

อิทธิพลของระยะห่างของดายน์และระยะกดในกระบวนการขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอ

Effects of the Die Distance and Punch Stroke in JCO Pipe Forming

ศักรินทร์ ไวยกุล^{1*} มนต์ศักดิ์ พิมสาร² และ จำลอง ปราบแก้ว³

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

E-mail: swaiyakul@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปท่อส่งก๊าซและน้ำมันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 16 ถึง 64 นิ้วนั้นต้องใช้วิธีการขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอ (JCO) หรือยูโออี (UOE) ถ้าเลือกใช้การขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอ พบว่าระยะห่างของดายน์และระยะกดซึ่งงานในแต่ละครั้งของหัวกดเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อรูปทรงสุดท้ายหรือค่าความรี(ovality)ของท่อและความเค้นตกค้าง

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างของดายน์และระยะกดของหัวกดต่อค่าความรีของท่อและความเค้นตกค้างในชิ้นงานท่อที่ขึ้นรูปแบบเจซีโอด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ โดยในเบื้องต้นนั้นความถูกต้องของแบบจำลองที่นำเสนอได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์กับการขึ้นรูปท่อจริงจากโรงงาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าความรีที่มีค่าแตกต่างกัน 1.48 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่ได้จากการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่ามากกว่า จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนระยะห่างของดายน์และระยะกดของหัวกด จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อระยะห่างของดายน์มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าความรีจะมีค่าลดลงและความเค้นตกค้างจะมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่อระยะกดมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความรีมีค่ามากขึ้นและความเค้นตกค้างจะมีค่ามากขึ้นด้วย

คำหลัก: การขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอ, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ความเค้นตกค้าง, ค่าความรี

Abstract

JCO or UOE pipe forming methods are generally employed for large diameter pipe, 16 to 64 inch. This pipe is usually utilized for gas and oil transportation. If the JCO pipe forming is chosen to manufacture the pipe, die distance and punch stroke of each step are parameters which directly effect to final geometry of the pipe or ovality, and residual stress.

This paper aims to study effect of die distance and punch stroke on ovality and residual stress of the pipe, manufactured by JCO forming method. In the study, two dimensional JCO forming is simulated by using finite element method. At first, the proposed finite element model was validated with the actual data, carried out by the factory. The comparison result shows that the difference of ovality is about 1.48

percent and the simulated ovality is higher than the actual value. Later, die distance and punch stroke were changed for some values in the simulations. The simulated results show that when the die distance increases, the pipe ovality and residual stress are reduced. On the other hand, if the punch stroke is increased, the ovality and residual stress are also increased.

Keywords: JCO pipe forming, finite element method, residual stress, ovality.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเนื่องจากความต้องการในการใช้ก๊าซและน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการสำรวจและขุดเจาะหาแหล่งของก๊าซและน้ำมันในมหาสมุทรมากขึ้น ซึ่งการขนถ่ายก๊าซและน้ำมันจากมหาสมุทรที่ไกลจากชายฝั่งมากนั้นจำเป็นต้องใช้ท่อขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถขนส่งได้ระยะทางที่ไกลและผ่านมหาสมุทรที่มีความลึกมากขึ้นด้วย บริษัทแคนาดาออยล์โปรดักต์ จำกัด เป็นบริษัทขนาดใหญ่บริษัทหนึ่ง ที่ผลิตและส่งออกท่อโลหะไปทั่วโลก โดยผลิตท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4 นิ้วถึง 170 นิ้ว ตามมาตรฐานการผลิตท่อต่างๆเช่น API5L[5] เป็นต้น ซึ่งมีศูนย์กลางการผลิตอยู่ในประเทศไทย

การขึ้นรูปท่อส่งก๊าซและน้ำมันที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 3 วิธีคือกระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ UOE กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ 3-RB (3 point roll bending) และกระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ JCOE แต่ละแบบมีวิธีการดังนี้ กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ UOE (U-ing, O-ing, expansion) คือ แผ่นโลหะถูกตัดที่ขอบก่อนเป็นส่วนโค้งและแผ่นโลหะถูกขึ้นรูปเป็นรูปตัว U ในเครื่องกดให้เป็นรูปตัว U และขั้นตอนต่อมาคือ กดเหล็กรูปตัว U ให้เป็นรูปตัว O ต่อมาท่อถูกเชื่อมโดยการเชื่อมแบบ SAW (submerged arc welding) และขั้นตอนสุดท้ายคือ การทำท่อให้กลมโดยใช้ตัวขยายทางกล ชื่อ UOE ได้มาจาก 3 ตัวแรกของขั้นตอนทางกลเหล่านี้ วิธีนี้จะให้ได้ผลผลิตที่สูงที่สุดแต่ต้นทุนก็สูงด้วยเช่นกัน ข้อเสียของวิธี UOE คือ ในขั้นตอนการกดเหล็กรูปตัว U ให้เป็นรูปตัว O ที่ต้องใช้การกดเพียงครั้งเดียวนั้นทำให้ต้องใช้แรงกดสูง. กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ 3-RB แผ่นโลหะถูกขึ้นรูป

เป็นท่อที่มีตะเข็บโดยการผ่านเครื่องหมุนดัดที่มีจุดรองรับทั้งบนและล่างของแผ่นโลหะรวมกัน 3 จุด ขอบของแผ่นโลหะไม่ได้ถูกตัดและยังคงตรงอยู่หลังจากการขึ้นรูปครั้งแรก ท่อจะถูกส่งไปยังเครื่องดัดขอบ ขณะที่ 2 ขอบตามแนวยาวของแผ่นโลหะถูกจับโดยตัวดัดในกระบวนการต่อเนื่อง วิธีนี้นิยมใช้กับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและยาวไม่เกิน 12.2 เมตร. กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบใหม่ที่นิยมในปัจจุบันและได้ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้คือ กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ JCOE (J-ing, C-ing, O-ing and expansion) ซึ่งมีขั้นตอนการขึ้นรูปดังนี้ แผ่นเหล็กถูกขึ้นรูปเป็นรูปทรงกลมตลอดขั้นตอนทางกล 5 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 ขั้นตอนที่ 1 แผ่นโลหะถูกตัดที่ขอบก่อนเป็นส่วนโค้ง และขั้นตอนที่ 2 แผ่นโลหะด้านหนึ่งของท่อถูกตัดก่อนเป็นครึ่งหนึ่งของวงกลมหรือเป็นรูปตัว J ด้วยเครื่องกด (รูปที่ 1.a) ต่อมาขั้นตอนที่ 3 แผ่นโลหะถูกย้ายผ่านไปยังส่วนที่ 2 เพื่อทำการดัดเป็นรูปตัว C (รูปที่ 1.b) จากนั้นเมื่อทั้ง 2 ด้านของแผ่นโลหะถูกดัดแล้วรูปร่างสุดท้ายของแผ่นโลหะจึงเป็นรูปตัว O (รูปที่ 1.c) ท่อถูกเชื่อมโดยการเชื่อมแบบ SAW ในขั้นตอนสุดท้ายท่อถูกขยายทางกล(รูป 1.d) เพื่อให้ได้รูปทรงสุดท้ายที่ต้องการและปรับปรุงความกลมของท่อชื่อ JCOE ได้มาจาก 4 ตัวแรกของขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนทางกลเหล่านี้ โดยภาพรวมแล้ว การขึ้นรูปท่อแบบ JCOE นั้นมีความคล้ายกับการขึ้นรูปท่อแบบ UOE มากทั้งในด้านรูปทรงเรขาคณิตและคุณสมบัติทางกลของวัสดุและข้อดีของกระบวนการ JCOE คือ สามารถขึ้นรูปท่อที่มีความหนาขนาดได้ง่ายกว่า การกดแบบหลายขั้นตอนในการขึ้นรูปท่อทำให้ใช้แรงในการกดน้อยกว่าของในขั้นตอนการขึ้นรูปท่อเป็นรูปตัว O

แต่บริษัทแคนาดาโดยสไปร์มีกระบวนการขึ้นรูปท่อแค่เพียง 2 แบบคือ 3RB กับ JCOE เท่านั้น

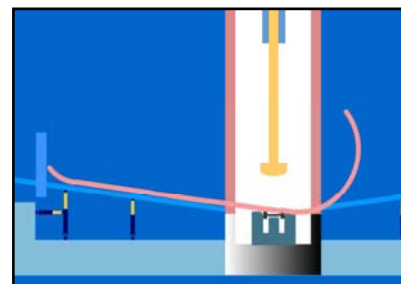
งานวิจัยที่ก่อนหน้านี้มักจะให้ความสนใจไปที่การทำนายรูปร่างสุดท้ายที่ต้องการของท่อ Ying Gao, Qiang Li, Lichun Xiao[2] ได้ทำการทำนายรูปร่างสุดท้ายของท่อหลังจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ JCO โดยการแปรผันคาร์คิมของหัวกด(punch) เพื่อหาระยะกดของหัวกด ที่ดีที่สุดที่ทำให้ท่อกลม จากผลการทดลองพบว่ารูปร่างสุดท้ายของท่อขึ้นอยู่กับระยะกดของหัวกดและระยะที่ดีที่สุดคือ 19.7 มิลลิเมตร ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับการทดลองกับชิ้นงานจริงเป็นอย่างมาก งานวิจัยของ Ying Gao, Lijuan Wang, Qiang Li [3] ได้ศึกษาผลของสนามความเค้นและความเครียด เนื่องจากการเปลี่ยนรัศมีของหัวกด และทำการวิเคราะห์รูปทรงสุดท้ายของท่อที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับการขึ้นรูปจริงจากโรงงาน ผลที่ได้พบว่าการรัศมีความโค้งของหัวกดเพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ความเค้นและความเครียดขยายออกไปและบริเวณตรงขอบตรงที่ไม่เสียรูปของ 2 จุดที่อยู่ใกล้กันจะลดลง M.D.Herynk, S. Kyriakides, A. Onoufriou [4] ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของกระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ UOE/UOC ต่อความสามารถในการรับแรงดันจากภายนอกจากการศึกษาพบว่าถ้าแทนที่ขั้นตอนการทำให้ท่อกลมด้วยการขยายเป็นการกดแทนจะทำให้ท่อสามารถรับแรงดันจากภายนอกได้ดีขึ้น

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาทั้งการทำนายรูปร่างสุดท้ายของท่อที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับการขึ้นรูปจริงจากโรงงานของกระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ JCOE/JCO และทำการศึกษาเชิงพารามетริกของระยะห่างของตายน์และระยะกดของหัวกดว่าส่งผลอย่างไรต่อรูปร่างสุดท้ายของท่อหรือความรีและความเค้นตกค้างในชิ้นงาน(residual stress)

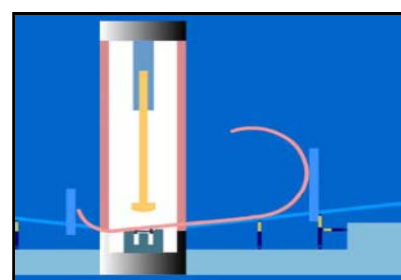
2. ขั้นตอนของกระบวนการ JCO/JCOE

กระบวนการขึ้นรูปท่อแบบ JCO/JCOE มีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ ขอบของแผ่นโลหะถูกนำมาขึ้น

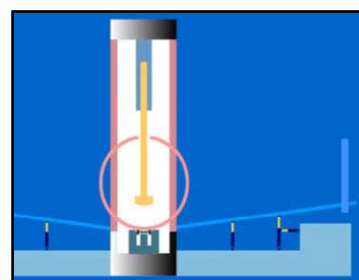
รูปเป็นรูปตัว V (beveled end) จากนั้นขอบของแผ่นโลหะถูกนำมาดัดด้วยเครื่องดัด (pre-bending) เพื่อให้ได้รัศมีความโค้งตามต้องการโดยดัดตลอดตามแนวยาวของขอบแผ่นโลหะ จากนั้นครึ่งหนึ่งของความยาวของแผ่นโลหะทั้งหมดถูกดัดขึ้นรูปเป็นรูปตัว J โดยการกดขึ้นลงของหัวกด เป็นจังหวะตามลำดับ และความยาวอีกครึ่งหนึ่งของแผ่นโลหะถูกดัดขึ้นรูปเป็นรูปตัว C โดยการย้ายแผ่นโลหะไปอีกด้านหนึ่งเพื่อรองรับการกดของหัวกด และท้ายที่สุดเมื่อแผ่นโลหะถูกกดด้วยหัวกด จนถึงตรงกลางแผ่นจึงทำให้แผ่นโลหะถูกดัดเป็นรูปตัว O ขั้นตอนต่อมาคือทำการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยใช้การเชื่อมแบบ SAW โดยการเชื่อมด้านในก่อนแล้วจึงเชื่อมด้านนอกตามลำดับ ขั้นตอนสุดท้าย ท่อถูกนำไปขยายด้วยเครื่องขยายซึ่งทำให้ท่อเกิดการเสียรูปเล็กน้อย ทั้งนี้การขยายท่อนั้นทำเพื่อต้องการให้ท่อมีรูปร่างกลมมากขึ้น



รูปที่ 1.a (J-Forming)[1]



รูปที่ 1.b (C-Forming)[1]



รูปที่ 1.c (O-Forming)[1]



รูปที่ 1.d (Expansion)[1]

การขึ้นรูปท่อของโรงงานแคนาดาออกไปนั้น
ทำการขึ้นรูปท่อโดยใช้เครื่องกดขนาด 3000 ตัน โดย
มีระยะกดของหัวกดสูงสุดที่ 1088 มิลลิเมตร ระยะห่าง
ของดายนสามารถปรับระยะได้ห่างจากกันครั้งละ 80
มิลลิเมตร.

3. ทฤษฎี

3.1 โมเดลพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุ (Constitutive Model)

ในการเสียรูปของโลหะในช่วงพลาสติก ใช้
กฎการครากของ Von Mises กับกฎการเปลี่ยนแปลง
ของความเครียดพลาสติกของ Prandtl-Reuss และใช้
กฎการขยายตัวของฟังก์ชันการครากแบบ Isotropic
Hardening มาอธิบายการเสียรูปในช่วงพลาสติก

ในการขึ้นรูปวัสดุท่อ ท่อมีการเสียรูปแบบ อี
ลาสติก-พลาสติก สำหรับวัสดุที่เป็นไอโซทรอปิก
(isotropic) ในช่วงการเสียรูปแบบยืดหยุ่น
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็น
เชิงเส้นหรือเป็นไปตามกฎของฮุก(Hooke's law)

$$[\sigma] = [D]_e \{\varepsilon\} \quad (1)$$

โดยที่ $[D]_e$ คือเมตริกความเป็นอีลาสติก เมื่อ
แรงภายนอกเพิ่มขึ้นไปถึงค่าที่แน่นอนค่าหนึ่งวัสดุจะ
เริ่มเกิดการคราก ซึ่งเริ่มของการครากสามารถทำนาย
โดยกฎการครากของ Von Mises ซึ่งแสดงเป็นสมการ
ได้

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2)$$

การครากเกิดขึ้นเมื่อ $\bar{\sigma} = \sigma_y$ (yield stress) ของ
วัสดุ การเปลี่ยนแปลงของความเครียดแบ่งออกเป็น

การเปลี่ยนแปลงความเครียดยืดหยุ่นกับความเครียด
พลาสติก แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$d\{\varepsilon\} = d\{\varepsilon\}_e + d\{\varepsilon\}_p \quad (3)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ในช่วงพลาสติกคือ

$$d\{\sigma\} = [D]_{ep} d\{\varepsilon\} \quad (4)$$

โดยที่ $[D]_{ep}$ คือเมตริกความเป็นพลาสติก ตัวห้อย
 e, p หมายถึงส่วนยืดหยุ่นและพลาสติก ตามลำดับ

กฎการเปลี่ยนแปลงของความเครียด
พลาสติกของ Prandtl-Reuss

$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}^p}{\bar{\sigma}} s_{ij} \quad (5)$$

โดยที่ $\bar{\varepsilon}^p, s_{ij}$ คือความเครียดพลาสติก
เสมือน(equivalent plastic strain) และความเค้นดิเวีย
โทรติก (deviatoric stress) การขยายตัวของฟังก์ชัน
การครากแบบ Isotropic Hardening หมายความว่า
พื้นผิวของฟังก์ชันการครากเปลี่ยนแปลงขนาดอย่าง
สม่ำเสมอในทุกทิศทางทำให้ความเค้นคราก เพิ่มขึ้น
หรือลดลงในทุกทิศทางของความเค้นที่ทำให้เกิด
ความเครียดพลาสติก

3.2 การวิเคราะห์ความรีของท่อ

การหาความรีของท่อสามารถทำได้โดยใช้

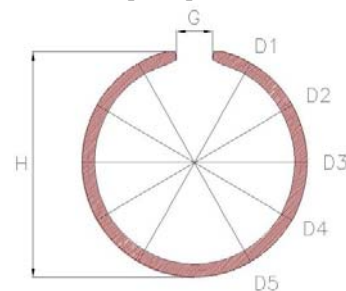
$$\Delta_o = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100 \% \quad (6)$$

โดยที่ Δ_o คือค่าความรี (เปอร์เซ็นต์)

$D_{\max}$ คือส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่มากที่สุด

$D_{\min}$ คือส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด

การวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ได้จาก
การทดลองทำได้โดยดูจากรูปที่ 2



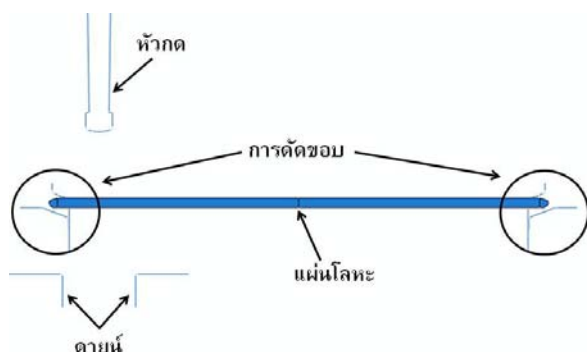
รูปที่ 2 การวัดความรีของท่อ

โดยที่ D1, D2, D3, D4 และ D5 คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งที่ต้องการวัด H คือความสูงของท่อและ G คือระยะห่างระหว่างขอบทั้ง 2 ด้านของท่อหลังจากขึ้นรูปเสร็จแล้ว

4. การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ การขึ้นรูปแผ่นโลหะเป็นท่อด้วยกระบวนการดัดขอบ (pre-bending) ก่อนแล้วจึงตามด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบ JCO ดังรูปที่ 1a, 1b และ 1c ตามลำดับ แบบจำลองจะประกอบไปด้วย 1) แผ่นโลหะขึ้นรูป 2) หัวกด 3) ดายน์ ซึ่งการจำลองจะกำหนดให้เป็นแบบ 2 มิติ เพราะชิ้นส่วนแผ่นโลหะ หัวกดและดายน์ มีขนาดยาวมาก (8 เมตร) เมื่อเทียบกับความหนาของแผ่นโลหะซึ่งหนา 28.6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 การจำลองการขึ้นรูปแบบเจซีโอ

4.2 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบ

แผ่นโลหะในแบบจำลองถูกกำหนดให้จุดกึ่งกลางของแผ่นโลหะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X แต่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระในแนวแกน Y หัวกดมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวแกน Y ตามจังหวะของการเลื่อนหัวกดขึ้นลง และดายน์ถูกกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาของการขึ้นรูป

4.3 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

การจำลองเป็นแบบ explicit หัวกดและดายน์ถูกจำลองเป็นผิว analytical rigid ขณะที่แผ่นโลหะเสียรูปได้ ผิวของแผ่นโลหะถูกนิยามเป็น 3 พื้นผิวคือ พื้นผิวด้านบน พื้นผิวด้านล่าง และพื้นผิวตรง

beveled นิยามการสัมผัสระหว่าง 2 พื้นผิวใช้ strict master-slave algorithm ผิว rigid เป็น master ในคู่สัมผัสรองให้เป็น finite sliding ขณะที่คุณสมบัติของการสัมผัสถูกสมมติเป็นไม่มีแรงเสียดทานระหว่างหัวกดกับแผ่นโลหะ แต่เป็นแบบมีแรงเสียดทานระหว่างแผ่นโลหะกับดายน์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.1

4.3 การกำหนดเวลาและตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์

ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์คือระยะกดของหัวกดและระยะห่างของดายน์ โดยทำการจำลองการกดของหัวกดที่ระยะ 23, 25, 27, 29 และ 31 มิลลิเมตรลำดับ ระยะห่างของดายน์ที่ใช้คือระยะ 200, 220 และ 240 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 15 กรณีด้วยกัน

ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือช่วงการดัดขอบใช้เวลา 0.0049 วินาที และช่วงที่ 2 คือช่วงการขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอใช้เวลา 0.0529 วินาที

4.4 สมบัติของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปท่อคือเหล็กแผ่น API X52 กว้าง 1500 มิลลิเมตร หนา 28.6 มิลลิเมตร ถูกขึ้นรูปเป็นท่อกกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 508 มิลลิเมตร (20 นิ้ว)

ในการวิเคราะห์ได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุของแผ่นโลหะเพียงอย่างเดียวเนื่องจากหัวกดและดายน์เป็นแบบวัตถุแข็งเกร็งจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าวัสดุให้ ซึ่งในช่วงยืดหยุ่นแผ่นโลหะจะมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 207 GPa อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.3 ความเค้นคราก 358 MPa และมีความหนาแน่นเท่ากับ 7850 kg/m³ ส่วนในช่วงพลาสติกคุณสมบัติของวัสดุจะเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของแผ่นโลหะ API X52

Yield Stress(MPa)	Plastic Strain
358	0
367.40	0.0032

388.24	0.0051
411.63	0.0080
461.18	0.0178
492.89	0.0276
516.70	0.0375
535.96	0.0474
552.23	0.0573
566.37	0.0673
578.91	0.0772
590.20	0.0871
600.49	0.0971
618.71	0.1170
634.55	0.1369
648.60	0.1569
655.09	0.1668
661.25	0.1768
672.78	0.1967
683.38	0.2167
693.20	0.2367
702.36	0.2566
710.95	0.2766
719.04	0.2965
737.45	0.3464
753.78	0.3964

4.5 การแบ่งเอลิเมนต์

เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบสี่โนดเป็นเอลิเมนต์แบบ A 4-node bilinear plane strain quadrilateral (CPE4R), Reduce Integration และ Hourglass Control เป็นแบบ Enhanced จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 1812 เอลิเมนต์

4.6 ขั้นตอนการจำลอง

การจำลองแบ่งเป็นสองส่วน คือ การตัดขึ้นรูปขอบและการขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอ การตัดขึ้นรูปขอบจะใช้ทำการตัด 3 ครั้งที่ระยะห่างจากขอบแผ่นโลหะ 60, 50 และ 40 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นการขึ้นรูปท่อจะถูกดำเนินการต่อไปด้วยการขึ้นรูปแบบเจซีโอ

โดยใช้การกดแบบเจซีโอทั้งหมด 31 ครั้งโดยเริ่มกดหลังจากการตัดขึ้นรูปขอบเสร็จแล้วโดยเริ่มจากด้านซ้ายมือก่อนที่ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งสุดท้ายของการตัดขอบแล้วเลื่อนมาเรื่อยๆจนถึงการกดครั้งที่ 15 แล้วจึงย้ายการกดมาด้านขวามือ แล้วทำการกดต่อไปเรื่อยๆจนถึงการกดครั้งที่ 31 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางแผ่นพอดี้ ระยะในการเลื่อนหัวกดและตายันของการกดแบบเจซีโอแต่ละครั้งมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของความหนาของแผ่นโลหะคือระยะ 40 มิลลิเมตร

5. การวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

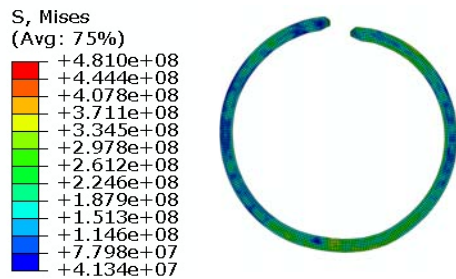
การวิเคราะห์ตัวอย่างทดสอบใช้เหล็ก X52 โดยจะถูกจำลองให้การขึ้นรูปอยู่ภายใต้สภาวะการขึ้นรูปจริง จากนั้นนำเอาสภาวะการขึ้นรูปดังกล่าวมาวิเคราะห์ โดยการใช้โปรแกรม ABAQUS ในการขึ้นรูปจริงและการวิเคราะห์ ใช้ระยะกดของหัวกดที่ 27 มิลลิเมตรและระยะห่างของตายันที่ 240 มิลลิเมตรแล้วนำผลของค่าความรีของท่อของทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าความรีของการขึ้นรูปท่อจริงมีค่าน้อยกว่าการขึ้นรูปท่อที่ได้จากการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 1.48 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ค่าความรี

รูปแบบของการขึ้นรูป	ค่าความรี(%)
การขึ้นรูปท่อจริง	1.87
การจำลองด้วย FEM	3.35

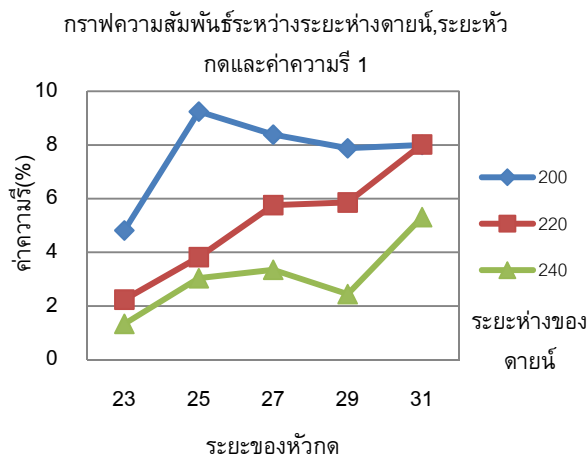


รูปที่ 3 รูปท่อจริงหลังจากการขึ้นรูปเสร็จแล้ว



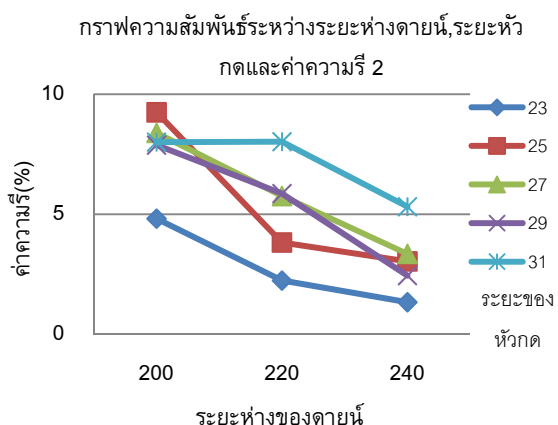
รูปที่ 4 รูปท่อนที่ได้จากการจำลอง

5.1 ผลของการปรับเปลี่ยนระยะห่างของตายน์และระยะกตของหัวกตต่อค่าความรี



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าความรี (1)

จากรูปที่ 5 พบว่ามีแนวโน้มที่ค่าความรีจะเพิ่มมากขึ้นที่เกือบทุกค่าของระยะห่างของตายน์เมื่อระยะกตของหัวกตเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มระยะกตของหัวกตทำให้แผ่นโลหะมีรูปร่างการงอเพิ่มมากขึ้น



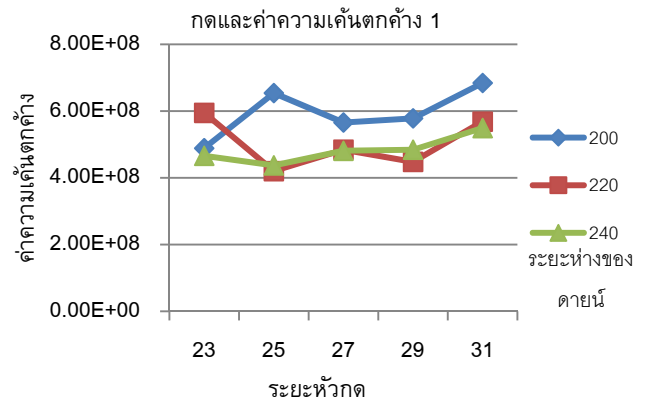
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าความรี (2)

จากรูปที่ 6 เมื่อระยะห่างของตายน์เพิ่มมากขึ้นค่าความรีของท่อจะลดลงที่ทุกค่าของระยะกตของหัวกตเนื่องจากการที่ระยะห่างของตายน์เพิ่มมากขึ้น

จะทำให้รัศมีความโค้งของแผ่นโลหะลดลงเมื่อแผ่นโลหะถูกกดลง

5.2 ผลของการปรับระยะห่างของตายน์และระยะกตของหัวกตต่อค่าความเค้นตกค้าง

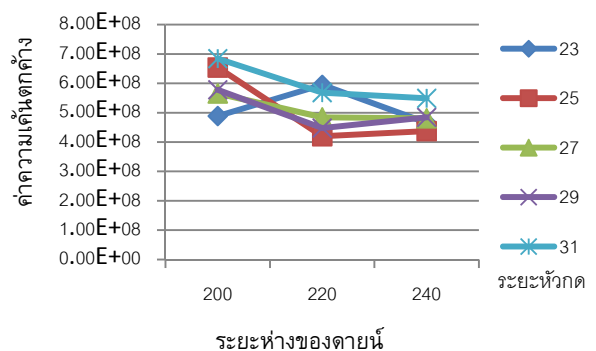
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของตายน์, ระยะหัวกตและค่าความเค้นตกค้าง 1



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าความเค้นตกค้าง (1)

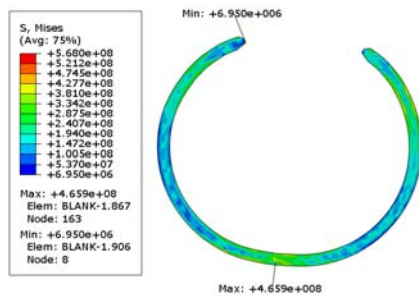
จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นตกค้างมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นที่ทุกระยะห่างของตายน์เมื่อระยะกตของหัวกตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระยะกตของหัวกตทำให้แผ่นโลหะเสียรูปได้มากขึ้นซึ่งส่งผลต่อความเครียดที่เพิ่มขึ้นและความเค้นตกค้างจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของตายน์, ระยะหัวกตและค่าความเค้นตกค้าง 2

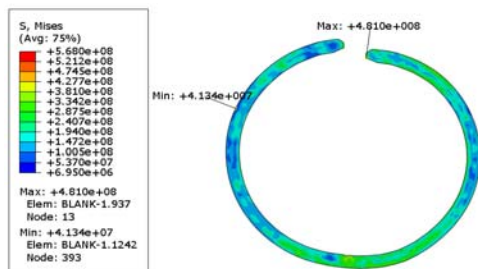


รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าความเค้นตกค้าง (2)

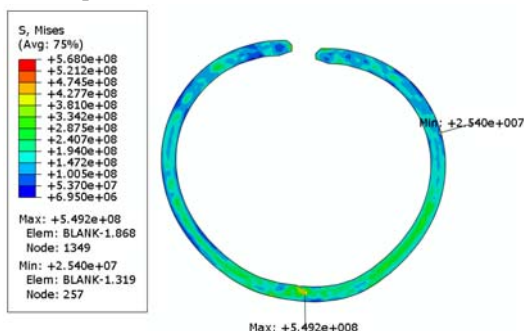
จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นตกค้างมีแนวโน้มลดลงที่ทุกระยะกตของหัวกตเมื่อระยะห่างของตายน์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระยะห่างของตายน์เพิ่มมากขึ้นทำให้ความเครียดเนื่องจากการกตของหัวกตลดลงและส่งผลทำให้ความเค้นตกค้างลดลงด้วย



รูปที่ 9 ความเค้นตกค้างกรณีที่ 1



รูปที่ 10 ความเค้นตกค้างกรณีที่ 2



รูปที่ 11 ความเค้นตกค้างกรณีที่ 3

รูปที่ 9, 10 และ 11 แสดงความเค้นตกค้างที่อยู่ในท่อทั้ง 3 กรณีตัวอย่าง ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้โดยการทำ Post Weld Heat Treatment (PWHT)

6. บทสรุป

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปท่อเป็นปัญหาที่น่าสนใจแก่ผู้ออกแบบ ในงานวิจัยนี้พารามิเตอร์ของการศึกษาดำเนินการเพื่อที่จะประเมินผลกระทบเกี่ยวกับค่าความรีของท่อและความเค้นตกค้างภายในท่อสำคัญที่พบจากการวิเคราะห์ถูกสรุปได้ว่า

เมื่อระยะห่างของดายน์เพิ่มมากขึ้นค่าความรีจะลดลงในทางกลับกันเมื่อระยะกวดของหัวกดเพิ่มมาก

ขึ้นค่าความรีจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มระยะห่างของดายน์จะทำให้รีมีความโค้งของท่อมีค่าลดลงจึงทำให้ค่าความรีมีค่าลดลงแต่การเพิ่มระยะกวดของหัวกดทำให้รีมีความโค้งของท่อเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่าความรีมีค่ามากขึ้น

สำหรับค่าความเค้นตกค้างเมื่อระยะกวดของหัวกดเพิ่มมากขึ้นค่าความเค้นตกค้างมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นแต่ในทางกลับกันเมื่อระยะห่างของดายน์เพิ่มมากขึ้นค่าความเค้นตกค้างมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มระยะกวดของหัวกดทำให้ท่อมีความเครียดเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ความเค้นตกค้างมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยแต่เมื่อระยะห่างของดายน์เพิ่มมากขึ้นทำให้การเสียรูปเนื่องจากความโค้งของท่อน้อยลงทำให้ค่าความเค้นตกค้างที่เกิดจากการเสียรูปลดน้อยลงไปด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท แคนนาดอยบ์ไปป์ จำกัด ที่เอื้อเพื่อข้อมูลของวัสดุ การทดลองขึ้นรูปจริงของท่อที่ใช้ในการทำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ข้อมูลของเครื่องจักร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 บทความจากวารสาร(Journal)

- [1] Ying Gao, Qiang Li , Lifeng Fan , Xu Wang, "Applications of Finite Element Method in Large-diameter Longitudinal Welded Pipe" 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation Vol. 3, pp.22-25
- [2] Ying Gao, Qiang li, Meng Xianchang, "Numerical simulation of JCO pipe forming, " Casting Technology, vol. 30, Jan. 2009, pp. 77-79
- [3] Gao,Lijuan Wang,Qiang Li, "Die parameter optimization in J CO bending based on FEM"
- [4] M.D. Herynk, S. Kyriakides, A. Onoufriou and H.D. Yun, "Effects of the UOE/UOC pipe manufacturing processes on pipe collapse

pressure”, International Journal of Mechanical Sciences, vol. 49, May 2007, pp. 533-553.

8.2 หนังสือ

[5] Specification For Line Pipe, API Specification 5L Forty-Second Edition, January 2000

[6] Stelios Kyriakides & Edmundo Corona, “Mechanics of Offshore Pipelines”, Volume 1: Buckling and Collapse, First edition 2007.

[7] Eliahu Zahavi & David Barlam, “Nonlinear problem in Machine Design”, CRC press LLC 2001