

ศึกษาและออกแบบความหนาของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ภายในถังรับแรงดันโดย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Study and Design of Pressure Vessel Thickness and Anthracite Filter Tray in the Pressure Vessel Using Finite Element Method

วิชานัฐ พึ่งพรสวรรค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

E-mail: vicharnat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาความหนาของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ โดยประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และหาแนวทางลดความหนาของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ ในการออกแบบชนิดฐานรองรับซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ จากนั้นสร้างแบบจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและเงื่อนไขขอบเขต แล้ววิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าการเสียรูปของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ แล้ววิเคราะห์หาความเค้นเนื่องจากความดันและแรงกระทำต่างๆ ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลที่ได้นั้นช่วยลดความหนาของถังรับความดันเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยจากนั้นทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงสรุปได้ว่าการออกแบบถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซต์ชนิด คลิปรองรับ 8 ชั้นและ 1 วงแหวน ช่วยลดการเสียรูปจาก 1.12 มม. เป็น 1.0852 มม. และความเค้นจาก 147.61MPa เป็น 136.01 MPa

คำสำคัญ: ฐานรองรับแอนทราไซต์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยอเมริกา

Abstract

This research studies the pressure vessel thickness and the anthracite filter in the pressure vessel using finite element method to reduce production cost and time. The research began with the creation of 3D model and finite element model of pressure vessel and anthracite filter tray. Then, material properties and boundary conditions were defined to analyze the deformation on the pressure vessel and anthracite filter tray. Then, the stress was calculated to determine the load on the pressure vessel and anthracite filter tray. The results obtained were in correlation with the American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Committee (ASME). The deformation on the 8 clips, one-ring support anthracite filter tray had decreased from 1.12 mm to 1.0852 mm and the maximum stress on the anthracite filter tray had decreased from 147.61MPa to 136.01 MPa.

Keywords: anthracite filter tray, Finite Element Method (FEM), American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Committee (ASEM)

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทย การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ได้มีความเติบโตอย่างมาก โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรม ทางด้านการบิน ปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และพลังงาน ซึ่งได้มีการพัฒนาเป็นที่กว้างขวางในประเทศไทย ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการรับความดัน อยู่ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก

งานทางด้านการผลิตในกระบวนการบิน ปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมันและพลังงานนั้น ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชานี้ เช่น สาขาวิศวกรรมการบิน และอวกาศ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมเคมี สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี วิศวกรรมการผลิต เป็นต้น หน้าที่ของวิศวกรต้องดูแลควบคุมส่วนใหญ่นั้น ก็จะเกี่ยวกับทางด้านรับความดัน งานท่อ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระบวนการผลิต จึงต้องมีการสร้างถึงรับความดันเพื่อรองรับความต้องการในกระบวนการผลิต วิศวกรทำงานในหน่วยงานที่รับหน้าที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับการสร้างถึงรับความดัน จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและหาข้อมูลเพิ่มเติม จากที่ได้ศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ พึงพาการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นที่เคยทำกันมาในอดีต ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านเวลา ปริมาณของวัสดุ หลีกเลี่ยงการทดลองที่ไม่จำเป็น และที่สำคัญที่สุดชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมานั้นจะมีความถูกต้องและประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมทางการบิน ปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน พลังงาน ไฟฟ้าและ

อิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง และอื่นๆ ส่วนนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการออกแบบกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามการออกแบบถึงรับความดันตามมาตรฐานสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 และ 2 (ASME,2011) (ASME CODE Sec. VIII division 1 and division 2) มีข้อกำหนดในการออกแบบในการหาความหนาของถึงรับความดันในส่วนต่าง ๆ ซึ่งถ้าเป็นภาชนะรูปแบบที่ไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานผู้ออกแบบ (Designer) จะไม่มีมาตรฐานในการอ้างอิงในการออกแบบ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการออกแบบ (Tamil Mannan et al., 2008)

โครงการวิจัยนี้มุ่งศึกษาการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับการคำนวณโดยมาตรฐานสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกาในการหาความหนาของถึงรับความดันและฐานรองรับแอมทราไซค์ภายในถึงรับความดัน โดยวัสดุแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนแบบแผ่นหนา No. SA-516/SA-516M 70 ตามมาตรฐานสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 2ASME Sec, II Part A (ASME,2011) (ASME SA-516/SA516-M) โดยผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบถึงรับความดันในสายงานของตัวผู้วิจัยและวิศวกรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมทางการบิน ปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และพลังงาน

ตัวแปร

ความหนาแน่น	0.280lb/in ³
ความดันออกแบบ	145.038 psi
อุณหภูมิ	85 °C
ประสิทธิภาพรอยต่อ	1
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	149.61 in

สูง (TAN/TAN)	163.39in
โมดูลัสของวัสดุ	2.84×10^7 psi
Poisson's Ratio	0.3

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเค้นของถังรับความดันและการออกแบบด้วยมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASME)
2. ศึกษาความเค้นของถังรับความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป
3. เพื่อออกแบบถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซค์ภายในถังรับความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป
4. เปรียบผลที่ได้จากทั้งสองวิธี

3. วิธีการศึกษา

3.1 ศึกษาวิธีมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASME) สมการที่ 1 และ 2 สมการแสดงความหนาของ Shell และ SF ด้วยวิธี ASME

$$t_{I.D.} = \frac{PR_i}{2SE + 0.4P} \quad (1)$$

$$t_{O.D.} = \frac{PR_o}{2SE + 1.4P} \quad (2)$$

สมการที่ 3 สมการแสดงความเค้นของ Shell ด้วยวิธี ASME

$$\sigma_x = \frac{PR_m}{0.2t} \quad (3)$$

สมการที่ 4 และ 5 สมการแสดงความเค้นของ Head ด้วยวิธี ASME

$$t_{I.D.} = \frac{PD_i}{2SE - 0.2P} \quad (4)$$

$$t_{O.D.} = \frac{PD_o}{2SE + 1.8P} \quad (5)$$

σ_x = ความเค้นตามความยาว (psi)

P = ความดันภายใน (psi)

Rm = ค่าเฉลี่ยรัศมีของตัวถังและหัวถัง (in)

Ri = รัศมีภายใน (in)

Ro = รัศมีภายนอก (in)

E = ประสิทธิภาพรอยต่อ

t = ความหนาหรือความหนาที่ต้องการ ของตัวถัง, หัวถังหรือก้นถัง (in)

Di = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

Do = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

3.2 ศึกษาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 แบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ และเลือกชนิดของเอลิเมนต์ ต้องทำการแบ่งให้เหมือนโครงสร้างเดิมมากที่สุด

3.2.2 การเลือกฟังก์ชันการกระจัดให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์หรือสอดคล้องกับระดับความเสรีของเอลิเมนต์ ฟังก์ชันการกระจัดที่นิยม คือ พอลิโนเมียล ฟังก์ชันการกระจัดที่เลือกใช้จะต้องทำให้ผลเฉลยมีความต่อเนื่องทั้งภายในเอลิเมนต์และแบบจำลองของระบบรวม

3.2.3 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัดและ ความเค้น/ความเครียด การหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัดและความเค้นกับความเครียด

3.2.4 เนื่องจากโครงสร้างรับแรงแล้วทำให้เกิดความเค้นมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมกัน เพราะฉะนั้นจำเป็นที่จะต้องสามารถรวมความเค้นเหล่านี้เข้าด้วยกัน เรียกว่า ความเค้นผสม (Combined Stress) เพื่อนำไปใช้ในการแสดงความแข็งแรงของโครงสร้างที่สามารถหาความ

เส้นผสมได้อย่างเดียว อาจจะไม่มีความเพียงพอที่จะนำไปใช้อธิบายถึงเหตุที่ชิ้นงานเกิดความเสียหาย เพราะความเค้นที่เกิดขึ้นมีหลายชนิดพร้อมๆ กัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ทฤษฎีเพื่อมาอธิบายความเสียหายของชิ้นงาน โดยพยายามเชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่สามารถทดสอบได้ เช่น ความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงคราก หรือความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของวัสดุอย่างธรรมดา ซึ่งเรียกว่าทฤษฎีความเสียหาย

3.2.5 การออกแบบชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเหนียวและรับภาระแบบสถิตนิยมใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือน อ็อกคาฮิดรัล และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งจากการทดลองพบว่า ทฤษฎีความเค้นเฉือนอ็อกคาฮิดรัลสามารถทำนายผลการครากของชิ้นงานได้ดีในทุกสภาวะของความเค้น ส่วนทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดจะให้ผลออกแบบที่อนุรักษ์นิยมกว่า ดังนั้นทฤษฎีความเค้นเฉือนอ็อกคาฮิดรัลเพื่อคำนวณความเค้นในโครงสร้าง ทฤษฎีความเค้นเฉือนอ็อกคาฮิดรัลนี้มีชื่อเรียกว่า Misws-Hencky หรือเรียกง่ายๆ ว่าหลักเกณฑ์ของ Von Misses ดังสมการที่ 6

สมการที่ 6 สมการหาความเค้นแบบวอนมิสเสส (Von Misses Stress) (Daryl, 2007)

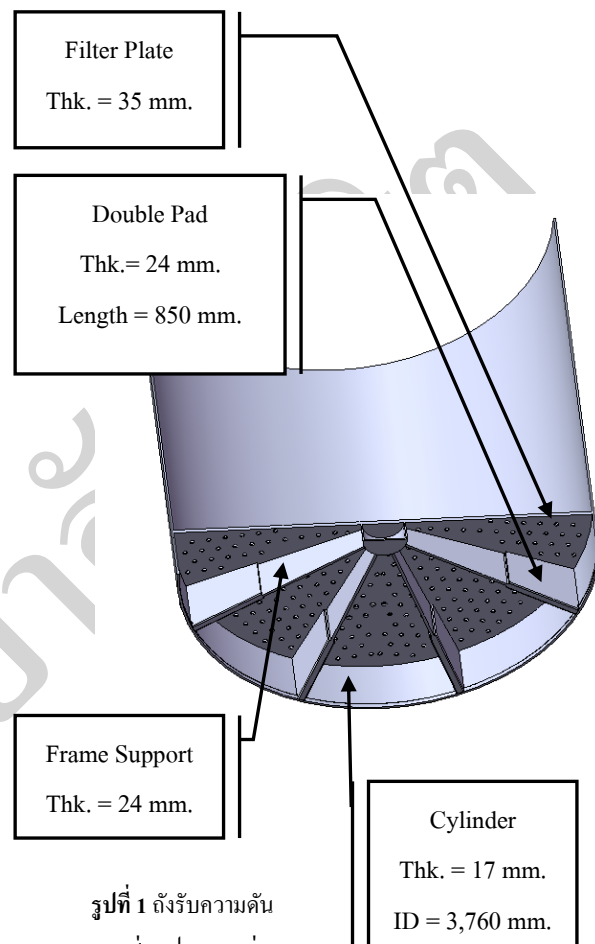
$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (6)$$

- σ_v = ความเค้นวอนมิสเสส
 σ_x = ความเค้นหลักในแนวแกน x
 σ_y = ความเค้นหลักในแนวแกน y
 σ_z = ความเค้นหลักในแนวแกน z
 τ_{xy} = ความเค้นเฉือนในระนาบแกน x-y
 τ_{yz} = ความเค้นเฉือนในระนาบแกน y-z
 τ_{zx} = ความเค้นเฉือนในระนาบแกน z-x

เอลิเมนต์แบบสามมิติที่นิยมใช้กันมากในทางปฏิบัติมีอยู่สองแบบคือ เอลิเมนต์ทรงสี่หน้า

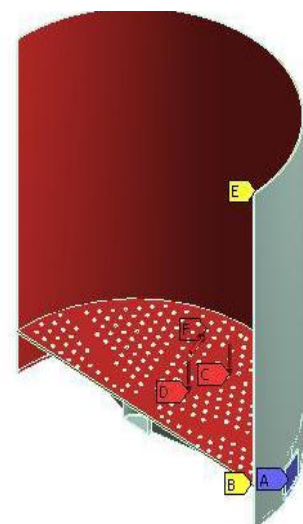
(Tetrahedral element) และเอลิเมนต์ทรงหกหน้า (hexahedral element)

ขอบเขตการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 1 และ 2

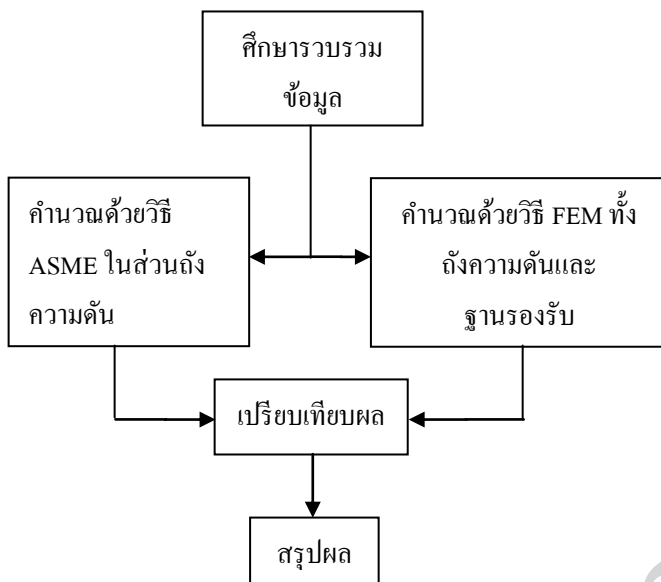


รูปที่ 1 ถังรับความดัน และส่วนประกอบต่างๆ

- Seam Fixed
Time: 1. s
- A Fixed Support at Leg
 - B Symmetry
 - C Pressure Drop: 0.15 MPa
 - D Load: 3.473e-002 MPa
 - E Seam Fixed
 - F Design Pressure: 1. MPa



รูปที่ 2 การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 3 แผนภาพวิธีการ

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลจากการคำนวณจากมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASME)

ตารางที่ 1 รายการคำนวณความหนาด้วยวิธี ASME

Component Identifier	Thickness Calculation (mm)	Thickness Design (mm)
Top Head	16.95	21.59*
SF on Top Head	17.02	25.4
Shell	17.67	20
SF on Bottom Head	17.68	25.4
Bottom Head	17.76	21.59*

*หมายเหตุ ความหนาน้อยที่สุดหลังจากแปลงรูป

จากตารางที่ 1 แสดงผลคำนวณความหนา (Thickness Calculation) ด้วยวิธี ASME ดังสมการที่ 1 และ 3 โดยผู้วิจัยพิจารณาความหนาออกแบบ (Thickness Design) ตามความจริงที่มีขายตามท้องตลาด

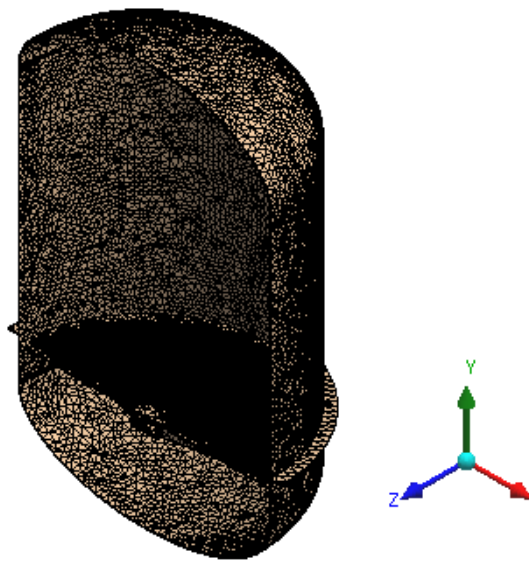
ตารางที่ 2 รายการคำนวณความเค้นด้วยวิธี ASME

Component Identifier	Stress Calculation (MPa)
Top Head	104.67
SF on Top Head	99.32
Shell	126.32
SF on Bottom Head	99.32
Bottom Head	104.67

จากตารางที่ 2 แสดงผลคำนวณความเค้น (stress Calculation) ด้วยวิธี ASME ดังสมการที่ 2 ความเค้นที่ได้ทั้งหมดต่ำกว่าความเค้นที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดไว้

4.2 ผลจากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการทดสอบเอลิเมนต์จุดประสงค์ของการเลือกเอลิเมนต์ ดังรูปที่ 4 ที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ผลการคำนวณนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 4 การสร้างกริดที่ใช้ในการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยผู้วิจัยทำการลดความหนาที่ได้จากการคำนวณไป 2 mm ด้วยวิธี ASME ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 3 เนื่องจากการคำนวณด้วย FEM แสดงค่าความเค้นน้อยกว่า ASME ที่ความหนาเดียวกัน

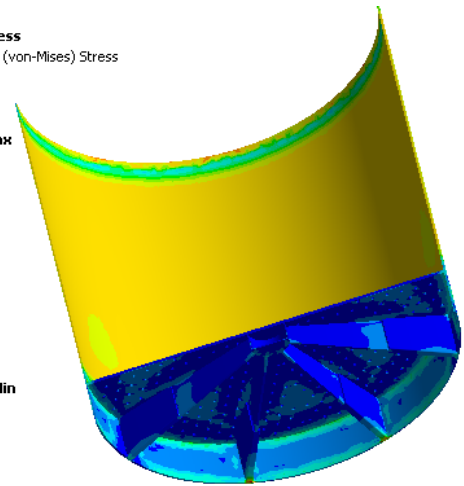
ตารางที่ 3 ความหนาออกแบบ

Component Identifier	Thickness Design (mm) with ASME	Thickness Design (mm) with FEM
Top Head	21.59	19.59
SF on Top Head	25.4	23.4
Shell	20	18
SF on Bottom	25.4	23.4
Head		
Bottom Head	21.59	19.59

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

136.01 Max
123.65
111.3
98.947
86.594
74.24
61.887
49.533
37.179
24.826
12.472
0.11885 Min

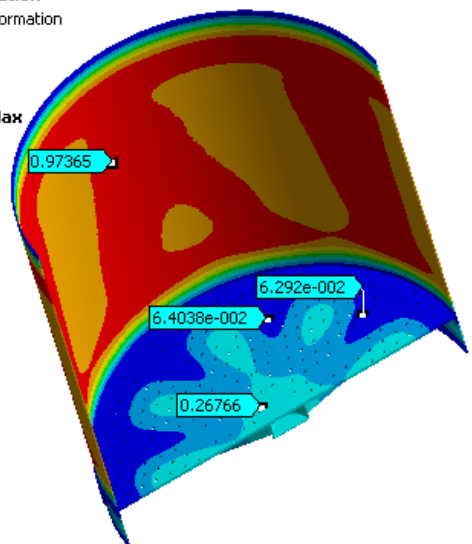


รูปที่ 5 ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ความเค้น (Stress) ด้วยวิธี FEA ดังรูปที่ 5 ความเค้นที่มากที่สุดมีค่า 136.01 MPa ซึ่งเกิดขึ้นฐานรองรับแอนทราซซ์ และต่ำกว่าความเค้นที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของวัสดุ

Total Deformation

Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

1.0852 Max
0.96464
0.84406
0.72348
0.6029
0.48232
0.36174
0.24116
0.12058
0 Min



รูปที่ 6 ค่าการเสีรูปที่ได้จากการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

ค่าการเสีรูป (Deformation) ด้วยวิธี FEA ดังรูปที่ 6 ค่าการเสีรูปที่มากที่สุดมีค่า 1.0852 mm ซึ่งเกิดขึ้นถึงรับความดันในส่วน Shell

5. การอภิปรายผล

1. มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบถังแรงดันด้วยมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 (ASME,2011) (ASMECODE Sec. VIII division 1)

2. มีความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ถังรับความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(FEA)

3. การจำลองการออกแบบถังรับความดันด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

4. สามารถวิเคราะห์การออกแบบถังรับความดันในรูปแบบต่างๆได้

5. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาถึงความรับดันอื่นๆต่อไปในอุตสาหกรรมทางด้านการบิน ปีโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และพลังงาน

6. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการประกอบวิชาชีพในอุตสาหกรรม ทางด้านการบิน ปีโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และพลังงาน

6. บทสรุป

ผลงานที่ได้จากการทำโครงการของผู้จัดทำ ได้ทำการศึกษา ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติและทำการวิเคราะห์ผล ถึงรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซด์ชนิด คลิปรองรับ 8 ชั้นและ 1 วงแหวน ช่วยลดการเสียรูปจาก 1.12 มม. เป็น 1.0852 มม. และ ความเค้นจาก 147.61MPa เป็น 136.01 MPa เมื่อเทียบกับการออกแบบด้วยมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา ทำให้ช่วยการออกแบบมีประสิทธิภาพสามารถทดสอบได้ก่อนลงมือสร้างจริงและทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจำลองชิ้นงานโดยเปลี่ยนวัสดุของฐานรองรับเป็นวัสดุผสม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มทางเลือกในการออกแบบ

2. ควรจำลองชนิดของฐานรองรับหลายๆแบบ เพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

3. ทำการจำลองโดยการปรับลดความหนา

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนาวาอากาศเอก รongศาสตราจารย์สมชาย หาญกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ นาวาอากาศตรีชำนาญ เพชรโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะวิศวกรรมการบินและอวกาศ รวมทั้งคณาจารย์สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นายเสถียรธรรม สุจริตภักดีสกุล นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) นายบรรจบ มานูตร (Principal of Static Equipment Engineer) บริษัทฟอสเตอร์ วิลเลอร์ ไทยแลนด์ Mr. Pranav Kunte (Engineer Manager) และทีมงานบริษัท เอสทีอาร์อาร์ เอนจิเนียริง

8. เอกสารอ้างอิง

- ASME. (2011). The American Society of Mechanical Engineers Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessels Section VIII Division 1 Edition 2010 Addenda 2011a. Three Park Avenue, USA.
- ASME. (2011). The American Society of Mechanical Engineers Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessels Section VIII Division 2

Edition 2010 Addenda 2011a. Three Park Avenue, USA.

ASME. (2011). The American Society of Mechanical Engineers Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessels Section II Edition 2010 Addenda 2011a. Three Park Avenue, USA.

Daryl L. Logan. (2007). A First Course in the Finite Element Method 4th Edition. Thomson Learning 1120 Birchmonount Road Toronto, Canada.

K. Tamil Mannan, RakeshSaxena, R. Murugavel and P.L. Sah. (2008). Stress Analysis of Conical Shell Skirt Support for Hight Pressure Vessel Using Finite Element Method. Multidiscipline Modeling in Mat.And Str.5, pp. 355-362, Canada.