

(_____รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.____) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ศึกษาและออกแบบความหนาของถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์ ภายในถังรับความคัน โคยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

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

โดย

นายวิชาณัฐ พึ่งพรสวรรค์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อกวามสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ) พ.ศ. 2557 วิชาณัฐ พึ่งพรสวรรค์ 2557: ศึกษาและออกแบบความหนาของถังรับวามคันและฐาน รองรับแอนทราไซด์ภายในถังรับความดันโดยระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ) สาขาวิศวกรรมการบินและ อวกาศ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สมชาย หาญกล้า, Ph.D. 85 หน้า

เนื่องจากถังรับความคันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสหกรรมการบิน อุตสหกรรมเคมี ปิโตเลียม และถังรับความคันบางชนิคมีฐานรองรับเป็นส่วนช่วยในการกรองสาร การวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ เพื่อพิจารณาความแข็งแรงของฐานรองรับแอนทราไซค์ไปตามรหัสและมาตรฐานที่กำหนด

งานวิจัยนี้มีวัดอุประสงค์เพื่อศึกษาการหาความหนาและรูปแบบของฐานรองรับแอนทราไซด์ โดยประยุกด์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนด์เอลิเมนด์ที่เมื่อยู่ในโปรแกรมสำเร็จรูป และเลือกใช้เอลิเมนด์ แผ่นบางแบบ 4 จุดต่อ ซึ่งเป็นเอลิเมนด์ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาความเก้นและหาทางลดความ หนาของฐานรองรับแอนทราไซต์ในการออกแบบชนิดของฐานรองรับ 7แบบ คือ แบบคลิป8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น แบบวงกลม 5 ชิ้น แบบคลิป8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น และแบบคลิป4 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น ซึ่งจะช่วยลดค้นทุนและเวลาในกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่ม จากการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซด์ จากนั้นสร้างแบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนด์เอลิเมนต์ กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและเงื่อนไข ขอบเขต แล้ววิเกราะห์หาความเก้นเนื่องจากความดันและแรงกระทำต่างๆ ด้วยไฟในต์เอลิเมนต์ ทั้ง 7 แบบและนำมาเทียบกับค่าความเก้นสูงสุดที่อนุญาตทมรหัสได้และค่าการเสียรูปที่ขอมรับได้ ตามความต้องการวิศวกรออกแบบ ผลที่ได้ฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบวงกลม 5 ชิ้น แบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และ วงกลม 2 ชิ้น และแบบกลิป4 ชิ้นแลงงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และ วงกลม 2 ชิ้น และแบบกลิป4 ชิ้นแลงงากลง 2 ชิ้น พินทางกลม 2 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป

/ /

Vicharnat Phuengpornsawan 2014: Study and Design Thickness of Pressure Vessel and Anthracite Filter Tray in the Pressure Vessel by Using Finite Element Method. Master of Engineering (Aerospace Engineering), Major Field: Aerospace Engineering, Department of Aerospace Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Group Captain Somchai Hanklar, Ph.D. 85 pages.

Since the pressure vessel is common use for the aerospace petroleum and chemical industry and also the pressure vessel some type is require internal support for operation. This research aims to study and analyze the pressure vessel and anthracite filter tray according to code and standard.

The objective of thisresearch its studies thickness and each type of the anthracite filter tray in the pressure vessel by using finite element with an S4R four-node shell element model, which good support for the stress analysis and try to find reduce the thickness anthracite filter which applied support type as eight rectangular with one cycle, six rectangular with one cycle, four rectangular with one cycle, five cycles, eight rectangular with two cycles, six rectangular with two cycles, and four rectangular with two cycles support to reduce production cost andtime. The research began with the creation 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 seven type of 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 American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Committee (ASME) and deformation acceptance from designer. The deformation and maximum allowable stress on the eight rectangular with one cycle, six rectangular with one cycle, eight rectangular with two cycles, six rectangular with two cycles, four rectangular with two cycles supports pass acceptance criteria.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก คร.สมชาย หาญกล้า ประธานกรรมการที่ ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นาวาอากาศโท คร. ชำนาญ เพชรโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นาวาอากาศโท พนม อินทรัศมี ผู้ทรงกุณวุติและ คร. มนต์ชัย สุระรัตน์ชัย ประธานการสอบที่ได้กรุณาให้ความรู้ แนวทาง คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และ โรงเรียนนาย เรืออากาศ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ สถานที่ และการช่วยเหลืออื่นๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณนายเสฎฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล นักวิจัยศูนย์ เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) นายบรรจบ มาบุตรและทีมงานบริษัทฟอสเตอร์วีล เลอร์และนายปรานาฟ และทีมงานเอสทีอาร์อาร์ เอนจิเนียร์ริ่งที่ได้ให้ความรู้คำปรึกษา คำแนะนำ โดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่สาวที่คอยให้กำลังใจ ในการแนะนำ และความช่วยเหลือ ทุกอย่างนอกจากนี้ยังเป็นแรงบัลดาลใจ ในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้ได้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

> วิชาณัฐ พึ่งพรสวรรค์ กุมภาพันธ์ 2557

สารบัญ

สารบัญ	1)
สารบัญตาราง (2	2)
สารบัญภาพ (4	4)
กำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
រិតី ការ	31
ผลและวิจารณ์	11
Ma 2	11
วิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	52
तर्ग	52
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก การคำนวณความหนาของถังรับความดัน	58
ภาคผนวก ข ข้อมูลและมิติของถังรับความคันและฐานรองรับ	73
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	35

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า แสดงกวามแข็งแรงของวัสดุ No.SA-516/SA-516M 1 12 แสดงการแบ่งเกรดความหนาสูงสุดของวัสดุ No.SA-516/SA-516M 2 12 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุ No. SA-516/SA-516M 3 14 แสดงค่าเคมีของวัสดุ No. SA-516/SA-516M 4 15 เปรียบความเค้นที่ได้จากการคำนวณตาม ASME และ FEA 5 27 คุณสมบัติของวัสดุ 32 6 ข้อมูลแสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1 42 7 ข้อมูลแสดงผลระยะโก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 8 และ 0.5 43 ข้อมูลแสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1 9 44 ข้อมูลแสดงผลความเก้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 10 และ 0.5 45 แสดงผลการจำลองแบบของความเค้นและการยุบตัวทีเกิดขึ้นตัวสูงสุด 11 61 ์ แสดงผลการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 8 ชิ้น ระหว่าง 12 1 และ2 วงกลม 63 แสดงผลการเปรียบเทียบกวามเก้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 6 ชิ้น 13 ระหว่าง 1 และ2 วงกลม 63 แสดงผลการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 4 ชิ้น ระหว่าง 14 1 และ2 วงกลม 63

ตารางผนวกที่

ก1	ความหนาของถังรับความดัน	62
ป1	คุณสมบัติทั่วไปของถังรับความคัน	74
ข2	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น	74

ลิขสิทชิ้ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

ข3	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น	74
ป4	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น	75
ข5	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น	75
ป 6	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น	75
ข7	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น	76
U 8	คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น	76



หน้า

สารบัญภาพ

ภาพที่

แสดงแรงดึงกระทำกับท่อนวัตถุ 1 แสดงแรงกดกระทำกับท่อนวัตถุ 2 แสดงแรงดึงกระทำกับท่อนวัตถุ 3 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของถังรับความคัน 4 แสดงตัวแปรต่างๆ ของถังรับความคันในส่วนฝ่าชนิครูปทรงกลมรื 5 สองต่อหนึ่งจากความดันภายใน ไฟไนต์เอลิเมนต์ โมเคล 6 การยืดตัวในมิติเดียว 7 แสดงเอลิเมนต์ (Element) 4, 5, 6, และ 8 โนคตามลำคับ 8 ์ แสดงความเค้นในขอบรูปทรง วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม และวงรี 9 ขอบเขตการครากตามทฤษฎีความเสียหาย 10 วัสดุแผ่นในแนวระนาบ x-y ถูกแรงกระทำในแนวแกน z 11 แสดงการสร้างกริด (Grid) ด้วยเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมมี ratio 3:1 12 เอลิเมนต์แบบ S4R 13 ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป 14 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น 15 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น 16 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น 17 ถังรับความดันและฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น 18

19	ถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	36
20	ถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	36
21	ถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	37
22	สร้างกริดตามข้อแนะนำมาตรฐาน TEMA	38
23	แสดงภาพถังรับความคัน	39
24	แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการตั้งก่าในโปรแกรมช่วยกำนวณ	40
25	การกำหนดโหลดของ Propped Cantilever Beam	41
26	ความเค้นของการแบ่งเอถิเมนต์ที่ Aspect Ratio 1	41
27	การเสียรูปของการแบ่งเอลิเมนต์ที่ Aspect Ratio 1	42

หน้า

5

6

6

8

10

16

19

23

23

25

25

28

31

32

34

34

35

35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	แสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1 เทียบกับผล	
	เฉลยด้วยสมการ Euler	43
29	แสดงผลระยะโก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และ	
	เทียบกับผลเฉลยด้วยสมการ Euler	44
30	แสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1และเทียบกับผล	
	เฉลยด้วยสมการ Euler	45
31	แสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และ 0.5	
	และเทียบกับผลเฉลยด้วยสมการ Euler	46
32	การทคสอบการจำลองกวามเก้นฟอนมิสของถังรับกวามคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	47
33	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8	
	ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	47
34	การทคสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	49
35	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป	
	6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	50
36	การทคสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	51
37	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 4	
	ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	52
38	การทคสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับ	
	แบบวงกลม 5 ชิ้น	53
39	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบ	
	วงกลม 5 ชิ้น	54
40	การทคสอบการจำลองกวามเก้นฟอนมิสของถังรับกวามคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	55
41	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8	
	ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	การทคสอบการจำลองความเค้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	57
43	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6	
	ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	58
44	การทคสอบการจำลองความเค้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับ	
	แบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	59
45	การทคสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป	
	4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	60

ภาพผนวกที่

V1	มิติของถังรับความคัน	77
ป2	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	78
ี่ ข3	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น	79
ป4	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 4 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น	80
ข5	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบวงกลม	81
ป 6	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	82
ข7	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	83
U 8	มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 4 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น	84

ศึกษาและออกแบบความหนาของถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซด์ภายใน ถังรับความดันโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

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

คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทย การพัฒนาทางอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ได้มีความเติบโตอย่างมาก โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรมทางด้านการบิน ปิโตเคมี การกลั่นน้ำมัน และพลังงาน ซึ่งได้มีการ พัฒนาเป็นที่กว้างขวางในประเทศไทยซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีถังรับ กวามดัน อยู่ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก

การงานทางด้านการผลิตในกระบวนปีโตรเคมี การกลั่นน้ำมันและพลังงานนั้น ศาสตร์ที่ เกี่ยวข้องกับสาขาวิชานี้ เช่น สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สาขา วิศวกรรมเคมี สาขาวิศวกรรมปีโตรเคมี และสาขาวิศวกรรมการผลิต เป็นต้น หน้าที่ของวิศวกรต้อง ดูแลกวบคุมถังรับความดัน งานท่อ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระบวนการผลิต จึงต้องมีการสร้างถัง รับความดันเพื่อรองรับความต้องการในกระบวนการผลิตวิศวกรทำงานในหน่วยงานที่รับหน้าที่มี ความเกี่ยวข้องกับการสร้างถังรับความดัน จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและหาข้อมูลเพิ่มเติมจากที่ได้ ศึกษามา

ระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในปัจุบันวิศวกรในอุตสาหกรรมต่างๆ พึ่งพาการใช้ระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นโปรแกรม สำเร็จรูปเพื่อบ่งบอกถึงปรากฎการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกคังเช่นที่เคยทำกันมาในอดีตซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านเวลา ปริมาณวัสดุ หลีกเลี่ยงการทดลองที่ไม่จำเป็น และที่สำคัญชิ้นงานที่ออกแบบมานั้นจะมีความถูก ต้องและประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานในภาคอุตสหกรรมต่างๆ เช่น อุตสหกรรมทางด้าน การบิน ปีโตเคมี การกลั่นน้ำมัน พลังงาน ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและ โครงสร้าง และอื่นๆ ล้วนนำระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์มาใช้ในการออกแบบกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

อย่างไรก็ตามการออกแบบถังรับความดันตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 และ 2 (American Society of Mechanical Engineering Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessel Section VIII Division 1 and 2) มีข้อจำกัดในการออกแบบ ในการหาความหนาของถังรับแรงดันในส่วนต่างๆ ซึ่งถ้าเป็นภาชนะที่ไม่ได้ระบุไว้ในรหัส ผู้ออกแบบ (Designer) จะไม่มีรหัสในการอ้างอิงในการออกแบบ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นทางเลือก หนึ่งในการออกแบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาการกำหนดตัวแปรต่างๆ ของฐานรองรับแอนทราไซด์ใน ชนิดต่างๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์โดยมาตรฐานสมาคมผู้ผลิตท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Tubular Exchanger Manufacturers Association) โดยวัสดุแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนแบบแผ่นหนา No. SA-516/SA-516M 70 ตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 2 ส่วน A และ D (American Society of Mechanical Engineering Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessel Section II Section A and D) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเด้นและ รูปร่างของฐานรองรับในชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์

วัตถุประสงค์

สึกษาความแข็งแรงของถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์ในแบบที่แตกต่างกัน
 6 ชนิด

 วิเคราะห์ชนิดของฐานรองรับแอนทราไซด์ทั้ง 7 แบบ ที่มีผลต่อการเลือกฐานรองรับ แอนทราไซด์ที่เหมาะสมของถังรับความคัน

 ศึกษาการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและจำลองแบบถังรับความดันและ ฐานรองรับแอนทราไซด์

ขอบเขตการวิจัย

 ศึกษาความเค้นและการเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์ในแบบ คลิป 8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น แบบวงกลม 5 ชิ้น แบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น และแบบ คลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้นโดยใช้ความหนาไม่น้อยกว่าความต้องการตามรหัสสมาคม วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

 เปรียบเทียบขีดจำกัดของฐานรองรับแอนทราไซด์ 7แบบ โดยความเค้นจะต้องต่ำกว่า ก่าความเค้นอนุญาตตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 2 และ การเสียรูปจะต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

เปรียบเทียบขีดจำกัดของฐานรองรับแอนทราไซด์ 7 แบบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้การออกแบบถังรับความดันและฐานรองรับ แอนทราไซด์ในรูปแบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นและมีแนวทางเลือกใช้งานฐานรองรับ แอนทราไซด์อย่างเหมาะสมซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการประหยัดและประสิทธิภาพของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร

ถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังรับภารกรรม ได้นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบรวมถึงลดความสิ้นเปลืองในการทดสอบ

ความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบถังรับความคัน (Pressure Vessel) และฐานรองรับแอนทราไซต์ (Anthracite Filter Tray) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือความปลอดภัยในการใช้งาน ด้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพ ตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บทที่ 1 (American Society of Mechanical Engineering Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessel Section VIII Division 1) ได้บอกข้อกำหนดการออกแบบการผลิตและการตวรจสอบถังรับความคันเฉพาะ บางส่วนซึ่งไม่ได้กรอบกลุม ส่วนฐานรองรับ และส่วนอื่นๆ ที่ไม่ได้รับความคัน



การตรวจเอกสาร

1. เอกสารงานวิจัยที่ฝ่านมา (Literature Review)

1.1 ทฤษฎีความเค้นในถังรับความคัน

สุระเชษฐ (2521) ได้อธิบายนิยามของความเก้น คือ แรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุด ศูนย์ถ่วงของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น หรือคือแรงภายนอกต่อหนึ่งพื้นที่ ซึ่งแบ่งออกเป็นสามชนิด ดังนี้

 1.1.1 ความเค้นดึง (Tensile Stress) หรือ σ_เจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึง จะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้นดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 แสดงแรงดึงกระทำกับท่อนวัตถุ

ที่มา: สุระเชษฐ (2521)

~_

(1)

โดยที่

σ,

σ_t = ความเค้นที่เกิดขึ้น (ปาสกาล)
 A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ตารางเมตร)
 F = แรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุ (นิวตัน)

 1.1.2 ความเค้นอัด (Compressive Stress) หรือ **o** จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงอัด โดยแรงอัดโดยแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุที่กระทำนั้นดังแสดงในภาพ ที่ 2

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร



ภาพที่ 2 แสดงแรงกดกระทำกับท่อนวัตถุ

ที่มา: สุระเชษฐ(2521)

(2)

โดยที่

Α

σ = ความเค้นที่เกิดขึ้น (ปาสคาล)

= พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ตารางเมตร)

F = แรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุ (นิวตัน)

1.1.3 ความเค้นเฉือน (Shear Stress) หรือ Tเป็นแรงภายที่มากระทำต่อวัตถุนั้นโดย พยายามทำให้วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบกับทิศทางของแรงนั้นดังแสดงในภาพที่

A



ภาพที่ 3 แสดงแรงคึงกระทำกับท่อนวัตถุ

ที่มา: สุระเชษฐ (2521)

=

τ

 $\frac{F}{A}$

(3)

โดยที่

τ =	=	ความเค้นที่เกิดขึ้น	(ปาสคาล)
-----	---	---------------------	----------

- A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ตารางเมตร)
- F = แรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุ (นิวตัน)

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

สมการที่ 3 สมการแสดงความเค้นเฉือน

การสร้างและการออกแบบถังรับความคัน ให้สามารถใช้งานได้ด้วยความปลอดภัยนั้นมีรหัส มากมายซึ่งขึ้นอยู่กับตามตกลงระหว่างผู้ผลิต (Vendor) กับผู้สั่งซื้อ (Plant) ไม่สามารถสร้างตามใจ ้ผู้ผลิต เพราะจะไม่มีใครเชื่อมั่นในความปลอดภัยจากการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้รหัสสมาคม วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 (American Society of Mechanical Engineering Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessel Section VIII Division 1) ประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะใช้ รหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 ออกแบบและสร้างถังรับความคัน โดยผู้ผลิตจะต้องผ่านการรับรองสแตมป์และ Nation Board และถังรับความคันทุกถังจะถูกตรวจสอบโคยผู้ตรวจสอบที่ได้รับอนุมัติจากสมาคมวิศวกรรม ้เครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา(Authorized Inspector) เพื่อให้ถังรับความคันเป็น U-Stamp ซึ่ง รากาก็จะเพิ่มขึ้นตามมา โดยบางงานเพื่อลดรากาต้นทุนอาจเลือกถังรับความคันไม่รับรอง U-Stamp แต่ในสัญญาว่าจ้างกำหนดให้ผู้ผลิตออกแบบตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 ปกติถ้าผู้ผลิตที่รับจากผลิตถังรับความคันจะรับข้อมูลจากทางผู้สั่งซื้อ เพื่อผู้ผลิตสามารถออกแบบรายงานคำนวณ แบบงานสร้าง และเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดส่งหมด ให้ผู้สั่งซื้อจนกว่าผู้สั่งซื้อจะอนุมัติเอกสารทั้งหมด ผู้ผลิตจึงจะสามารถเริ่มงานได้ ในรหัสสมาคม ีวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 จะส่วน UG, UW, UCH, ภาคผนวก และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ งานออกแบบ งานก่อสร้าง และงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งขึ้นกับ ข้อมูลที่ได้จากผู้สั่งซื้อ จากนั้นผู้ผลิตนำข้อมูลมาใช้ให้ตรงตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 ต้องหนาเท่าใด ต้องเสริมแหวนความแข็งแรงไหม ต้องอบ ความร้อนหลังงานเชื่อมไหม ต้องทำการตวรจสอบประสิทธิภาพรอยต่อโดยรังสีเอกซ์เรย์ (RT) เช่น ตรวจสอบรอยต่อทั้งหมด(100%) ค่า E=1 ตรวจสอบบางตำแหน่ง (85%) ค่า E=0.85 หรือ ไม่ ตรวจสอบเลย ค่า E=0.75

ASME Sec.VIII (2010) ส่วน UG-27 และภาคผนวก 1 อธิบายการกำนวณ ตัวถัง (Shell) จากความดันภายใน ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การกำนวณออกแบบรอยต่อเส้นรอบวงของถัง (ความเก้นตามความยาว) และ สูตรการกำนวณออกแบบรอยต่อตามแนวกวามยาว (กวามเก้นตาม เส้นรอบวงของตัวถัง) ดังแสดงในภาพที่ 4

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของถังรับความคัน

PRm

0.2t

ที่มา: Moss (1997)

สูตรการคำนวณออกความเค้นตามความยาว

 σ_{x}

(4)

โดยที่

Р	=	ความคันภายใน (ปาสกาล)
Rm	=	รัศมีเฉลี่ย(มิลลิเมตร)
t	=	ความหนา (มิลลิเมตร)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มิลลิเมตร)
r	=	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (ตารางเมตร)
L	=	แรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุ (นิวตัน)

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

สูตรการคำนวณความหนาออกแบบส่วนเปลือก (ความเค้นตามความยาว)

 $= \frac{PRo}{2SE + 1.4P}$

โดยที่

t

Р	=	ความคันภายใน (ปาสกาล)
Ro	=	รัศมีภายนอก (มิลลิเมตร)
t	=	ความหนา (มิลลิเมตร)
S	=	ความเก้นสูงสุดอนุญาต(ปาสกาล)
Е	=	สัมประสิทธิ์รอยต่อ (1.0)

สูตรการคำนวณความเค้นตามเส้นรอบวงของตัวถัง

~		PRm
O _ø	157	0.2t

โดยที่

P	=	ความคันภายใน (ปาสกาล)
$\sigma_{_{o}}$		ความเค้นตามเส้นรอบวง (ปาสคาล)
Rm	=	รัศมีเฉลี่ย(มิลลิเมตร)
t	=	ความหนา (มิลลิเมตร)

สูตรการคำนวณความหนาออกแบบส่วนเปลือก(ความเค้นตามเส้นรอบวงของตัวถัง)

		PRo		(7)
t	=	$\overline{\text{SE} + 0.4\text{P}}$	× ×	()

โดยที่

Р	=	ความคันภายใน (ปาสคาล)
Ro	=	รัศมีภายนอก (มิลลิเมตร)
t	=	ความหนา (มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(5)

(6)

การคำนวณ ฝาถัง จากความคันภายใน ของฝาถังแบบ 2:1 ครึ่งทรงรี (2:1 Ellipsoidal) ตามที่ปรากฎในภาพที่ 5



h	=	ความสูงของฝา (มิลลิเมตร)
Х	=	ความยาวของส่วนโค้งบน (มิลลิเมตร)
R	=	รัศมีภายใน (มิลลิเมตร)
t	=	ความหนา (มิลลิเมตร)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มิลลิเมตร)
r	=	รัศมีส่วนนัคเคิลของฝา (มิลลิเมตร)
L	=	รัศมีส่วนบนของฝ่า (มิลลิเมตร)

ภาพที่ 5 แสดงตัวแปรต่างๆ ของถังรับความคันในส่วนฝาชนิครูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่งจากความ คันภายใน

ที่มา: Moss (1997)

ลิบสิทชี้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ASME Sec.VIII (2010) ส่วน UG-32 และภาคผนวก 1 อธิบายการคำนวณความหนาฝา ชนิดรูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่งจากความคันภายในคังสมการที่ 8

t		$= \frac{PDo}{2SE + 1.8P}$
โดยที่		
Р		ความคันภายใน (ปาสคาล)
Do	=4	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มิลลิเมตร)
t	-	ความหนา (มิลลิเมตร)
S	=	ความเก้นสูงสุดอนุญาต(ปาสกาล)
Е	=	สัมประสิทธิ์รอยต่อ (1.0)

สูตรการคำนวณความหนาฝาชนิดรูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่ง

1.2 คุณสมบัติของวัสคุ

ASME Sec.II (2010) ข้อกำหนดที่ใช้ในด้านวัสดุของการสร้างภาชนะรับความดันตาม มาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASME) นั้นถูกระบุอยู่ใน ASME Section II โดยใด้แขกออกเป็นทั้งหมด 4 Part ได้แก่ Part A ข้อกำหนดข้อวัสดุในกลุ่มเหล็ก (Ferrous Material Specification) Part B ข้อกำหนดข้อวัสดุนอกกลุ่มเหล็ก (Nonferrous Material Specification) Part C ข้อกำหนดของวัสดุประสานงานเชื่อม (Specification for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals) Part D คุณสมบัติ (Properties)

วัสดุตามที่ขอบเขตได้ระบุไว้ No.SA-516/SA-516M ตามมาตรฐาน ASME Section 2 Part A และ A 516/A 516M มาตรฐานสมาคมการทดสอบวัสดุแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) มีข้อกำหนดตาม มาตรฐานทั้ง 2 มาตรฐานต่อไปนี้

เหล็กการ์บอนแบบแผ่นหนาของถังรับความดัน สำหรับอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิต่ำ No. SA-516/SA-516M ตามมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกา (ASME)

(8)

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร

 หลักเกณฑ์นี้ครอบคลุม แผ่นเหล็กหนา คาร์บอน มีความสำคัญสำหรับการใช้งานอุณหภูมิ ปานกลางและอุณหภูมิต่ำ ในถังรับความคัน

แผ่นเหล็กหนาภายใต้ข้อกำหนดนี้สามารถใช้งานได้ โดนแบ่งความแข็งแรงออกเป็น
 4 ระดับดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความแข็งแรงของวัสดุ No.SA-516/SA-516M

ค่าความเค้นแรงดึง, ksi(MPa)
55 - 75 (380 - 515)
60 - 80 (415 - 550)
65 - 85 (450 - 585)
70 - 90 (485 - 620)

 ความหนาสูงสุดของแผ่นเหล็กหนานั้น ถูกจำกัดความจุขององค์ประกอบด้วยข้อกำหนด ความต้องการตามคุณสมบัติทางกล อย่างไรก็ตาม โดยปกติในทางปฏิบัติจะจำกัดความหนาสูงสุด ของแผ่นเหล็กหนาภายใต้ข้อกำหนดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งเกรดความหนาสูงสุดของวัสดุ No.SA-516/SA-516M

เกรด, U.S. (SI)	ความหนาสูงสุด, in(mm)	
55 (380)	12 (305)	
60 (415)	8 (205)	
65 (450)	8 (205)	
70 (485)	8 (205)	

 4. ข้อมูลของหน่วยที่อ้างอิงถึงการแบ่งมาตรฐาน ข้อมูลของแต่ละระบบไม่แน่นอนเสมอไป ด้วยเหตุนี้แต่ละระบบจึงมีความต้องการที่จะใช้ข้อมูลของแต่ละระบบ จะไม่ยอมรับในการนำมา รวมกัน เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่สอดกล้องกัน ASTM (2009)จากการศึกษากฎข้อบังคับมาตรฐานของ สมาคมการทคสอบวัสดุแห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) ข้อกำหนดA-20/A-20M ข้อกำหนดสำหรับความต้องการทั่วไป สำหรับเหล็กแผ่นหนาสำหรับถังความคันข้อกำหนด A-435/A-435M ข้อกำหนดสำหรับการส่งรับ กลื่นเสียงตามแนวตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน Ultrasonic Examination สำหรับแผ่นหนา ข้อกำหนด A-577/A-577M ข้อกำหนดสำหรับการเปลี่ยนแปลงคลื่นเสียงตามยาวเป็นคลื่นเสียงตามขวางและ กระทำมุมขนาดต่าง ๆ ของ Ultrasonic Examination สำหรับแผ่นหนา ข้อกำหนด ข้อกำหนดสำหรับ การส่งและรับคลื่นเสียงตามแนวตั้งฉากกับผิวหน้าชิ้นงานของ Ultrasonic Examination ในการหุ้มผิวและไม่หุ้มของแผ่นเหล็กหนาสำหรับการใช้งานในกรณีพิเศษ

ASME Sec.II Part A (2010)ความต้องการทั่วไปและข้อมูลการสั่งวัสคุ No. SA-516/SA-516M ตามมาตราฐาน ASME มีคังต่อไปนี้

 วัสดุที่ใช้ควรสอดคล้องกับข้อกำหนด A-20/A20M โครงร่างของวิธีการทดสอบซ้ำ วิธีการและการดำเนินการ ขนาดและปริมาณสามารถคลาดเคลื่อนได้ ในการซ่อมแซมส่วนที่เกิด จุดบกพร่องจากร่องรอยในการรับภาระและการบรรทุกอื่นๆ

 2. ข้อกำหนด A-20/A-20M เป็นที่ยอมรับตาม ข้อกำหนดสำหรับข้อมูลในการสั่งซื้อวัสดุ กวรจะทำตามข้อกำหนดนี้

 โดยทั่วไปความต้องการพื้นฐานของข้อกำหนดนี้ เหมาะที่จะเพิ่มเติมความต้องการ อย่างแน่นอน เมื่อมีการเพิ่มเติมการควบคุม ทดสอบหรือตรวจสอบ ขั้นตอนสุดท้ายของความ ต้องการจะ ประกอบด้วย

- 3.1 การรักษาสุญญากาศ
- 3.2 การเพิ่มเติมหรือการทดสอบความตึงแบบพิเศษ
- 3.3 การทดสอบแรงกระแทก อื่นๆ
- 3.4 การทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

ผู้จัดซื้อจะอ้างอิงรายการเพิ่มเติมใน ข้อกำหนดนี้และรายละเอียดในข้อกำหนดA-20/A 20M

5. ถ้าความต้องต้องการของข้อกำหนดนี้ ขัดแย้งกับ ข้อกำหนด A-20/A-20M ดังนั้น ข้อกำหนดของ ความต้องการนี้ก็จะเหนือกว่าข้อกำหนด A-20/A-20M

กระบวนการผลิตวัสดุ No. SA-516/SA-516M ตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศ สหรัฐอเมริกา (ASME) การปฏิบัติการผลิตเหล็กจะต้อง ทำการขจัดสารมลทินและการทำ ให้ขนาดของเม็ดเกรนหยาบเป็น โครงสร้างแบบออสเทนนิติก ตามข้อกำหนด A-20/A-20M กระบวนการทางความร้อน แผ่นเหล็กความหนา 1.5 in (40mm) และน้อยกว่า โดยทั่วไปการ ปรับปรุงคุณภาพถัง ภายหลังการม้วนขึ้นรูปสามารถจะทำได้ ภายใต้เงื่อนไขความหนา โดยการอบ กลายความเค้น (Normalized) หรือทั้ง 2 อย่าง กรณีแผ่นเหล็กที่มีขนาดหนากว่า 1.5 in (40mm) จะต้องผ่านกระบวนการอบคลายความเค้น (Normalized)

ความต้องการทางเคมีและสมบัติทางกลของวัสดู No.SA-516/SA-516M แสดงไว้ในตาราง ที่ 3 และ 4

Properties	Grade 70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	70-90 [485-620]
Yield strength, min, ksi [MPa]	38 [260]
Elongation in 6 in. [152.4mm], min, %	17
Elongation in 2 in. [50.8mm], min, %	21

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุ No. SA-516/SA-516M

ตารางที่ 4 แสดงก่าเกมีของวัสดุ No. SA-516/SA-516M

Element	Grade 70 [485]
Carbon, max	0.27
Maganese,	0.85-1.2
Phosphorus, max	0.035
Sulfur, max	0.035
Silicon	0.15-0.40

ASME Sec.II Part D (2010)ความต้องคุณสมบัติต่างๆ ของวัสคุและข้อมูลวัสคุ No. SA-516/SA-516M ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสตามมาตราฐาน ASME มีคังต่อไปนี้

- 1. ความเค้นสูงสุดที่อนุญาต(Maximum Allowable Stress) คือ 138,000,000 ปาสคาล
- 2. มอดุลัสของยัง (Young's Modulus) คือ 198,800,000,000 ปาสกาล
- 3. อัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ration) คือ 0.3
- 4. ความเค้นวิกฤติ (Yield Strength) คือ 260,000,000 ปาสคาล
- 5. ความหนาแน่นวัสดุ (Density) คือ 7,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. ระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์

ปราโมทย์ (2550)ได้อธิบายบทนิยามของไฟในต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ปัญหามัก ประกอบไปด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ ผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามตำแหน่งต่างๆ กันบนรูปร่างลักษณะ ของปัญหานั้นหรือผลเฉลยแม่นตรงจะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ทั้งหมดนับเป็นจำนวนอนันต์ก่า แทนที่จะทำการหาผลเฉลยแม่นตรงที่ประกอบด้วยค่าต่างๆ จำนวนมากมายเช่นนี้สำหรับปัญหา ในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปไม่ได้ หลักการก็คือทำการลดค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านั้นมาเป็นค่า โดยประมาณในจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(Element) ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน ไฟในต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีในการหาคำตอบของทางสมการคณิตศาสตร์ โดยประมาณ นิยมใช้กับปัญหาที่ความซับซ้อนทั้งรูป (Geometry) และปัญหาขอบเขต (Boundary Conditions) เริ่มจากการแบ่งรูปร่างที่มีความต่อเนื่องของชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็กๆ ที่ถูกแบ่งจะเรียกว่า Element และจุดที่เชื่อมต่อกันจะเรียกว่า Node เมื่อหลาย Element ประกอบกันจะเรียกว่าไฟในต์ เอลิเมนต์โมเคลดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ไฟในต์เอลิเมนต์โมเคล

ที่มา: ปราโมทย์ (2550)

ปราโมทย์ และ สุทธิศักดิ์ (2548) ได้อธิบายกระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟในต์เอลิเมนต์ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

1. กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processor) คือการสร้างโมเคลไฟในต์เอลิเมนต์

จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตก่อนวิเคราะห์ปัญหานั้น การสร้างรูปแบบไฟในต์เอลิเมนต์ อันประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของปัญหาที่กำหนดมาให้นั้น ตามปกติ จะใช้เวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากรูปร่างของปัญหามีความซับซ้อน ผู้สร้างรูปร่างหน้าจอ กอมพิวเตอร์ควรมีประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปนั้นๆ มาสักระยะหนึ่ง จึงสามารถ สร้างรูปแบบที่กำหนดให้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพได้ เริ่มตั้งแต่การสร้างจุด เส้นตรง เส้น โด้งต่างๆ รวมทั้งพื้นผิว โดยข้อมูลของจุด เส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวเหล่านี้จะถูกเก็บในรูปแบบ ของสมการทางเรขาคณิตในหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น เพื่อผู้ใช้สามารถสร้างเอลิเมนต์ ทั้งขนาดและจำนวนต่างๆ กันได้ โดยรูปแบบของไฟในต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นยังเสมือนรูปร่างต้นแบบ

ลิขสิทฮิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ลิบสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเกษยรศาสยร์

ของจริงมากที่สุด รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังประกอบไปด้วยหมายเลขของจุดต่อ หมายเลข ของเอลิเมนต์และข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ขั้นต่อไป รายละเอียดต่างๆ จำนวนมากเหล่านี้ปกติจะไม่แสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ยกเว้นผู้ใช้ต้องการให้แสดงเพื่อการ ตรวจสอบหลังจากการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เสร็จสิ้นลงแล้ว ผู้ใช้จำเป็นต้องกำหนด เงื่อนไขขอบเขตอันอาจประกอบไปด้วย การกำหนดก่าให้กับบางจุดต่อของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ นั้นเงื่อนไขขอบเขตเหล่านี้ จำเป็นต้องเหมือนหรือใกล้เกียงกับของจริงให้มากที่สุดจึงจะนำไปสู่ ผลลัพธ์ที่สอดกล้องกับความเป็นจริง

2. กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis-Processor) ข้อมูลต่างๆ ของรูปแบบไฟในต์เอลิเมนต์ ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขของเขตที่กำหนดให้ในขั้นตอนแรก จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) ด้วยไฟในต์เอลิเมนต์โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งผึงตัวอยู่แล้วในโปรแกรมสำเร็จรูปจะสร้าง สมการไฟในต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับทุกๆ เอลิเมนต์ ก่อนที่จะนำมาประกอบ กันเข้าขึ้นเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ จากนั้นจึง แก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่นั้นโดยเวลาที่ใช้ในการกำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด ซึ่งผู้ใช้ได้สร้างขึ้น และขนาดของระบบสมการรวมขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการเชิงอนุพันธ์ของ ปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Partial Differential Equations) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ เพียงครั้งเดียวทำให้เวลาที่ใช้ในการกำนวณไม่มากนั้น แต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำ (Iteration) หลายรอบ ทำให้เวลาที่ใช้ในการกำนวณนั้นนานมากขึ้น โดยเฉพาะหากรูปแบบไฟในต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย เอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมีความเข้าใจถึงองก์ความรู้พื้นฐาน ภายในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์บ้าง ก็จะช่วยในการตัดสินใจสิ่งต่างๆ ก่อนทำการวิเคราะห์ได้ เป็นอย่างดี ซึ่งจะสามารถทุ่นเวลาในการกำนวณลงไปได้มาก

3. กระบวนการขั้นท้าย (Result-Processor) ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ในขั้นตอน ที่แล้วจะประกอบด้วยตัวเลขเป็นจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยแสดงกราฟิกส์สี เพื่อแสดงตัวเลขจำนวนมากเหล่านี้ออกมาบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจปรากฎการณ์ ที่เกิดขึ้น ได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการขั้นสุดท้าย (Post-Processor) นี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่ง รูปแบบของการแสดงผลลัพธ์นั้นมีหลายชนิด นับตั้งแต่การแสดงด้วยแถบชั้นสี (Fringe Plot) การ แสดงด้วยเส้นชั้นสี (Contour Lines) การแสดงด้วยเวกเตอร์ (Vector Plot) เป็นต้น ทั้งบนรูปร่าง ดั้งเดิมหรือบนรูปร่างที่เสียรูปไปแล้ว ดังนั้นความเข้าใจในผลลัพธ์อันเป็นผลจากรูปร่างที่ได้ออกแบบ ใปบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ได้โดยตรงอย่างรวดเร็วจะทำให้ผู้ออกแบบเข้าใจในปัญหานั้นได้อย่าง ลึกซึ่งมากยิ่งขึ้น และอาจก่อให้เกิดแนวคิดในการปรับเปลี่ยนรูปทรงนั้น เพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดี ยิ่งขึ้นไปอีก กระบวนการดังกล่าวนี้เองที่ช่วยลดเวลาในการออกแบบการผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ลงไป ได้มากในปัจจุบัน และสามารถหลีกเลี่ยงการลองผิดลองถูกที่เคยใช้กันในอดีต

ระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลงหนึ่งที่ใช้สำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธุ์ซึ่ง สามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางค้านกลศาสตร์ของแข็งเช่นความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ว่า ้ วัสคุที่จะทำการวิเคราะห์จะอยู่ในสภาพยึคหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยึคตัว (Plastic) นอกจากนี้ยัง สามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางค้านพลศาสตร์เช่นการสั่นสะเทือนของโครงสร้างรวมทั้งปัญหาค้าน การถ่ายเทความร้อนของของใหลเป็นต้นการวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนสามารถจะหาสมการ ้ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบได้โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์และผลเฉลยที่ได้จะเรียกว่า ผลเฉลยแม่นตรง(Exact Solution) แต่สำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างจำนวนมากมีรูปทรงที่ซับซ้อน หรือรูปร่างลักษณะประกอบไปด้วยส่วนโค้งเว้าต่างๆจึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นตรง ้จากสมการอนุพันธ์สามัญหรือสมการอนุพันธ์ย่อยได้ฉะนั้นจำเป็นต้องหาด้วยวิธีอื่นเช่นระเบียบวิธี ้ไฟในต์เอลิเมนต์ที่สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพืชคณิตแทนการแก้ สมการเชิงอนุพันธ์การแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ชิ้นส่วนของปัญหาจะถูกแบ่งออก ้เป็นส่วนข่อขๆอข่างต่อเนื่องตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วนผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลย ที่จุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์การวิเคราะห์ปัญหาโดยระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ จะไม่วิเคราะห์ปัญหา ที่เดียวแต่จะวิเคราะห์หาค่าทีละเอลิเมนต์แล้วนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นผลเฉลยของระบบสมการ ไฟ ในต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โครงสร้างสามารถหามาได้จากวิธีพื้นฐาน2 วิธีคือวิธีแรงหรือวิธี ยึดหยุ่น (Force or Flexibility Method) และวิธีการกระจัดหรือวิธีสทิฟเนส (Displacement or Stiffness Method)วิธีแรกสามารถหาแรงภายในและแรงปฏิกิริยาโดยอาศัยการสมคุลของแรงและสมการ เงื่อนไขการกระจัดส่วนวิธีที่สองสามารถหาการกระจัดที่สมมติขึ้นโดยมีเงื่อนไขของความต่อเนื่อง ้งองเอลิเมนต์ที่แต่ละจุดต่อหรือที่งอบบริเวณที่สัมผัสกันไม่ว่าก่อนและหลังโหลดกระทำยังคงมี ความต่อเนื่องเหมือนเดิมดังนั้นสมการสมดุลจะเขียนอยู่ในเทอมของการกระจัดของแต่ละจุดต่อ และค่าของการกระจัคกี่สามารถจะหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัค

ขั้นตอนของวิธีไฟในต์เอลิเมนต์

 แบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ และเลือกชนิดของเอลิเมนต์ต้องทำการแบ่งให้เหมือน โครงสร้างเดิมมากที่สุดเช่นในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงกะทันหันก็แทนด้วยเอลิเมนต์เล็ก เพียงพอเพื่อที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำยิ่งขึ้นแต่ถ้าเล็กมากเกินไปอาจเสียเวลาในการกำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

มากเกินความจำเป็นและค่าใช้จ่ายสูงขึ้นด้วย ส่วนการเลือกชนิดของเอลิเมนต์จะต้องคำนึงถึงรูปร่าง ลักษณะของโครงสร้างและการกระทำของโหลด

 การเลือกพึงก์ชันการกระจัดให้สอดกล้องกับจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์หรือสอดกล้อง กับระดับความเสรีของเอลิเมนต์ พึงก์ชันการกระจัดที่นิยมคือพอลินอเมียลพึงก์ชันพึงก์ชันการกระจัดที่ เลือกใช้จะต้องทำให้ผลเฉลยมีความต่อเนื่องทั้งภายในเอลิเมนต์และแบบจำลองของระบบรวม

 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัด และความเค้น/ความเครียดการ หาสมการ ไฟ ในต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเกรียดกับการ กระจัดและความเก้นกับความเครียดในกรณีของปัญหามิติเดียวดังภาพที่ 7



ดังนั้นความเครียดจะเขียนเป็นสมการ ε_x = $\frac{du}{dx}$ และความสัมพันธ์ของความเค้น/ความ เครียด จากกฎของฮุค คือσ_x= εε_s การที่ตัวแปรที่หาค่าจะถูกต้องเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกล ของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณและความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัด

- 4. หาสทิฟเนสเมทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์สามารถหาได้จากหลายวิธีเช่น
- 4.1 วิธีสมคุลโดยตรง (Direct Equilibrium Method)

หาได้โดยใช้เงื่อนไขการสมคุลของแรง ในเอลิเมนต์ส่วนมากจะใช้สทิฟเนสเมทริกซ์ของ เอลิเมนต์เดียวอย่างง่ายๆอาทิเช่นเอลิเมนต์สปริงท่อนโลหะเป็นต้น

4.2 วิธีงานหรือพลังงาน (Work or Energy Method)

อาศัยหลักการของงานสมมติ (Virtual Work) หลักการพลังงานศักย์ต่ำสุด(Minimum Potential Energy) ทำให้การหาสมการของเอลิเมนต์และหาสทิฟเนสของเอลิเมนต์ของสองและสาม มิติง่ายขึ้นสำหรับวิธีงานสมมตินั้นสามารถใช้หาสทิฟเนสเมทริกซ์ของวัสดุทุกชนิดและวิธีพลังงาน ศักย์ต่ำสุดใช้หาสทิฟเนสเมทริกซ์ของวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้นเท่านั้น

4.3 วิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals)

ที่นิยมกันมากก็คือวิธีของกาเลอร์คิน (galerkin's method) มีประโยชน์เป็นอย่างมาก และให้ผลเช่นเดียวกับวิธีพลังงานมักจะนิยมใช้ในกรณีที่วิธีพลังงานศักย์ต่ำไม่สะดวกในการใช้เช่น ปัญหาการไหลของของเหลวการเกลื่อนมวลเป็นต้นและจากวิธีหนึ่งวิธีใดก็จะได้สมการสมดุลของ แรงในเทอมของสทิฟเนสเมทริกซ์และการกระจัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์สามารถเขียนสมการของ เมทริกซ์ได้ดังสมการที่ 1

$$\begin{cases} f_{1} \\ f_{2} \\ f_{3} \\ \bullet \\ f_{n} \end{cases} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \bullet & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \bullet & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \bullet & k_{3n} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ k_{n1} & k_{n2} & \bullet & \bullet & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{1} \\ d_{2} \\ d_{3} \\ \bullet \\ d_{n} \end{bmatrix}$$
(1)

หรือย่อได้ดังนี้ $\{f\} = [k]\{d\}$ (2)

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

โดยที่

- {f} กือ แรงของเอลิเมนต์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง
- [k] คือ สทิฟเนสของเอลิเมนต์
- {d} คือ การกระจัดที่จุดต่อซึ่งยังไม่ทราบค่า
- n คือ จำนวนระดับความเสรีของเอลิเมนต์

 หาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบ สมการรวมของระบบหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์เข้าด้วยกันด้วยวิธีซ้อนทับโดยอาศัยหลักของการสมดุลของแรง ที่จุดต่อของเอลิเมนต์และการต่อเนื่องของการกระจัดที่จุดต่อ

สมการรวมของระบบโครงสร้างที่ได้รับเขียนดังภาพเมทริกซ์ได้ดังนี้

เรื่อภาพย่อๆ	{F}	=	[K]{d}

โดยที่

{F}	คือ	เมทริกซ์รวมของแรงที่จุดต่อ
[K]	คือ	สทิฟเนสเมทริกซ์รวมของระบบ
{d}	คือ	เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบ

เมื่อรู้เงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) หรือเงื่อนไขบังคับ (Constraints) หรือจุด รองรับ (Supports) ก็จะทำให้สามารถแก้สมการของระบบนี้ได้

 หาการกระจัดของระบบ เมื่อใส่เงื่อนไขขอบเข้าไปในสมการแล้วก็จะสามารถหาการ กระจัดd₁, d₂,...d_nได้โดยการแก้สมการพืชคณิตพร้อมๆกันคือ

(3)

$$\begin{cases} F_{1} \\ F_{2} \\ F_{3} \\ \bullet \\ F_{n} \end{cases} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \bullet & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \bullet & K_{2n} \\ K_{31} & K_{32} & \bullet & K_{3n} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ K_{n1} & K_{n2} & \bullet & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{1} \\ d_{2} \\ d_{3} \\ \bullet \\ d_{n} \end{bmatrix}$$

$$(4)$$

 คำนวณหาค่าอื่นๆ ที่เหลือ ในกรณีที่ต้องการทราบค่าความเครียด, ความเก้นหรือค่าอื่นๆ สามารถจะกำนวณหาได้โดยความรู้พื้นฐานของกลศาสตร์ของแข็งเช่นปัญหามิติเดียว

จะหาก่ากวามเกรียดได้จากสมการ
$$\varepsilon_x = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$
 (5)
และหากวามเก้นได้จาก $\sigma_x = E\varepsilon_x$ (6)

ปราโมทย์ (2550)การแก้ปัญหา Linear Static จะต้องป็นไปตามเงื่อนไขคังต่อไปนี้

1. โหลดที่กระทำกับวัสดุไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง

2. โหลดที่กระทำกับวัสดุอยู่ในช่วง อีลาสติกโซน (Elastic Zone)

3. การเสียรูปและความเครียดน้อย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น โหลคไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง วัสดุอยู่ใน อีลาสติกโซนจึงเป็นปัญหา Linear Static

ปราโมทย์ (2550)) อธิบายเอลิเมนต์ 3 มิติ (3D – Solid Element) ดังนี้

 เอลิเมนต์ (Element) จะมีตั้งแต่ 4, 5, 6, หรือ 8 โนด (Node) ใน 1 Element ซึ่งจะวางอยู่ ในระนาบทั้ง 3 แกนตามที่ปรากฏในภาพที่ 8

2. เอถิเมนต์ (Element) จะนิยมใช้กรณีที่ค่าความเก้นตลอดแนวความหนามีความสำคัญ

3. ในส่วนของกุณสมบัติ (Property) ไม่ต้องใส่ค่าใดๆ

ลิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 8 แสดงเอลิเมนต์ (Element) 4, 5, 6, และ 8 โนคตามลำคับ

ปราโมทย์ (2550)ชิ้นงานที่เป็นขอบมุมจะมีความเก้นมากกว่าที่ขอบส่วนโก้งตามที่ปรากฎ ในภาพที่ 9เนื่องจากตามนิยามของความเก้นพื้นที่หน้าตัดน้อยจะมีความเก้นมาก



ภาพที่ 9 แสดงความเค้นในขอบรูปทรง วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม และวงรี

3. การวิเคราะห์ความเค้นโดยใช้ทฤษฎีความเสียหายของฟอนมิส(Von Mises)

วริทธิ์ และชาญ (2541) เนื่องจากเมื่อโครงสร้างรับแรงแล้วทำให้เกิดความเก้นมากกว่าหนึ่ง ชนิดพร้อมกันเพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสามารถรวมความเก้นเหล่านี้เข้าด้วยกันเรียกว่าความ เก้นผสม(Combined Stress) เพื่อนำไปใช้ในการแสดงความแข็งแรงของโครงสร้างการที่สามารถ

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

หาความเค้นผสมได้อย่างเดียวอาจจะไม่มีรากฐานเพียงพอที่จะนำไปใช้อธิบายถึงเหตุที่ชิ้นงาน แตกหักหรือเกิดความเสียหายขึ้นทั้งนี้เพราะความเก้นที่เกิดขึ้นมีหลายชนิดเกิดขึ้นพร้อมๆกันด้วย เหตุนี้จึงต้องใช้ทฤษฎีเพื่อมาอธิบายความเสียหายของชิ้นงานโดยพยายามเชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่ สามารถทดสอบได้เช่นความต้านแรงดึงความต้านแรงดึงกรากหรือความเกรียดที่ได้จากการทดสอบ แรงดึงของวัสดุอย่างธรรมดาทฤษฎีเหล่านี้มีอยู่ด้วยกันหลายทฤษฎีซึ่งเรียกว่าทฤษฎีความเสียหาย

การออกแบบชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเหนียวและรับภาระแบบสถิตนิยมใช้ทฤษฎีความเค้น เฉือนอีอคตาฮีครัลและทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งจากผลการทคลองพบว่าทฤษฎีความเค้น เฉือนอีอคตาฮีครัลสามารถทำนายผลการครากของชิ้นงานได้ดีในทุก Quadrant (นั่นคือทุกสภาวะ ของความเค้น) ส่วนทฤษฎีความเก้นเฉือนสูงสุดจะให้ผลการออกแบบที่อนุรักษ์นิยม (Conservative) กว่า (มีขนาดใหญ่กว่าที่จำเป็นจริงๆ) ในทุกๆ Quadrant ยกเว้นที่จุด A,B,D,E (ดูภาพที่12ประกอบ) ซึ่งจะให้ผลเท่ากันดังนั้นในที่นี้จะใช้ทฤษฎีความเก้นเฉือนอีอคตาฮีครัลเพื่อคำนวณความเก้นใน โครงสร้างด้วย (บางครั้งทฤษฎีกวามเก้นเฉือนอีอคตาฮีครัลนี้มีชื่อเรียกว่าMisws-Henckyหรือเรียก ง่ายๆว่าหลักเกณฑ์ของฟอนมิส) ดังสมการที่ 7

$$\sigma_{\text{Von Misses}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 \right]^{1/2}$$
(7)

โดยที่

$\sigma_{_{ m VonMisses}}$	-	ค่าความเค้นฟอนมิส
σ_1	=	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน x
σ_2	= 9	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน y
σ3	=	ค่าความเค้นหลักในแนวแกน z



ภาพที่ 10 ขอบเขตการครากตามทฤษฎีความเสียหาย

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2541)

4. การวิเคราะห์การโก่งของแผ่น

ปราโมทย์ (2550)ได้อธิบายบทนิยามของสมการพื้นฐานของการโก่งของแผ่นตั้งอยู่บน แนวความคิดเช่นเดียวกันกับปัญหาการโก่งของคานเพียงแต่ว่าทั้งสมการเชิงอนุพันธ์และสมการไฟ ในต์เอลิเมนต์นั้นมีความซับซ้อนมากขึ้น ภาพที่ 11 แสดงแผ่นบางรูปร่างลักษณะใดๆ ซึ่งมีความหนา h และวางตัวอยู่ในระนาบ x-y โดยระนาบนี้ผ่านกึ่งกลางความหนาของแผ่น แกน x-y-z วางตัวไป ตามกฏมือขวาโดยทิศของแกน z ดิ่งลงเพื่อสะดวกในการอธิบายด้วยการใช้รูปต่างๆ ดังสมการที่ 8



ภาพที่ 11 วัสดุแผ่นในแนวระนาบ x-y ถูกแรงกระทำในแนวแกน z

25

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์
สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับการ โก่งงอของแผ่น

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -p \tag{8}$$

= การโก่งของแผ่น

5. การกำหนดค่าเริ่มต้นของถังรับความดันโดยระเบียบวิธีไฟในต์เอลิเมนต์

5.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น

p

TEMATubular Exchanger Manufacturers Association, Inc. Ninth Edition (2007) เป็น กลุ่มการผู้ผลิตถังแลกเปลี่ยนความร้อน (TEMA) แนะนำการออกแบบถังชนิคต่างด้วยระเบียบวิธี ไฟในต์เอลิเมนต์ มีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

5.1.1 ความเค้นที่ยอมรับได้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 และ 2 (ASMECODE Sec. VIII division 1 and division 2)

5.1.2 ชนิดของกริด (Grid) จะต้องเป็นชนิดสี่เหลี่ยม (Quadratic) และ Aspect Ratio อย่างน้อย3:1 ในบริเวณจุดสนใจ เท่ากับ 1.5:1

5.1.3 ผลรวมความเค้นวิชี ความเค้นฟอนมิสซิส (Von Mises Stress) และ ความเค้น สูงสุด (Maximum Shear Stress)

5.2 การปรับปรุงเอลิเมนต์

Tso (2010) ศึกษาแบบจำลองของหม้อไอน้ำและท่อความดันตามตามรหัสสมาคม วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา(ASME Boiler and Pressure Vessel) ในรูปของคาน พื้นยื่นที่ยึดปลายข้างหนึ่งกับพื้น (Propped Cantilever Beam Code Section III division 3) โดยใช้ โปรแกรม DYNA เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงการแบ่งเมซ(Mesh)โดยใช้เอลิเมนต์ทรงหกเหลี่ยม (Hexahedral Element) ในปัญหาการสู่ข้าวของเอลิเมนต์ (Element Convergence) ในงานวิจัย Tso แบ่งเมซโดยใช้ที่อัตราส่วนจำนวนเอลิเมนต์ในแนวแกนตั้งของความยาวคานต่อจำนวนเอลิเมนต์ใน

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

แนวแกนนอน (Element Aspect Ratio) คงที่หลายค่าการศึกษาพบว่าในการแบ่งเมซต้องมีเอลิเมนต์ ในแนวตั้งอย่างน้อย 7 เอลิเมนต์ เพื่อที่จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

Bjorkman (2010) ทำการศึกษาปัญหาเดียวกับของ Tso แต่เปลี่ยนเอลิเมนต์เป็นแบบ เปลือก (Shell) การศึกษาพบว่าในการแบ่งเมซต้องมีเอลิเมนต์ในแนวตั้งอย่างน้อย 5 เอลิเมนต์ เพื่อที่จะให้ก่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยการคำนวณถังรับความดันโดยระเบียบวิธีไฟในต่เอลิเมนต์

จากเอกสารงานวิจัยจากบริษัท UHDE Thyssenkrupp (Don Pham, Finite Element Analysis and It's Application, UHDE Thyssenkrupp Germany) ใด้เปรียบเทียบการคำนวณแบบทั่วไป มาตรฐานของ สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 (ASMECODE Sec. VIII division 1) เทียบกับการคำนวณด้วยด้วยไฟในต์เอลิเมนต์ตามมาตรฐานของ สมาคม วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 2 (ASMECODE Sec. VIII division 2) และอธิบายการกำหนดขอบเขต (Boundary Condition) การสร้างกริด (Grid) ในภาพที่ 11 โดย การศึกษาฐานรองรับแบบกระโปรงของถังปฏิกิริยาความดันและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการ คำนวณด้วยมาตรฐาน สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 (ASMECODE Sec. VIII division 1) และไฟในต์เอลิเมนต์ ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 ศึกษาการเปรียบเทียบออกแบบฐานรองรับของถังความคันระหว่างสมาคม วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกา ส่วนที่ 8 บท 1 (ASMECODE Sec. VIII division 1) และ ไฟในต์เอลิเมนต์ ของวัสดุ A 387 Gr.22 Cl2

มาตรฐาน อุณหภูมิ (°C) ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้(MPa) ASME Sec. VIII Div.1 425 133 FEA 425 155 (ภาพที่ 11)

ตารางที่ 5 เปรียบความเก้นที่ได้จากการกำนวณตาม ASME และ FEA

จากตารางที่ 5 สรุปได้ว่าความเก้นที่ได้จากการคำนวณด้วยไฟในต์เอลิเมนต์ได้ความเก้น สูงสุดที่ยอมรับได้มากกว่า สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ASME) เป็นผล

ลิบสิทบิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรรทาสกร

ให้สามารถลดความหนาของแผ่นเหล็กในการออกแบบ แผ่นเหล็กบางลงมีผลต่อน้ำหนักของถัง ความดันลดลง และประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งในเรื่องของถังความดัน ฐานพื้นรองรับหรือโครงสร้างของ วิศวกรรมโยธาและอื่นๆ



ภาพที่ 12 แสดงการสร้างกริด (Grid) ด้วยเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมมี ratio 3:1

ที่มา: Don Pham, Finite Element Analysis and It's Application, UHDE Thyssenkrupp Germany

Mannan, et al. (2008) Stress Analysis ofConical Shell Skirt Support for Hight Pressure Vessel Using Finite Element Method. Multidiscipline Modeling in Mat. And Str.5, pp. 355-362 ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการหาความหนาของฐานรองรับแบบกระ โปรงในถังรับความคันสูง ซึ่ง สรุปไว้ว่าการใช้วิธีไฟในต์เอลิเมนต์สามารถลดความหนาของแผ่นเหล็กจาก 24 mm เป็น 18 mm กิดเป็นร้อยละ 25 % เมื่อเทียบการคำนวณตามสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกา ส่วนที่ 8 บท 1 (ASMECODE Sec. VIII division 1) ผู้ใช้งานสามารถลดค้นทุนในการทำถังรับ ความคัน

สรุปการศึกษางานวิจัย และทฤษฎี

จากการศึกษาทฤษฏีและงานวิจัยข้างต้นสรุปได้ดังนี้

สุระเชษฐ (2521) เสนอพื้นฐานทฤษฎีความเก้นคึง ความเก้นอัด และความเก้นเฉือนแนวใน รูปทรงทั่วไปซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในการหาความเก้นของถังรับความคัน

ASMESec.VIII (2010) รหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 อธิบายสูตรการคำนวณถังรับความคันในส่วนต่างๆ งานประกอบและงานตรวจสอบโคยไม่ ทำลาย

ASME Sec.II (2010)รหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่2 เสนอกุณสมบัติของวัสดุในรายการของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่ง เป็นวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ASTM (2009)จากการศึกษากฎข้อบังกับมาตรฐานของ สมากมการทดสอบวัสดุแห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกาอธิบายข้อกำหนดการตรวจสอบโดยไม่ทำลายของวัสดุตามเงื่อนไขรหัส สมากมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 2

Tso (2010) ได้ศึกษาการปรับปรุงเอลิเมนต์ของโปรแกรมช่วยคำนวณทางวิศวกรรมโดยนำ แบบจำลองชิ้นส่วนหม้อไอน้ำตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกามา จำลองด้วยเอลิเมนต์ทรง 6 เหลี่ยมซึ่งใช้อัตราส่วนเอลิเมนต์ในแนวตั้งต่อเอลิเมนต์ในแนวนอน 10, 2, 1 และ 0.5 ตามลำคับ การศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนเอลิเมนต์ในแนวตั้งต่อเอลิเมนต์ในแนวนอน 10 เอลิเมนต์ไม่สามารถใช้งานได้และในการแบ่งเมซในแบบจำลองที่นำมาศึกษาต้องมีจำนวนเอลิเมนต์ ในแนวตั้ง 7 เอลิเมนต์ขึ้นไป ผู้วิจัยนำงานวิจัยนี้ไปทดสอบหาก่าความเด้นและการเสียรูปจากการ กำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลเฉลยแม่นตรง

Bjorkman (2010) ศึกษาปัญหาเดียวกับ Tso แต่เปลี่ยนเอลิเมนต์เป็นแบบเปลือก การศึกษา พบว่าการแบ่งเมซด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือกในแบบจำลองต้องมีเอลิเมนต์ในแนวตั้งอย่างน้อย 5 เอลิเมนต์ การศึกษาระเบียบวิธีทางไฟในต์เอลิเมนต์พบว่า ระเบียบวิธีทางไฟในต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิง ตัวเลขสำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ โดยนำไปประยุกต์แก้ไขปัญหาต่างเช่น หาความเก้นและ การเสียรูปของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในการแก้ปัญหาด้านพลศาสตร์ได้อีก ด้วย สำหรับโครงสร้างที่มีรูปทรงซับซ้อน วิธีไฟในต์เอลิเมนต์จะแยกชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นเล็กๆ และหาผลเฉลยที่จุดต่อที่ถูกแบ่งของโครงสร้าง

วริทธิ์ และชาญกล่าวโดยสรุปว่าเมื่อโครงสร้างรับแรงมากกว่า หนึ่งชนิดในเวลาเดียวกัน จำเป็นต้องรวมความเก้นเหล่านี้ไว้ด้วยกันเรียกว่าความเก้นผสม เพื่อนำไปใช้ในการแสดงความ แข็งแรงโครงสร้าง ทฤษฎีกวามเก้นที่นิยมใช้คือทฤษฎีกวามเก้นเถือนอ็อกตาฮีดรัล หรือเรียกว่า ทฤษฎีวอนมิส

จากหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ถังรับความดันมีการมาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงรหัส มาตรฐานและมาตรฐาน โครงงาน โดยรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ครอบคลุมแค่เพียงบางส่วน ในส่วนอื่นวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นอีกวิธีหนึ่งผู้ออกแบบนิยมใช้ในการออกแบบ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา(Intel Core i5 2.4GHz RAM 2 GB)

 เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์ (Laser Printer)และเครื่องพิมพ์ชนิดใช้หมึกพ่น (Inkjet Printer)

3. โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ทางด้านไฟในต์เอลิเมนต์

4. โปรแกรมเอ็กเซล (Excel) รุ่น 2013

ີ ວ**ີ**ສີຄາຮ

1. ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

การศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนต่างๆ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป ขึ้นกับรูปแบบที่นำมาใช้ เช่นการขึ้น รูปชิ้นงาน การใช้เครื่องมือต่างๆ และวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ ซึ่งได้เลือกใช้เอลิเมนต์เป็น แบบแผ่นบาง 4 จุดต่อ (Shell 4 Node Reduced Integration: S4R)ในภาพที่ 13 ที่มีอยู่ในโปรแกรม สำเร็จรูป เหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีค่าความเครียดและชิ้นงานที่เป็นแผ่น



ภาพที่ 13 เอลิเมนต์แบบ S4R

จากงานวิจัยของ Tso ศึกษาและวิเคราะห์ การสร้างชิ้นงานคานในภาพที่ 14โดยมีเงื่อนไขขอบแบบ ปลายข้างหนึ่งยึดแน่นทุกจุด อีกข้างตั้งอยู่บนจุดยึดเลื่อนได้ (Propped Cantilever Beam) ใช้วัสดุเป็น อลูมีเนียม 304 ที่มีกุณสมบัติตามงานวิจัยของ Bjorkman (2010) ในตารางที่ 6โดยให้แรงกระทำคงที่ ขนาด 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อคือความเหมาะสมของเอลิเมนต์ที่ นำมาศึกษา และ ขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสม



คุณสมบัติของวัสดุ	ค่าคุณสมบัติ	หน่วย
ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (E)	28×10^{6}	Psi
อัตราส่วนปัวซอง (v)	0.3	-
ความหนาแน่นมวล (ρ)	$7.39 \ge 10^{-4}$	lbm/in ³

โดยมีสมการผลเฉลย ดังนี้

$$w = \frac{qL^4}{185EI}$$
(8)

โดยที่

$$w = hinns liniver (index index in$$

2. สร้างโมเดลและฐานรองรับ

งานวิจัยฉบับเน้นการศึกษาความความเก้นและอัตราการเสียรูปของถังรับความคันศึกษา โปรแกรมในการจำลองรูปแบบของถังรับความคันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3,800mm สูง (TAN/TAN) 4,150mm ฐานรองรับแอนทราไซค์แบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้น และ วงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป 4 ชิ้น และ วงกลม 1 ชิ้น แบบวงกลม 5 ชิ้นแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น และแบบคลิป 4 ชิ้น และ วงกลม 2 ชิ้น แบบวงกลม คังภาพ ที่ 15 16 17 18 1920 และ 21



ภาพที่ 15 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น



ภาพที่ 16 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 18 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น

ลิขสิตจิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 19 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น



ภาพที่ 20 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น

ลิขสิทชิ้ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร



ภาพที่ 21 ถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น

กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SA-516 Gr.70 ตามรหัส ASME หลังจาก นั้นสร้างกริดในโมเดลต่างๆ ตามข้อแนะนำในมาตรฐาน TEMA ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 22 สร้างกริดตามข้อแนะนำมาตรฐาน TEMA



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

 ความดันออกแบบภายในถังรับความดัน 500,000 ปาสคาลที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส การกัดกร่อนภายใน 2 มิลลิเมตร

- น้ำหนักเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก(g = 9.81เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง)
- ความคันสูญเสียเนื่องจากขณะทำงาน58,000 ปาสคาล
- 4. น้ำหนักของถังรับความคันและฐานรองรับเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

สิ่งที่จำเป็นการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟในต์อิลิเมนต์กือกำหนดตัวแปรต่าง ๆ อาทิเช่น เงื่อนไขคุณสมบัติของแบบจำลองทั้งคุณสมบัติทางกลของวัสดุเงื่อนไขขอบเขตและแรงที่กระทำ เพื่อให้โปรแกรมไฟในต์อิลิเมนต์สามารถวิเคราะห์ผลได้ซึ่งผลการวิเคราะห์นั้นจะมีความใกล้เกียง กับผลที่เกิดขึ้นจริงมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดเงื่อนไขและคุณสมบัติของแบบจำลอง ให้ใกล้เกียงกับพฤติกรรมที่ทำการวิเคราะห์ด้วย

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมีเอกสารที่รองรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของถังรับความดัน

การออกแบบถังรับความดันและฐานรองรับแอนทราไซด์ในโปรแกรมสำเร็จรูป

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองถังรับความคันและฐานรองรับ 7 แบบ คือ แบบคลิป8 ชิ้น และ วงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น แบบคลิป4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น แบบวงกลม 5 ชิ้น แบบคลิป8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น แบบคลิป6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น และแบบคลิป4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น ให้มีขนาคและรูปร่างภายนอกตามถังรับความคันต้นแบบที่ได้กำหนดไว้ โดยขนาคค่าโหลด ต่างๆ สำหรับถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์แบบคลิป8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น ใช้อยู่ จริงภาพที่ 23 แสดงการจำลองตำแหน่งโครงสร้างกรอบ และอุปกรณ์ โดยพิกัดของกรอบที่ ออกแบบแสดงในตารางที่ 3 พิกัดของอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก ข



ภาพที่ 23 แสดงภาพถังรับความดัน

เนื่องจากถังรับความคันที่งานจริงเป็นแบบฐานรองรับคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น มีหน้าที่ เสริมความแข็งแรงและรักษารูปร่างการเสียรูป ได้ ผู้วิจัยจึงออกแบบโดยลดจำนวนคลิปและเปลี่ยน ชนิดของฐานรองรับโดยรับภารกรรมต่างๆ เท่าเดิม



ภาพที่ 24 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการตั้งค่าในโปรแกรมช่วยคำนวณ



ผลและวิจารณ์

ผล

1. การศึกษาชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้

การศึกษาความเหมาะสมของเอลิเมนต์ที่นำมาใช้ได้ศึกษาโดยนำชิ้นงานของ Tso ซึ่งจำลอง Propped Cantilever Beam โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนของเอลิเมนต์ในแนวแกนตั้งของความยาวคาน ต่อเอลิเมนต์ในแนวแกนนอน (Element Aspect Ratio)ที่อัตราส่วน 1 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปใช้เอ ลิเมนต์แบบ S4R โดยบันทึกค่าการ โก่งตัวที่เกิดขึ้นดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 25, 26, 27 28และ 29 เปรียบเทียบกับผลเฉลยด้วยสมการของออยเลอร์(Euler) ได้ผลดังตารางที่ 8 และ 9



ภาพที่ 25 การกำหนดโหลดของ Propped Cantilever Beam



ภาพที่ 26 ความเค้นของการแบ่งเอลิเมนต์ที่ Aspect Ratio 1

41

ลิขสิทชิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 27 การเสียรูปของการแบ่งเอลิเมนต์ที่ Aspect Ratio 1

ตารางที่ 7 ข้อมูลแสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1

จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนเอลิเมนต์	ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด	คลาดเคลื่อน
ในแนวตั้ง	ในแนวนอน	(mm)	(%)
2	40	-0.03918	5.89
3	60	-0.037751	2.03
5	100	-0.037779	2.11
7	140	-0.037792	2.14
9	180	-0.037799	2.16



ภาพที่ 28 แสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1 เทียบกับผลเฉลยด้วยสมการ Euler

เมื่อวิเคราะห์ระยะ โก่งตัวของแบบจำลองที่นำมาศึกษา จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีElement Aspect Ratio 1จะเห็นได้ว่าเมื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของจำนวนเอลิเมนต์ชนิด 3x60 เปรียบเทียบกับผล เฉลยจะเห็นได้ว่าผลค่าที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยด้วยสมการ Euler มากที่สุด ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนค่า Element Aspect Ratio 10, 2, 1 และ 0.5 ดังแสดงในตารางที่ 8

จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนเอลิเมนต์	ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด	คลาดเคลื่อน
ในแนวตั้ง	ในแนวนอน	(mm)	(%)
3	6	-0.039657	7.18
3	30	-0.038432	3.87
3	60	-0.037751	2.03
3	120	-0.037767	2.07

ตารางที่ 8 ข้อมูลแสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และ 0.5



ภาพที่ 29 แสดงผลระยะ โก่งตัวสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และเทียบกับผลเฉลย ด้วยสมการ Euler

เมื่อวิเคราะห์ระยะ โก่งตัวของแบบจำลองจะเห็นว่าแบบจำลองที่มีElement Aspect Ratio 10 จะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเมื่อลดขนาดของเอลิเมนต์ไปขนาดหนึ่งจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น จึงต้องเลือกเอลิเมนต์ที่มีElement Aspect Ratio2, 1 หรือ 0.5 มาใช้งาน โดยระยะการ โก่งตัวที่เกิดขึ้น ในแบบจำลองที่มีอัตราส่วนจำนวนเอลิเมนต์ในแนวแกนตั้งของความยาวคานต่อจำนวนเอลิเมนต์ ในแนวแกนนอนมีก่า 1จะมีความแม่นยำสูงที่สุดคือ คลาดเคลื่อนจากผลเฉลย 2.03เปอร์เซ็นต์

ในทำนองเดียวกันความเค้นที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลเฉลยด้วยสมการของ ออยเลอร์(Euler)ให้ผลลัทธ์ทางเดียวกันกับระยะ โก่งดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 29 และ 30 ได้ผลดัง ตารางที่ 9 และ 10

จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนเอลิเมนต์	ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด	คลาดเคลื่อน
ในแนวตั้ง	ในแนวนอน	(Pa)	(%)
2	40	37,864	26.21
3	60	30,464	1.55
5	100	30,788	2.62
7	140	30,819	2.73
9	180	30,910	3.03

ตารางที่ 9 ข้อมูลแสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร



ภาพที่ 30 แสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 1และเทียบกับผลเฉลยด้วย สมการ Euler

ตารางที่ 10 ข้อมูลแสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และ 0.5

จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนเอลิเมนต์	ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด	คลาดเคลื่อน
ในแนวตั้ง	ในแนวนอน	(Pa)	(%)
3	6	37,332	24.44
3	30	31,302	4.34
3	60	30,464	1.55
3	120	32,347	7.82



ภาพที่ 31 แสดงผลความเค้นสูงสุดเมื่อElement Aspect Ratioเป็น 10, 2, 1 และ 0.5และเทียบกับผล เฉลยด้วยสมการ Euler

เมื่อวิเคราะห์กวามเก้นของแบบจำลองจะเห็นว่าแบบจำลองที่มีElement Aspect Ratio 10 จะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเมื่อลดขนาดของเอลิเมนต์ไปขนาดหนึ่งจะเกิดกวามกลาดเกลื่อนขึ้น จึงต้องเลือกเอลิเมนต์ที่มีElement Aspect Ratio2, 1 หรือ 0.5 มาใช้งาน โดยระยะการ โก่งตัวที่เกิดขึ้น ในแบบจำลองที่มีอัตราส่วนจำนวนเอลิเมนต์ในแนวแกนตั้งของกวามยาวกานต่อจำนวนเอลิเมนต์ ในแนวแกนนอนมีก่า 1จะมีกวามแม่นยำสูงที่สุดกือ กลาดเกลื่อนจากผลเฉลย 1.55เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นเอลิเมนต์แบบ S4R ที่นำมาใช้จึงมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำเอลิเมนต์ดังกล่าวไปใช้ ในการจำลองได้

2. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วความเค้น แบบฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 89,244,000 ปาสกาล ซึ่งน้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่อนุญาตและความเค้นวิกฤติ บริเวณความเค้น สูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณขอบเปลือกของถังรับความดัน เนื่องจากโหลดจากฐานรองรับดังลงใน แนวดิ่งโปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การทดสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น มีค่า 1.0655 มิลลิเมตร เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับจึงทำให้ฐานรองรับโก่งตัว บริเวณนั้น ที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

3. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว กวามเก้นแบบฟอนมิสของถังรับกวามดันและฐานรองรับแบบกลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้นมีก่า เท่ากับ 135,800,000ปาสกาล ซึ่งน้อยกว่าก่ากวามเก้นสูงสุดที่อนุญาตและน้อยกว่ากวามเก้นวิกฤติ บริเวณกวามเก้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณรูของฐานรองรับ เนื่องจากกวามเก้นสะสมที่มุมและการ เสียรูปจากโหลดฐานรองรับดังลงในแนวดิ่งโปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพ ที่ 34



ภาพที่ 34 การทดสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้นมีค่า2.0497 มิลลิเมตร เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับจึงทำให้ฐานรองรับโก่งตัว บริเวณนั้น ที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 35





ภาพที่35 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

4. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วความเก้น แบบฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น มีค่าเท่ากับ 159,750,000ปาสคาล ซึ่งมากกว่าค่าความเก้นสูงสุดที่อนุญาตแต่น้อยกว่าความเก้นวิกฤติ บริเวณ กวามเก้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณขอบของฐานรองรับระหว่างฐานและคลิป เนื่องจากความเก้น สะสมที่มุมและการเสียรูปจากโหลดฐานรองรับดังลงในแนวดิ่งโปรแกรมแสดงออกมา ผลการ จำลองแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การทดสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 4ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น มีค่า4.4341 มิลลิเมตร เกิคขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับจึงทำให้ฐานรองรับโก่งตัว บริเวณนั้น ที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบวงกลม

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วความเค้น แบบฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 130,530,000ป่าสคาล ซึ่ง น้อยกว่าก่าความเก้นสูงสุดที่อนุญาตและความเก้นวิกฤติ บริเวณความเก้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณ รูของฐานรองรับ เนื่องจากความเก้นสะสมที่มุมและการเสียรูปจากโหลดฐานรองรับดังลงในแนวดิ่ง โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การทดสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบวงกลม มีค่า6.0901มิลลิเมตร เกิดขึ้น บริเวณตรงกลางของฐานรองรับเนื่องจากไม่มีฐานรองรับยึดติดกับส่วนเปลือกที่โปรแกรมแสดง ออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 39



สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 39 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น

จากผลการคำนวณความเก้นและการเสียรูปของถังรับความดันและฐานรองรับชนิดวงกลม ผู้วิจัยทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยเพิ่มฐานรองรับวงกลมจาก 1 เป็น 2 เพื่อเสริมความแข็งแรงและลด ความเก้นและการเสียรูป

6. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ความเก้นแบบฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้นมีค่า เท่ากับ 83,152,000ปาสกาล ซึ่งน้อยกว่าก่าความเก้นอนุญาตและความเก้นวิกฤติ บริเวณความเก้น สูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณขอบของฐานรองรับ เนื่องจากความเก้นสะสมที่มุมและการเสียรูปจาก โหลดฐานรองรับดังลงในแนวดิ่งโปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การทดสอบการจำลองความเค้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น

55

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น มีค่า0.47468 มิลลิเมตร เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับจึงทำให้ฐานรองรับโก่งตัว บริเวณนั้นเมื่อเทียบกับฐานรองรับแบบคลิป 8ชิ้นและวงกลม 1ชิ้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมวงกลม ทำให้ช่วยลดที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น

7. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ความเก้นแบบฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ขึ้นและวงกลม 2 ขึ้นมีก่า เท่ากับ 92,796,000ปาสกาล ซึ่งน้อยกว่าก่าความเก้นสูงสุดที่อนุญาตและน้อยกว่าความเก้นวิกฤติ บริเวณความเก้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณขอบของฐานรองรับส่วนคลิป เนื่องจากความเก้นสะสม ที่มุม ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 42



ภาพที่ 42 การทดสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้นมีค่า0.70549 มิลลิเมตร เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับจึงทำให้ฐานรองรับโก่งตัว บริเวณนั้นเมื่อเทียบกับฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1ชิ้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมวงกลม ทำให้ช่วยลดการเสียรูปที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น

8. การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น

นอกจากการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามมาตรฐาน TEMA ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วความ เก้นแบบฟอนมิสของถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 95,337,000ปาสกาล ซึ่งน้อยกว่าก่ากวามเก้นสูงสุดที่อนุญาตและน้อยกว่ากวามเก้นวิกฤติ บริเวณ กวามเก้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเกิดบริเวณรูของฐานรองรับ เนื่องจากกวามเก้นสะสมที่มุมและการเสียรูป จากโหลดฐานรองรับดังลงในแนวดิ่งโปรแกรมแสดงออกมา ผลการจำลองแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 การทคสอบการจำลองความเก้นฟอนมิสของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 4ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น การเสียรูปของถังรับความคันและฐานรองรับแบบคลิป 4ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้นมีค่า1.1866 มิลลิเมตร เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีคลิปรองรับอยู่เนื่องจากไม่มีตัวรองรับ โก่งตัวบริเวณนั้นเมื่อเทียบกับ ฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น การเสริมวงกลมมีส่วนช่วยในการรับการเสียรูป เนื่องจากมีฐานรองรับส่วนคลิปยึคติดกับส่วนเปลือกและส่วนกลมที่โปรแกรมแสดงออกมา ผลการ จำลองแสดงใรภาพที่ 45



ภาพที่ 45 การทดสอบการจำลองการเสียรูปถังรับความดันและฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น



วิจารณ์

เมื่อพิจารณาถึงความเค้นสูงสุดอนุญาตของวัสดุเองสำหรับวัสดุSA 516 Gr.70 เท่ากับ 138,000,000 ปาสกาลซึ่งเมื่อเทียบกับฐานรองรับทั้ง 7แบบ โดยสร้างโมเดลจำลองและศึกษาความ เค้นและการเสียรูปมากสุดต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11

รูปแบบของฐานรองรับ	ความเค้นสูงสุด (ปาสคาล)	การเสียรูปสูงสุด (มิลลิเมตร)
คลิป 8 ชิ้นและวงกลม1 ชิ้น	89,244,000	1.0655
คลิป 6 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	135,800,000	2.0497
คลิป 4 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น	159,750,000	4.4341
แบบวงกลม 5 ชิ้น	130,530,000	6.0901
คลิป 8 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	83,152,000	0.47468
คลิป 6 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	92,796,000	0.70549
คลิป 4 ชิ้นและวงกลม 2 ชิ้น	95,337,000	1.1866

ตารางที่ 11 แสดงผลการจำลองแบบของความเค้นและการยุบตัวทีเกิดขึ้นตัวสูงสุด

สรุปได้ว่าฐานรองแบบ8 คลิป และ 1 วงกลมฐานรองแบบ 6คลิป และ 1 วงกลมฐานรอง แบบ 8 คลิป และ 2วงกลมฐานรองแบบ 6คลิป และ 2วงกลมฐานรองแบบ 4คลิป และ 2วงกลมซึ่ง เป็นไปตามข้อกำหนดของรหัสรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

เมื่อพิจารณาถึงความเค้นวิกฤติสำหรับวัสคุSA 516 Gr.70 เท่ากับ260,000,000ปาสคาลซึ่งเมื่อ เทียบกับฐานรองรับทั้ง 7แบบ โคยสร้างโมเคลจำลองและศึกษาความเก้นและการเสียรูปสรุปได้ว่า ฐานทุกแบบต่ำกว่าค่าความเค้นวิกฤติ สรุปได้ว่าฐานรองรับทุกแบบไม่เสียรูปถาวร

ดังนั้นการออกแบบจึงสามารถพิจารณาเพิ่มจำนวนฐานรองรับแบบคลิปเพิ่มเสริมความ แข็งแรงของฐานรองรับ แต่การเพิ่มจำนวนคลิปต้องคำนึงถึงการใช้งานด้วย เช่นจำนวนรูของ ฐานรองรับอาจไม่ได้ตามต้องการของผู้สั่งซื้อ หรือในเรื่องของวัสดุสิ้นเปลืองและการทำความ สะอาดไปจนถึงประสิทธิภาพการใช้งาน
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในปัจจุบันถังรับความคันมีมากมายหลายชนิคและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายจึงจำเป็น ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน

งานวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซค์ทั้งหมด 6ชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามการจัดสถาปัตยกรรมของโครงสร้างภายในฐานรองรับที่ใช้ ซึ่งได้แก่การวาง ลักษณะ และจำนวนคานรูปทรงที่แตกต่างกัน โดยจำลองความแข็งแรงทางโครงสร้างด้วยโปรแกรม ช่วยคำนวณทางวิศวกรรมด้วยมาตรฐาน TEMAในแนวดิ่งโดยทดสอบตัวแปร 2 ชนิดได้แก่ความ เด้นฟอนมิส และอัตราการเสียรูป ของถังรับความคันและฐานรองรับแอนทราไซด์

ผู้วิจัยได้ศึกษาการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและจำลองแบบโครงถังรับ ความดันและฐานรองรับแอนทราไซด์ โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณทางวิศวกรรมทดสอบและเลือก เอลิเมนต์แบบ S4RAspect Ratio ไม่เกิน 3:1 ซึ่งเป็นเอลิเมนต์แบบหนึ่งในพิสูจน์ความน่าเชื่อถือใน ตรวจสอบเอกสารและมาตรฐาน TEMA ผู้ผลิตถังรับความดันชนิดถังแลกเปลี่ยนความร้อน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบตัวแปรสองชนิดที่มีผลต่อความแข็งแรงของฐานรองรับในถัง รับความดันคือ

- 1. ความหนา
- 2. รูปแบบการจัดวางฐานรองรับ

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของฐานรองรับในการรับแรงในแนวดิ่งโดยการ บันทึกค่าความเค้น และการเสียรูปของฐานรองรับเมื่อเพิ่มจำนวนคลิปให้กับฐานรองรับจาก 4 เป็น6 และ8 จากนั้นผู้วิจัยเพิ่มจำนวนฐานวงกลมกับฐานรองรับดังกล่าวจาก 1 เป็นสองซึ่งสามารถลด ความเค้นและการเสียรูปได้ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 12, 13และ 14

ตารางที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 8 ชิ้น ระหว่าง 1 และ2 วงกลม

	8 คลิป และ 1 วงกลม	8 คลิป และ 2 วงกลม	ଗ ମଗ୍ୟ(%)
ความเค้น	89,244,000	83,152,000	6.8
การเสียรูป	1.0655	0.47468	55.45

ตารางที่ 13 แสดงผลการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 6 ชิ้น ระหว่าง

1 และ2 วงกลม

	6คลิป และ 1 วงกลม	6คลิป และ 2 วงกลม	ลดลง(%)
ความเค้น	135,800,000	92,796,000	31.67
การเสียรูป	2.0497	0.70549	65.58

ตารางที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปฐานรองรับชนิด 4 ชิ้น ระหว่าง 1 และ2 วงกลม

$\langle \mathfrak{Q} \rangle$	4 คลิป และ 1 วงกลม	4 คลิป และ 2 วงกลม	ลดลง(%)
ความเค้น	159,750,000	95,337,000	40.32
การเสียรูป	4.4341	1.1866	73.24

เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าความเค้นฟอน มิส และการเสียรูปในฐานรองรับชนิดต่างๆ สรุป ได้ว่า การเพิ่มคลิปและวงกลมช่วยลดความเค้นและการเสียรูป อันเนื่องจากคลิปยึดติดกับผนังของ ถังรับความคันและฐานวงกลมยึดติดกับคลิปมีส่วนเสริมความแข็งแรงฐานรองรับขณะที่ฐานรองรับ แบบวงกลม ไม่ได้มีส่วนช่วยในการลดอัตราการเสียรูปแลย เนื่องจากไม่มีคลิปเสริมยึดติดกับตัว ผนังของถังรับความคัน ยังไงก็ตามผลการคำนวณที่ได้จากฐานรองรับฐานวงกลม ผู้วิจัยสรุปได้ว่า

การเพิ่มจำนวนวงกลมกับฐานรองรับคลิปมีส่วนช่วยกระจายแรง ความเค้นและลดการเสียรูป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดสอบการจำลองโดยใช้ฐานรองรับรูปแบบเดิมและปรับความหนา

 ควรจำลองชิ้นงานโดยเปลี่ยนวัสดุเป็นวัสดุผสม เพื่อประสิทธิภาพด้านน้ำหนักของ โครงสร้าง และเพิ่มทางเลือกในการออกแบบทั้งในเชิงวิศวกรรมและเชิงเศรษฐกิจ

- 3. ทำการทดสอบโดยเพิ่มและลดโหลดในสภาวะต่างๆ
- 4. เสริมความแข็งแรงของฐานรองรับแบบวงกลมให้ยึดติดกับผลังเปลือกแล้วเปรียบเทียบผล



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เดช พุทธเจริญทอง. 2541. การวิเคราะห์ด้วยไฟในต์เอลิเมนต์. ศูนย์สื่อสารกรุงเทพ, กรุงเทพฯ.

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2537. **ไฟในต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปราโทย์ เคชะอำไพ และ สุทธิศัทดิ์ พงศ์ธนาพาณิช. 2548. **ไฟในต์เอลิเมนต์อย่างง่าย**. สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วริทธิ์ อึึงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. <mark>การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1.</mark> บริษัทซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. 2521. กลศาสตร์ของแข็ง. บริษัทซีเอ็ดยูเกชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ASME. 2009. American Society of Testing and Material. Three Park Avenue, USA.

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

_. 2001. The American Society of Mechanical Engineers Boiler & Pressure Vessel Committee on Pressure Vessels Section VIII Division 1 Edition 2010 Addenda 2011a.

Mannan, K.T., 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.

Moss, D.R. 1997. Pressure Vessel Design Manual. Gulf Professional Publishing, America.

65

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

- Pham, D. 2006. Finite Element Analysis and It's Application. UHDE Thyssenkrupp, Germany.
- TEMA. 2007. Tubular Exchanger Manufacturers Association. Inc. Ninth Edition.
- Bjorkman, G.S. 2010. Mesh Convergence Studies for Thin Shell Elements Developed by The ASME task Group on Computational Modeling. PATRAM 2010

Chi-Sung, T. 2010. Propped Cantiliver Mesh Convergence Study Using Hexahedral Elements. PATRAM 2010.







ภาคผนวก ก การคำนวณความหนาของถังรับความดัน

การคำนวณหาความหนาของถังรับความดัน

การคำนวณหาความหนาของถังรับความดันทำได้ตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 ในส่วนภาคผนวก 1-1 และ 1-4(c) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำนวณเฉพาะความหนาในส่วนเปลือกและหัวของถังรับความดัน

ในรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 อธิบายรายละเอียด การหาความหนาของถังรับความคันในส่วนเปลือกในUG-27 ซึ่งขึ้นกับชนิดของความเค้นที่เกิดขึ้น และได้สรุปสมการในส่วนท้ายภาคผนวก 1ดังสมการดังนี้

ความหนาออกแบบส่วนเปลือกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส(ความเค้นตามเส้นรอบวงของ ตัวถัง)

$$t_{design} = \frac{PR_{o}}{SE + 0.4P} + C.A$$
(1)

โดยที่

t_design	-=-	ความหนาออกแบบ(มิลลิเมตร)
Р	=	ความคันออกแบบ (ปาสคาล)
R _o	=	รัศมีภายนอก (มิลลิเมตร)
S	=	ความเค้นสูงสุดอนุญาต(ปาสคาล)
Е	=	สัมประสิทธิ์รอยต่อ (1.0)
C.A	=	ค่าความกัดกร่อน (มิลลิเมตร)

ในรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 อธิบายรายละเอียด การหาความหนาของถังรับความดันในส่วนฝ่าใน UG-32ซึ่งขึ้นกับชนิดฝาของและได้สรุปสมการ ในส่วนท้ายภาคผนวก 1 ดังสมการดังนี้ ค่าคงที่ K ในสภาวะกัดกร่อน

$$K = \frac{1}{6} + \left[2 + \left(\frac{D_o}{2h}\right)^2\right]$$
(2)

โดยที่

k	= ค่าคงที่สภาวะกัคกร่อน
D	= เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฝ่า (มิลลิเมตร)
h	= ความสูงของฝา (มิลลิเมตร)

ความหนาออกแบบส่วนฝาชนิครูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

t_design =
$$\frac{PD_oK}{2SE + 2P(K - 0.1)} + C.A$$
 (3)

โดยที่

t_design	T	ความหนาออกแบบ (มิลลิเมตร)
Р	=	ความดันออกแบบ (ปาสกาล)
D _o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มิลลิเมตร)
S	=	ความเค้นสูงสุดอนุญาต(ปาสคาล)
Е	=	สัมประสิทธิ์รอยต่อ (1.0)
C.A	=	ค่าความกัดกร่อน (มิลลิเมตร)
K	=	ค่าคงที่สภาวะกัดกร่อน

 การหาความหนาของเปลือกตามตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 และ 2

จากภาพผนวกเลือกค่าความหนาออกแบบส่วนเปลือก

$$t_{design} = \frac{PRo}{SE + 0.4P} + C.A$$

(500,000)(1,900)/[(138,000,000)(1)+0.4(500,000)]+2

8.87 mm

เนื่องจากความหนาออกแบบส่วนเปลือกคือ8.87 มิลลิเมตร ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่น เหล็ก 22 มิลลิเมตร

 การหาความหนาของฝ่าชนิดรูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่งตามรหัสสมาคมวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนที่ 8 บท 1 และ 2

จากภาพผนวกเลือกค่าความหนาออกแบบส่วนฝาชนิครูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่ง

	$\frac{1}{6}$ +	$2 + \left(\frac{D_o}{2h}\right)^2$
--	-----------------	-------------------------------------

 $= (1/6)+[2+(3,800/2(940.21))^2]$

= 1.01

Κ

จากนั้นนำค่าคงที่สภาวะการกัดกร่อนคำนวณความหนาออกแบบส่วนฝาชนิดรูปทรงกลมรี สองต่อหนึ่ง

t_design =
$$\frac{PDoK}{2SE + 2P(K - 0.1)} + C.A$$

= $(500,000)(3,800)(1.01)/[2(138,000,000)(1)+2(500,000)(1.01-1)]+2$

= 8.98 mm

สิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร

เนื่องจากความหนาออกแบบส่วนฝาชนิดรูปทรงกลมรีสองต่อหนึ่ง คือ 8.98 มิลลิเมตร ใน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่นเหล็ก 22 มิลลิเมตร

ส่วงเประกองแต่วงต	ความหนา	ความหนาจริง	สัมประสิทธิ์รอยต่อ
0 1 M D 12 H O D M 10.	ออกแบบ(mm)	(mm)	
ส่วนเปลือก	8.87	22	1
ส่วนฝาส่วนฝาชนิครูปทรงกลมรี	8.98	22	1
สองต่อหนึ่ง			

ตารางผนวกที่ ก1 ความหนาของถังรับความดัน



ภาคผนวก ข ข้อมูลและมิติของถังรับกวามดันและฐานรองรับ

ตารางผนวกที่ **ข1** คุณสมบัติทั่วไปของถังรับความคัน

คุณสมบัติ	มิติ	
Length(TANLINE to TANLINE) (mm)	4,150	
Inside Diameter (mm)	3,800	
Shell Thickness (mm)	22	
Head Thickness (mm)	22	
Internal Corrosion (mm)	2	
Empty weight(Kg)	12,744	

ตารางผนวกที่ **ข2** คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Diameter (mm)	3,756
Support Thickness (mm)	35
Rectangular Support Width (mm)	500
Cycle Support Dimeter (mm)	435
Rectangular Support Length (mm)	1,676
Total Rectangular Support Number	8
Total Cycle Support Number	1

ตารางผนวกที่ **ข3** คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Diameter (mm)	3,756
Support Thickness (mm)	35
Rectangular Support Width (mm)	500
Cycle Support Dimeter (mm)	435
Rectangular Support Length (mm)	1,676
Total Rectangular Support Number	6
Total Cycle Support Number	1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Diameter (mm)	3,756
Support Thickness (mm)	35
Rectangular Support Width (mm)	500
Cycle Support Dimeter (mm)	435
Rectangular Support Length (mm)	1,676
Total Rectangular Support Number	4
Total Cycle Support Number	

ตารางผนวกที่ **ง**4 คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 1 ชิ้น

ตารางผนวกที่ **ข5** คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบวงกลม 5 ชิ้น

- คุณสมบัติ	ปริมาณ
Diameter (mm)	3,756
Support Thickness (mm)	35
Cycle Support DimeterNo. 1(mm)	435
Cycle Support Dimeter No. 2 (mm)	1,135
Cycle Support Dimeter No. 3 (mm)	1,835
Cycle Support Dimeter No. 4 (mm)	2,535
Cycle Support Dimeter No. 5 (mm)	3,235

ตารางผนวกที่ ข6 คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 8 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น

คุณสมบัติ	ปริมาณ	
Diameter (mm)	3,756	
Support Thickness (mm)	35	
Rectangular Support Width (mm)	500	
Cycle Support Dimeter No. 1 (mm)	435	
Cycle Support Dimeter No. 2 (mm)	1,915	
Rectangular Support Length (mm)	1,676	
Total Rectangular Support Number	8	
Total Cycle Support Number	2	

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Diameter (mm)	3,756
Support Thickness (mm)	35
Rectangular Support Width (mm)	500
Cycle Support Dimeter No. 1 (mm)	435
Cycle Support Dimeter No. 2 (mm)	1,915
Rectangular Support Length (mm)	1,676
Total Rectangular Support Number	6
Total Cycle Support Number	2

ตารางผนวกที่ ข7 คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 6 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น

ตารางผนวกที่ ข8 คุณสมบัติทั่วไปของฐานรองรับแบบคลิป 4 ชิ้นและ วงกลม 2 ชิ้น

คุณสมบัติ	ปริมาณ	
Diameter (mm)	3,756	
Support Thickness (mm)	35	
Rectangular Support Width (mm)	500	
Cycle Support Dimeter No. 1 (mm)	435	
Cycle Support Dimeter No. 2 (mm)	1,915	
Rectangular Support Length (mm)	1,676	
Total Rectangular Support Number	6	
Total Cycle Support Number	2	







ภาพผนวกที่ ข2 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 8 ชิ้นและวงกลม 1 ชิ้น

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพผนวกที่ ข3 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น



ภาพผนวกที่ ข4 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 4 ชิ้น และวงกลม 1 ชิ้น



ภาพผนวกที่ **v5** มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบวงกลม







ภาพผนวกที่ ข6 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 8 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น



ภาพผนวกที่ ข7 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 6 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น



ภาพผนวกที่ ข8 มิติของฐานรองรับแอนทราไซต์แบบคลิป 4 ชิ้น และวงกลม 2 ชิ้น



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อนายวิชาณัฐพึ่งพรสวรรค์เกิดวันที่12 พฤษภาคม 2526สถานที่เกิดเขตบึ่งกุ่ม กรุงเทพมหานครประวัติการทำงานวศ.บ.(วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ตำแหน่งปัจจุบันStatic Equipment Engineerสถานที่ทำงานปัจจุบันStatic Equipment Group บมจ.ฟอสเตอร์วีลเลอร์



85