

การศึกษาความเค้นในถังแรงดันแนวนอนและแท่นรองรับด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

A STUDY OF STRESS IN A HORIZONTAL PRESSURE VESSEL AND THE SADDLE SUPPORTS USING FINITE ELEMENT METHOD

อรรถพล ชัยมนัสกุล

Attaphon Chaimanutsakul

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

attaphon.c@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเค้นในถังแรงดันแนวนอนและแท่นรองรับด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้แบบจำลองสามมิติและวิเคราะห์เพียง 1 ส่วน 4 ของแบบจำลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างส่วนปลายของถังแรงดันและแท่นรองรับต่อความยาวส่วนทรงกระบอกของถังแรงดัน (A/L) และอัตราส่วนของความยาวส่วนทรงกระบอกต่อรัศมีของถังแรงดัน (L/R) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแท่นรองรับกับความเค้นในถังแรงดันและแท่นรองรับจากการศึกษาพบว่าความเค้นในถังแรงดันและแท่นรองรับจะลดลงเมื่ออัตราส่วน A/L เท่ากับ 0.2 และอัตราส่วน L/R น้อยกว่า 14 ขนาดของแท่นรองรับที่เหมาะสมสามารถช่วยลดค่าความเค้นในถังแรงดันและแท่นรองรับลงได้

คำสำคัญ: ถังแรงดัน, แท่นรองรับ, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ความเค้น

Abstract

This research is aimed to a study the effects of various factors on stress in a horizontal pressure vessel and the saddle supports using finite element method, in the form 3D and only a quarter finite element model. The variables were ratio of the distance of support from the end of the vessel to the length of the vessel and ratio of the length of the vessel to the radius of the vessel. In addition, investigating the relationship between geometric of the saddle structure and stresses both in the vessel and the saddle. It was found that the stress in the pressure vessel and the saddle decreased as the ratio of A/L close to 0.2 and the slenderness ratio L/R of less than 14. The optimal saddle geometric, the stress both in the vessel and saddle could be reduced.

Keyword: pressure vessel, saddle supports, finite element method, stress

บทนำ

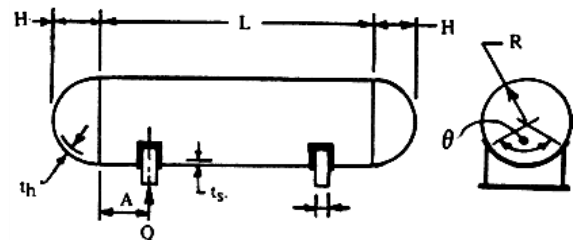
ในปัจจุบันมีการนำถังแรงดัน (Pressure vessel) ไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ถึงแรงดันนิยมใช้กันมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ถังทรงกลม (spherical) และถังทรงกระบอก (cylindrical) แต่ส่วนใหญ่แล้วมักเลือกใช้ถังทรงกระบอก เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่ายและใช้งานสะดวกมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบทรงกลม ตัวอย่างของถังแรงดันทรงกระบอก ได้แก่ เครื่องแยกไอน้ำ (Boiler drums) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchangers) และถังบรรจุก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (NGV) เป็นต้น



ภาพที่ 1 ตัวอย่างถังแรงดันแนวนอนและแท่นรองรับ

ส่วนใหญ่การใช้งานถังแรงดันแนวนอนมักจะติดตั้งอยู่บนแท่นรองรับ (Saddle) 2 ชั้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเค้นเพิ่มขึ้นในถังแรงดัน ดังนั้นในการออกแบบวิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องคำนึงถึงความเค้นที่เพิ่มขึ้น ตามมาตรฐานการออกแบบถังแรงดัน ASME (American society of mechanical engineers) และ BS5500 (British standards Institution) [1,2] มาตรฐานทั้งสองกล่าวถึงค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (allowable maximum stresses) ในการออกแบบถังแรงดัน แต่ยังมีรายละเอียดไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบแท่นรองรับ ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในถังแรงดันแบบแนวนอนและแท่นรองรับ โดยใช้วิธีกึ่งการทดลอง (Semi-empirical method) ตามพื้นฐานทฤษฎีคานและใช้ข้อสมมุติฐานที่จำเป็น เพื่อช่วยใน

การวิเคราะห์ [3] แต่ผลลัพธ์ที่ได้ไม่แม่นยำเพียงพอเนื่องจากสมมุติฐานต่างๆ อาจไม่เหมาะสม มีการนำเสนอวิธีการที่แม่นยำขึ้น โดยใช้ทฤษฎีการกระจายของฟูเรียร์เพื่อทำนายค่าความเค้นและการเสียรูป (Deformations) [4] พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีกึ่งการทดลอง ต่อมามีการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) ประมาณค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นในแท่นรองรับและถังแรงดัน [5] พบว่าตำแหน่งของแท่นรองรับควรอยู่ที่ 0.25 ของอัตราส่วนระหว่างระยะห่างจากส่วนหัวถึงแรงดันไปยังแท่นรองรับต่อความยาวส่วนทรงกระบอกของถังแรงดัน (A/L) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความเค้นที่เพิ่มขึ้นบนถังแรงดันด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [6] พบว่าค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วน A/L คือ 1 ต่อ 30 และได้แนะนำให้ใช้ค่า L/R อยู่ระหว่าง 12-16 โดยแบบจำลองของถังแรงดันและแท่นรองรับที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2



ภาพที่ 2 ถังแรงดันและแท่นรองรับ

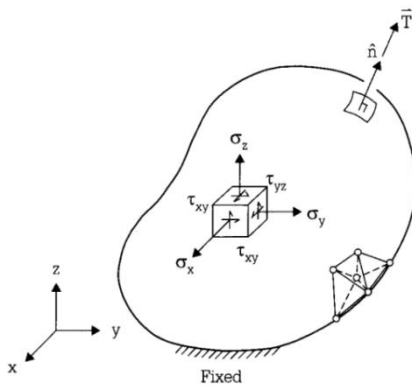
จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วน A/L และ L/R มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดความเค้นในถังแรงดันและแท่นรองรับ มีงานวิจัยหลายเรื่องที่ทำการศึกษาผลกระทบของค่าตัวแปรเหล่านี้เพื่อนำไปใช้อ้างอิงในการออกแบบและติดตั้งถังแรงดัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาค่าอัตราส่วนของระยะห่างจากส่วนหัวของถังแรงดันไปแท่นรองรับต่อความยาวของทรงกระบอกถังแรงดัน (A/L) อัตราส่วนของความยาวต่อรัศมีของถังแรงดัน (L/R) และขนาดของชิ้นส่วนของแท่นรองรับที่มีผลต่อความเค้นทั้งในถังแรงดันและแท่นรองรับ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเค้นในถึงแรงดันแนวนอนและแทนรองรับด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ทฤษฎี

1. สมการไฟไนต์เอลิเมนต์

วัตถุทรงตันรูปร่างใดๆ ใน 3 มิติ คือ x-y-z โคออร์ดิเนต แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใดๆ

สมการเชิงอนุพันธ์ที่แสดงความสมดุลของแรง ณ ตำแหน่งใดๆ บนวัตถุทรงตันนี้ตามแนวแกน x, y และ z คือ

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

โดย $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ คือ ความเค้นฉาก

τ_x, τ_y, τ_z คือ ความเค้นเฉือน

การกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของค่าความเค้นฉากและความเค้นเฉือนได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \quad (2)$$

โดย T_x, T_y, T_z คือ ความเค้นที่ผิว

ค่าของความเค้นย่อยในสมการที่(2) มีความสัมพันธ์กับค่าของความเครียดย่อย ดังนี้

$$\{\sigma\} = [C]\{\epsilon\} \quad (3)$$

เวกเตอร์ในสมการที่ (3) นี้ประกอบไปด้วย

$$\begin{aligned} \{\sigma\} &= [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy} \ \tau_{yz} \ \tau_{xz}]^T \end{aligned} \quad (4)$$

$$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz}]^T \quad (5)$$

โดย $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ คือ ความเครียดฉาก

$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ คือ ความเครียดเฉือน

เมทริกซ์ $[C]$ ในสมการที่ (3) คือ เมทริกซ์ความยืดหยุ่นของของวัสดุ เขียนได้ดังสมการที่ (6)

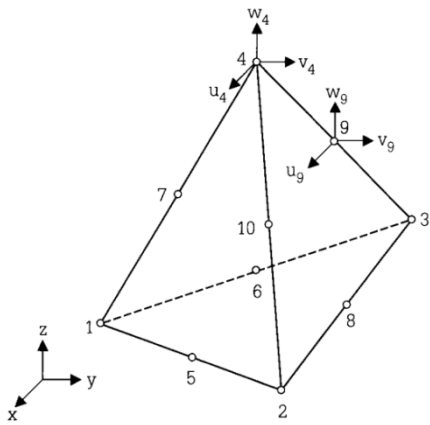
$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (0.5-\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (0.5-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (0.5-\nu) \end{bmatrix} \quad (6)$$

โดย E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น

ν คือ อัตราส่วนของปัวส์ซอง

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้าแบบสิบจุดต่อ โดยมีจุดต่อหมายเลข 1 ถึง 4 อยู่ที่มุมทั้งสี่ และหมายเลข 5 ถึง 10 อยู่ที่กึ่งกลางของขอบทั้งหก ดังแสดงในภาพที่ 4

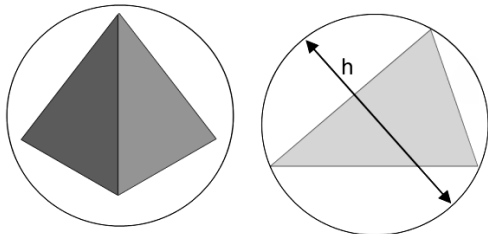




ภาพที่ 4 เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบสับจุดต่อ

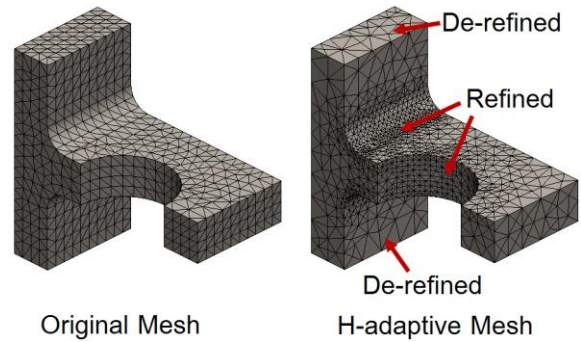
2. วิธีการปรับปรุงเอลิเมนต์แบบ h-adaptive

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณา โดยการสังเกตการลู่เข้า (convergence) ของผลเฉลย ซึ่งสามารถกระทำได้จากการปรับขนาดเอลิเมนต์ โดยกำหนดให้ตัวแปร h เป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มและการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวแปร h สำหรับการปรับขนาดเอลิเมนต์

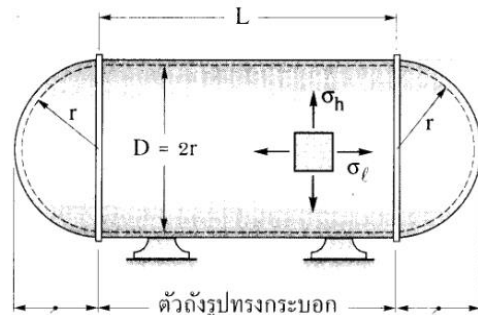
วิธี h-adaptive เป็นเทคนิคในการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยใช้ค่าพลังงานความเครียดในการพิจารณาการลู่เข้าของผลเฉลย เอลิเมนต์จะถูกปรับให้มีขนาดเล็กลง (refine) และบริเวณที่ไม่ส่งผลต่อผลเฉลยเอลิเมนต์จะถูกปรับให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (de-refine) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วิธีการปรับปรุงเอลิเมนต์แบบ h-adaptive

3. ถังแรงดันแนวนอนรูปทรงกระบอก

ถังแรงดันที่ใช้บรรจุแก๊สหรือของเหลวภายใต้ความดันที่สูงกว่าบรรยากาศนั้น ความดันของไหลที่กระทำต่อผนังของถังจะทำให้ผนังของถังรับภาระดึง หากเป็นถังแรงดันปิดรูปทรงกระบอก แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ถังแรงดันแนวนอนรูปทรงกระบอก

ผลของความดันที่กระทำต่อผนังจะทำให้เกิดความเค้นขึ้น 2 แนว คือ ความเค้นแนวแกน (longitudinal stress, σ_l) แสดงดังสมการที่ (7) และความเค้นแนวเส้นรอบวง (hoop stress, σ_h) แสดงดังสมการที่ (8)

$$\sigma_h = \frac{pD}{2t} \tag{7}$$

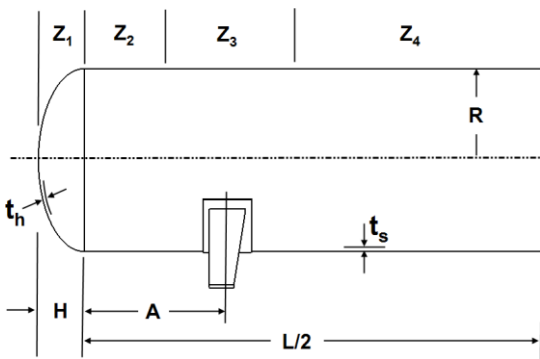
$$\sigma_l = \frac{pD}{4t} \tag{8}$$

โดย D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
 p คือ ความดันแก๊ส
 t คือ ความหนาของ ถัง

วิธีการ

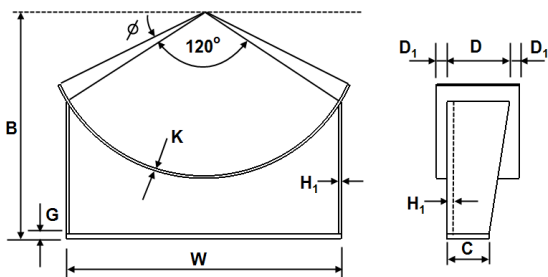
1. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองของถังแรงดันและแท่นรองรับที่ใช้ในการศึกษาได้อ้างอิงมาจาก Megyesy [6] โดยส่วนทรงกระบอกมีรัศมีเท่ากับ R ความยาวเท่ากับ L และหนาเท่ากับ t_s ส่วนหัวของถังแรงดันเป็นแบบวงรี มีความลึกเท่ากับ H และหนาเท่ากับ t_h ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แบบจำลองถังแรงดันที่ใช้

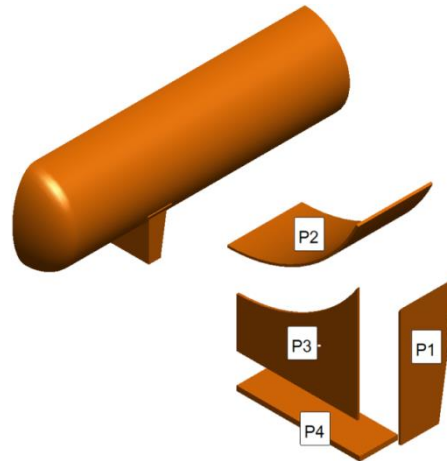
ในส่วนของแท่นรองรับจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนทั้งหมด 4 ชิ้น คือ $P_1, P_2, P_3,$ และ P_4 โดยมีรายละเอียดของขนาดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 9



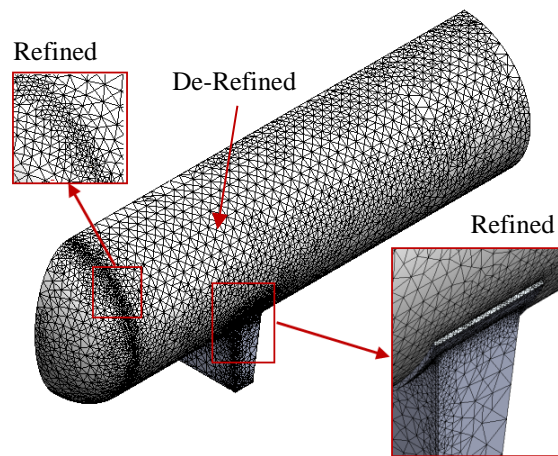
ภาพที่ 9 แบบจำลองของแท่นรองรับที่ใช้

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ได้กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรบางตัวที่ใช้บอกขนาดในภาพที่ 5 และ 6

ดังต่อไปนี้ $R=381\text{mm}, W=660\text{mm}, B=533\text{mm}, C=102\text{mm}, D=150\text{mm}, G=13\text{mm}, H=190.5\text{mm}, H_1=6\text{mm}$ และ $K=6\text{mm}$ และสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม Solid Works แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แบบจำลองถังแรงดันและแท่นรองรับ



ภาพที่ 11 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการปรับปรุงเอลิเมนต์แบบวิธี h-adaptive

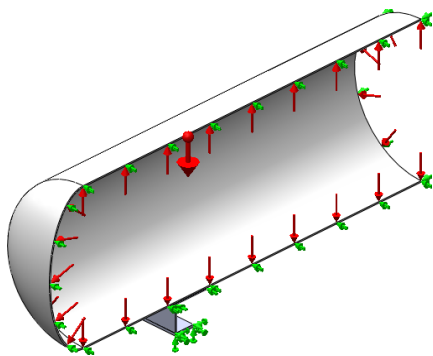
การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการวิเคราะห์เพียงหนึ่งส่วนสี่ของแบบจำลอง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดเวลาในการวิเคราะห์ลง โดยการแบ่งเอลิเมนต์เพื่อให้ได้รูปร่างของแบบจำลองใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงมากที่สุดได้เลือกใช้เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้าแบบสลิปจุดต่อ (Second order solid



tetrahedral) และได้ใช้วิธีการปรับปรุงเอลิเมนต์แบบ h-adaptive เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 11

2. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตได้กำหนดให้มีการจับยึดแบบสมมาตร (symmetry) บริเวณหน้าตัดแบ่งครึ่งในแต่ละด้าน และกำหนดแรงกระทำแบบแรงดันภายในถึงขนาดเท่ากับ 1MPa แรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวภายในถึงแรงดัน และแรงกระทำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกขนาดเท่ากับ 9.81 m/s^2 กระทำกับถึงแรงดัน ในส่วนของแท่นรองรับกำหนดให้มีการจับยึดแบบไม่เคลื่อนที่ (Immovable) ที่บริเวณด้านล่าง เพื่อไม่ให้แท่นรองรับเกิดการเคลื่อนที่ในขณะรับแรงกระทำ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

3. การศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเค้น

การศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเค้นบนถึงแรงดันและแท่นรองรับได้แบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็น 4 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วน A/L
2. การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วน L/R
3. การวิเคราะห์ค่ามุม \emptyset
4. การวิเคราะห์ค่า D1

ในส่วนของการแสดงผลการทดลอง จะแสดงในรูปแบบกราฟของค่าตัวแปรต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าความเค้น Von mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนถึงแรงดันและแท่นรองรับ

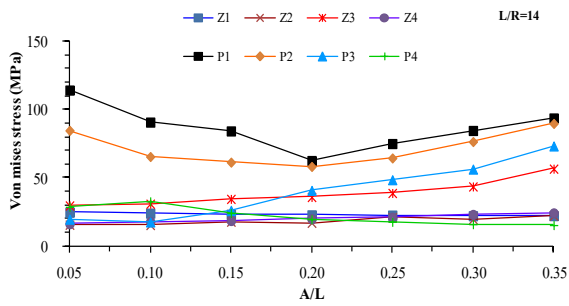
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ความเค้นบนถึงแรงดันและแท่นรองรับด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความสำคัญต่อการออกแบบอย่างมากเนื่องจากในทางปฏิบัติการพิจารณาหาความเค้นที่เกิดขึ้นกระทำได้อ่อนข้างยาก ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำนายค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ออกแบบ

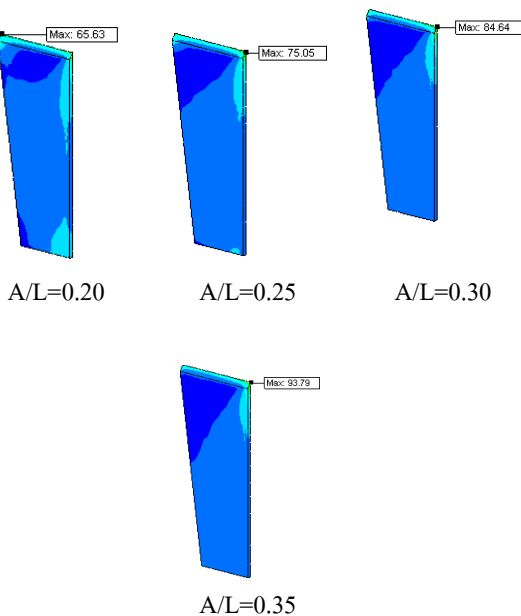
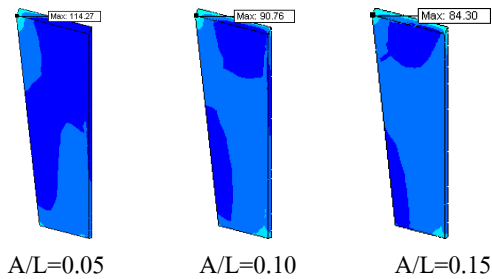
ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อความเค้นบนถึงแรงดันและแท่นรองรับ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 หัวข้อ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วน A/L

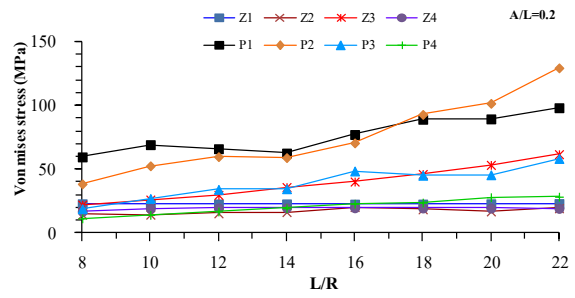
การวิเคราะห์ค่า A/L จะเริ่มจากค่า 0.05 ไปจนถึง 0.35 โดยเพิ่มค่าครั้งละ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 13 สำหรับที่ L/R=14 และ A/L=0.2 พบว่า ความเค้นชิ้นส่วน P1, P2 และ P4 มีค่าลดลงและบนถึงแรงดันบริเวณ Z1, Z2, Z4 มีค่าลดลงเช่นกัน และจะเห็นได้ว่าชิ้นส่วน P1 เกิดความเค้นมากกว่าชิ้นส่วนอื่นๆ โดยความเค้นสูงสุดบนชิ้นส่วน P1 ที่ค่า A/L ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 14 จากภาพจะเห็นได้ว่า ความเค้นที่ $A/L < 0.20$ จะเกิดที่มุมซ้ายบนของชิ้นส่วน P1 และถ้า $A/L > 0.20$ ความเค้นสูงสุดจะเกิดด้านมุมขวาบนของชิ้นส่วน เนื่องจากที่ค่า $A/L < 0.2$ แท่นรองรับจะอยู่ในตำแหน่งในตำแหน่งที่ใกล้กับส่วนหัวของถึงแรงดันจึงส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมของถึงแรงดันกระทำที่บริเวณกลางของถึงจึงให้ด้านมุมซ้ายบนของชิ้นส่วน P1 เกิดความเค้นสูงสุดขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อ $A/L > 0.2$ น้ำหนักโดยรวมจะกระทำที่บริเวณส่วนหัวถึงจึงทำให้ด้านมุมขวาบนเกิดความเค้นสูงสุด ดังนั้นค่า A/L ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบคือ $A/L=0.2$



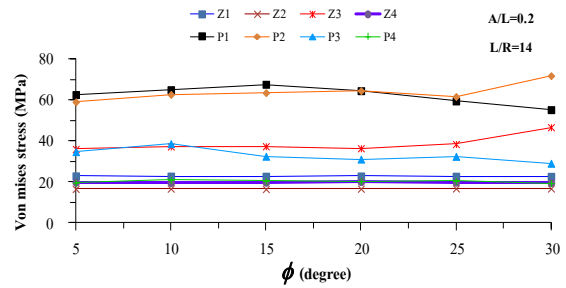
ภาพที่ 13 กราฟความเค้น Von mises สูงสุด และค่า A/L



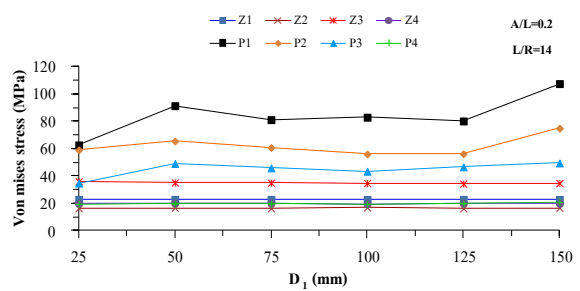
ภาพที่ 14 ความเค้น Von mises สูงสุด บนชิ้นส่วน P1 ที่อัตราส่วน A/L ต่างๆ



ภาพที่ 15 กราฟความเค้น Von mises สูงสุด และค่า L/R



ภาพที่ 16 กราฟความเค้น Von mises สูงสุด และค่า phi



ภาพที่ 17 กราฟความเค้น Von mises สูงสุด และค่า D1



2. ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วน L/R

ค่า L/R ของถังแรงดันจะบอกให้ทราบถึงลักษณะความเพรียว (slenderness) ของถังแรงดัน ในการวิเคราะห์ผลกระทบของค่า L/R ที่มีต่อความเค้นบนถังแรงดันได้กระทำที่ค่า L/R เท่ากับ 8 ถึง 22 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 2 และที่ $A/L=0.2$ แสดงดังภาพที่ 15 พบว่าความเค้นบนชั้นส่วน P1 และ P2 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นส่วนอื่นๆ โดยค่าความเค้นในช่วง L/R เท่ากับ 8 ถึง 14 พบว่าความเค้นในทุกชั้นส่วนมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นช่วง L/R < 14 จึงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ

3. ผลการวิเคราะห์ค่ามุม θ

การวิเคราะห์ค่ามุม θ จะเริ่มจากค่า 5° ถึง 30° โดยเพิ่มค่าครั้งละ 5° และทำการวิเคราะห์ที่ค่า $A/L=0.2$ และ $L/R=14$ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่า ที่ค่า θ มากกว่า 25° ความเค้นสูงสุดในชั้นส่วน P2 และ Z3 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และในช่วงค่า θ ระหว่าง 5° ถึง 20° ความเค้นในทุกชั้นส่วนจะมีค่าคงที่ ดังนั้นค่า θ ระหว่าง 5° ถึง 20° จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการออกแบบ

4. ผลการวิเคราะห์ค่า D1

การวิเคราะห์ค่า D1 จะเริ่มจาก 25 ถึง 150 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 25 และทำการวิเคราะห์ที่ค่า $A/L=0.2$ และ $L/R=14$ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าที่ค่า $D1>25$ ความเค้นสูงสุดในชั้นส่วน P1 และ P3 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในชั้นส่วนอื่นๆ ความเค้นสูงสุดมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นค่า D1 ที่เหมาะสมในการออกแบบคือค่า D1 น้อยกว่า 25

สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความเค้นในถังแรงดันแนวนอนและแท่นรองรับด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และเทคนิคการปรับปรุงเอลิเมนต์แบบ h-adaptive ผู้วิจัยพบว่าที่ค่า A/L เท่ากับ 0.2 ค่า L/R น้อยกว่า 14 ค่ามุม θ

ระหว่าง 5° ถึง 20° และค่า D1 น้อยกว่า 25 ความเค้นสูงสุดในถังแรงดันและแท่นรองรับจะมีค่าลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ถังแรงดันและแท่นรองรับที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นเพียงรูปแบบหนึ่ง แต่ยังมีถังแรงดันอีกหลายรูปแบบที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

2. ในการวิเคราะห์ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแปรบางตัวเท่านั้น ดังนั้นตัวแปรอื่นๆ จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติม

3. แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาถังแรงดันแนวนอนรูปแบบอื่นได้ เช่น ถังก๊าซ CNG/NGV ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ถังแรงดันในอุตสาหกรรมมต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.N. Chattopadhyay. (2004). **Pressure Vessels Design and Practice**. CRC Press.
- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee Subcommittee of Pressure Vessel. (2007). **Section VIII Rules of Construction of Pressure Vessels, Division 1**. New York.
- [3] Zick LP. (1985). Stresses in large horizontal cylindrical pressure vessels on two saddle supports. **Pressure vessel and piping: design and analysis-a decade of progress**. 2. 959-970.
- [4] Widera, GEO; Sang, ZF;& Natarajan, R. (1988). On the design of horizontal pressure vessels. **ASME Journal of Pressure Vessel Technology**. 393-401.



- [5] Magucki K; Stasiewicz P; & Szyc W. (2003). Flexible saddle support of a horizontal cylindrical pressure. **International Journal of Pressure Vessels and Piping**. 205-210.
- [6] Megyesy EF. (2001). Pressure vessel hand book. **Pressure Vessel Publishing**. Tulsa, Oklahoman.

