ME-NETT 25
The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

CST70

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การออกแบบสร้างเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคน และวิเคราะห์พฤติกรรมการดัดด้วยระเบียบไฟไนท์เอลิเมนต์

Design of human powered tube bender and bending analysis by using finite element method

วาสนา พรหมศิริพร, สิทธิ โง้ววัฒนา, อนันตพร ธรรมอร่ามกิจ, รวิวัฒน์ รักสัจ
ประพจน์ ขุนทอง และ เจตวีย์ ภัครัชพันธุ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม 10900
*ผู้ติดต่อ: E-mail: fengjwp@ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-942-8555, เบอร์โทรสาร 02-579-4576

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยในปัจจุบันเครื่องดัดท่อได้มีการพัฒนารูปแบบการทำงานเพื่อใช้ในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมขนาดกลางและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น เครื่องดัดท่อระบบไฮโดรลิค เครื่องดัดท่อระบบไฟฟ้า เครื่องดัดท่อระบบไฮโดรลิคไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้ระบบไฮโดรลิคและระบบไฟฟ้ามอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน เป็นผลให้เครื่องดัดท่อมีขนาดใหญ่และราคาสูง อีกทั้งต้นทุนในการบำรุงรักษาเครื่องดัดท่อก็มีราคาสูงและยุ่งยาก การออกแบบและสร้างเครื่องดัดท่อกลมโดยใช้แรงคนเป็นการลดต้นทุนการลงทุน และพัฒนาเครื่องดัดท่อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและอุตสาหกรรมย่อย ทั้งนี้การใช้แรงงานคนเป็นการเพิ่มอัตราการจ้างงานและลดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนเครื่องดัดท่อ จากการออกแบบและสร้างเครื่องดัดท่อแล้วพบว่าเครื่องดัดท่อสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและสามารถรองรับการดัดท่อขนาดตามที่ต้องการได้ และจากการทดลองทาง Finite Element เพื่อศึกษาความเสียหายของท่อที่เกิดจากการใช้งานเครื่องดัดท่อนี้พบว่าขนาดของท่อมีผลต่อการเกิดความเสียหายของท่อที่แตกต่างกัน

คำหลัก: เครื่องดัดท่อ ทฤษฎีการดัด ไฟไนท์เอลิเมนต์

Abstract

Nowadays, pipe bender has been developed toward the more effective model as per the operation of medium to large-sized industries. For instance, hydraulic pipe bender, Electric pipe bender, Electrical Hydraulic pipe bender, hydraulic power systems. The procedure is operating based on the hydraulic and electrical motor approach. Driven as a result, pipe bender are large and expensive as well as the cost of maintenance of the pipe bends are also costly and highly demanding. The use of manual pipe bender, not only assists small-scale industries in cost saving but it also promotes the employment rate. The benefit also lies within the fuel consumption which is supported through the design and

manufacturing of the pipe bender. In addition, for the judicious use, pipe benders are designed according to the various preference sizes. Finite element results from the experiment as to study the damage caused by the work showed that a pipe bender demonstrates the higher chance of damage around the curve area.

Keywords: Pipe bender, Bending theory, Finite element

1. บทนำ

เนื่องด้วยในปัจจุบันเครื่องดัดท่อได้มีการพัฒนารูปแบบการทำงานเพื่อใช้ในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมขนาดกลางและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น เครื่องดัดท่อระบบไฮโดรลิค เครื่องดัดท่อระบบไฟฟ้า เครื่องดัดท่อระบบไฮโดรลิคไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้ระบบไฮโดรลิคและระบบไฟฟ้ามอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน เป็นผลให้เครื่องดัดท่อมีขนาดใหญ่และราคาสูง อีกทั้งต้นทุนในการบำรุงรักษาเครื่องดัดท่อก็มีราคาสูงและยุ่งยาก และมีการแข่งขันกันในท้องตลาดสูงขึ้น ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตก็ต้องปรับปรุงการผลิตให้สูงขึ้นไปด้วย พร้อมทั้งคำนึงถึงทางด้านการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงแต่คุณภาพงานต้องมีประสิทธิภาพที่ดีด้วยเพื่อที่จะแข่งขันกันในตลาดและเพิ่มกำไรให้กับองค์กร การออกแบบและสร้างเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคน เพื่อเป็นการประหยัด ค่าใช้จ่ายให้กับโรงงานขนาดเล็ก ที่มีความสนใจจะนำไปใช้งาน และสามารถนำไปดัดแปลงใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขับได้

การออกแบบและสร้างเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงงานคนเป็นการลดต้นทุนการลงทุน และพัฒนาเครื่องดัดท่อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและอุตสาหกรรมย่อย ในการออกแบบและสร้างเครื่องดัดท่อนี้ อาศัยทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล ความแข็งแรงของวัสดุ ตารางโลหะและตารางเหล็กซึ่งนำมาประกอบอ้างอิงเพื่อสร้างเครื่องดัดท่อนี้ให้มีขนาดและรูปทรงที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพในการดัดท่อ และมีความสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงต่อไป ทั้งนี้การใช้แรงงานคนเป็นการเพิ่มอัตราการจ้างงานและลดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนเครื่องดัดท่ออีกด้วย

เครื่องดัดท่อเป็นเครื่องมือที่เข้ามาช่วยในการดัดท่อให้มีลักษณะต่างๆ ตามการใช้งานของชิ้นงานและผู้ใช้งาน โดยที่สามารถดัดได้ทั้งท่อกลมและท่อเหลี่ยม และสามารถดัดท่อได้ทุกชนิดทุกประเภท เช่น ท่อทองแดง ท่อสแตนเลส ท่ออลูมีเนียมและท่อโลหะกลางทุกชนิด เครื่องดัดท่อที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันนี้สามารถจำแนกประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้คือ

1. เครื่องดัดท่อแบบมือโยก
2. เครื่องดัดท่อไฮโดรลิคแบบมือโยก
3. เครื่องดัดท่อไฮโดรลิคแบบไฟฟ้า
4. เครื่องดัดท่อไฟฟ้า

ตัวอย่างของเครื่องดัดท่อรูปแบบต่างๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้แสดงในรูปที่ 1

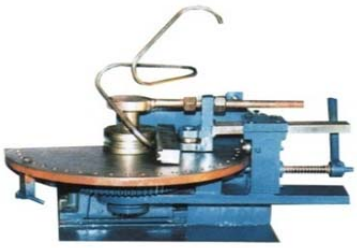
2. การออกแบบเครื่องดัดท่อ

2.1 การเลือกรูปแบบของเครื่องดัดท่อ

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการในการออกแบบเครื่องดัดท่อ พบว่าเครื่องจักรที่ใช้ดัดท่อขนาดเล็กโดยใช้แรงงานคน ที่มีการผลิตขายในท้องตลาด มีรูปแบบการทำงานอยู่ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

(ก) เครื่องดัดท่อแบบที่ 1

การทำงานของเครื่องดัดท่อมีลักษณะการโยกคันโยกเป็นจังหวะโดยงัดซี่ฟันแต่ละซี่ ซึ่งท่อจะถูกดัดประมาณ 3 องศาในแต่ละซี่ฟัน โดยมีหลักการคือใช้ลักษณะของการงัดซี่ฟันเป็นการผ่อนแรงในการดัดท่อ เนื่องจากว่าการมีซี่ฟันแบบนี้จะช่วยล็อกไม่ให้คันโยกดีดตัวกลับไปเมื่อยังไม่สิ้นสุดกระบวนการทำงาน รายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 1 ได้แสดงในรูปที่ 2



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 1 เครื่องดัดท่อรูปแบบต่างๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (ก) เครื่องดัดท่อแบบมือโยก (ข) เครื่องดัดท่อไฮโดรลิคแบบมือโยก (ค) เครื่องดัดท่อไฮโดรลิคแบบไฟฟ้า (ง) เครื่องดัดท่อไฟฟ้า

โดยเครื่องดัดท่อแบบที่ 1 มีข้อดีคือ

1. ช่วยผ่อนแรงการใช้แรงของคนได้มาก
2. มีรูปแบบการทำงานและการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน
3. สามารถดัดท่อได้หลายขนาดและดัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างกว่าแบบอื่นได้
4. สามารถดัดได้มุมองศาตามที่ต้องการและมีความเที่ยงตรงของมุมองศา

และมีข้อเสียคือ

1. มีรูปทรงที่ใหญ่กว่าแบบอื่น
2. ชิ้นส่วนที่ใช้สร้างเครื่องจักรมักความซับซ้อน

(ข) เครื่องดัดท่อแบบที่ 2

มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับเครื่องดัดท่อแบบที่ 1 เนื่องจากว่ามีการนำเอาลักษณะของการผ่อนแรงโดยการใช้จานฟันเข้ามาช่วยในการผ่อนแรง แต่มีกลไกการใช้งานที่ยุ่งยากกว่าและไม่มีตัวล็อกซี่อัตโนมัติสำหรับการงัดซี่ล็อกแต่ละซี่ เนื่องจากในขณะใช้งาน เมื่องัดซี่ล็อกไป 1 ล็อกแล้วนั้นผู้ใช้จะต้องง้างตัวล็อกตามมาเพื่อทำการล็อกไม่ให้คันโยกดีดตัวกลับไป รายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 2 ได้แสดงในรูปที่ 2 โดยเครื่องดัดท่อแบบที่ 2 มีข้อดีคือ

1. ช่วยผ่อนแรงในการดัด
2. มีมุมองศาในการดัดที่เที่ยงตรงและสามารถดัดได้มุมตามที่ต้องการ
3. สามารถดัดท่อได้หลายขนาดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตขึ้น

และมีข้อเสียคือ

1. มีลักษณะการใช้งานที่ยุ่งยากและซับซ้อน
2. มีรูปทรงที่ใหญ่

(ค) เครื่องดัดท่อแบบที่ 3

มีลักษณะการทำงานโดยใช้แรงคนในการดัดตัวของท่อ ซึ่งขนาดของท่อที่ดัดก็จะขึ้นอยู่แล้วแต่ความสามารถของแรงของผู้ดัด เนื่องจากว่าเครื่องดัดท่อชนิดนี้จะไม่มีตัวช่วยเพื่อมาช่วยในการผ่อนแรง แต่จะใช้แรงคนเพื่อทำให้ท่อเกิดการดัดตัว จึงทำให้เครื่องดัดท่อชนิดนี้สามารถดัดได้กับท่อที่มีขนาดเล็ก รายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 3 ได้แสดงดังรูปที่ 2

(ก) เครื่องดัดท่อแบบที่ 1

(ข) เครื่องดัดท่อแบบที่ 2

(ค) เครื่องดัดท่อแบบที่ 3

รูปที่ 2 รายละเอียดของเครื่องดัดท่อขนาดเล็กโดยใช้แรงงานคนแบบต่างๆ

โดยเครื่องดัดท่อแบบที่ 3 มีข้อดีคือ

1. กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน
2. เหมาะที่จะใช้ดัดท่อที่มีขนาดเล็ก
3. เครื่องดัดท่อมีขนาดเล็กกะทัดรัด

และมีข้อเสียคือ

1. ไม่มีตัวช่วยในการผ่อนแรง
2. ไม่สามารถดัดท่อที่มีขนาดใหญ่ได้

2.2 การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องดัดท่อ

ในการออกแบบเครื่องดัดท่อขนาดเล็กโดยใช้แรงงานคน มีหลักการออกแบบโดยคำนึงถึงการลดต้นทุนในการผลิตและสะดวกต่อการใช้งาน โดยเครื่องดัดท่อที่ได้รับการออกแบบมีลักษณะการทำงานคือ มีชุดลูกดัดเหล็กที่จะดัดเพื่อให้ได้ความโค้งของท่อเหล็กตามที่ต้องการ โดยความโค้งของท่อจะขึ้นกับมุมที่ดัดไปและเครื่องดัดท่อจะมีตัวรองหลังท่อเพื่อไม่ให้ท่อเหล็กที่ถูกดัดเกิดการบุบหรือบิดเบี้ยวที่เป็นผลจากการที่ท่อเหล็กถูกอัดอีก และใช้เฟืองไดร์สตาร์ทและเฟืองฟลายวีลล์มาขบกัน โดยเฟืองไดร์สตาร์ทนั้นจะทำงานทางเดียวซึ่งการทำงานทางเดียวนั้นจะมีประโยชน์คือจะทำให้ไม่เกิดการดีดกลับหลังจากที่ได้ทำการดัดท่อไปแล้ว และการขบกันของเฟืองทั้งสองจะทำให้เกิดการผ่อนแรงในการทำงาน ส่วนประกอบของชุดเครื่องดัดท่อที่ได้รับการออกแบบมีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานเครื่องดัดและส่วนชุดลูกดัด โดยเครื่องดัดท่อขนาดเล็กโดยใช้แรงงานคนที่ได้รับการออกแบบนี้มีข้อดีคือ

1. ช่วยผ่อนแรงการใช้แรงของคนได้มากสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกรวดเร็ว
2. รูปแบบการทำงานและการใช้งานไม่ซับซ้อน
3. สามารถดัดท่อได้หลายขนาดและดัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างกว่าแบบอื่นได้
4. สามารถดัดได้มุมองศาตามที่ต้องการและมีความเที่ยงตรงของมุมองศา
5. การซ่อมบำรุงรักษาไม่ยุ่งยากและสิ้นเปลือง

3. การคำนวณรัศมีความโค้งของท่อที่ถูกดัด

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการในการดัดท่อพบว่ารัศมีการดัดโค้งของท่อในขนาดต่างๆ นั้นจะต้องมีรัศมีการดัดโค้งของท่อโดยให้รัศมีการดัดไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจึงจะทำให้ท่อที่ถูกดัดไม่เกิดการเสียหาย เช่น เกิดการฉีกขาดของท่อ เกิดการพับหัก หรือเกิดการบุบบี้ของท่อ เป็นต้น [1-2]

ตารางที่ 1 รัศมีความโค้งดัดของท่อ

ขนาดของท่อ (นิ้ว)	รัศมีความโค้งดัด (นิ้ว)	รัศมีความโค้งดัด (มิลลิเมตร)
1/2	3	76.2
3/4	4.5	114.3
1	6	152.4
1(1/2)	9	228.6

เครื่องดัดท่อจึงได้รับการออกแบบ โดยมีรัศมีความโค้งดัดต่ำสุดของท่อขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

เครื่องดัดท่อจะถูกจัดสร้างขึ้นโดยใช้หลักการออกแบบข้างต้น โดยแบ่งของเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนฐานเครื่องดัด และส่วนชุดลูกดัด ซึ่งค่ารัศมีความดัดโค้งจากตารางที่ 1 จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณในส่วนของชุดลูกดัด โดยชิ้นส่วนต่าง ๆของเครื่องดัดท่อจะถูกสร้างขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ช่วยการออกแบบ (CAD) ในคอมพิวเตอร์ก่อน โดยรายละเอียดของแบบจำลอง CAD ในส่วนชุดลูกดัดได้แสดงในรูปที่ 3 หลังจากออกแบบและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยแบบจำลองในคอมพิวเตอร์จนองค์ประกอบต่าง ๆลงตัวแล้ว จึงได้เริ่มลงมือสร้างเครื่องดัดท่อขึ้นมา โดยรายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องดัดท่อได้แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องจักรที่ออกแบบในโปรแกรม

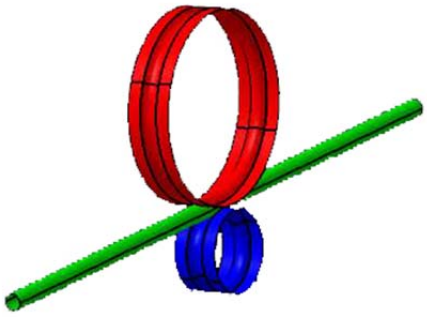
(ก) ส่วนฐานเครื่องดัด

(ข) ส่วนชุดลูกดัด

รูปที่ 4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องดัดท่อ

4. การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการดัดท่อ

แบบจำลองอย่างง่าย (simplified model) ของกระบวนการดัดท่อ ถูกสร้างขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ CAD โดยกำหนดให้เป็นแบบจำลองแผ่นผิว ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ และความเหมาะสมของแบบจำลอง [3-4] โดยแบบจำลองของลูกดัดถูกกำหนดให้มีรัศมีความโค้งเป็น 5 เท่าของขนาดท่อ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาจากการดัดท่อ เช่น ท่อพับ ท่อแบน เป็นต้น ในส่วนของท่อกำหนดให้มีรัศมี 1 นิ้ว โดยรายละเอียดของแบบจำลองอย่างง่ายของกระบวนการดัดท่อได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองอย่างง่ายของกระบวนการดัดท่อ

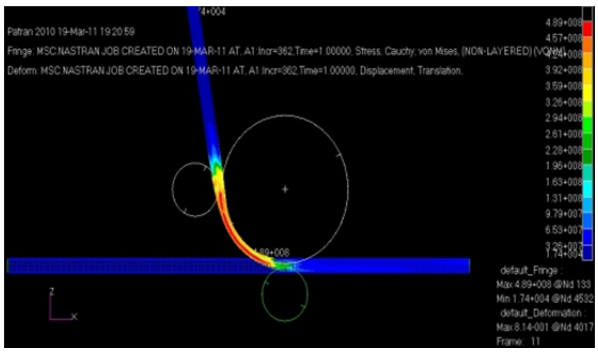
โดยชิ้นประกอบสีแดงแสดงแบบจำลองอย่างง่ายของส่วนรัศมีความโค้งดัด ชิ้นประกอบสีฟ้าแสดงแบบจำลองอย่างของชุดลูกดัด และชิ้นประกอบสีเขียวแสดงแบบจำลองอย่างง่ายของท่อที่ถูกนำไปดัด

แบบจำลองอย่างง่ายของกระบวนการดัดท่อจะถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของท่อถูกประกอบขึ้นจากเอลิเมนต์ชนิด 2 มิติ (2D elements) และทำการกำหนดค่าสมบัติของวัสดุ รวมถึงเงื่อนไขการสัมผัสระหว่างท่อกับรัศมีความโค้งและการสัมผัสระหว่างท่อกับชุดลูกดัด โดยท่อถูกกำหนดให้เป็นวัสดุเสียรูปได้ (Deformable Body) โดยมีวัสดุเป็นเหล็ก ส่วนชุดลูกดัดและรัศมีความโค้งถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body)

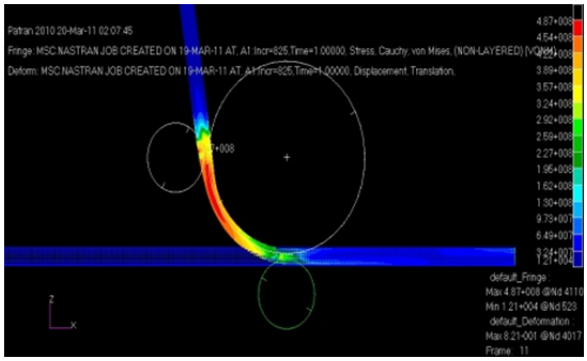
5. การเปรียบเทียบความเสียหายของท่อ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของท่อถูกสร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการดัดท่อโดยใช้เครื่องดัดท่อที่ถูกออกแบบขึ้น โดยแบบจำลองของท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว โดยกำหนดให้ท่อมีความหนา 1 มิลลิเมตรและ 1.2 มิลลิเมตร และกำหนดให้ท่อถูกดัดโดยลูกกลิ้งเป็นมุม 90 องศาจากสภาวะเริ่มต้นของท่อเป็นท่อตรง ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้ท่อมีความหนา 1 มิลลิเมตร ท่อจะเกิดการเสียหายขึ้น โดยเกิดการบุบขึ้นในบริเวณที่เป็นมุมของการดัด ดังแสดงในรูปที่ 6 และพบว่าหากกำหนดให้ท่อมีความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรลงไป ท่อจะเกิดความเสียหายในลักษณะของการบุบขึ้นเสมอ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อโดยกำหนดความหนา 1.2 มิลลิเมตรไม่เกิดความเสียหายจากการดัด หรือท่อไม่เกิดการบุบ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยพบว่าหากกำหนดให้ท่อมีความหนาตั้งแต่ 1.2 มิลลิเมตรขึ้นไป ท่อจะไม่เกิดความเสียหายจากการดัด

จากผลการเปรียบเทียบกับการทดสอบการดัดท่อโดยใช้เครื่องดัดท่อที่ได้ถูกออกแบบขึ้น พบว่าจากผลการทดสอบจริง โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ท่อที่ใช้การทดสอบมีความหนา 1 และ 1.2 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการทดสอบการดัดท่อโดยใช้ท่อทดสอบความหนา 1 มิลลิเมตร พบว่าท่อเกิดความเสียหายโดยมีการพับและการบุบเกิดขึ้น ในขณะที่การทดสอบดัดท่อด้วยท่อทดสอบความหนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่พบรอยพับและรอยบุบบนท่อทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเสียหายด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบการดัดท่อจริงอาจเกิดรอยย่นขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการใช้แรงในการดัดที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ท่อเกิดการย่น (Wrinkling Effect) ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของท่อ โดยมีความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความหนาของท่อ โดยมีความหนา 1.2 มิลลิเมตร

รูปที่ 8 รอยย่นที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการดัดท่อ

6. การเปรียบเทียบการดีดกลับของท่อ

แบบจำลองของท่อขนาด 6 หุน หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว โดยมีความหนาของท่อ 1.5 มิลลิเมตร ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบจากการดีดกลับของท่อ (spring back effect) และเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงด้วยเครื่องดัดท่อที่ถูกสร้างขึ้น โดยในสภาวะเริ่มต้นกำหนดให้ท่อมีลักษณะเป็นท่อตรงหรือมีมุม 180 องศา และกำหนดให้ลูกกลิ้งเคลื่อนที่เป็นมุม 90 องศา จากผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า เมื่อท่อถูกดัดไปหรือ 81.81 องศา หรือท่อในขณะนั้นมีมุม 98.19 องศา เมื่อกำหนดให้ลูกกลิ้งวิ่งกลับ พบว่าเกิดการดีดกลับของท่อขึ้น โดยวัดมุมของท่อที่เกิดการดีดกลับได้ 98.21 องศา หรือท่อมีการดีดตัวเล็กน้อย ในขณะที่ผลการทดสอบการดัดท่อด้วยเครื่องดัดท่อที่ถูกสร้างขึ้น พบว่าเมื่อลูกกลิ้งเคลื่อนที่เป็นมุม 90 องศา ทำให้ท่อที่ถูกดัดมีมุม 100 องศา เมื่อนำท่อออกมาจากเครื่องดัดจะเกิดการดีดกลับขึ้น โดยท่อที่ถูกนำออกมาจากเครื่องสามารถวัดมุมได้ 101 องศา หรือท่อเกิดการดีดกลับเล็กน้อย

จากผลการวิเคราะห์การดีดตัวที่เกิดขึ้นในการดัดท่อและเปรียบเทียบกับการทดลอง พบว่าเมื่อดัดท่อที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น ท่อที่ถูกดัดเกิดการดีดตัวกลับหรือเกิดการคลายการดัด จึงได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องดัดท่อใหม่ โดยมีการเพิ่มตัวช่วยล็อกบริเวณตัวคันโยกของเครื่องดัดท่อ ทำให้ท่อที่ถูกดัดและคันโยกไม่ดีดย้อนกลับมาที่จุดเดิม อีกทั้งกลไกนี้ยังช่วยให้ชุดเครื่องดัดท่อนี้เข้ามาช่วยในเรื่องของการผ่อนแรงและป้องกันการดีดกลับของท่อที่ถูกดัด ชุดเครื่องดัดท่อนี้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดส่วนชุดของลูกดัดเพื่อรองรับท่อในขนาดต่างๆที่เราต้องการจะดัดได้ รวมถึงเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคนนี้สามารถนำไปดัดแปลงให้มีระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยผ่อนแรงได้

รูปที่ 13 มุมของท่อขณะเอาท่อออกมาจากเครื่องแล้ว

7. สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการเปรียบเทียบการทดสอบด้วยเครื่องดัดท่อที่ได้รับการออกแบบขึ้นกับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการดัดท่อ พบว่าผลการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับท่อ รวมถึงผลการวิเคราะห์การดีดกลับของท่อ ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยท่อที่ความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรลงไปจะเกิดความเสียหายในลักษณะของการพับหรือการบุบขึ้น ในขณะที่การดัดท่อที่ความหนาตั้งแต่ 1.2 มิลลิเมตรขึ้นไปไม่พบความเสียหายดังกล่าว อย่างไรก็ตามผลการ

ทดสอบการดัดท่อจริงอาจเกิดรอยย่นขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการใช้แรงในการดัดที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ท่อเกิดการย่น (Wrinkling Effect) ขึ้น และผลการวิเคราะห์การดีดตัวของท่อพบว่าเมื่อดัดท่อที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น ท่อที่ถูกดัดจะเกิดการดีดตัวกลับหรือเกิดการคลายการดัด ดังนั้นการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จึงสามารถนำมาช่วยในการออกแบบและจำลองการทำงานของเครื่องดัดท่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ โดยนำมาทำการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องดัดท่อใหม่ โดยมีการเพิ่มตัวช่วยล็อกบริเวณตัวคันโยกของเครื่องดัดท่อ ทำให้ท่อที่ถูกดัดและคันโยกไม่ดีดย้อนกลับมาที่จุดเดิม อีกทั้งกลไกนี้ยังช่วยให้ชุดเครื่องดัดท่อนี้เข้ามาช่วยในเรื่องของการผ่อนแรงและป้องกันการดีดกลับของท่อที่ถูกดัด ชุดเครื่องดัดท่อนี้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดส่วนชุดของลูกดัดเพื่อรองรับท่อในขนาดต่างๆที่เราต้องการจะดัดได้ รวมถึงเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคนนี้สามารถนำไปดัดแปลงให้มีระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยผ่อนแรงได้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ชาญ ถนัดงาน. 2544. การศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับของโลหะในการดัดท่อกลมเรียว. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

[2] มานะศิษฏ์ พิมพ์สาร. 2538. คู่มืออุตสาหกรรมท่อ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัดนำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.

[2] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2549), .ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

[4] Agarwal R. 2007. Tube Bending with Axial Pull and Internal Pressure., Journal of Manufacturing Science and Engineer, 128(2): 598-605.