการไหลตัวของเนื้อวัสดุในส่วนเรียบตรงกับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมเริ่มไหลตัวลงสู่ปาดายพร้อมกันและสามารถช่วยลดค่าความเครียดในแนวตั้งได้ อย่างไรก็ตามค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงยังเกิดขึ้นในทุกๆขั้นตอนการกดลากขึ้นรูปดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงโดยการกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพื้นที่กับรัศมีปาดายที่เหมาะสม

หากกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพื้นที่กับรัศมีตายน้อยไป(P5/D15) จะทำให้เกิดความเครียดในแนวเส้นรอบวงต่ำแต่เกิดความเครียดในแนวดิ่งมากขึ้น และเมื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพื้นที่กับรัศมีตายมากไป (P15/D25, P20/D30, P25/D35, P30/D40) จะทำให้เกิดค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงมากขึ้น ดังภาพที่ 1 อัตราส่วนระหว่างรัศมีพื้นที่กับตายที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 2 เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นผู้วิจัยได้นำเสนอพฤติกรรมการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจากการจำลองและการทดลองมาเปรียบเทียบค่าความเค้น-ความเครียดเพื่ออธิบายพฤติกรรมดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นในทุกๆตำแหน่งของขั้นตอนการลากขึ้นรูปว่ามีความสอดคล้องกันอย่างไร ดังภาพที่ 2, 3, 4, 5 และ 6



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการลากขึ้นรูปกับอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองกับการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมเปลี่ยนรูปถาวรโดยสังเกตจากค่าความเค้น-ความเครียดในทุกๆตำแหน่งของขั้นตอนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองกำหนดขนาดของรัศมีพื้นที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 15, 20, 25, 30, 35

และ 40 คู่กันตามลำดับ จากนั้นนำผลการทดลองและจำลองมาเปรียบเทียบค่าความเค้น-ความเครียดพบว่าผลลัพธ์การจำลองและการทดลองมีแนวโน้มไปในทางทิศเดียวกัน และมีความสอดคล้องกัน จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ 2 ประเด็นดังนี้

อิทธิพลของความเครียดที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานในขณะลากขึ้นรูปเกิดจากการไหลตัวของวัสดุลงสู่เบ้าตายไม่พร้อมเพียงกันเนื่องจากรัศมีพื้นที่และรัศมีตาย ถ้ารัศมีพื้นที่ตายมีขนาดโตขึ้นทำให้การไหลตัวของเนื้อวัสดุลงในเบ้าตายดีขึ้นใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นรูปต่ำในทางตรงข้ามถ้ารัศมีพื้นที่ตายมีขนาดเล็กลงทำให้การไหลตัวของเนื้อวัสดุลงในเบ้าตายไม่ดีใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นรูปสูงผลตามมาทำให้เกิดความเครียดมากตาม

อิทธิพลของความเค้นที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานในขณะลากขึ้นรูปพบว่า ในขณะมีการลากขึ้นรูปแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ค่าความเค้นในแต่ละตำแหน่งมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากบางตำแหน่งเกิดความเค้นดิ่งเพียงอย่างเดียวและบางตำแหน่งเกิดทั้งความเค้นดิ่งและความเค้นอัดและบางตำแหน่งเกิดเฉพาะความเค้นอัดเพียงอย่างเดียวทำให้ค่าความเค้นประสิทธิผลมีความแตกต่างกัน

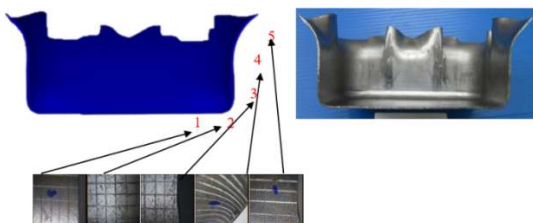
การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 รัศมีพื้นที่ 5 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 15 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์ความเครียดผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งไว้ 5 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วย ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วย ตำแหน่งที่ 3 ผงก้นถ้วย ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วย ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วย ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง พบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.106 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.104 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่า

ความเครียดจากการจำลองได้ 0.075 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.075 ตำแหน่งที่ 3 ผนังถ้วยค่าความเครียดจะมีค่ามากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.136 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.139 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะสูงเล็กน้อยวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0891 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.089 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0292 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.028 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 3 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงที่กลางระหว่างกันถ้วยกับปากถ้วยที่ถูกยึดตัวแทบอยู่กับที่ส่วนบริเวณใกล้เคียงจะมีค่าความเครียดลดลงตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดจากการจำลองกับการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 1

จุดที่ กรณี1	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.106	0.075	0.136	0.089	0.029
ทดลอง	0.104	0.074	0.139	0.089	0.028



(ก) กรณีที่ 1 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง



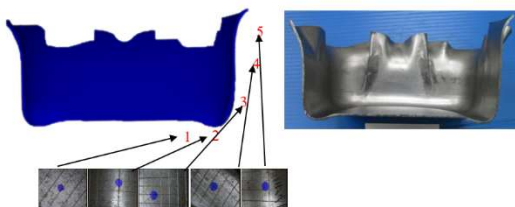
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพื้น 5 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 15 มิลลิเมตร

การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 2 รัศมีพื้น 10 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 20 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 2 และ ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.130 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.128 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.189 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.185 ตำแหน่งที่ 3 ผนังถ้วยค่าความเครียดจะเริ่มมีค่ามากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.109 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.111 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะสูงที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 1.047 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 1.044 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0643 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.0640 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวยังเป็นช่วงที่ถูกดึงยึดระหว่างกันถ้วยกับปากถ้วยที่ถูกยึดตัวเกือบจะอยู่กับที่ อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่ 4 ค่าความเครียดแม้ว่าจะสูงแต่ยังส่งผลดีต่อความสามารถในการลากขึ้นรูป

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 2

จุดที่ กรณี 2	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.130	0.189	0.109	1.047	0.064
ทดลอง	0.128	0.185	0.111	1.044	0.064



(ก) กรณีที่ 2 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง



ค่าความเครียด

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพื้นซ์ 10 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 20 มิลลิเมตร

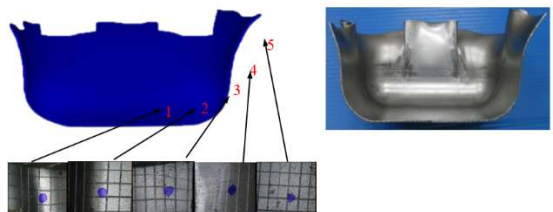
การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 3 รัศมีพื้นซ์ 15 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 25 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 4 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นด้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.153 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.152 ตำแหน่งที่ 2

รัศมีก้นด้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.150 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.153 ตำแหน่งที่ 3 พื้นซ์ด้วยค่าความเครียดเริ่มสูงมากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.189 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.187 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากด้วยค่าความเครียดจะสูงมากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 1.150 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 1.160 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากด้วยค่าความเครียดจะลดต่ำลงอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.429 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.427 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงที่เกือบถึงกลางระหว่างกันด้วยกับปากด้วยที่ถูกยึดตัวแทบอยู่กับที่ดังนั้นตำแหน่งที่ 2, 3, 4 จะมีโอกาสดึงยึดมากที่สุด ผลของการดึงยึดจะทำให้เกิดความเครียดบนเนื้อวัสดุ หากค่าความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าสมบัติวัสดุจะทำให้วัสดุนั้นเกิดการแตกหักทันที

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 3

จุดที่ กรณี 3	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.153	0.150	0.189	1.150	0.429
ทดลอง	0.152	0.153	0.187	1.160	0.427



(ก) กรณีที่ 3 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง



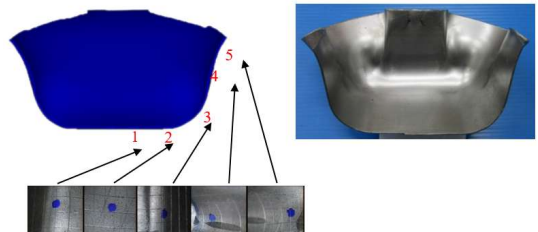
ภาพที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพินซ์ 15 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 25 มิลลิเมตร

การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลอง กรณีศึกษาที่ 4 รัศมีพินซ์ 20 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 30 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 4 และ ภาพที่ 5 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลอง พบว่าตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดมีค่าต่ำแต่จะเริ่มมีค่ามากกว่ากรณีอื่น ๆ ที่ผ่านมาวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.147 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.149 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.183 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.179 ตำแหน่งที่ 3 พ้นก้นถ้วยค่าความเครียดจะมีค่าต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.115 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.112 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะมีค่ามากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.485 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.490 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะมีค่าสูงสุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.780 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.782 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 5 เนื่องจากปิกถ้วยในบริเวณดังกล่าวเกิดการจับจีบขึ้นรอบ ๆ ปากถ้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้ตำแหน่งดังกล่าวถูกดึงยืดมากขึ้นและมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ผลของการจับจีบที่มากเกินไปทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายขึ้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 4

จุดที่ กรณี 4	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.147	0.183	0.115	0.485	0.780
ทดลอง	0.149	0.179	0.112	0.490	0.782



(ก) กรณีที่ 4 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 4 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพินซ์ 20 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 30 มิลลิเมตร

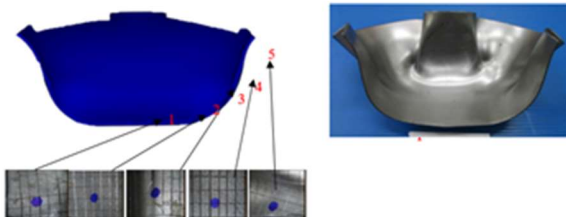
การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลอง กรณีศึกษาที่ 5 รัศมีพินซ์ 25 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 35 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 5 และ ภาพที่ 6 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลอง พบว่าตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.123 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.125 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.187 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.188 ตำแหน่งที่ 3 พ้นก้นถ้วยค่าความเครียดจะมีค่ามากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.940 และวัดค่า

ความเครียดจากการทดลองได้ 0.939 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะสูงเล็กน้อยวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.695 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.690 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.358 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.355 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 3 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเกิดการยึดตัวคล้ายกับกรณีที่ 1 อย่างไรก็ตามบริเวณกันถ้วยไม่สามารถควบคุมรูปร่างได้ทำให้กันถ้วยยุบย่นตัวมากซึ่งไม่เป็นดีต่อกระบวนการลากขึ้นรูปแม้ว่าจะขึ้นรูปได้แต่ตำหนิที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นผลดีต่อชิ้นงานสำเร็จ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 5

จุดที่ กรณี 5	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.123	0.187	0.940	0.695	0.358
ทดลอง	0.125	0.188	0.939	0.690	0.355



(ก) กรณีที่ 5 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 5 ที่ได้จากการทดลอง



ค่าความเครียด

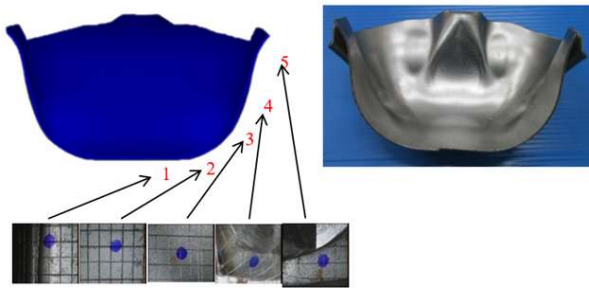
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพินซ์ 25 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 35 มิลลิเมตร

การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 6 รัศมีพินซ์ 30 มิลลิเมตรและรัศมีปากตาย 40 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 6 และ ภาพที่ 7 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่าตำแหน่งที่ 1 บริเวณกันถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.368 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.366 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีกันถ้วยค่าความเครียดจะเริ่มมากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.780 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.787 ตำแหน่งที่ 3 พนักถ้วยค่าความเครียดจะลดลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.148 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.151 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.585 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.588 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงอีกวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.234 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.235 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 2 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวยังเป็นช่วงเกือบกึ่งกลางระหว่างกันถ้วยกับปากถ้วยที่ถูกยึดตัว อย่างไรก็ตามชิ้นงานสำเร็จยังจับจีบมากเกินไปส่งผลให้ลากขึ้นรูปต่อไปอีกไม่ได้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 6

จุดที่ กรณี 6	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.368	0.780	0.148	0.585	0.234
ทดลอง	0.366	0.787	0.151	0.588	0.235



(ก) กรณีที่ 6 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 6 ที่ได้จากการทดลอง



ค่าความเครียด

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพื้น 30 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 40 มิลลิเมตร

จากผลลัพธ์ของการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาคำตอบการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความสามารถในการลากขึ้นรูป และความเครียดทั้ง 5 ตำแหน่งเพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิตประหยัดเวลาการทำงานช่วยทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปถาวรของชิ้นงานในการทดแทนการลองผิดลองถูกสำหรับช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกก่อก่องสี่เหลี่ยมได้เป็นอย่างดี จากผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงมีแนวโน้มไปในทางทิศเดียวกันและมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [2, 3, 5, 6]

สรุปผลการจำลองและการทดลอง

1. อัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยังมีค่ามากยิ่งทำให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปก่อก่องสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. รัศมีพื้นและรัศมีปากตายเล็กจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณผนังถ้วยมีค่ามากขึ้นและใช้แรงในการลากขึ้นรูปที่มากขึ้น

3. ขณะเดียวกันรัศมีพื้นและรัศมีปากตายมีขนาดโตขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณผนังถ้วยมีค่าลดลง ใช้แรงในการลากขึ้นรูปจะลดลงตาม

4. การใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการทำนายรูปร่างรัศมีพื้นรัศมีตาย วิเคราะห์แรงเสียดทานวิเคราะห์ความเค้น-ความเครียด แรงในการกระบวนการลากขึ้นรูปก่อก่องสี่เหลี่ยมเพื่อลดต้นทุนการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบไร้ ดรอว์ปิดรวมถึงช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์. “ผลกระทบจากดรอว์ปิดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการผลิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: 2542.
- [2] เชษฐ อุทัยยัง. “การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการลากขึ้นรูปลึกโดยใช้สารหล่อลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: 2546.
- [3] ไพศาล เอี่ยมมณี, ธวัชชัย แก้วสีใส, บัญชา วงศ์ศรีทา, และคณะ “อิทธิพลของรัศมีปากตายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก” การประชุมวิชาการชาวยานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554. 21-24 ตุลาคม 2554.
- [4] วารุณี เปรมมานนท์. “การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์” กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี; 2554.
- [5] B.Y. Ghoo and Y. T. Keum. “Expert drawbead models for sectional FEM

analysis of sheet metal forming processes.” Journal of Materials Processing Technology 2000; Vol. 105: (1-2): Pages 7-16.

- [6] F. Mehmet, “An analysis of sheet drawing characteristics with drawbead elements.” Computational Materials Science 2008; Vol.41 (3): Pages 266-2
- [7] Xi Wang and Jian Cao, “An Analytical Prediction of Flange Wrinkling in Sheet Metal Forming” Journal of Manufacturing Process 2000; .Vol. 2: No. 2.