



การศึกษาความเค้นในภาชนะความดันสูง
THE STUDY OF STRESS IN HIGH PRESSURE VESSELS



นาย ปรีทรรศ โยธาพันธ์
นาย ยศฐา ศรีเทพ
นาย เอกพล แผลมหลวง

พ.ศ.
พ.ค.
2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42467
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความเค้นในภาชนะความดันสูง

THE STUDY OF STRESS IN HIGH PRESSURE VESSELS

คณะผู้จัดทำ

นาย ปรีทรรศ โยธาพันธ์

รหัสประจำตัว 40010449

นาย ยศฐา ศรีเทพ

รหัสประจำตัว 40010613

นาย เอกพล แผลมหลวง

รหัสประจำตัว 40011031




อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเค้นในถังภาชนะความดันสูง

ปริทรรศ โยธพันธ์

ยศฐา ศรีเทพ

เอกพล แผลมหลวง

รศ.ดร. มงคล มงคลวงษ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

จากจุดประสงค์ที่จะทำความเข้าใจและศึกษาถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลง ลักษณะของ stress และ strain ในถังความดันที่บรรจุของไหล โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นของไหลเพื่อพิจารณาว่ามีผลกระทบเล็กน้อยเพียงใดต่อถังความดันที่ได้รับแรงในสถานะ static load เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบสร้างถังความดันต่อไปได้ และจะเป็นการหาความรู้และแนวทางใหม่มาใช้เพื่อสร้างภาชนะความดันให้ใช้ทรัพยากรได้เหมาะสมกับสถานะการใช้งานจริงที่สุด.

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF STRESS IN HIGH PRESSURE VESSEL

Parithas Yotaphan

Yottha Srithep

Ekabhol Laemluang

Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongrojn Advisor

2000

ABSTRACT

From the purpose to clarify the behavior of the stress and strain characteristics in the pressure vessel tanks. Hydraulic oil pressure vessel tanks are designed and developed in this project. In this study, the strains in both circumferencial and longitudinal are measured by using strain-meter experimentally at various pressure levels with significant effects. Therefore the static stresses are investigated for the design of industrial pressure vessels.

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
สารบัญ	(ค)
สารบัญรูปภาพ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สัญลักษณ์	(ญ)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	2
2.1 แนวความคิดเกี่ยวกับความเค้น.....	2
2.2 ความเครียด.....	5
2.3 กฎสภาพยืดหยุ่นของฮุก.....	6
2.4 มอดูลัสของของสภาพยืดหยุ่นและ โมดูลัสของยัง.....	6
2.5 แผนภาพความเค้นและความเครียดภายใต้การดึงทดสอบ.....	7
2.6 ความเครียดเฉือน.....	8
2.7 อัตราส่วนพิวของส์.....	9
2.8 ความเค้นบนภาชนะผนังบางภายใต้ความดัน.....	10
บทที่ 3 ทฤษฎีของดิ่งรับแรงดันภายใต้มาตรฐาน ASME.....	13
3.1 ดิ่งรับแรงดัน.....	13
3.2 หน่วย.....	13
3.3 การออกแบบดิ่งรับแรงดัน.....	13
3.4 ความหนาของดิ่ง.....	14
3.5 ค่าเผื่อการกัดกร่อน.....	14
3.6 การออกแบบดิ่งรับแรงดัน โดยอาศัยหลักเกณฑ์การออกแบบ.....	15
3.7 วัสดุ.....	15
3.8 ความเค้นในดิ่งรับแรงดัน.....	15
3.9 ความเค้นในผนังทรงกระบอก.....	16
บทที่ 4 การคำนวณ.....	23
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	25
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	25
5.2 วิธีการทดลอง.....	28

(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	31
บทที่ 7 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
บทที่ 8 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อการพัฒนา.....	57
กิตติกรรมประกาศ.....	58
ภาคผนวก.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	78



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	นิยามของความเค้นตึงฉาก.....	2
2	ความเค้นเฉือนสำหรับการเหือนเคียวและเหือนคู่.....	3
3	ความเค้นที่จุดใดจุดหนึ่งในวัตถุภายใต้แรงกระทำ.....	4
4	ความเค้นอย่างสมบูรณ์บนระนาบพิภค.....	4
5	การผิครูปของแท่งโลหะขณะรับแรงดึง.....	5
6	ขนาดของชิ้นทดสอบ.....	7
7	แผนภาพความเค้นความเครียด.....	7
8	การผิครูปโดยความเหือน.....	8
9	นิยามอัตราส่วนพัชของสี่.....	9
10	ความเค้นตึงฉากในแนวแกนและแนวตั้งตรง.....	10
11	จุดยึดตามแนวแกนและจุดยึดตามแนวขวาง.....	11
12	รูปด้านข้างของภาชนะความดันทรงกระบอกเรียบ.....	12
13	ผนังทรงกระบอก.....	17
14	แสดงความดันภายในของถังรูปแบบต่างๆ.....	20
15	แสดงลักษณะภายในที่ใช้ในการทดลอง.....	25
16	ภาชนะความดันที่ใช้ในการทดลอง.....	26
17	ภาชนะความดันรูปทรงกระบอกเรียบสูง.....	26
18	เครื่องมืออ่านค่าความเครียด (Strain Indicator).....	27
19	Switch Box.....	28
20	การเชื่อมต่อ Strain Indicator กับ Switch Box.....	29
21	การต่อสายจาก Strain Gage แต่ละตัว มาที่ Switch Box.....	29
22	กราฟที่ 1 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง.....	32
23	กราฟที่ 2 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองตามแนวยาวของถังทรงกระบอก.....	33
24	เปรียบเทียบค่าความเครียดตามแนวยาวที่ได้จากการทดลองกับแนวเส้นรอบวง.....	34
25	เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากทางทฤษฎีและการทดลองของหัวถังแบบโค้ง.....	35
26	กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้ในแนวเส้นรอบวงจากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่างๆของถังทรงกระบอกเรียบ.....	36

(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
27	เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองในแนวเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งต่างๆของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....37
28	เปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่างๆของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง38
29	เปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวยาวที่ได้จากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง39
30	เปรียบเทียบค่าความเค้นในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับการทดลอง40
31	เปรียบเทียบค่าความเค้น ในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีกับ การทดลอง.....41
32	แสดงค่าความเค้นจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองของหัวถึงโค้ง.....42
33	แสดงค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในแนวเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งต่างๆ.....43
34	แสดงค่าความเค้นในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการทดลองของถึง ทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....44
35	แสดงค่าความเค้นในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่างๆ.....45
36	แสดงค่าความเค้น ในแนวยาวจากการคำนวณทางทฤษฎีของถึง ทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....46
37	แสดงค่าความเครียดที่จุด 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงจากการคำนวณ ทางทฤษฎี.....47
38	แสดงค่าความเครียดที่จุด 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงจากการทดลอง.....48
39	แสดงความเค้นที่จุด 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงจากการคำนวณ ทางทฤษฎี.....49
40	แสดงความเค้นที่จุด 1 ในแนวเส้นรอบวงและแนวยาวจากการทดลอง.....50
41	เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีในแนวเส้นรอบวง ของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....51
42	เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....52
43	เปรียบเทียบค่าความเค้นที่จุด 2 ในแนวเส้นรอบวงของถึงทรงกระบอกจับกรวยเอียง.....53
44	แสดงค่าความเค้นที่จุดที่ 3 ในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการทดลอง.....54

(ช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยมิลลิเมตรเป็นนิ้ว.....15
2	เปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้นและความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด.....16
3	แสดงค่าความเครียดจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง ตามแนวเส้นรอบวง ของถังทรงกระบอก.....32
4	แสดงค่าความเครียดจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง ตามแนวยาวของถัง ทรงกระบอก.....33
5	แสดงค่าความเครียดจากการทดลองตามแนวยาวและแนวเส้นรอบวง.....34
6	แสดงค่าความเครียดจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองของหัวถังแบบ โค้ง.....35
7	แสดงค่าความเครียดจากการคำนวณทางทฤษฎีในแนวเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกเรียบ.....36
8	แสดงค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงจากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆของถังทรง กระบอกเรียบ.....37
9	แสดงค่าความเครียดจากการคำนวณทางทฤษฎีในแนวยาว ณ ตำแหน่งต่างๆของถัง ทรงกระบอกเรียบ.....38
10	แสดงค่าความเครียดในแนวยาวจากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆของถัง ทรงกระบอกเรียบ.....39
11	แสดงค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และการทดลองของถังทรงกระบอก.....40
12	แสดงค่าความเค้นตามแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง ของถังทรงกระบอก.....41
13	แสดงค่าความเค้นของหัวถังแบบ โค้งที่คำนวณจากทฤษฎีและการทดลอง42
14	แสดงค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวงที่คำนวณจากทฤษฎีของถังกระบอกเรียบ.....43
15	แสดงค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจากการทดลองของถังทรงกระบอกเรียบ.....44
16	แสดงค่าความเค้นตามแนวยาวที่คำนวณจากทฤษฎีของถังทรงกระบอกเรียบ.....45
17	แสดงค่าความเค้นตามแนวยาวที่ได้จากการทดลองของถังทรงกระบอกเรียบ.....46
18	แสดงค่าความเครียดในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกเรียบ ที่จุด I.....47
19	แสดงค่าความเครียดในแนวยาวและในแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกเรียบ ที่จุด I.....48

(ช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	แสดงค่าความเค้นในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกกรวยเอียง ที่จุด 1.....	49
21	แสดงค่าความเค้นในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกกรวยเอียง ที่จุด 1.....	50
22	แสดงความเครียดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีของถังทรงกระบอกกรวยเอียง ที่จุด 1.....	51
23	แสดงค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีในแนวยาวของถัง ทรงกระบอกกรวยเอียงที่จุด 1.....	52
24	แสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีในแนวเส้นรอบวงของถัง ทรงกระบอกกรวยเอียงที่จุด 2.....	53
25	แสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีของถังทรงกระบอกกรวยเอียง ที่จุด 3.....	54
26	ค่าความดันที่ยอมให้ได้แปรตามอุณหภูมิสำหรับหน้าแปลนและ ข้อต่อหน้าแปลนของเหล็กกล้า.....	60
27	ความดันของๆไหลเนื่องจากพลังงานศักย์.....	61
28	ค่าตัวประกอบของ B.....	62
29	ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ.....	68
30	ชนิดของรอยเชื่อม.....	73
31	ข้อจำกัดในการใช้ชนิดของรอยเชื่อม.....	74
32	การออกแบบรอยเชื่อม.....	75

สัญลักษณ์

σ	ความเค้นตั้งฉาก	(Pa, N/m ²)
P	ความดัน	(Pa, N/m ²)
F	แรง	(N, Kg.m/s ²)
A	พื้นที่หน้าตัด	(m ²)
τ	ความเค้นเฉือน	(Pa, N/m ²)
V	แรงเฉือน	(N, Kg.m/s ²)
δ	ระยะยืดตัว	(m)
E	ความเครียดฉก	
L	ความยาวปกติ	(m)
E	modulus of elasticity	(GPa)
γ	ความเครียดเฉือน	(องศา)
G	modulus of rigidity	(Gpa)
V	Poisson ratio	
R	รัศมี	(m)
D	diameter	(m)
T	ความหนา	(m)
C.A	ค่าเผื่อการกัดกร่อน	

(ญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การสร้างผังความคั่นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปนั้น มีการเผื่อค่าต่างๆในการคำนวณเข้าไปมากทั้งค่าความคั่น อุณหภูมิ ค่าการกักความร้อน หรือแม้กระทั่งพื้นที่ที่จะติดตั้ง ปริมาตรของภาชนะความคั่นที่ ต้องการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้ มีผลทำให้ความหนาของถังที่จะใช้นั้นมีค่ามากเกินไปกว่าความเหมาะสมที่ใช้งานจริงๆไปมาก ซึ่งเป็นการทำให้ต้องสูญเสียทรัพยากรไปโดยไม่จำเป็น จากความคิดตรงนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการสร้างชุดทดลองขึ้นมาเพื่อทำการศึกษา รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของความเค้น-ความเครียดที่เกิดภายในภาชนะความคั่นและวิเคราะห์ผลว่ามีความเป็นไปได้ในจุดไหนที่จะสามารถนำมาเป็นเงื่อนไขในการพิจารณาในการออกแบบสร้างภาชนะความคั่น ให้เหมาะสมกับสถานะใช้งานจริงและมีความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสมที่สุด

จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นแนวคิดและเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในเรื่องนี้เพื่อการพัฒนาต่อไป ในอนาคตได้

บทที่ 2
ภาคทฤษฎี

2.1) แนวความคิดเกี่ยวกับความเค้น

ถ้าวัสดุหนึ่งถูกกระทำด้วยแรงภายนอกจะส่งผลให้เกิดความเค้น(stress) และความเครียด(strain) ภายในวัตถุนั้น การวิเคราะห์หาความเค้นความเครียดยังคงต้องอาศัยหลักสมดุลของส่วนตัดของชิ้นส่วนหรือวัตถุนั้น และทฤษฎีของสภาพยืดหยุ่น

2.1.1) ความเค้น

ความเค้น(stress) คือแรงกระทำในเนื้อวัสดุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากหรือขนานกับแรงนั้นมีหน่วยเป็น kn/m^2 หรือ kPa

ความเค้นแบ่งออกเป็น

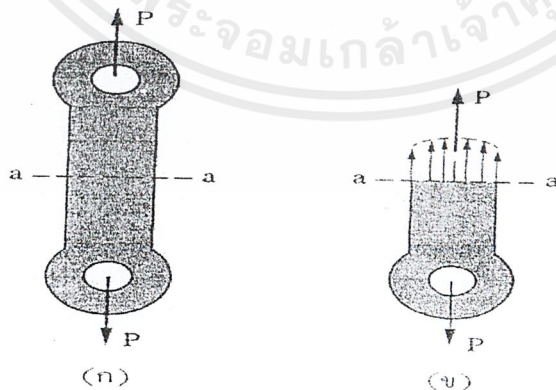
2.1.1.1) ความเค้นตั้งฉาก (σ)

กำหนดชิ้นส่วนรับสองแรง P (แรงดึง) ดังแสดงในรูป (ก) ความเค้นตั้งฉากที่รับภาระในแนวแกนแบ่งออกได้เป็น

1.ความเค้นกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ขนาดของแรงลัพธ์ของแรงภายในกระทำตั้งฉากกับส่วนตัด $a-a$ นั้นเท่ากับขนาดของแรงภายนอก P ดังแสดงในรูป (ข) ดังนั้นภายใต้สมดุลแรงดึง ชิ้นส่วนรูป (ข) จะได้ว่า

$$P = \int dF = \int_A \sigma dA \quad (2.1)$$

โดยที่ σ คือความเค้นกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัด A



รูปที่ 1 นิยามของความเค้นตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความเค้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่มีความเค้นกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ A จากสมการ (2.1) จะได้

$$P = \sigma A$$

$$\sigma = P/A \quad (2.2)$$

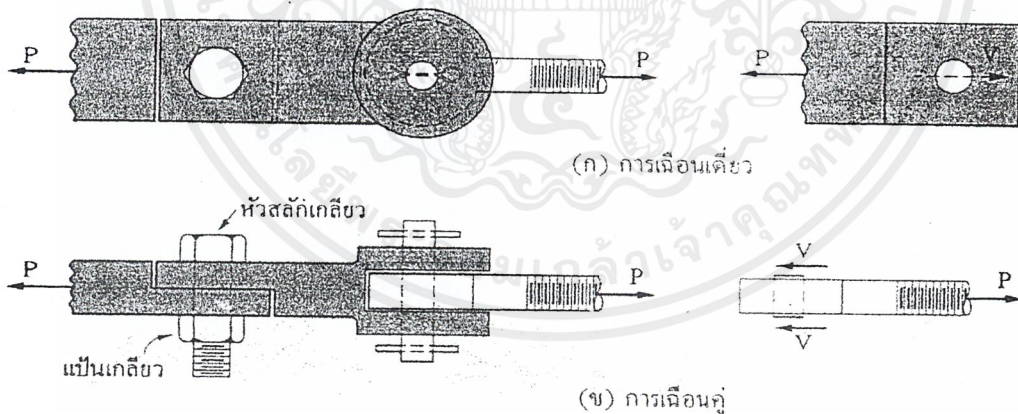
โดยที่ σ คือความเค้นตั้งฉากเฉลี่ย P คือแรงตั้งฉาก และ A คือพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับแรง กล่าวคือ ความเค้นตั้งฉากเฉลี่ยก็คือแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับแรงนั้น

2.1.1.2) ความเค้นเฉือน (τ)

พิจารณาเช่นเดียวกับสมการที่ (2.1) แต่ต่างกันตรงที่ว่าแรงกระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัด ใช้คำนวณแรง เมื่อกำหนดให้ความเค้นเฉือนกระทำอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดเฉือนจะได้ว่า

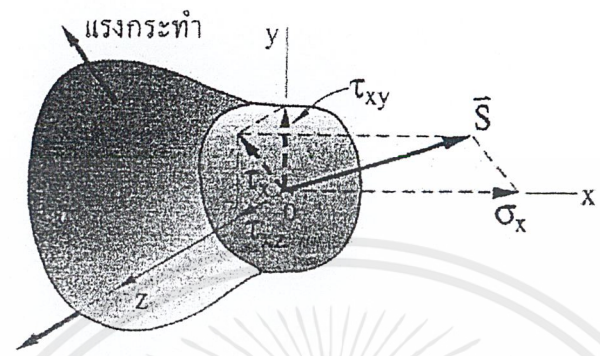
$$\tau = V/A_s \quad (2.3)$$

โดยที่ τ คือความเค้นเฉือนเฉลี่ย V คือแรงเฉือน และ A_s คือพื้นที่หน้าตัดเฉือนขนานกับแรง



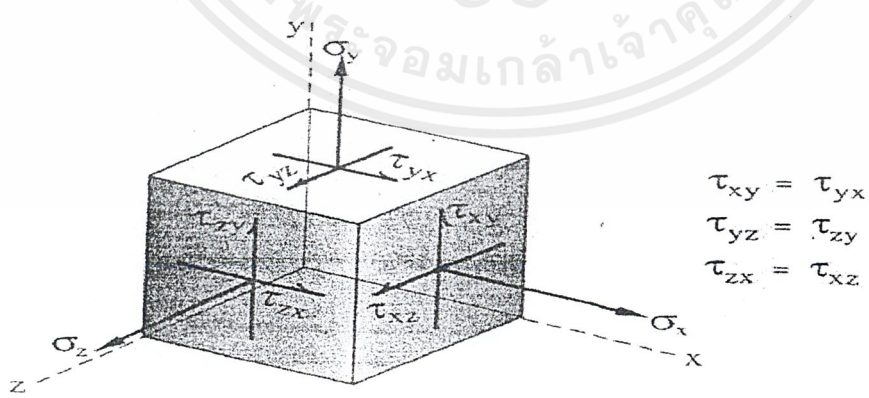
รูปที่ 2 ความเค้นเฉือนสำหรับการเฉือนเฉียวและเฉือนคู่

ระบบพิกัดฉาก



รูปที่ 3 ความเค้นที่จุดใดจุดหนึ่งในวัตถุภายใต้แรงกระทำ

ระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate System) ใช้กำหนดความเค้นอ้างอิงลงบนแกน x, y, z ซึ่งกระทำบนระนาบหนึ่งๆซึ่งตั้งฉากกับแกนทั้ง 3 นั้นได้อย่างสะดวกกว่า ดังรูป กำหนดระนาบหนึ่งซึ่งมีทิศหันหน้าออกอยู่ในทิศ +x ซึ่งมีความเค้นตั้งฉากในทิศ +x คือ σ_x ความเค้นเฉือนบนระนาบ yz ตั้งฉากกับแกน x คือ τ_x ถ้าแตก τ_x บนแกน y และ z จะได้ τ_{xy} และ τ_{xz} ดังรูปที่ 4



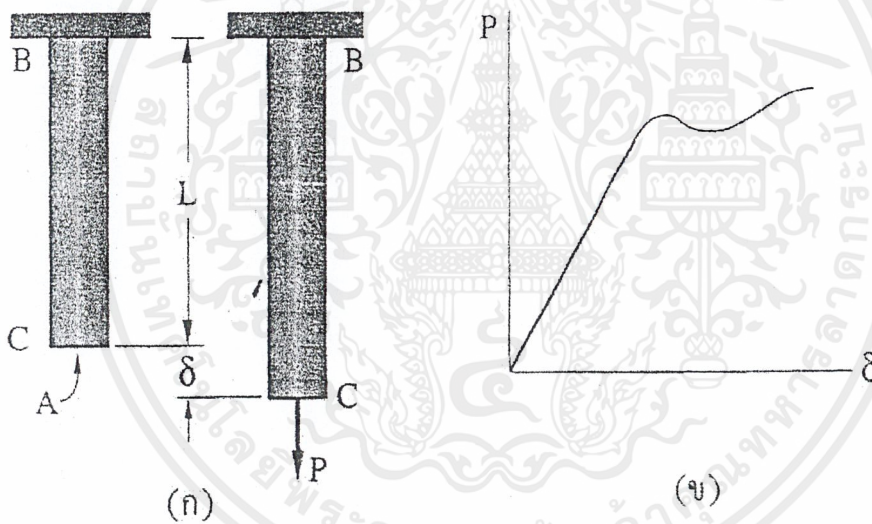
รูปที่ 4 ความเค้นอย่างสมบูรณ์บนระนาบพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดความเค้นย่อยที่กระทำจุดหนึ่งๆ ในเนื้อวัสดุบนพิกัดฉาก x, y, z อย่างสมบูรณ์นั้นจะแสดงด้วย 3 ความเค้นย่อย กระทำบนผิวของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดเล็กๆ ดังรูป

เครื่องหมายของ σ และ τ ซึ่งกระทำบนระนาบหนึ่งๆ พิจารณาดังนี้ ถ้าแรงกระทำบนระนาบนั้นเป็นแรงดึงพบว่า σ มีเครื่องหมายบวก ส่วน τ นั้นจะมีดัชนีล่าง (superscript) 2 ตัว เช่น $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ดัชนีล่างตัวแรกแสดงถึง ระนาบ ที่ความเค้นเฉือนกระทำ ส่วนดัชนีล่างตัวที่ 2 แสดงถึง แกน ซึ่งขนานกับความเค้นเฉือนนั้น เช่น τ_{xy} ก็คือความเค้นเฉือนที่กระทำบนระนาบ x ใดๆ ซึ่งขนานกับแกน y z และชี้ทิศ $+y$

ความเครียดตามยาว (ϵ)



รูปที่ 5 การผิดรูปของแท่งโลหะขณะรับแรงดึง

พิจารณาแท่งโลหะ BC มีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ A และความยาวเดิม L ออกแรงดึง P ที่ปลาย C ทำให้แท่งโลหะยืดออก δ ดังรูป ระยะยืดตัวต่อหนึ่งหน่วยความยาวเรียกว่าความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\epsilon = \delta/L \quad (2.4)$$

กฎสภาพยืดหยุ่นของฮุก

ในช่วงขีดจำกัดของความเป็นสัดส่วน (proportional limit) พบว่า สำหรับวัสดุยืดหยุ่น (elastic material) นั้น ความเค้นดึง (σ) และความเครียด (ϵ) มีความสัมพันธ์เชิงเส้น นั่นคือ

$$\sigma \propto \epsilon \quad \text{และ} \quad \sigma/\epsilon = \text{ค่าคงที่} \quad (2.5)$$

วัสดุใดๆก็ตามที่มีสภาพยืดหยุ่นได้นั้น เมื่อได้รับภาระหรือแรงกระทำจะทำให้เกิดการผิดรูป (ยืดหรือหด) ตามแรงนั้น และจะสามารถคืนรูปเดิมอย่างสมบูรณ์ได้เมื่อนำแรงนั้นออกโดยจะไม่มี การเสีรูปร่างอย่างถาวร ปกติมักพบ ในโลหะเจือผสมเหล็ก (ferrous alloys) เป็นส่วนใหญ่

มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นและมอดุลัสของยัง

ค่าคงที่ตามกฎของฮุกในสมการ 1.5 นั้นคือมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น(modulus of elasticity, E) หรือ มอดุลัสของยัง (Young's modulus, Y)

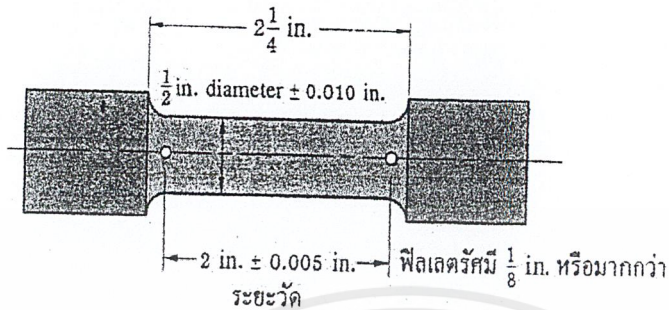
$$E = \text{ความเค้น} / \text{ความเครียด} = \sigma / \epsilon \quad (2.6)$$

แทน σ ด้วย P/A และ ϵ ด้วย δ/L จะได้

$$\sigma = PL/AE = \sigma L/E \quad (2.7)$$

ข้อควรจำ

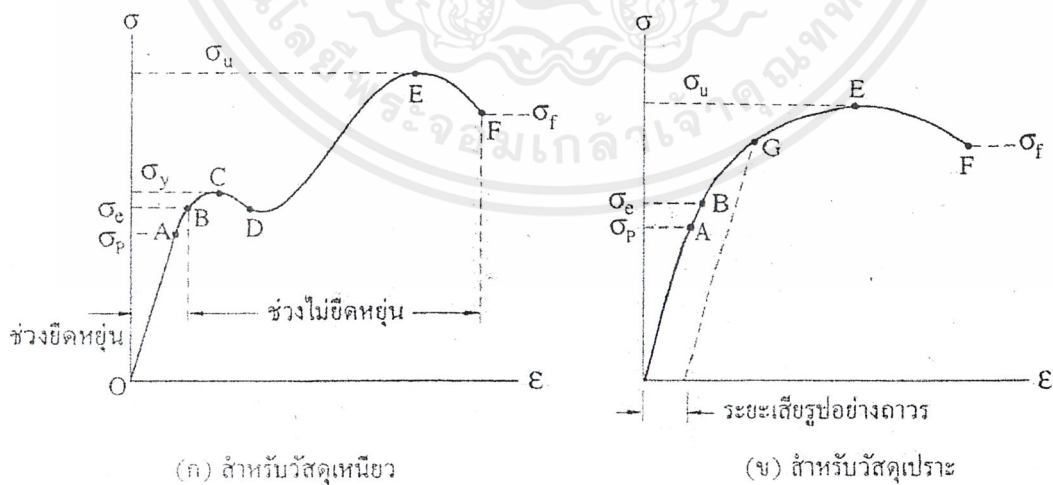
1. ปกติมอดุลัสของวัสดุในสภาพยืดหยุ่นได้นั้นเป็นค่าคงที่สำหรับสารชนิดเดียวกัน
2. วัสดุใดที่มีค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นสูง วัสดุนั้นจะทนต่อแรงภายนอกได้สูงและรูปร่างเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนวัสดุที่มีค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นต่ำนั้นจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายกว่าเมื่อมีแรงภายนอกกระทำ



รูปที่ 6 ขนาดของชิ้นทดสอบ

แผนภาพความเค้นและความเครียดภายใต้การดึงทดสอบ

ในการดึงทดสอบนั้น ก่อนดึงทดสอบต้องเตรียมชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน AISI (American Iron and Steel Institute) ลักษณะของชิ้นทดสอบจะเตรียมดั่งรูป จากนั้นจะติดตั้งชิ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ และอ่านระยะยืดตัว นำผลที่ได้มาเขียนแผนภาพความเค้นและความเครียด



รูปที่ 7 แผนภาพความเค้นความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

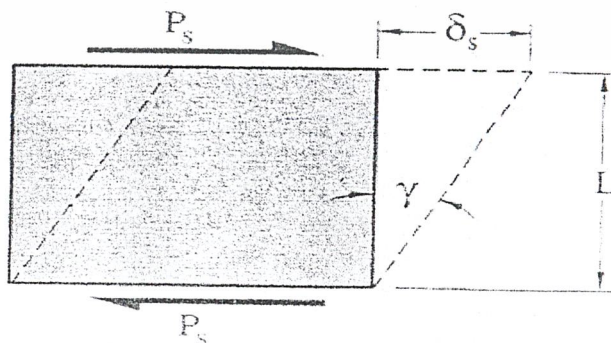
จากรูปมีขีดจำกัด คือจุด A เรียกว่า ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (σ_p) จุด B เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (σ_e) จุด C เรียกว่า จุดคราก (σ_c) จุด E เรียกว่า จุดประลัย (σ_u) จุด F เรียกว่า จุดแตกหัก (σ_r) และจุด G เรียกว่า จุดเสียรูปอย่างถาวร

แผนภาพความเค้นและความเครียดให้พฤติกรรมสองช่วง คือ ช่วงยืดหยุ่น และช่วงไม่ยืดหยุ่น โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สำหรับวัสดุเหนียวและวัสดุเปราะนั้น ในช่วงยืดหยุ่น (ตั้งแต่จุด O ถึง A) พบว่า σ และ ϵ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตามกฎของฮุกคือ $\sigma = E\epsilon$
- 2) ในช่วงไม่ยืดหยุ่น (ตั้งแต่จุด B ถึง F) สำหรับวัสดุทั้งสองประเภท σ และ ϵ มีความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้น
- 3) ถ้าออกแรงดึงต่อชิ้นทดสอบ ทำให้ความเค้นไม่เกินจุด B ($\sigma < \sigma_e$) เมื่อนำแรงนั้นออกไป ชิ้นทดสอบสามารถคืนกลับรูปร่างเดิมได้ ปกติแล้วจะสมมติให้จุด A ซ้อนทับจุด B นั่นคือ $\sigma_p = \sigma_e$ และถ้าออกแรงดึงจนกระทั่งเลยจุด B ชิ้นทดสอบนั้นจะไม่สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้อีกต่อไป เมื่อความเค้นถึงจุด C จะเรียกว่าจุดครากเริ่มต้น (upper yield point) จากนั้นจะเห็นพฤติกรรมคือ ϵ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่สัมพันธ์กับแรงดึง (หรือ σ) จนกระทั่งถึงจุดครากสุดท้าย (lower yield point)
- 4) ถ้าเพิ่มแรงดึงทดสอบมากขึ้นจนความเค้นเลยจุด E พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบจะลดลง และเกิดคอคอด และความเค้นจะลดลงจนถึงจุด F (σ_r) ซึ่งชิ้นทดสอบจะแตกหักเสียหาย

ความเครียดเฉือน

ความเครียดเฉือน (shear strain, γ) คือ การเปลี่ยนแปลงเชิงมุมระหว่างผิวตั้งฉากกันทั้งสองของชิ้นส่วนย่อย



รูปที่ 8 การผิดรูปโดยการเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปชิ้นส่วนย่อยรับแรงเฉือนแล้วเปลี่ยนรูปร่างจากสี่เหลี่ยมมุมฉากเป็นสี่เหลี่ยมด้านขนานทำให้ระยะเปลี่ยนแปลงในแนวเฉือน δ_s (บนผิวแนวระดับ) กำหนดความยาวในแนวตั้งคือ L พิจารณาความเครียดเฉือนเฉลี่ยในรูป โดยที่ $\tan \gamma = \delta_s/L$ ปกติ γ เป็นมุมขนาดเล็กมาก ดังนั้น $\tan \gamma = \gamma$ และความเครียดเฉือน คือ

$$\gamma = \delta_s/L \quad (2.8)$$

อาศัยกฎของฮุกหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (τ) และความเครียดเฉือน (γ)

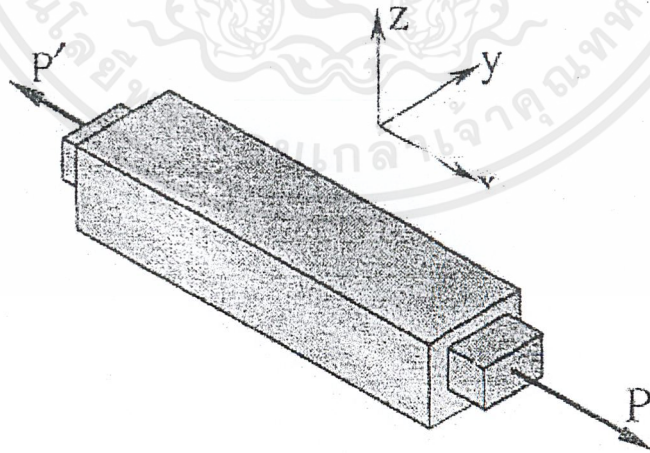
$$\tau = G\gamma \quad (2.9)$$

โดยที่ G คือมอดูลัสของความแข็งเกร็ง (modulus of rigidity)

ในที่นี้ $\tau = V/A_s$ (โดยที่ V เป็นแรงเฉือนกระทำบนพื้นที่เฉือน A_s) และ $\gamma = \delta_s/L$ ดังนั้นระยะเปลี่ยนแปลงในแนวเฉือนคือ

$$\delta_s = VL/A_s G \quad (2.10)$$

อัตราส่วนของทวิส่วนของ



รูปที่ 9 นิยามอัตราส่วนของทวิส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ ซีม็อง เดอนีส์ พัวส์ซอง (Simeon Denis Poisson) พบว่าอัตราส่วนของพัวส์ซอง (ν) ก็คือค่าสัมบูรณ์ของอัตราส่วนความเครียดด้านข้าง (lateral strain) ต่อความเครียดในแนวแกน และมีค่าคงที่สำหรับวัสดุที่มีความเค้นภายในขีดจำกัดความเป็นสัคส่วน

จากรูป เมื่อออกแรงดึง P ในแนวแกนทำให้ขนาดของวัตถุวัดตามขวางลดลง ในที่นี้ความเครียดในแนวแกนคือ ϵ_x ซึ่งมีเครื่องหมายบวก สำหรับความเครียดด้านข้างคือ ϵ_y และ ϵ_z ซึ่งมีเครื่องหมายลบ อัตราส่วนของพัวส์ซอง (Poisson's ratio) คือ

$$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x = -\epsilon_z/\epsilon_x$$

สำหรับการผิครูป 2 แกน แกน x และ y พบว่า

$$\epsilon_x = \sigma_x/E - \nu\sigma_y/E$$

$$\epsilon_y = \sigma_y/E - \nu\sigma_x/E$$

จากสมการเหล่านี้ แก้สมการจะได้

$$\sigma_x = (\epsilon_x + \nu\epsilon_y)E/(1-\nu^2) \quad (2.11)$$

$$\sigma_y = (\epsilon_y + \nu\epsilon_x)E/(1-\nu^2) \quad (2.12)$$

สำหรับการผิครูป 3 แกน (x, y, z): กฎของฮุกแบบทั่วไปคือ

$$\text{แกน } x: \quad \epsilon_x = 1/E(\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)) \quad (2.13)$$

$$\text{แกน } y: \quad \epsilon_y = 1/E(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)) \quad (2.14)$$

$$\text{แกน } z: \quad \epsilon_z = 1/E(\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)) \quad (2.15)$$

ข้อสังเกต

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ในช่วงยืดหยุ่น 3 ค่า คือ ν , E และ G

$$G = E/2(1+\nu) \quad (2.16)$$

จากสมการเมื่อทราบ G และ E จะสามารถคำนวณหาค่าของ ν ได้

สำหรับเหล็กกล้ามีอัตราส่วนของพัวส์ซอง (ν) อยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.30 สำหรับโลหะ

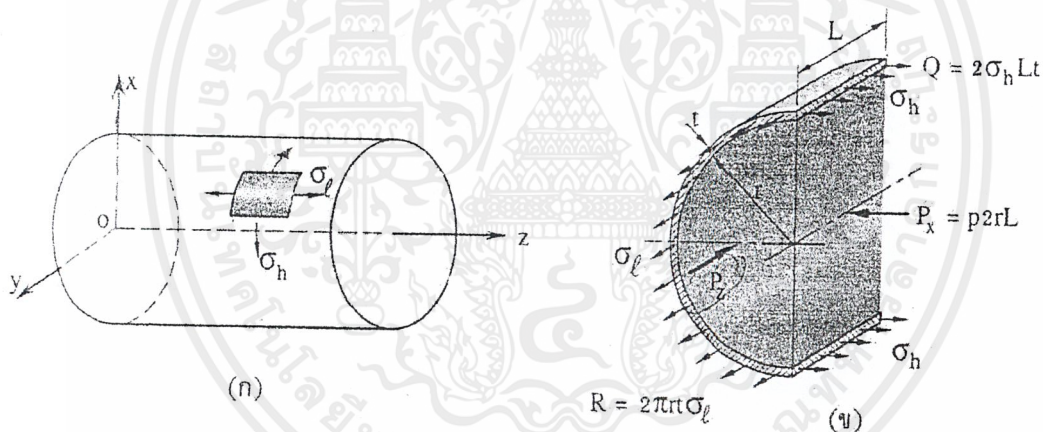
อื่นๆ มี ν ประมาณ 0.33 และสำหรับคอนกรีตมี ν เท่ากับ 0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นบนภาชนะผนังบางภายใต้ความดัน

1. ภาชนะผนังบางรูปทรงกระบอก

พิจารณาความเค้นตั้งฉากใน 2 ลักษณะดังแสดงในรูป (ก) อันได้แก่ความเค้นรัศหรือความเค้นในแนวสัมผัส (σ_{cir}) และความเค้นในแนวแกน (σ_l) ทั้งนี้ ไม่คิดความเค้นเฉือนบนระนาบตามแนวขวาง(transverse plane) และความเค้นเฉือนบนระนาบตามแนวแกน(longitudinal plane) จากรูป (ข) แสดง free body diagram เพื่อใช้พิจารณาความเค้นในแนวแกนและความเค้นในแนวเส้นรอบวง โดยเลือกกระหนาบตัดตามแนวขวางและระนาบตัดตามแนวแกน กำหนดให้ Q คือ แรงภายในลัทธิกระทำบนพื้นที่หน้าตัดของระนาบตัดตามแนวแกน และ R คือแรงภายในลัทธิกระทำบนพื้นที่หน้าตัดของระนาบตัดตามแนวขวางจากสภาพสมดุลของแรงในแต่ละแกน



รูปที่ 10 ความเค้นตั้งฉากในแนวแกนและแนวตั้งตรง

$$\text{แนวแกน } x \quad 2Q - P_x = 0, \quad 2Q = P_x$$

$$2\sigma_{cir}Lt = p2rl$$

$$\sigma_{cir} = pr/t = pD/2t \quad (2.17)$$

$$\text{แนวแกน } z \quad R - P_z = 0, \quad R = P_z$$

$$2\pi r t \sigma_l = p\pi r^2$$

$$\sigma_l = pr/2t = pD/4t \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรจำ

ถ้าความดันภายในสม่ำเสมอตลอดทั่วภาชนะรูปทรงกระบอก พบว่าความเค้นบนระนาบตามแนวแกน σ_{cr} เป็นสองเท่าของความเค้นบนระนาบตามแนวขวาง σ_t ดังนั้นจุดยึดตามแนวแกนจำเป็นต้องมีความแข็งแรงเป็นสองเท่าของจุดยึดตามแนวขวาง(เส้นรอบวง)



รูปที่ 11 จุดยึดตามแนวแกนและจุดยึดตามแนวขวาง

2. ทรงกระบอกกรวยสูง

จากการพิจารณาลักษณะการรับแรงดันของถัง ดังรูปที่ 12 จะได้สูตรดังนี้

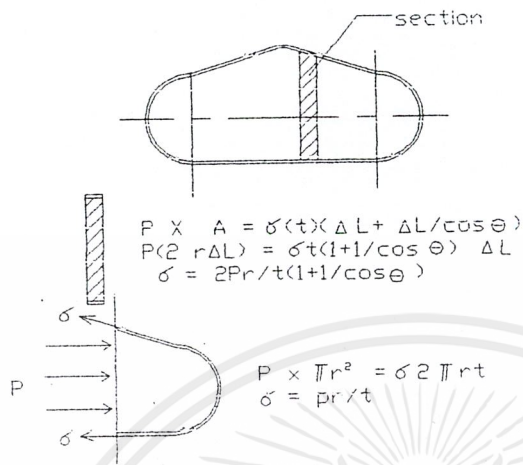
$$\sigma_x = \frac{PD}{t[(1/\cos \alpha) + 1]} \quad (2.19)$$

$$\sigma_y = \frac{PD}{2t} \quad (2.20)$$

$$\epsilon_x = \frac{PR}{tE} \left[\frac{2}{1/\cos \alpha + 1} - \frac{\nu}{2} \right] \quad (2.21)$$

$$\epsilon_y = \frac{PR}{tE} \left[\frac{1}{2} - \frac{2\nu}{(1/\cos \alpha) + 1} \right] \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 รูปด้านข้างของภาชนะความดันทรงกระบอกรัวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีของถังรับแรงดันตามมาตรฐาน ASME

3.1) ถังรับแรงดัน (Pressure vessel)

ถังรับแรงดันเป็นภาชนะรูปทรงต่างๆที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการบรรจุหรือเก็บกักของไหลที่รีแรงดันมากก่่าบรรยากาศ (ความดันภายใน) หรือของไหลที่มีแรงดันน้อยกว่าบรรยากาศ (ความดันภายนอก) ทั้งนี้รวมถึงของเหลวที่บรรจุอีกด้วย

สำหรับถังรับแรงดันที่กล่าวถึงในหนังสือเล่มนี้จะเกี่ยวข้องกับถังรับแรงดันที่มีลักษณะดังนี้

- (1) มีความดันภายในไม่เกินกว่า 300 kgf/cm^2 (30 MPa , 4,270 psi)
- (2) ไม่ใช่ถังรับแรงดันที่ใช้งานเป็นถึงท่นไฟ
- (3) ไม่ใช่ถังรับแรงดันที่สร้างขึ้นด้วยการย้าหุมุด
- (4) ไม่ใช่ถังรับแรงดันที่ใช้งานเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์
- (5) ไม่ใช่ถังรับแรงดันที่มีรูปทรงพิเศษหรือใช้งานเป็นการเฉพาะ เช่น มีรูปทรงที่ซับซ้อน ใช้งานในลักษณะก้อัดทางไฮดรอลิก หรือใช้เป็นถังขนส่งของไหล

3.2.) หน่วย (Units)

หน่วยที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้ยึดตามหน่วยในระบบ SI เป็นหลักยกเว้นความดันและความเค้นที่จะใช้ตามหน่วยในระบบเมตริกคือ kg/cm^2 เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันเ็นทางปฏิบัติ โดย $10 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ MPa}$ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมาตรฐานในการออกแลดถังรับแรงดันที่เป็นที่เชื่อถือและใช้งานกันอย่างกว้างขวางคือ มาตรฐานของสมาคมวิศวกรเครื่องกลของอเมริกัน หรือ ASME Code

3.3) การออกแบบถังรับแรงดัน (Design of pressure vessel)

ถึงแม้ว่าจะมีปัจจัยมากมายในการเลือกและออกแบบถังรับแรงดัน แต่จะมีปัจจัยความต้องการหลักที่มีผลกระทบต่อกรเลือกแบบคือ ความปลอดภัยและประหยัดซึ่งโดยทั่วไปถังรับแรงดันจะได้รับการออกแบบให้สามารถทนสภาวะที่รุนแรงที่สุดที่เกิดขึ้นผสมผสานกันของความดันใช้งานและอุณหภูมิใช้งานที่คาดไว้ได้

ในการออกแบบถังรับแรงดัน การหาความแข็งแรงของถังจะพิจารณาภาระแรงกระแทก รวมถึงการกระเพื่อมหรือการขึ้นลงอย่างรวดเร็วของความดัน (Fluctuation) น้ำหนักของถังและของที่บรรจุภาระแ่งที่เพิ่มเข้ามาของอุปกรณ์ต่างๆ วัสดุอุณหภูมิร้อนที่นำมาหุ้มถัง ระบบท่อ ฯลฯ และผลกระทบต่อความร้อนในสภาวะใช้งาน (หากต้องการ) เพิ่มเข้ามานอกเหนือจากความดันภายในหรือความดันภายนอกที่กระทำค้อดถึง รวมทั้งอาจพิจารณาถึงวัสดุที่สามารถนำมาใช้งานและความต้านทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.) ความหนาของถัง (Thickness of vessel)

ในการอ้างอิงถึงความหนาของถังมักจะหมายถึง ความหนาจริงของถัง ภายหลังจากประกอบ ซึ่งเป็นความหนาที่วัดได้จริง นอกจากนี้ยังมีความหนาอื่น ๆ อีกคือ ความหนาที่คำนวณได้ (Calculated thickness) ซึ่งหมายถึงความหนาที่หาได้ด้วยการใช้สูตรคำนวณ โดยไม่รวมค่าเผื่อการกัดกร่อน และความหนาน้อยที่สุด (Minimum thickness) ซึ่งหมายถึงความหนาที่คำนวณได้บวกค่าเผื่อการกัดกร่อนด้วย ถือเป็นความหนาค่าน้อยที่สุดที่ยอมให้ได้ในการสร้างถังรับแรงดัน มีคำศัพท์ที่สัมพันธ์กับความหนาอีกตัวคือ สภาพกัดกร่อน (Corroded condition) คือสถานะของวัสดุซึ่งค่าเผื่อการกัดกร่อน ณ ขณะเลาออกแบบถูกของไหลขณะทำงานกัดกร่อนออกไป

สำหรับเกณฑ์การกำหนดความหนาจริงของแผ่นวัสดุที่ใช้ทำถังสำหรับส่วนที่รับแรงดันของถังรับแรงดันและอุปกรณ์ประกอบถังสามารถกำหนดดังนี้ :

- (1) กรณีแผ่นเหล็กกล้าผสมต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอน ความหนาต้องไม่น้อยกว่า 2.5 mm ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าเผื่อการกัดกร่อน
- (2) กรณีแผ่นเหล็กกล้าผสมมาก ความหนาต้องไม่น้อยกว่า 1.5 mm สำหรับสถานะที่ไม่มีการกัดกร่อน และต้องไม่น้อยกว่า 2.5 mm สำหรับสถานะที่มีการกัดกร่อน
- (3) กรณีแผ่นเหล็กกล้าผสมมาก ความหนาต้องไม่น้อยกว่า 1.5 mm สำหรับสถานะที่ไม่มีการกัดกร่อน และต้องไม่น้อยกว่า 2.5 mm สำหรับสถานะที่มีการกัดกร่อน

3.5.) ค่าเผื่อการกัดกร่อน (Corrosion allowances)

ค่าเผื่อการกัดกร่อนและค่าเผื่อการกัดเซาะ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “ค่าเผื่อการกัดกร่อน” มีข้อกำหนดดังนี้ :

- (1) ค่าเผื่อการกัดกร่อนจะถูกนำมารวมกับความหนาที่หาได้จากสูตรสำหรับส่วนของถังรับแรงดันซึ่งมีการกัดกร่อนหรือกัดเซาะ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “การกัดกร่อน”
- (2) ในกรณีที่คาดว่า การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของถังมีค่าแตกต่างกันก็ไม่ใช่เป็นที่ที่จะเผื่อการกัดกร่อนเท่ากันทุกส่วนของถัง
- (3) สำหรับถังรับแรงดันที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำซึ่งใช้งานกับอากาศอัดไอน้ำหรือน้ำจะต้องบวกค่าเผื่อการกัดกร่อนเข้าไปไม่น้อยกว่า 1 mm.
- (4) ในกรณีข้อ (3) ยกเว้นถ้าปรากฏว่าไม่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นหรือการกัดกร่อนมีสภาพเพียงผิว ๆ เท่านั้นโดยอาศัยความจริงจากประสบการณ์ที่ผ่านมาในลักษณะงานที่มีสภาพการใช้งานคล้ายคลึงกัน

3.6). การออกแบบถังรับแรงดันโดยอาศัยหลักเกณฑ์การออกแบบ

ในการออกแบบถังรับแรงดันในปัจจุบันจะอ้างอิงโค้ด(Code) หรือหลักเกณฑ์การออกแบบตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ แต่ที่นิยมใช้เป็นหลักเกณฑ์การออกแบบถังรับแรงดันกันอย่างกว้างขวางในแทบทุกประเทศคือ ASME Boiler and Pressure Vessel code ซึ่งการออกแบบถังรับแรงดันในหนังสือเล่มนี้จะอ้างอิงหลักเกณฑ์ดังกล่าวเช่นกันจะนั้นหากใช้คำว่า “โค้ด (Code)” ในหนังสือเล่มนี้จะหมายถึง ASME Boiler and Pressure Vessel Code

3.7.) วัสดุ (Material)

วัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างถังรับแรงดันและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ในประเทศไทยมีด้วยกันหลายมาตรฐาน ตามแต่ว่าบริษัทผู้ว่าจ้างจะยึดถือและว่าจ้างให้ประกอบที่นิยมได้แก่ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น หรือ JIS (Japanese Industrial Standard) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของเยอรมัน หรือ DIN(Deutscher Industrial Normenausschuss) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของสมาคมวิศวกรเครื่องกล หรือ ASME (American society of Mechanical Engineering) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีการเรียกชื่อการเรียกชื่ออยู่หลายมาตรฐาน แต่โดยโครงสร้างของเนื้อวัสดุแล้วจัดว่าไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นแต่ขนาดความหนาตามมาตรฐานของแผ่นวัสดุที่ผลิตขึ้น มาอรรถกถาความแตกต่างกันไปตามระบบหน่วยของแต่ละประเทศ เจ้าของมาตรฐานยึดถืออย่างเช่น JIS กำหนดขนาดความหนาของแผ่นวัสดุเป็น มิลลิเมตร (mm) ขนาดที่ผลิตคือ 2,3,4,5,6,7,8,9,... เป็นต้น ส่วน ASME กำหนดขนาดความหนาของแผ่นวัสดุเป็นนิ้ว (in.) ขนาดความหนาของแผ่นวัสดุเป็นนิ้ว (in.) ขนาดที่ผลิตคือ 1/8,3/16, 1/4, 5/16, 3/8,7/16,1/2,... in. เป็นต้น และเพื่อความสะดวกจึงได้แสดงค่าความหนาเป็น mm เทียบเท่าความเป็น in. แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

in.	1/16	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	15/16	1
in.	0.0625	0.125	0.1875	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	0.9375	1.00
in.	1.5875	3.175	3.175	9.525	12.7	15.875	19.05	22.225	23.812	25.4

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยมิลลิเมตร(mm) เป็น นิ้ว (in.)

3.8.) ความเค้นในถังรับแรงดัน (Stresses in Pressure Vessels)

ถังรับแรงดันในขณะที่ใช้งานจะถูกกระทำด้วยภาระแรงจากหลาย ๆ ลักษณะซึ่งทำให้เกิดความเค้นขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของถังสำหรับลักษณะและขนาดของความเค้นที่เกิดขึ้นเป็นไปตามลักษณะธรรมชาติของภาระแรงนั้น รวมทั้งรูปร่างของถัง และลักษณะโครงสร้างของส่วนประกอบของถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระแรง โดยทั่วไปภาระแรงที่กระทำต่อถังแบ่งออกได้ ดังนี้ :

ความดันภายในหรือภายนอก (Internal or External Pressure)

1. น้ำหนักของถังและของสารที่บรรจุ
2. แรงปฏิกิริยาแบบสถิตย์ (Static) จากอุปกรณ์ที่นำมาติดกับถัง จากระบบท่อจากการบูณาภายใน จากฉนวน จากชิ้นส่วนติดตั้งภายใน หรือจากส่วนรองรับถัง
3. แรงปฏิกิริยาแบบวัฏจักร (Cyclic) และแบบพลวัต (Dynamic) เนื่องจากความดันหรือจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
4. แรงคั่นลม และแรงแผ่นคั่นไหว
5. แรงปฏิกิริยาแบบกระแทกเนื่องจากการกระแทกของของไหล (Fluid shock)
6. ระดับแตกต่างของอุณหภูมิและการขยายตัวทางความร้อน

ความเค้นที่เกิดขึ้นและค่าความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด

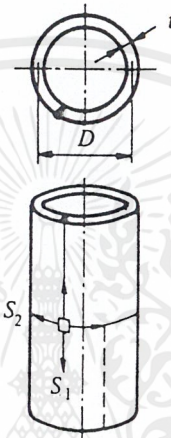
ความเค้น	ความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด
1. ความเค้นดึง	S_u (เป็นไปตามชนิดของวัสดุ)
2. ความเค้นอัดตามยาว	ค่าน้อยของ S_u หรือค่าตัวประกอบ B (ดูหน้า 62 ถึง 66)
3. ความเค้นเมมเบรน (Membrane) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรวมภาระแรงความเค้นเมมเบรนบวกความเค้นดัดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรวมภาระแรง	S_u
4. ความเค้นเมมเบรนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรวมแรงแผ่นคั่นไหว หรือแรงคั่นลมกับภาระแรงอื่น (แรงแผ่นคั่นไหวและแรงลมจะไม่พิจารณาว่ากระทำต่อถังในขณะเดียวกัน)	1.2 คูณความเค้นที่อนุญาตในข้อ 1, 2, 3 ถ้าอุณหภูมิของโลหะไม่เกินกว่ากำหนด (เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมต่ำ 370 °C ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม 425 °C

3.9) ความเค้นในผนังทรงกระบอก (Stresses in Cylindrical Shell)

ความดันภายในหรือภายนอกที่กระจายอย่างสม่ำเสมอจะทำให้เกิดความเค้นตามแนวคั่นรอบวงมากกว่าความเค้นตามแนวยาวอยู่ 2 เท่า ทั้งนี้จากลักษณะรูปร่างของทรงกระบอกเอง ดังนั้นสำหรับถังรับแรงถูกกระทำภายใต้ความดันภายนอก (ถึงสุญญากาศ) เมื่อแรงอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(แรงลม, แผ่นดินไหว, ฯลฯ) ไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญ ต้องออกแบบให้สามารถต้านทานต่อการโก่งเสียหาย (Buckling) ตามแนวรัศมี ส่วนเมื่อภาระแรงอื่นถูกนำมาคิดด้วยภาระแรงเหล่านี้ จะถูกนำมารวมด้วย ซึ่งอาจทำให้ต้องใช้แผ่นทำถังรับแรงดันที่มีความหนามากขึ้น สำหรับความเค้นกดอัดเนื่องจากความดันภายนอก และความเค้นดึงเนื่องจากความดันภายในสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้



รูปที่ 13 ผนังทรงกระบอก

ความเค้นตามแนวยาว

$$S_1 = \frac{PD}{4t}$$

ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$S_2 = \frac{PD}{2t}$$

ถังภายใต้ความดันภายใน (INTERNAL PRESSURE)

1. ความดันใช้งาน (Operation pressure) คือ ความดันที่ต้องการสำหรับการบวนการผลิตที่ถังรับแรงดันถูกใช้งาน โดยปกติ
2. ความดันออกแบบ (Design pressure) คือ ความดันที่ใช้ในการออกแบบและส่วนประกอบของถัง โดยเป็นค่าความดันที่มีค่าสูงกว่าความดันใช้งาน ซึ่งปกติความดันออกแบบจะมีค่ามากกว่าความดันใช้งานอยู่ 2 kg/cm² หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับว่าค่าไหนเป็นค่าที่มากกว่ากัน นอกจากนี้ความดันสถิตย์ของของไหลและของที่บรรจุอื่นในถังควรจะนำมาพิจารณาด้วย (ดูตารางหน้า 61 ในภาคผนวกสำหรับความดันสถิตย์ของของไหล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด (Maximum allowable working pressure) คือความดันภายในซึ่งส่วนที่อ่อนแอที่สุดของถังถูกกระทำ เป็นจุดที่ยอมให้สุดท้าย เมื่อตั้งอยู่ในสถานะดังนี้

- ก. สถานะกักคร่อน
 - ข. สถานะภายใต้ผลกระทบของอุณหภูมิออกแบบ (สูงสุดหรือต่ำสุด)
 - ค. สถานะภายใต้ใช้งานปกติ
 - ง. สถานะภายใต้ผลกระทบของภาระแรงอื่น (แรงลม , ความดันภายนอก , ความดันสถิตยของของไหล , ฯลฯ) ซึ่งเพิ่มเข้ามานอกเหนือจากความดันภายใน
- อนึ่ง ในทางปฏิบัติโดยผู้ใช้และผู้ผลิตถึงรับแรงดันส่วนมากจำกัดความดันทำงานที่ยอมให้มากที่สุดจากหัวถัง (Head) หรือ ตัวถัง (Shell) ไม่ใช่โดยส่วนเล็ก ๆ เช่น หน้าแปลน, พวยรูเจาะ (Nozzle) , ฯลฯ (ดูตารางหน้า 60 ในภาคผนวกสำหรับความดันที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับหน้าแปลนและตารางหน้า 67 สำหรับท่อ)

โดยทอมความดันที่ยอมให้ได้สูงสุดใหม่และเย็นมักพบอยู่บ่อย ๆ ซึ่งหมายถึงความดันซึ่งส่วนอ่อนแอที่ของถังถูกกระทำเป็นจุดที่ยอมให้สุดท้าย เมื่อตั้งอยู่ในสถานะดังนี้

- ก. สถานะที่ยังไม่ถูกกักคร่อน (ใหม่)
 - ข. สถานะที่อุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของส่วนนั้น (อุณหภูมิห้องเย็น) นอกจากนี้ยังรวมถึง (ข้อ ค. และ ง . ข้างต้น) ที่ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย
4. ความดันทดสอบตามความดันน้ำสถิตยหรือไฮดรอสแตติก (Hydrostatic test pressure) คือ ความดันที่มีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุดหรือความดันออกแบบเมื่อการคำนวณไม่สามารถหาความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุดได้และถ้าค่าความเค้นของวัสดุทำถึง σ อุณหภูมิออกแบบมีค่าน้อยกว่า σ อุณหภูมิทดสอบความดันทดสอบตามความดันน้ำสถิตยควรเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกัน ในกรณีนี้ความดันทดสอบจะมีค่าเท่ากับ

$$1.5 \times \text{ความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด} \times \frac{\text{ค่าความเค้น S ที่อุณหภูมิทดสอบ}}{\text{ค่าความเค้น S ที่อุณหภูมิออกแบบ}}$$

นอกจากนี้ถึงซึ่งความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุดถูกจำกัดเนื่องจากหน้าแปลนจะถูกทดสอบ σ ความดัน

คังแสดงในตารางต่อไปนี้

อัตราความความ คันใช้งานชั้นค้ำ	150 lb	300 lb	400 lb	600 lb	900 lb	1,500 lb	2,500 lb
ความคันทดสอบ ตัวคังเนื่องจากแรง คันน้ำ, kg / cm ²	30	45	100	155	230	380	635

*ใช้หน่วยเป็น ปอนด์ (lb) เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันสำหรับหน้าแปลน

5. ค่าความคันทียอมให้ได้สูงสุด (Maximum allowable stress valve) คือ ค่าความคันเองจากแรงคิงที่ยอมให้ได้สูงสุด ที่อนุญาตสำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ สำหรับความคันเนื่องจากแรงกดคืดที่ยอมให้ได้สูงสุด จะถูกนำมาใช้ในการออกแสดงคังทรงการบอคที่มีภาระแรงมากระทำอันจะก่อให้เกิคความคันกดคืดตามแนวยาวในตัวคัง

6. ประสิทธิภาพรอยค้อ (Joint efficiency) ประสิทธิภาพของรอยค้อแบบเชื่อมลักษณะต่าง ๆ แสดงในตารางหน้า 72 และประสิทธิภาพของหัวคังแบบไร้ตะเข็บ (Seamless) คังแสดงในตารางหน้า 76

สูตรและตัวอย่างการหาความหนาและความคันทางานที่ยอมให้ได้สูงสุดเนื่องจากความคันภายใน

สูตรและตัวอย่างการหาความหนาและความคันทางานที่ยอมให้ได้สูงสุดของตัวคังทรงกระบอคจะกำหนดขึ้นตามแนวยาว (ขวางเส้นรอบวง) เนื่องจากปคคิความคันที่เกิคขึ้นมากกว่า โดยความคันที่เกิคขึ้นของตะเข็บตามแนวเส้นคอบวงจะมากกว่าในกรณีทีประสิทธิภาพของรอยค้อตามแนวเส้นรอบวงมีค่าน้อยกว่าครั้งหนึ่งของประสิทธิภาพรอยค้อตามแนวยาว หรือเมื่อมีภาระแรงอื่นมากระทำนอกเหนือจากความคันภายใน อย่างเช่น แรงลม แรงปฏิภริยาของส่วนรองรับคังแบบอานม้า อันเป็นสาเหตุให้เกิคแรงคืดหรือแรงคิงขึ้นตามแนวยาว

โดยสูตรในการหาความหนา และความคันทางานยอมให้ได้สูงสุดของตัวคังทรงกระบอคที่เกิคขึ้นตามตะเข็บตามแนวเส้นรอบวง (ความคันเกิคขึ้นตามแนวยาว) เป็นคังนี้

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (3.1)$$

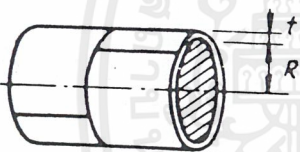
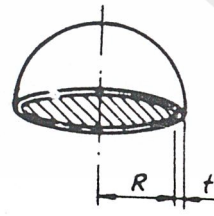
$$P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คืดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในสูตรในเทอมของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

สัญลักษณ์

P	=	ความดันออกหรือความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm^2
S	=	ค่าความเค้นของวัสดุ, kg/cm^2 (ในที่นี้ได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องทดสอบ)
E	=	ประสิทธิภาพรอยต่อ, หน้า 72
R	=	รัศมีภายใน, mm
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน, mm
t	=	ความหนาผนัง, mm
C.A.	=	ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm

<p>A</p> 	<p>ตัวถังทรงกระบอก (ตะเข็บตามยาว)</p>	
<p>B</p> 	<p>1. ปกติใช้ความเค้นในแนวตะเข็บตามยาวในการคำนวณ 2. เมื่อความหนาผนังเกินกว่าครึ่งหนึ่งของรัศมีภายใน หรือ P เกินกว่า 0.385 SE ต้องใช้สูตรที่ให้ไว้ใน Code (ในที่นี้หมายถึง ASME Code), App.1-2</p>	
	<p>ถังทรงกลม และหัวถังครึ่งทรงกลม</p>	
	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$
	<p>1. สำหรับหัวถังที่ไม่มีส่วนตรงเผื่อออกมา (Straight flange) ให้ใช้ประสิทธิภาพหัวถังเท่ากับตัวถัง ถ้ามีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของตะเข็บหัวถัง 2. เมื่อความหนาผนังเกินกว่า 0.356 R หรือ P เกินกว่า 0.665 SE ให้ใช้สูตรที่ให้ไว้ใน Code, App.1-3</p>	

รูปที่ 14 แสดงความดันภายในของถังรูปแบบต่าง ๆ สูตรในเทอมของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมถังรับแรงดัน (Welding of Pressure Vessels)

มีวิธีการที่จะทำรอยต่อให้เชื่อมติดกันอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ในกรณีพิเศษเฉพาะ การเลือกชนิดรูปแบบของการเชื่อมจากทางเลือกที่มีอยู่อย่างมากมาย ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. สภาพแวดล้อมของการเชื่อม
2. กฎข้อบังคับของโค้ด (Code)
3. ในแง่ความประหยัด

1) สภาพแวดล้อมของการเชื่อม

ในหลาย ๆ กรณี ความสามารถในการเข้าถึงของรอยต่อเป็นตัวกำหนดชนิดของการเชื่อมในถังเป็นค่าศูนย์กลางขนาดเล็ก (ระหว่าง 400-600 mm) จะไม่มีการเชื่อมด้วยมือแบบใดสามารถนำมาใช้ได้ด้วยการเชื่อมจากด้านใน ฉะนั้นจึงต้องใช้แผ่นประกบหลังส่วนในถังที่มีขนาดโตขึ้น ถ้าไม่มีการเจาะช่องคนลอด รอยต่ออันสุดท้าย (ที่เชื่อมปิด) สามารถเชื่อมได้เฉพาะจากด้านนอกเท่านั้น นอกจากนี้ชนิดของการเชื่อมอาจกำหนดขึ้นตามอุปกรณ์ของผู้ผลิตที่ช่างเชื่อมนำมาใช้งานด้วย

2) กฎข้อบังคับของโค้ด

การพิจารณาชนิดของรอยต่อที่กฎข้อบังคับที่ตั้งขึ้นมาโดยโค้ดขึ้นอยู่กับการใช้งานวัสดุ และตำแหน่งของการเชื่อมได้เฉพาะตำแหน่งของการเชื่อม สำหรับการระบุนการเชื่อมที่อาจนำมาใช้ในโครงสร้างของถังเป็นไปตามข้อบังคับ

- 2.1) ชนิดของรอยต่อแบบเชื่อม
- 2.2) การออกแบบรอยต่อแบบเชื่อม
- 2.3) การตรวจสอบรอยต่อแบบเชื่อม

ประสิทธิภาพของรอยต่อขึ้นอยู่กับชนิดของรอยต่อและระดับของการตรวจสอบเท่านั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับของการตรวจสอบของรอยต่อรอยอื่นใด กฎข้อนี้ของการปรับปรุงปี 1989 ของโค้ดตัดทิ้งแนวความคิดของข้อจำกัดโดยส่วนรวมของรอยต่อชน กฎข้อบังคับของการลดลงของความเค้น

3) การประหยัดของการเชื่อม

ถ้าปัจจัย 2 ข้อข้างต้น มีอิสระในการเลือกแล้ว แง่มุมในด้านการประหยัดต้องเป็นปัจจัยในการตัดสินใจ

ข้อพิจารณาบางประการที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดของการเชื่อมคือ

- 3.1) การเตรียมมุมปากตัววี ที่สามารถทำได้ด้วยการใช้การตัดด้วยหัวเชื่อม (Torch)
- 3.2) การเตรียมมุมปากตัววีที่ต้องการ โลหะเชื่อมที่ใช้เชื่อมเพียงครั้ง หนึ่งที่ต้องการสำหรับการเตรียมมุมปากตัววีเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) การเพิ่มขนาดของแนวเชื่อมฟิลเล็ต (Fillet) ความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของขนาดของแนวเชื่อม

ยิ่งงานเชื่อมคุณภาพต่ำเท่าไร ยิ่งทำให้มีความจำเป็นต้องใช้งานเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น และแผ่นที่บางลง หรือในลักษณะตรงข้าม อันไหนจะประหยัดกว่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดของถัง, อุปกรณ์การเชื่อม, ฯลฯ ลักษณะตรงข้ามอันไหนจะประหยัดกว่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดของถัง, อุปกรณ์การเชื่อม, ฯลฯ ลักษณะนี้ต้องตัดสินใจเป็นกรณี ๆ ไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณ

4.1) การคำนวณทางทฤษฎี

จากการทดสอบชิ้นเหล็กที่ใช้ทำภาชนะถึงความดัน ได้ค่าเฉลี่ยความเค้นของเหล็กดังนี้

$$\sigma_{avg} = 2.9 * 10^8 \text{ Pa} = 290 \text{ MPa}$$

ความหนาของเหล็ก (t) = 3 mm.

4.1.1) ในกรณีที่ทำถังทรงกระบอกรัศมี 3 นิ้ว หรือ 76.2 mm.

จะได้ว่า

$$P = \frac{\sigma t}{R}$$

$$P = (2.9 * 10^8 * 3 * 10^{-3}) / (76.2 * 10^{-3})$$

$$= 11.4 \text{ MPa} = 114 \text{ bar}$$

จากสูตรของ AMSE

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$$

เมื่อ

S คือ ค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบ

E คือ ค่าประสิทธิภาพรอยเชื่อมมีค่าเท่ากับ 0.6

$$P = (2.9 * 10^8 * 3 * 10^{-3} * 0.6) / [(76.2 * 10^{-3})$$

$$+ 0.6 * 3 * 10^{-3}]$$

$$P = 6.69 \text{ MPa} = 66.9 \text{ bar}$$

4.1.2) กรณีถังกระบอกยาวเฉียง

$$D = 6'' = 152.4 \text{ mm.}$$

$$D = 8'' = 203.2 \text{ mm.}$$

$$\alpha = 16.63$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการ

$$P = \frac{\sigma t}{D_{\max}} \left[\frac{1}{\cos \alpha} + 1 \right]$$

$$P = [290 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot (1/\cos 16.63 + 1)] / (203.2 \cdot 10^{-3})$$

$$P = 8.75 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 87.5 \text{ bar}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

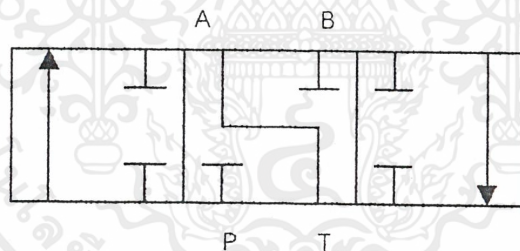
5.1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1.1) ปั๊มไฮดรอลิก ยี่ห้อ VICKERS ขนาดความดันสูงสุด 250 bar

โดยตัวปั๊มนี้ ใช้เป็นเครื่องมือในการอัดน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่ภาชนะความดันผ่านทางสายไฮดรอลิก ที่ความดันเริ่มต้นตั้งแต่ 2.5 bar ไปจนถึงที่ 30 bar ในการทดลองนี้ และมีลักษณะของความดันที่อัดเข้าไปนั้นเป็นภาระแบบสถิตย์ (Static Load) และที่ทางออกของปั๊มนั้นมีการติดตั้ง Pressure Release Valve เพื่อป้องกันค่าความดันเกิน Over Pressure เอาไว้ด้วย .

5.1.2) วาล์วไฮดรอลิก ขนาด ช่องทางเข้าออก 4 และ 5 หุน แบบ 4 / 3 เป็นวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional Control Valve)

วาล์ว 4 / 3 ที่เลือกมาใช้นี้ เป็นวาล์วที่มีตำแหน่งห้องทั้ง 3 เป็นดังนี้



รูปที่ 15 แสดงลักษณะภายในของวาล์วที่ใช้ในการทดลองนี้

โดยที่วาล์วตัวนี้นั้น มีคันโยกซึ่งทำหน้าที่สลับเปลี่ยนตำแหน่งของห้องตามต้องการ และรับน้ำมันไฮดรอลิกมาจากปั๊มโดยตรง

5.1.3) ภาชนะความดัน (Pressure Vessel)

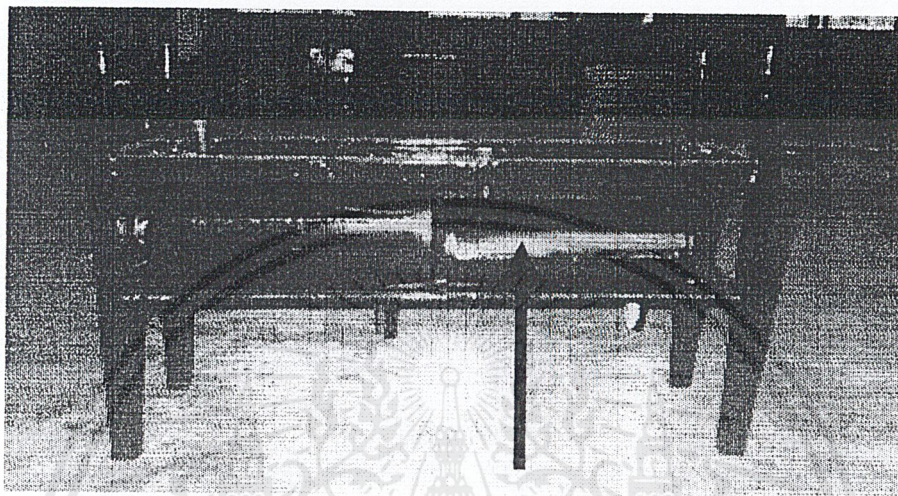
เป็นภาชนะความดันที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานของ ASME BPV Code Section 8 Div 1

ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดไปในบทที่ 2 แล้ว โดยที่ใช้ภาชนะความดันในการทดลอง ทั้งหมด 2 ใบด้วยกัน ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. ภาชนะความดันรูปทรงกระบอกกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีความยาวช่วงที่เป็นทรงกระบอก 35 เซนติเมตร ใช้เหล็กกล้าสแตนเลส ขนาดความหนา 3 มม. และมีหัวถังทั้ง

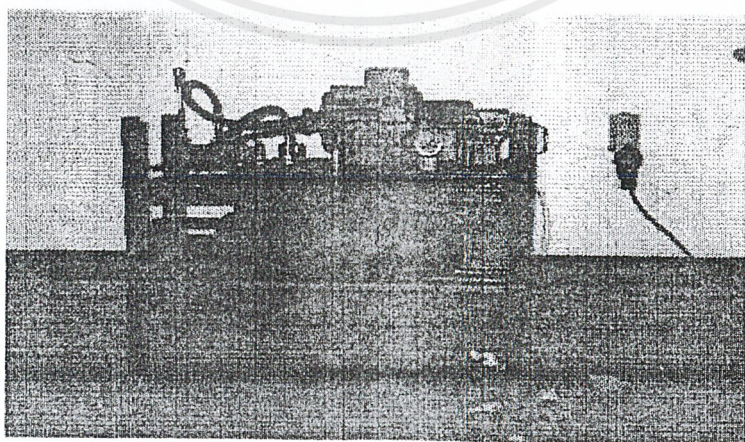
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ด้าน เป็นแผ่นเหล็กกลมชนิดเดียวกัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ขึ้นรูปเป็นลักษณะ โค้งทรงกลม (Spherical Head)



รูปที่ 16 ภาพขณะความดันที่ใช้ในการทดลอง

2. ภาพขณะความดันรูปทรงกระบอกยาวสูง ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไม่มีสูตรการ คำนวณตามมาตรฐาน ASME จึงต้องมีการสรุปสูตรขึ้นมาใช้ในการคำนวณหาข้อมูลทางทฤษฎี และเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่วัดได้จากการทดลองอีกครั้ง ว่า มีแนวโน้มและลักษณะที่ใกล้เคียงหรือแตกต่างกันมากน้อยเท่าไร รูปทรงกระบอกยาวสูงนี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดเป็น 8 นิ้ว และ เล็กที่สุดเป็น 6 นิ้ว วามยาวนั้น มีค่า 35 เซนติเมตร เช่นเดียวกับรูปทรงกระบอก ดังแสดงในรูป



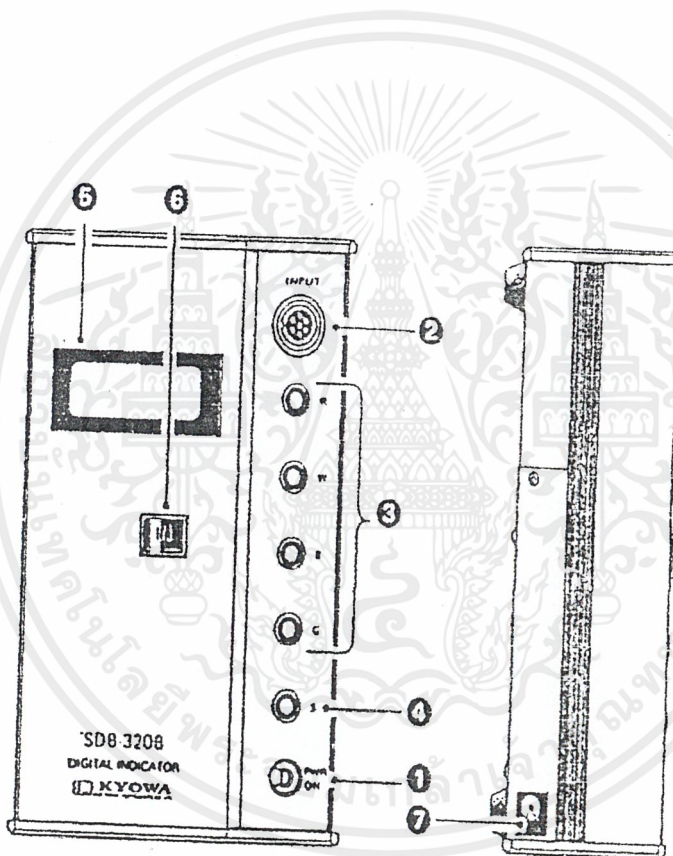
รูปที่ 17 ภาพขณะความดันรูปทรงกระบอกยาวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4) Strain Gages 9 ตัว ยี่ห้อ KYOWA

พร้อมด้วยกาวติด Strain Gages

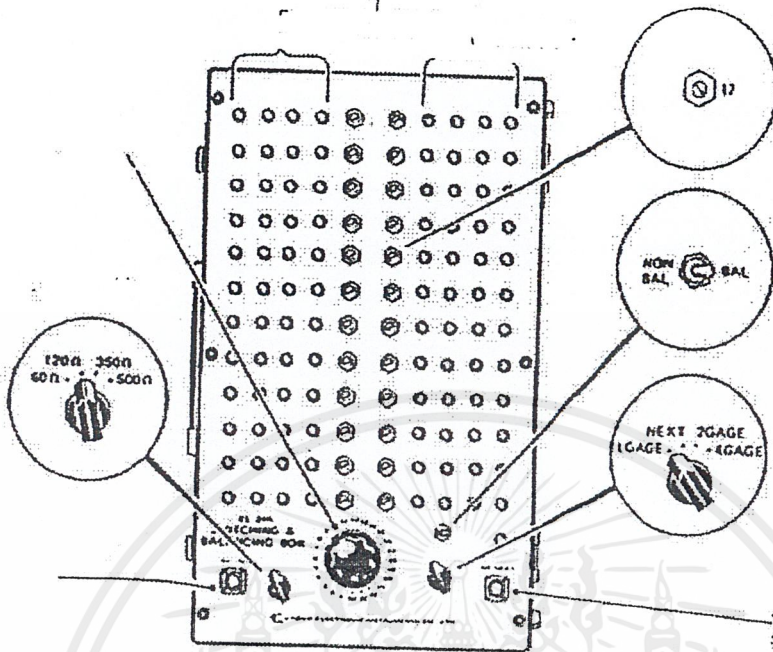
5.1.5) Strain Indicator ยี่ห้อ KYOWA รุ่น SDB-321 B ซึ่งเป็นเครื่องมืออ่านค่าของความเครียด (Strain) เป็นตัวเลข ดังรูปที่ 19



รูปที่ 18 เครื่องมืออ่านค่าความเครียด (Strain Indicator)

5.1.6) Switch Box ยี่ห้อ KYOWA รุ่น SS-24 R มี 24 ขาแนลที่สามารถต่อกับ Strain Gages 24 ตัวได้ พร้อมกัน ดังรูปที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 Switch Box

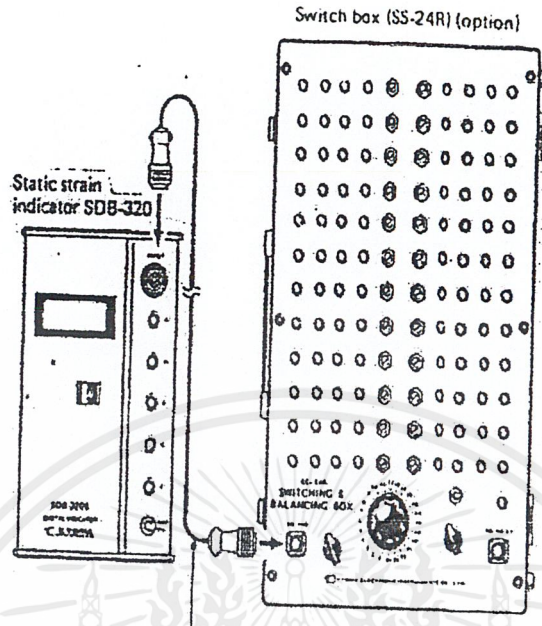
5.2) วิธีการทดลอง

ในการทดลองนั้น ก่อนทดลองทุกครั้ง ต้องมีการตรวจสอบที่รอยต่อแต่ละจุดของระบบไฮดรอลิกว่ามีรอยรั่วตรงไหนหรือไม่ ถ้ามีการรั่วไหล ต้องทำการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อน รวมทั้งเครื่องมือวัดไม่ว่าจะเป็น Strain Indicator หรือ Switch Box ต้องต่อเข้าด้วยกันให้ถูกต้องโดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

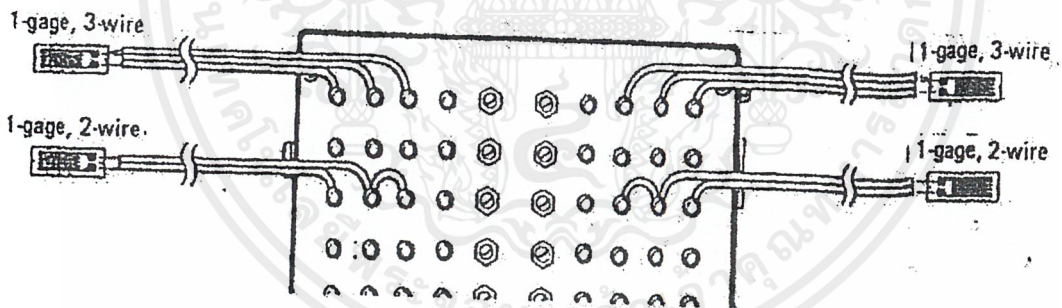
5.2.1) การเชื่อมต่อ Strain Indicator เข้ากับ Switch Box

1. การเชื่อมต่อนั้น ทำได้โดยการนำสายเชื่อมที่มีปลาย 2 ด้าน โดยที่ด้านหนึ่งต่อกับ Strain Indicator เป็นตัวรับสัญญาณเข้า (Input) และปลายอีกด้านหนึ่งนั้นต่อเข้ากับ Switch Box ที่ช่องรับสัญญาณขาออก (Output) ดังรูป ที่ 21

2. ในการทดลองทั้งหมดนี้ ต้องการที่จะให้ค่าที่วัดได้นั้นมีความเที่ยงตรงมากที่สุด จึงทำการต่อ Strain Gage เข้ากับตัว Switch Box เพียงทีละ 1 ตัว เป็น 1 ชาแนลเท่านั้น โดยมีสายสัญญาณต่อ 2 เส้นด้วยกัน และที่ Switch Box นั้นก็มีการ Shot ดังตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 20 การเชื่อมต่อ Strain Indicator กับ Switch Box



รูปที่ 21 การต่อสายจาก Strain Gage แต่ละตัว มาที่ Switch Box

3. ในการอ่านค่านั้น ค่าที่อ่านได้จาก Strain Indicator จะมีค่าที่คูณ 10^{-6} Strain

5. 2. 2) ทำการเดินปี่มจน ได้ค่าความดันที่ต้องการจะวัดค่า ความเครียด แต่ละค่า เริ่มตั้งแต่ 2.5 bar เมื่ออ่านค่าได้แล้ว ก็สับคันโยกให้น้ำมันไฮดรอลิค ระบายกลับลงถังเก็บ โดยที่ตอนนี้เมื่อ

อ่านค่า ความเครียด จะเห็นว่าค่าลดลงจนเป็น 0 เหมือนตอนที่ยังไม่มีภาระอัดความดัน ถ้าค่าที่เห็นยังไม่เป็น 0 ต้องทำการ ปรับค่าให้เป็น 0 หรือให้ใกล้เคียงและเสถียรมากที่สุดก่อนทุกครั้งจึงจะทำการทดลองที่ค่าความดันสูงขึ้นต่อไป.

5.2.3) เมื่อวัดค่าที่ Strain Gage แต่ละตัวครบทุกค่าความดันแล้วก็ให้นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณเอาไว้แล้วจากสูตร ดูว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้ามีความใกล้เคียงกัน มีทิศทางที่สอดคล้องกัน นอกจาก ลักษณะการกระจายตัวที่เราได้รับแล้วนำไป plot graph ที่ให้เห็นได้ชัดเจนแล้วนั้น เรายังได้รับรู้ว่าแนวความคิด หรือความเข้าใจที่เรามีแล้วนำมาสรุปเป็นสูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้น ถูกต้องแล้ว ถ้าไม่ตรงหรือ ไม่สอดคล้องกัน ก็ต้องนำมาสรุปและวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เป็นไปได้อีกต่อไป

5.2.4) จากข้อมูลที่ได้ในการทดลองนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อเป็นความรู้และใช้ในการพัฒนาแนวความคิดต่อไป

บทที่ 6

ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการอัดน้ำมันไฮดรอลิกลงในถังภาชนะความดัน 2 รูปทรง คือ

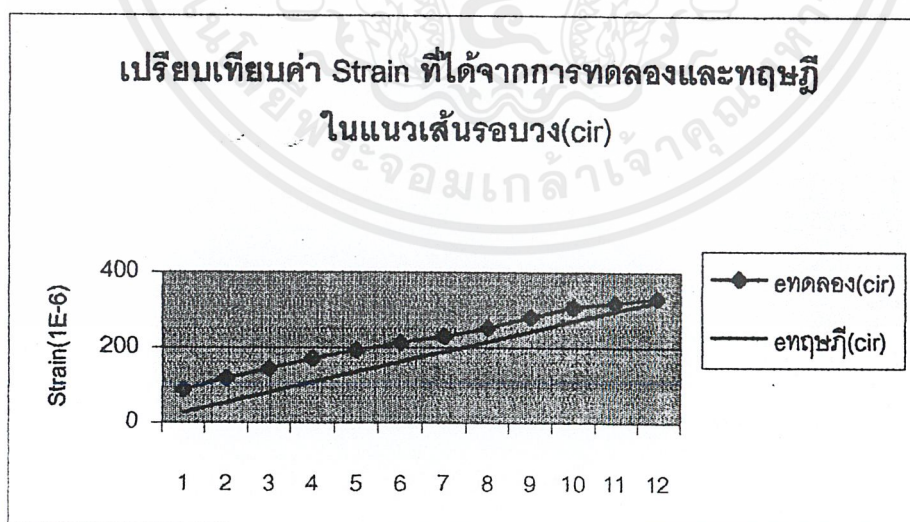
- 1) รูปทรงกระบอก
- 2) รูปทรงกระบอกปลายเปิด
- 3) หัวถังแบบโค้ง

แล้วคำนวณค่าความเค้น (Stress) และค่าความเครียด (Strain) ที่ความดันต่าง ๆ ตั้งแต่ความดัน 2.5 bar ถึง 30 bar โดยทำการทดลองในแต่ละความดันเป็นจำนวน 5 ครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในบทนี้จะแสดงตารางผลการทดลองและกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงอยู่ในหน้าถัดจากนี้ไป



ตารางที่ 3 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองตามแนวเส้นรอบวงของ
ถึงทรงกระบอก

pressure	ทฤษฎี(cir)	ทดลอง(cir)
2.5	26.98	87
5	53.97	118
7.5	80.96	144
10	107.95	170
12.5	134.93	193
15	161.92	212
17.5	188.92	230
20	216	252
22.5	242.88	280
25	269.87	307
27.5	296.86	319
30	323.85	331

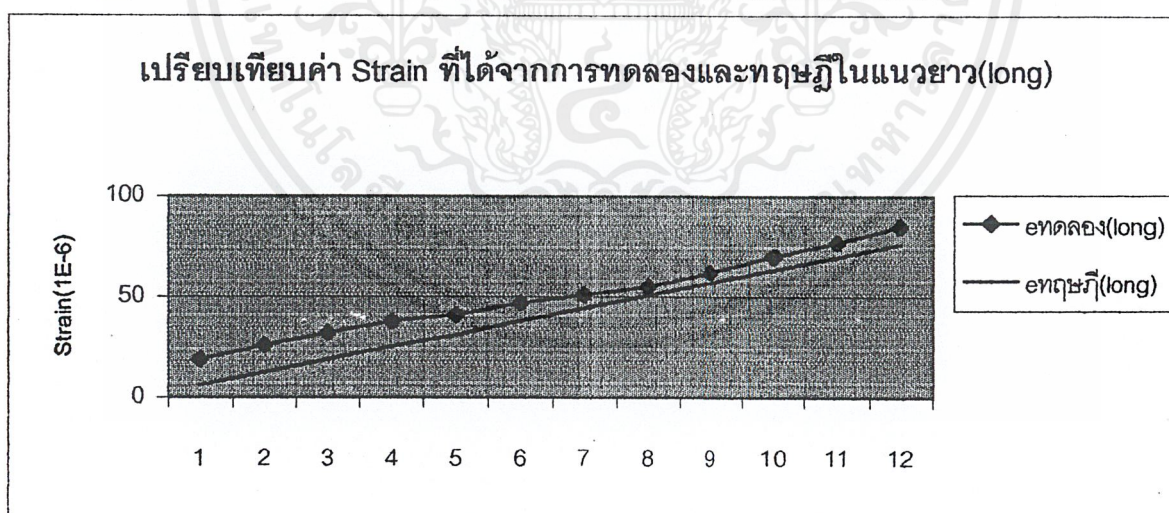


รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองตามแนวยาวของถังทรงกระบอก

pressure	Eทดลอง (long)	Eทฤษฎี (long)
2.5	19	6.35
5	26	12.7
7.5	32	19.05
10	38	25.4
12.5	41	31.17
15	47	38.1
17.5	51	44.45
20	55	50.8
22.5	62	57.1
25	70	63.5
27.5	77	69.85
30	85	76.2

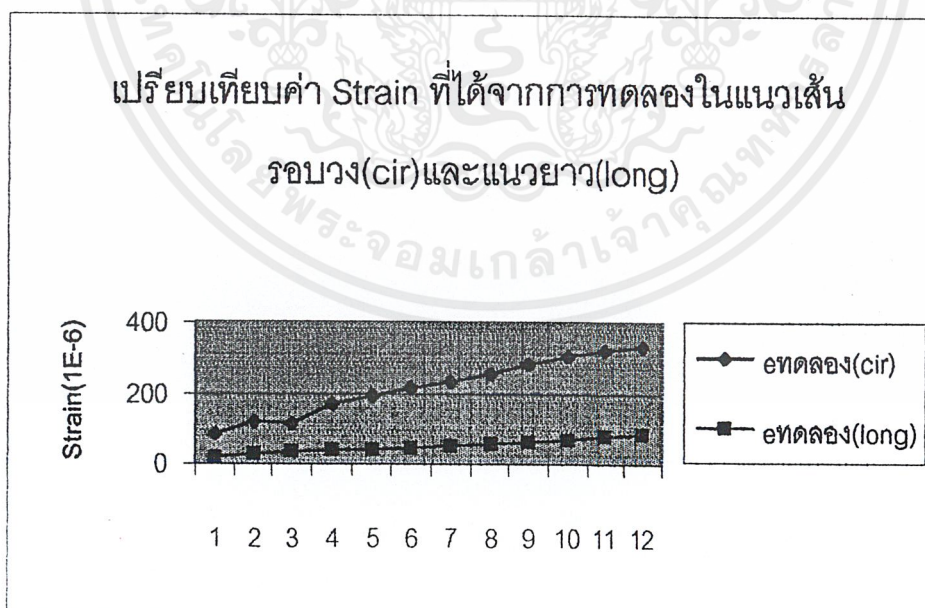


รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองตามแนวยาวของถังทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการทดลองตามแนวยาวและแนวเส้นรอบวง

pressure	eทดลอง(cir)	eทดลอง(long)
2.5	87	19
5	118	26
7.5	114	32
10	170	38
12.5	193	41
15	212	47
17.5	230	51
20	252	55
22.5	280	62
25	307	70
27.5	319	77
30	331	85



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดตามแนวยาวที่ได้จากการทดลองและแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองของหัวถังแบบโค้ง

pressure	ทฤษฎี(head)	ทดลอง(head)
2.5	22.5	46
5	44.6	72
7.5	66.9	77
10	89.25	86
12.5	111.56	93
15	133.87	101
17.5	156.18	138
20	178.5	152
22.5	200.82	171
25	223.13	188
27.5	245.43	197
30	267.75	206

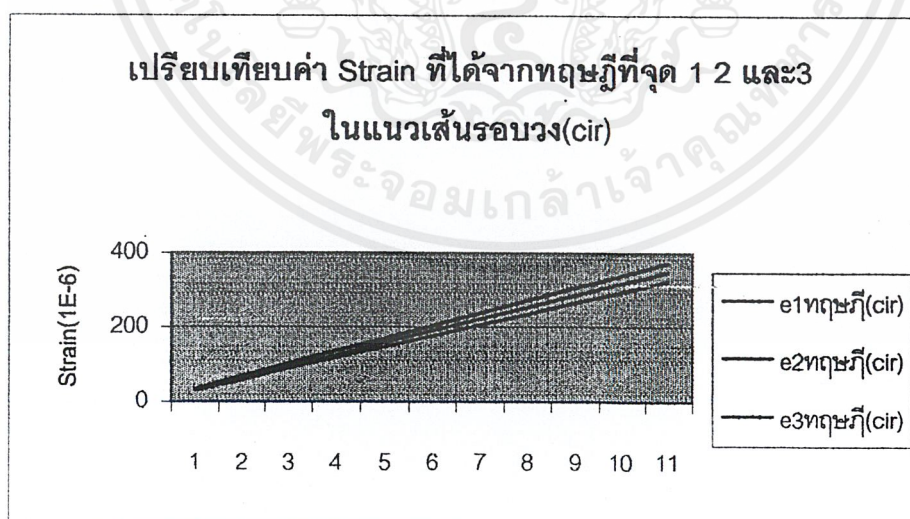


รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองของหัวถังโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการคำนวณทางทฤษฎี ในแนวเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกรัวเอียง

pressure	e1ทฤษฎี (cir)	e2ทฤษฎี(cir)	e3ทฤษฎี(cir)
2.5	29.48	31.87	34.04
5	58.89	63.73	68.08
7.5	89.9	95.64	102.16
10	117.94	124.71	136.61
12.5	148.34	159.4	170.28
15	176.91	191.21	204.26
17.5	207.68	223.16	238.39
20	235.89	254.9	272.35
22.5	267.02	286.92	306.5
25	294.86	318.69	340.4
27.5	326.36	350.68	374.61
30	356.03	382.56	408.67

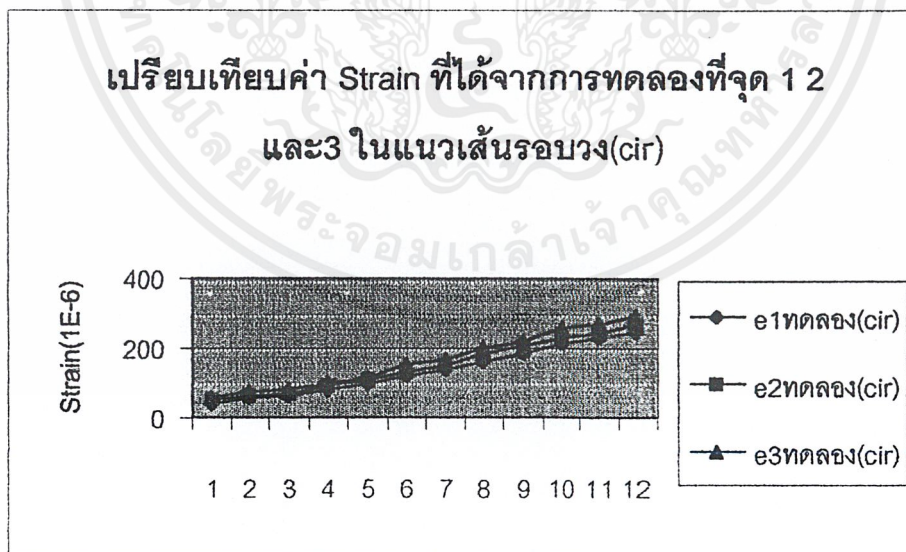


รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกรัวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่าความเครียด (Strain) ในแนวเส้นรอบวงจากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

pressure	e1ทดลอง(cir)	e2ทดลอง(cir)	e3ทดลอง(cir)
2.5	41	51.33	56.66
5	57	65.33	73.33
7.5	63	70	78
10	78.66	89	99
12.5	99	109	116
15	122.6	133	154.66
17.5	138	146	164
20	162.33	180.66	198.66
22.5	183	204	220
25	210	228	259
27.5	227	240	266
30	247	268	293

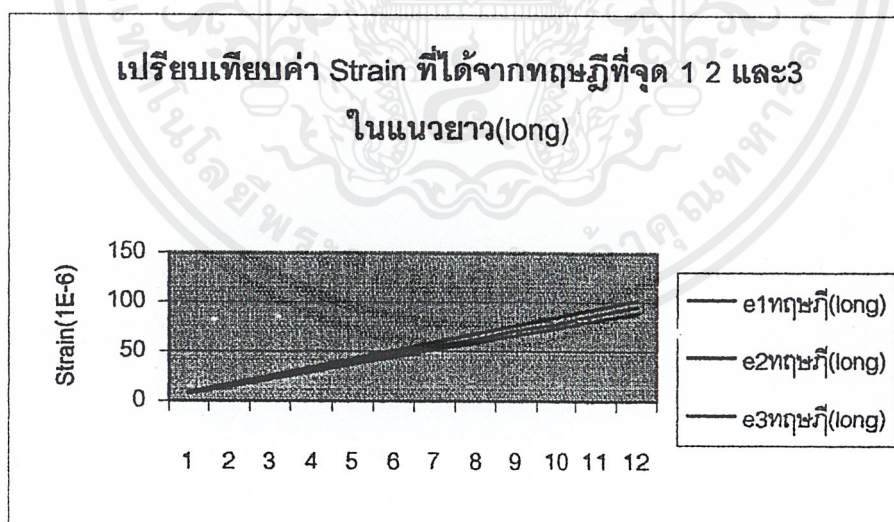


รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองในแนวเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าความเครียด (Strain) จากการคำนวณทางทฤษฎี ในแนวยาว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

pressure	e1ทฤษฎี (long)	e2ทฤษฎี (long)	e3ทฤษฎี (long)
2.5	7.344	7.76	8.479
5	14.68	15.53	16.95
7.5	22.16	23.81	25.43
10	29.37	31.06	33.91
12.5	36.93	39.69	42.39
15	44.06	47.34	50.87
17.5	51.71	55.56	59.35
20	58.75	62.12	67.83
22.5	66.48	71.44	76.31
25	73.44	77.66	84.7
27.5	81.26	87.32	93.27
30	88.61	95.21	101.71

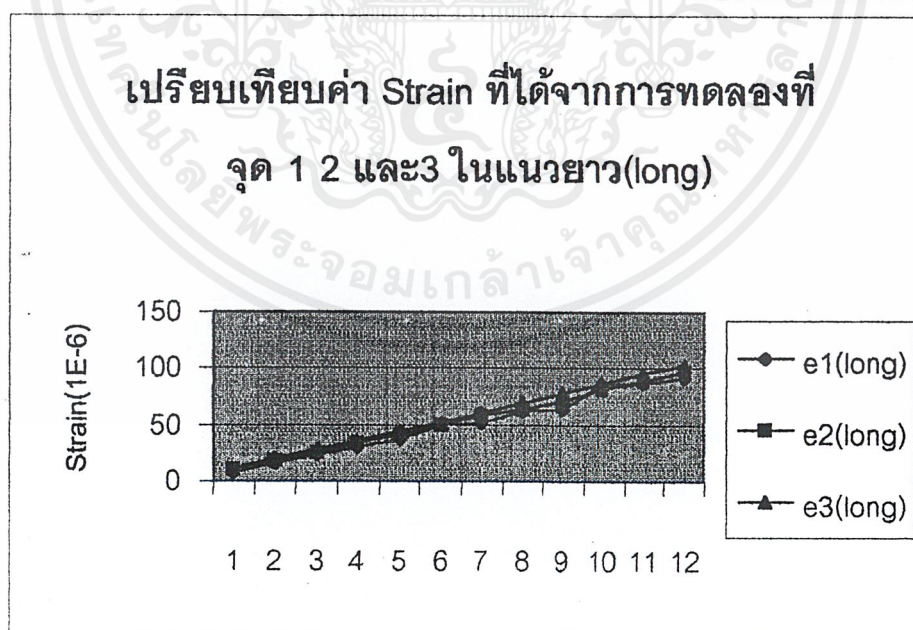


รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงค่าความเครียด (Strain) ในแนวยาวจากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

pressure	e1(long)	e2(long)	e3(long)
2.5	7.33	9.85	10.89
5	15.98	17.12	18.66
7.5	23.8	24.12	27.73
10	30.66	33.7	35.68
12.5	37.33	41.15	44.16
15	48.66	49.66	51.66
17.5	52	57.66	60.46
20	61	64.09	68.93
22.5	64	71.04	78.43
25	85.66	80.44	85.8
27.5	87.33	88.47	95.46
30	91.49	96.48	103.12

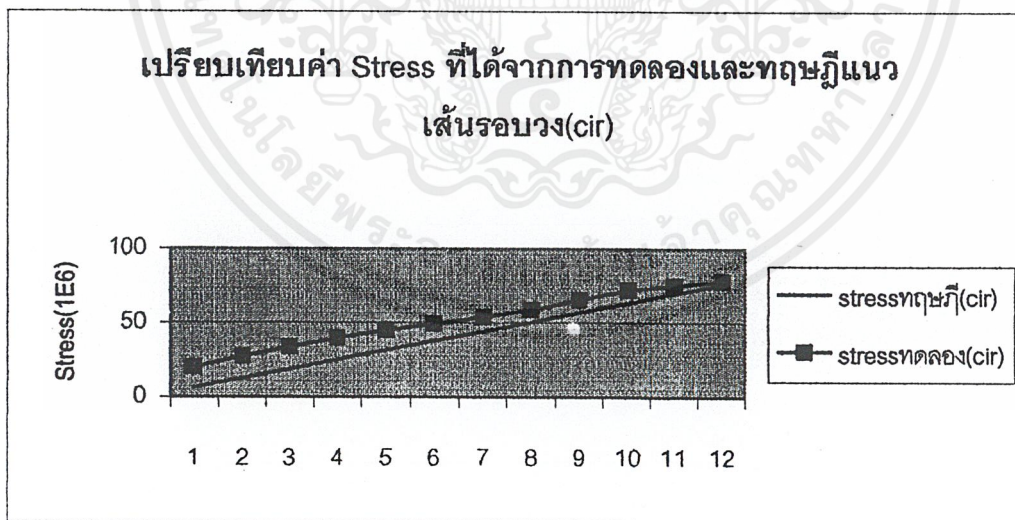


รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวยาวที่ได้จากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของถังทรงกระบอกกรวยเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่าความเค้น (Stress) ตามแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

Pressure	stressทฤษฎี(cir)	stressทดลอง(cir)
2.5	6.35	20.37
5	12.7	27.64
7.5	19.05	33.76
10	25.4	39.86
12.5	31.75	45.12
15	38.1	49.69
17.5	44.45	53.91
20	50.8	59.01
22.5	57.1	65.63
25	63.5	72
27.5	69.85	75.18
30	76.2	78.35

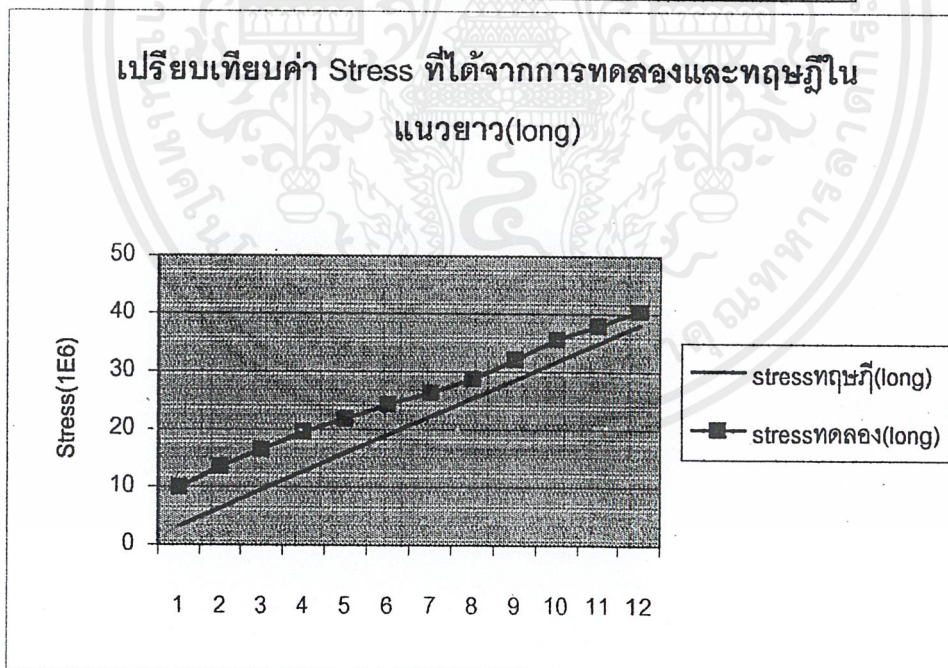


รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้น (Stress) ในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงค่าความเค้น (Stress) ตามแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

Pressure	stressทฤษฎี (long)	stressทดลอง(long)
2.5	3.18	9.93
5	6.35	13.5
7.5	9.5	16.5
10	12.7	19.5
12.5	15.9	21.7
15	19.05	24.3
17.5	22.23	26.37
20	25.4	28.7
22.5	28.55	32.08
25	31.75	35.63
27.5	34.93	37.95
30	38.1	40.5



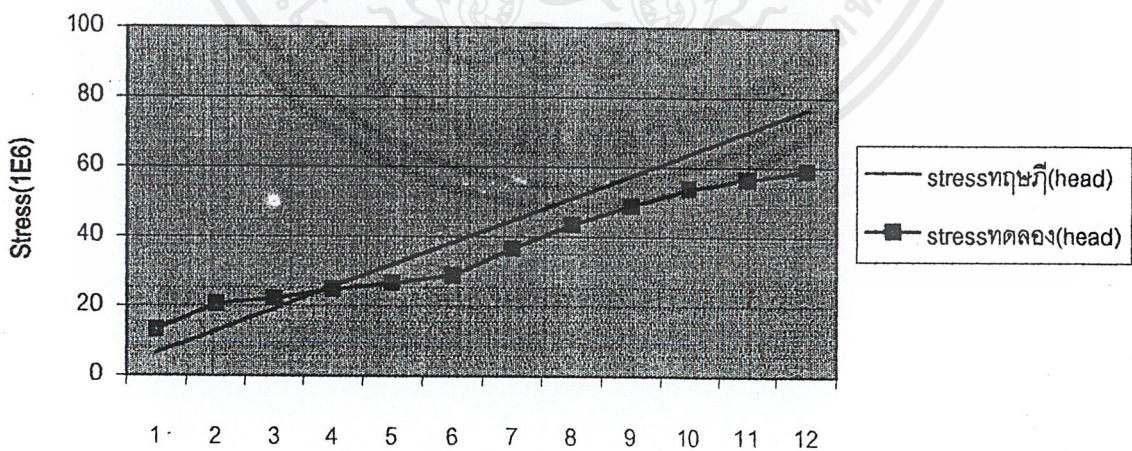
รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้น (Stress) ในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 13 ตารางแสดงค่าความเค้นของหัวถังโค้งที่คำนวณจากทฤษฎีและจากการทดลอง

Pressure	Stressทฤษฎี (head)	stressทดลอง(head)
2.5	6.37	13.14
5	12.75	20.6
7.5	19.13	22
10	25.5	24.6
12.5	31.87	26.5
15	38.25	28.8
17.5	44.63	36.6
20	51	43.42
22.5	57.37	48.9
25	63.75	53.71
27.5	70.13	56.3
30	76.5	58.88

เปรียบเทียบค่า Stress ที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีที่หัว(haed)

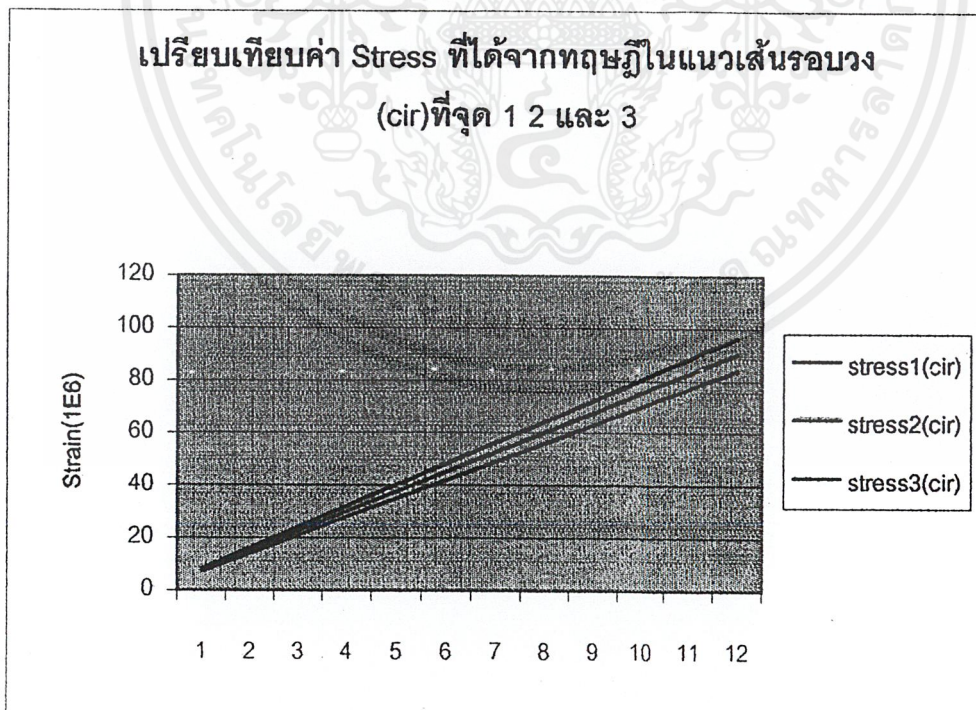


รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ที่หัวถังโค้งจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวงที่คำนวณจากทฤษฎีของถังทรงกระบอกรวบเยียง

pressure	stress1(cir)	stress2(cir)	stress3(cir)
2.5	7.005	7.52	8.041
5	14.01	15.05	16.08
7.5	21.01	22.58	24.12
10	28.02	30.1	32.16
12.5	35.02	37.63	40.2
15	42.03	45.16	48.24
17.5	49.03	52.69	56.28
20	56.04	60.21	64.32
22.5	63.04	67.74	72.37
25	70.05	75.27	80.41
27.5	77.05	82.8	88.45
30	84.06	90.32	96.49

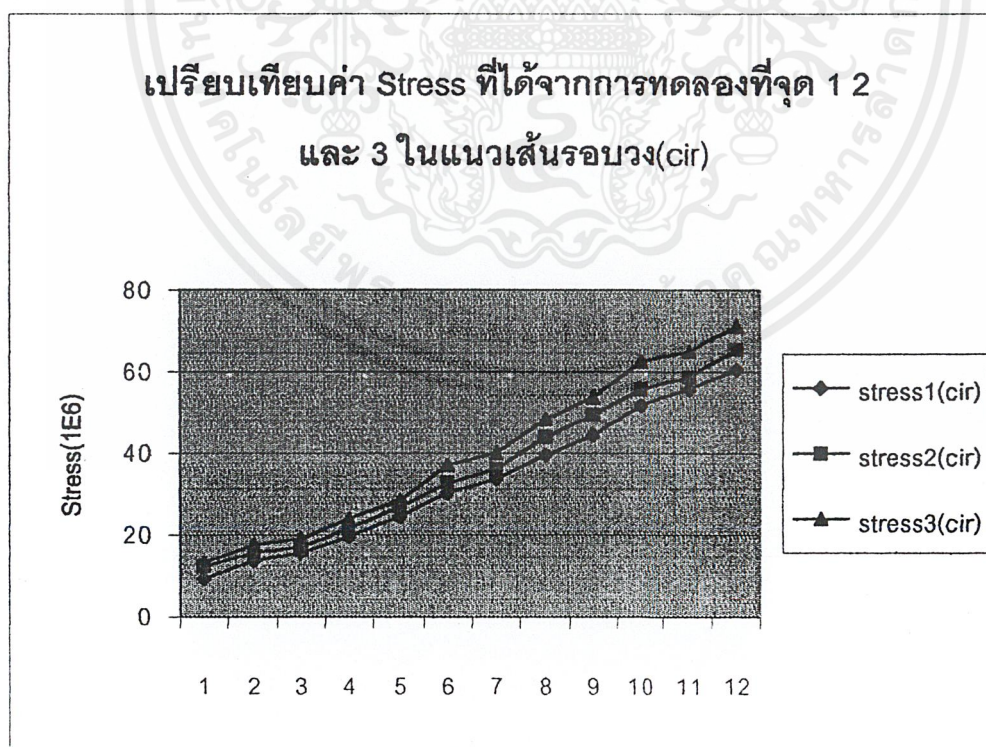


รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจากการทดลองของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียง

pressure	stress1(cir)	stress2(cir)	stress3(cir)
2.5	9.49	11.967	13.17
5	13.5	15.48	17.34
7.5	15.41	16.97	18.97
10	19.3	21.7	24.11
12.5	24.21	26.6	28.4
15	30.16	32.5	37.3
17.5	33.75	35.88	40.03
20	39.69	43.93	48.2
22.5	44.43	49.51	53.52
25	51.8	55.41	62.58
27.5	55.64	58.58	64.75
30	60.31	65.2	71.11

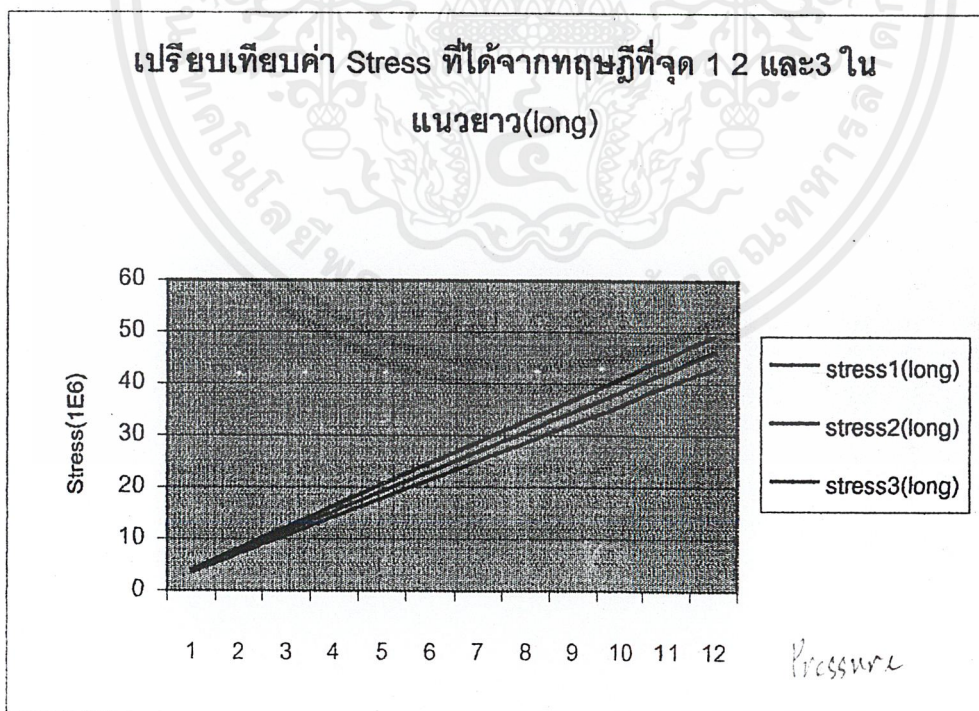


รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ในแนวเส้นรอบวงที่ได้จากการทดลองของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดงค่าความเค้นตามแนวยาวที่คำนวณจากทฤษฎีของดึงทรงกระบอกยาวเรียง

Pressure	stress1(long)	stress2(long)	stress3(long)
2.5	3.57	3.84	4.1
5	7.15	7.69	8.21
7.5	10.73	11.53	12.32
10	14.31	15.38	16.43
12.5	17.89	19.22	20.54
15	21.47	23.07	24.65
17.5	25.05	26.92	28.75
20	28.63	30.76	32.86
22.5	32.21	34.61	36.9
25	35.79	38.45	41.08
27.5	39.37	42.3	45.19
30	42.95	46.15	49.3

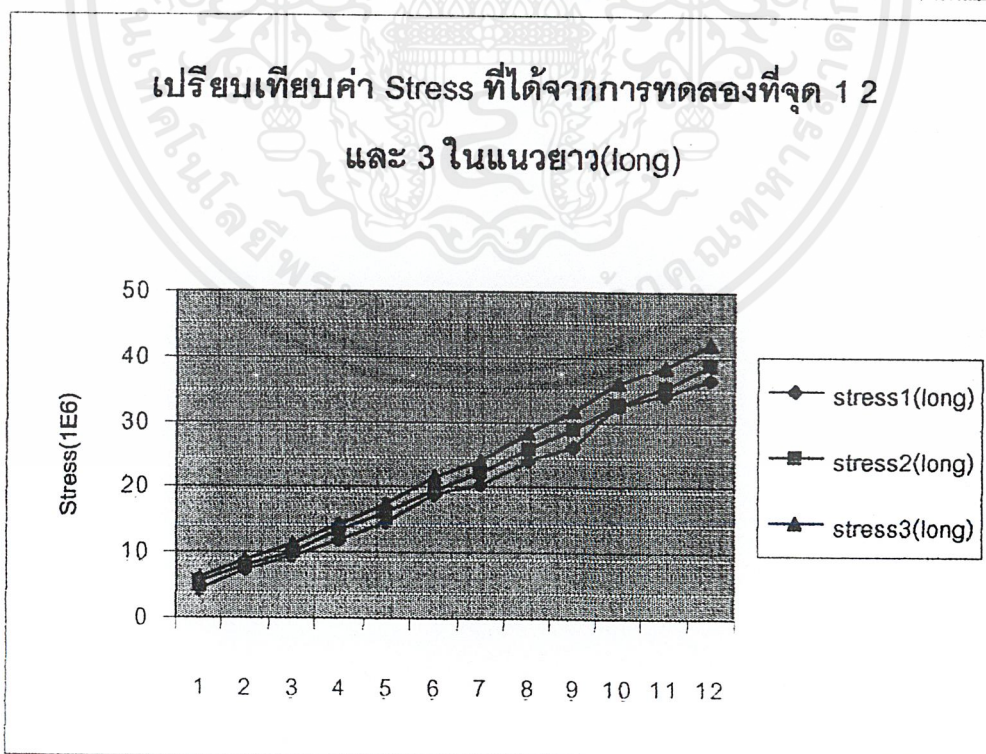


รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ในแนวยาวที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดงค่าความเค้นตามแนวยาวที่ได้จากการทดลองของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียง

pressure	stress1(long)	stress2(long)	stress3(long)
2.5	4.31	5.54	6.12
5	7.27	8.07	8.93
7.5	9.38	9.91	11.23
10	11.92	13.27	14.36
12.5	14.73	16.23	17.35
15	18.78	19.6	21.55
17.5	20.52	22.29	24.1
20	24.1	25.99	28.24
22.5	26.13	29.06	31.74
25	32.67	32.71	35.93
27.5	34.16	35.26	38.51
30	36.63	38.87	41.98



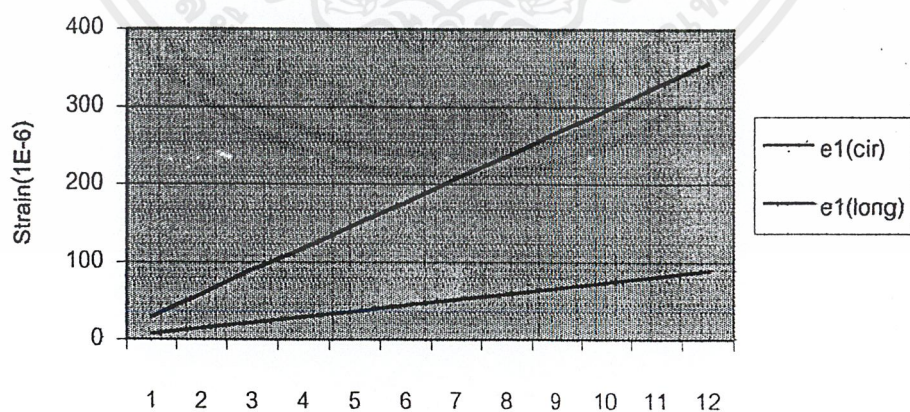
รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ในแนวยาวจากการคำนวณทางทฤษฎีของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 แสดงค่าความเครียดในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียงที่จุด 1

Pressure	e1 (cir)	e1 (long)
2.5	29.48	7.344
5	58.89	14.68
7.5	89.9	22.16
10	117.34	29.37
12.5	148.34	36.33
15	176.91	44.06
17.5	207.68	51.71
20	235.89	58.75
22.5	267.02	66.48
25	294.86	73.44
27.5	326.36	81.26
30	356.03	88.61

เปรียบเทียบค่า Strain ที่ได้จากทฤษฎีที่จุด 1 ในแนวเส้นรอบวง(cir)และแนวยาว(long)

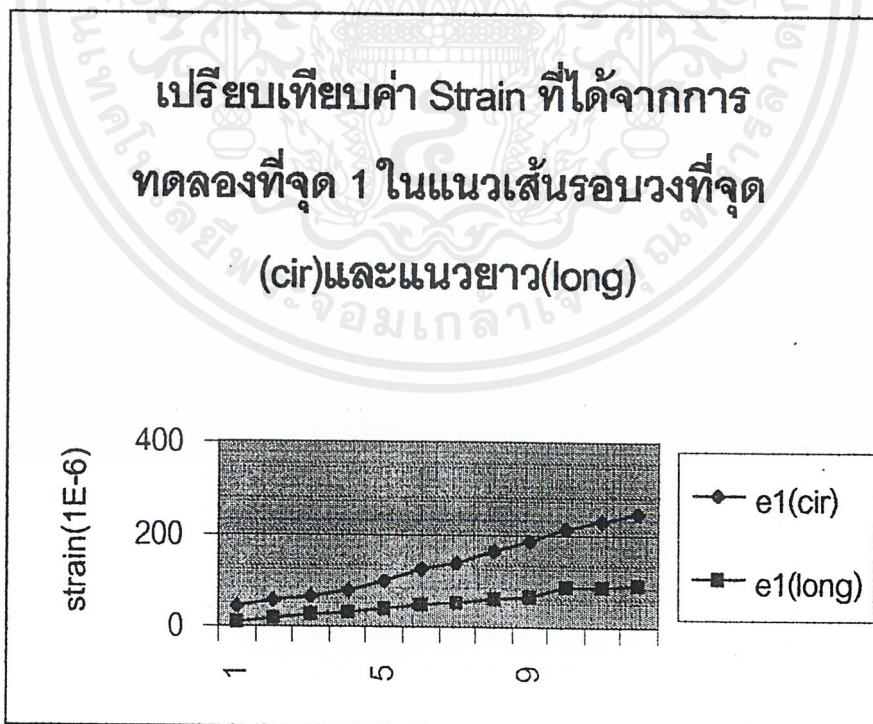


รูปที่ 16 กราฟแสดงค่าความเครียด (Strain) จุดที่ 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 แสดงค่าความเครียดในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียงที่จุด 1

Pressure	e1(cir)	e1(long)
2.5	41	7.33
5	57	15.98
7.5	63	23.8
10	78.66	30.66
12.5	99	37.33
15	122.66	48.66
17.5	138	52
20	162.33	61
22.5	183	64
25	210	85.66
27.5	227	87.33
30	247	91.49

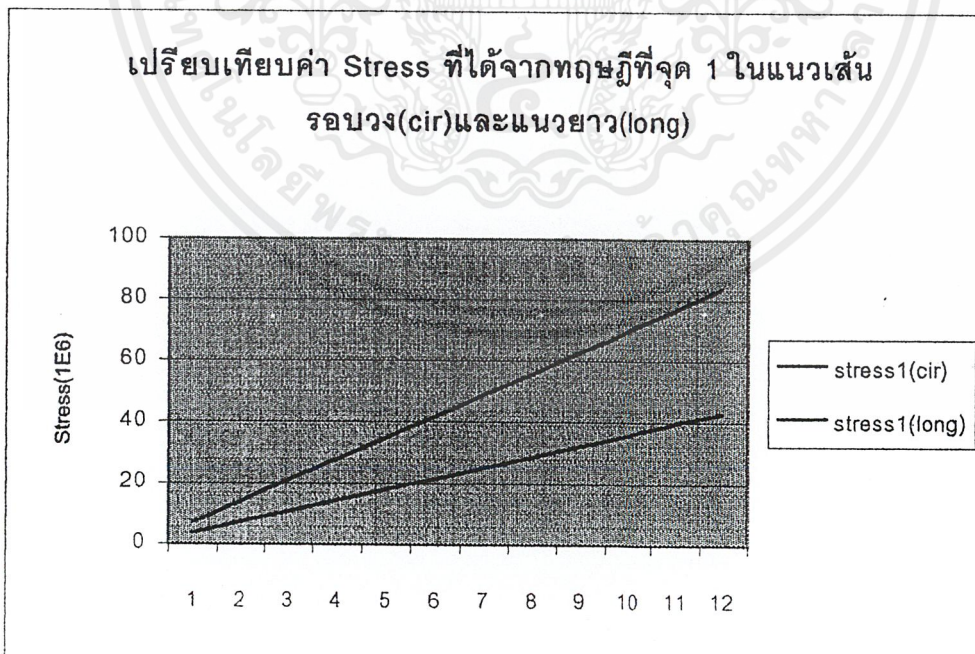


รูปที่ 17 กราฟแสดงค่าความเครียด (Strain) จุดที่ 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20 แสดงค่าความเค้นในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถึงทรงกระบอกยาวเฉียงที่จุด 1

pressure	stress1 (cir)	stress1 (long)
2.5	7.005	3.57
5	14.01	7.15
7.5	21.01	10.73
10	28.02	14.31
12.5	35.02	17.89
15	42.03	21.47
17.5	49.03	25.05
20	56.04	28.63
22.5	63.04	32.21
25	70.05	35.79
27.5	77.05	39.73
30	84.06	42.95

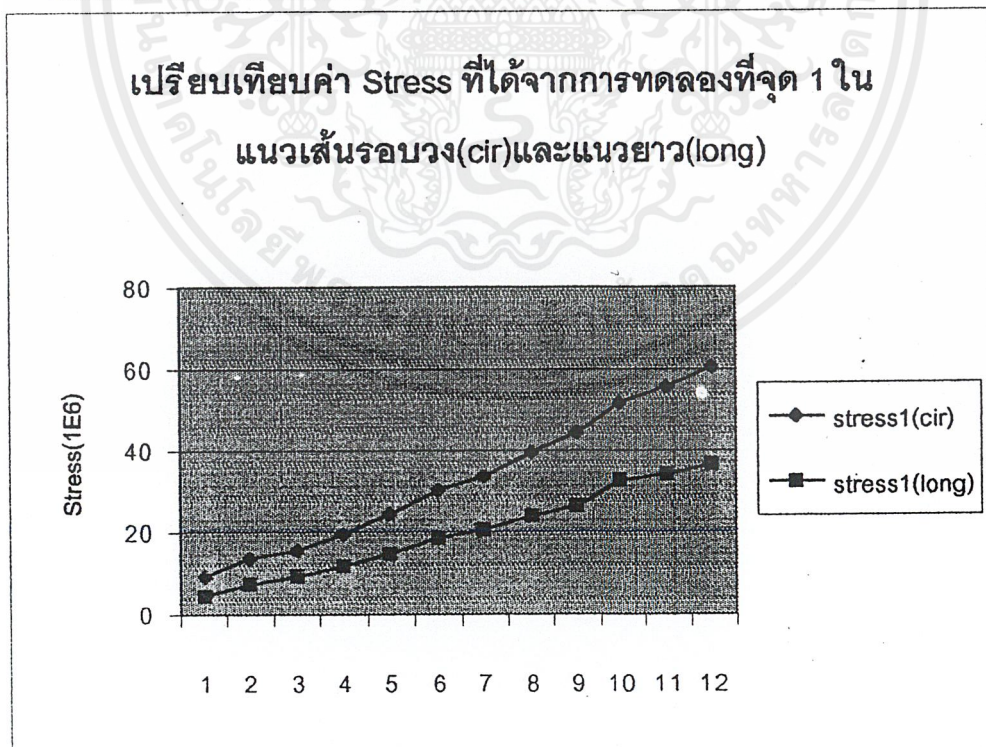


รูปที่ 18 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) จุดที่ 1 ในแนวยาวและแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 แสดงค่าความเค้นในแนวยาวและแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกยาวเอียงที่จุด 1

pressure	stress1 (cir)	stress1 (long)
2.5	9.49	4.31
5	13.5	7.27
7.5	15.41	9.38
10	19.3	11.92
12.5	24.21	14.73
15	30.16	18.78
17.5	33.75	20.52
20	39.69	24.1
22.5	44.43	26.13
25	51.8	32.67
27.5	55.64	34.16
30	60.31	36.63

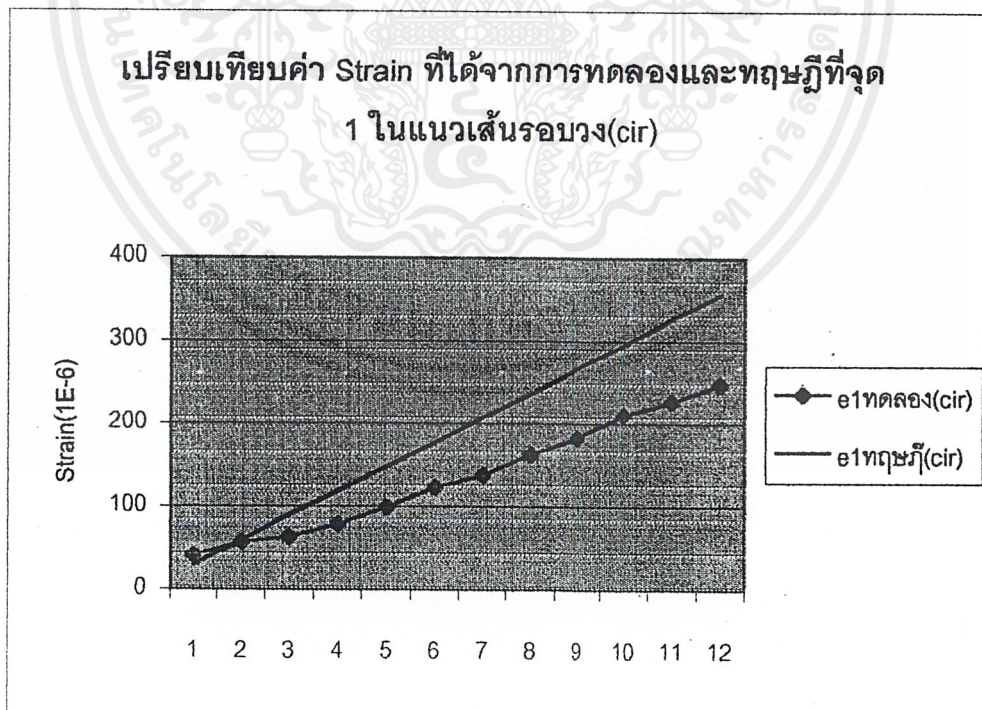


รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าความเค้น (Stress) ในแนวเส้นรอบวงและแนวยาวที่ได้จากการทดลองที่จุด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 22 แสดงความเครียด(Strain)ที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีของดิ่งกรวยที่จุด 1

pressure	e1ทดลอง(cir)	e1ทฤษฎี(cir)
2.5	41	29.48
5	57	58.89
7.5	63	89.9
10	78.66	117.94
12.5	99	148.34
15	122.66	176.91
17.5	138	207.68
20	162.33	235.89
22.5	183	267.02
25	210	294.86
27.5	227	326.36
30	247	356.03

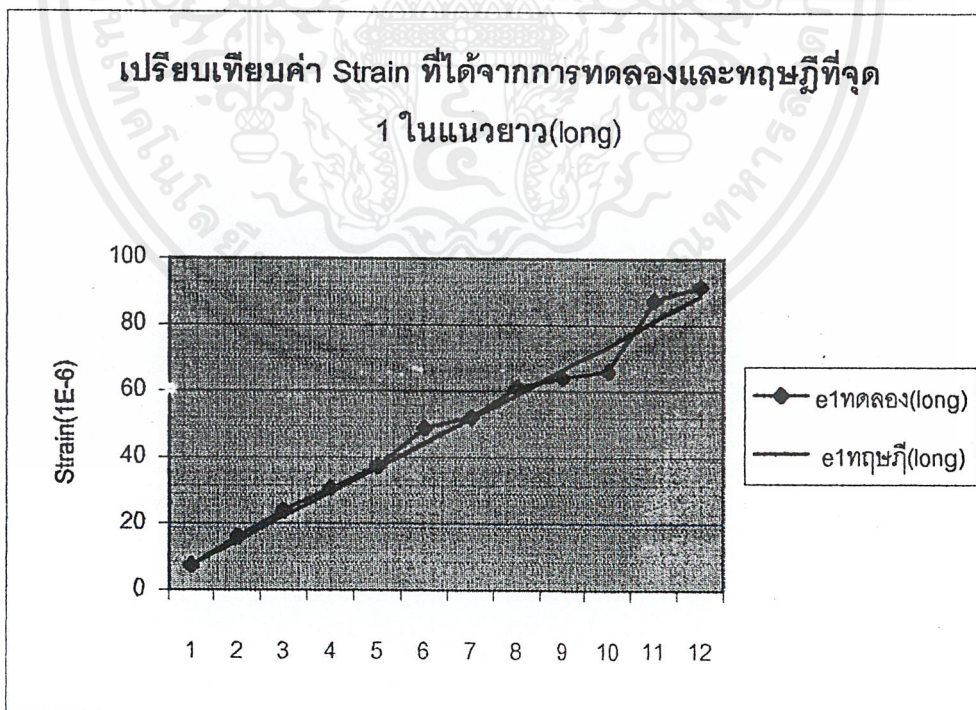


รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีของดิ่งกรวยเฉียงแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 แสดงค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีที่จุด 1 ในแนวยาวของดิ่งทรงกระบอกยาวเอียง

pressure	e1ทดลอง(long)	e1ทฤษฎี(long)
2.5	7.33	7.344
5	15.98	14.68
7.5	23.8	22.16
10	30.66	29.37
12.5	37.33	36.93
15	48.66	44.06
17.5	52	51.71
20	61	58.75
22.5	64	66.48
25	66	73.44
27.5	87.33	81.26
30	91.49	88.61

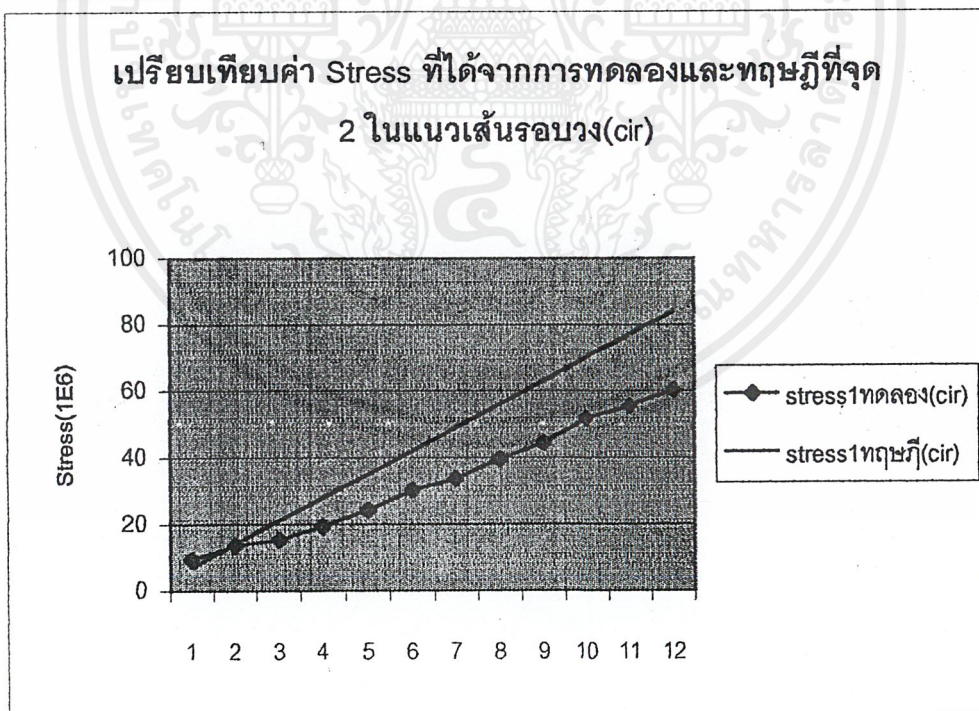


รูปที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองของดิ่งทรงกระบอกยาวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 24 แสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีในแนวเส้นรอบวงที่จุด 2 ของ
ถึงทรงกระบอกปลายเอียง

pressure	Stress2ทดลอง(cir)	Stress2ทฤษฎี(cir)
2.5	9.49	7.005
5	13.5	14.01
7.5	15.41	21.01
10	19.3	28.02
12.5	24.21	35.02
15	30.16	42.03
17.5	33.75	49.03
20	39.69	56.04
22.5	44.43	63.04
25	51.8	70.05
27.5	55.64	77.05
30	60.31	84.06

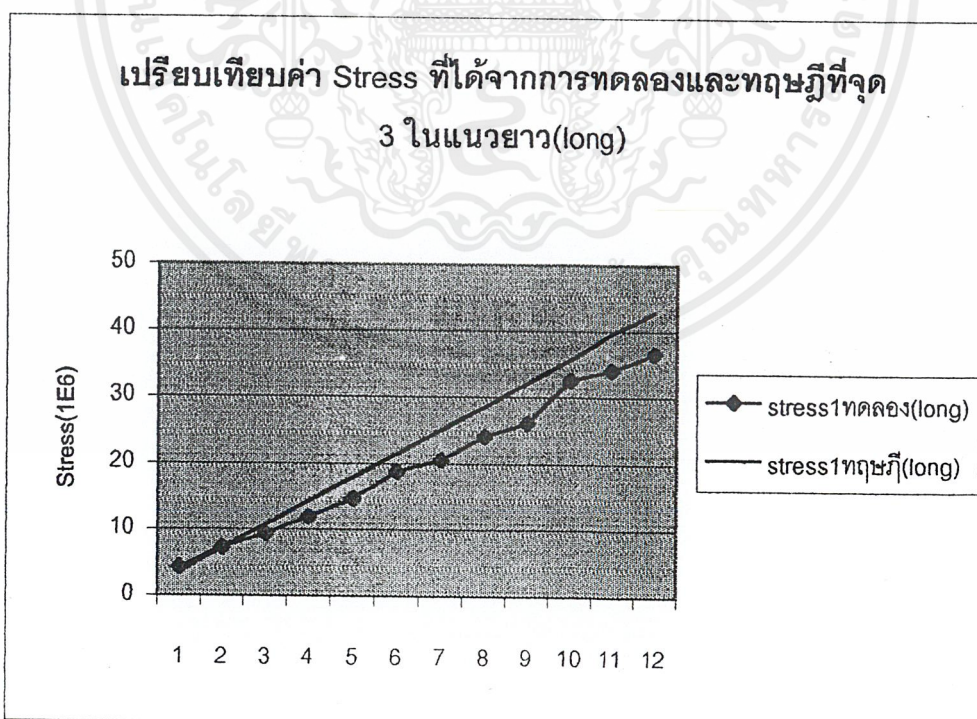


รูปที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้น(Stress) ที่จุด 2 ในแนวเส้นรอบวงของถึงทรงกระบอกปลายเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 แสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีที่จุด 3 ของถังทรงกระบอกรับกรวยเอียง

pressure	S tress 3ทดลอง (long)	Stress3ทฤษฎี (long)
2.5	4.31	3.57
5	7.27	7.15
7.5	9.38	10.73
10	11.92	14.31
12.5	14.73	17.89
15	18.78	21.47
17.5	20.52	25.05
20	24.1	28.63
22.5	26.13	32.21
25	32.67	35.79
27.5	34.16	39.73
30	36.63	42.95



รูปที่ 23 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีที่จุด 3 ในแนวเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

7.1) สำหรับถึงทรงกระบอก

ค่าการเกิด Strain ของภาชนะความดันทั้งในแนว Circumferencial และ Longitudinal นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความดันแบบแปรผันตามกัน คือเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้นค่าการยืดตัวก็เพิ่มขึ้นด้วยทั้ง 2 แนว และในแนว Circumferencial นั้นให้ค่าที่มากกว่าในแนว Longitudinal ที่ความดันเดียวกัน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟ เห็นได้ชัดเจนว่าการเพิ่มขึ้นของ Strain-Stress ที่ความดันเพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปในลักษณะที่เป็นเส้นตรง (Linear) และมีค่าที่ใกล้เคียงกับในทางทฤษฎีที่คำนวณได้.

7.2) สำหรับถึงทรงกระบอกรววยสูง

ในการทดลองวัดค่า Strain-Stress ในถึงทรงกระบอกรววยสูงนี้ มีการวัดค่าที่ 3 ตำแหน่ง โดยที่ในแต่ละตำแหน่งมีพื้นที่ตัดขวาง (Cross Section) ต่างๆกัน ซึ่งผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่า ถ้าเปรียบเทียบในแต่ละตำแหน่งผลที่ได้จากการทดลอง มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับทางทฤษฎี เพียงแต่ขนาดของค่าที่ได้นั้นแตกต่างกันอยู่ เช่นค่าที่ตำแหน่งที่ 3 ช่วงแรงดันต่ำๆ 2.5-10 bar แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง 3 ตำแหน่งนั้นเห็นได้ว่าในตำแหน่งที่ 3 ที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางมากที่สุด มีค่า Strain-Stress มากที่สุดด้วย รองลงมาเป็นตำแหน่งที่ 2 และ ที่ 1 นั้นมีค่าน้อยที่สุด.

7.3) สำหรับหัวถังแบบโค้ง

ค่า Strain-Stress ที่วัดได้ในหัวถังแบบโค้งนี้ มีเพียงแนวการวัดเดียวเพราะลักษณะที่สมมาตรกันเป็นทรงกลม จากการวัดค่าที่ได้นั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามค่าความดันและได้กราฟที่เป็นเส้นตรง (Linear) สอดคล้องกับค่าทางทฤษฎีที่คำนวณ ได้ด้วย.

7.4) วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองเมื่อนำค่าที่วัดได้ทั้งหมด รวมถึงกราฟที่พล็อตได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีนั้น เห็นได้ว่าค่าที่ได้ส่วนใหญ่เกือบทุกจุดที่มีการติด Strain Gage ไปนั้นได้ค่าที่สอดคล้องสัมพันธ์กัน มีเพียงค่าในบางตำแหน่งและบางจุดเท่านั้นที่ได้ค่าคลาดเคลื่อนไปจากแนวโน้ม โดยรวมซึ่งสามารถสรุปได้ว่าน่าจะเกิดจากสาเหตุดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการอ่านค่าความดัน (Pressure Gage) นั้นมีช่วงค่าความดันในช่วง 0-10 bar ที่แคบ ทำให้การอ่านค่าบางครั้งอาจไม่ตรงกับความดันจริงๆที่เกิดขึ้น ในภาวะความดันที่ทดลอง
2. การที่แผ่นเหล็กมีความหนา แต่ในการคิดทางทฤษฎีนั้น เรามองเสมือนแผ่นเหล็กนั้นมีการกระจายตัวของค่าความเค้น-ความเครียด ที่เท่ากันตลอด แต่ในความเป็นจริง ที่ช่วงขอบของแผ่นโลหะ ไปถึงอีกด้านหนึ่งนั้น มีการเกิดค่าทั้ง ความเค้นและความเครียดที่แตกต่างกันด้วย แต่ก็ถือว่าเล็กน้อยมาก
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด (Strain Indicator) มีความ Sensitive ค่อนข้างสูง บางครั้งค่าที่ได้จึงมีการแกว่ง ทำให้ต้องเฉลี่ยค่าเอา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อการพัฒนา

ในการทดลองชุดนี้เป็นการทำชุดทดลองขึ้นมาเพื่อศึกษาและตรวจสอบสมมติฐานว่าด้วยลักษณะการกระจายตัวของค่า Strain-Stress ภายในสถานะความดันรูปร่างต่างๆกัน ผลที่ได้นั้นช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ดีขึ้นและเป็นข้อมูลที่นำไปใช้ในการพัฒนาเพื่อลดการใช้ทรัพยากรบางส่วนของสถานะความดันที่จะสร้างขึ้นเพื่อใช้งานจริงได้ แต่ในสภาพการใช้งานจริงนั้น สถานะความดันมีเงื่อนไขและองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการทดลองนี้ เนื่องจากต้องใช้เวลาใช้ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการทดลองมากขึ้น

ทว่าเงื่อนไขบางอย่างที่ยังไม่ได้พิจารณาในการทดลองนี้ น่าจะก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ดีขึ้น จึงขอเสนอแนะแนวทางดังกล่าวเพื่อผู้ที่มีความสนใจในด้านนี้ จะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปดังนี้

- 8.1) ใช้การทดลองกับสถานะความดันรูปร่างใหม่ๆ ที่มีความหลากหลายมากขึ้นแต่ทั้งนี้ ควรพิจารณาให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงด้วย
- 8.2) เปลี่ยนชนิดของโลหะที่ใช้ในการผลิตสถานะความดัน เพราะคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิด มีผลต่อค่าที่ได้แตกต่างกันไป
- 8.3) เพิ่มเงื่อนไขที่เกิดและใช้งานในสภาวะงานจริงๆด้วยเซนเซอร์อุณหภูมิ ค่าความต้านทานการลึกร้อน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลดังต่อไปนี้

1. รศ. ดร. มงคล มงคลวงโรจน์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการปฏิบัติงานให้เสร็จสมบูรณ์โดยดี รวมถึงอาจารย์ภาคเครื่องกลทุก ๆ ท่าน
2. อาจารย์ มณฑา เทียมเมือง ที่ช่วยให้ความสะดวกในการปฏิบัติงานและให้ความช่วยเหลือในการทำชิ้นงาน
3. คุณประภัทร นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยให้ความรู้และคำปรึกษาในการใช้เครื่องมือวัด
4. บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบภาชนะความดัน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความดันที่ยอมให้ได้ แปรตามอุณหภูมิ
สำหรับหน้าแปลนและข้อต่อหน้าแปลนของเหล็กกล้า

ANSI B 16.5-1981

ชั้นหน้าแปลน*	150 lb.	300 lb.	400 lb.	600 lb.	900 lb.	1,500 lb.	2,500 lb.
ความดันทดสอบ เนื่องจากแรงดันน้ำ, kg/cm ²	32	79	105	156	235	392	652
* ใช้หน่วยเป็น lb เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันสำหรับหน้าแปลน							
อุณหภูมิ, °C	ความดันที่ไม่เกิดการกระตุก (Shock) ที่ยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ²						
-30 ถึง 40	20.0	52.0	69.6	104.0	156.1	260.5	433.7
95	18.3	47.4	63.3	94.9	142.4	237.3	395.4
165	16.2	46.0	61.5	92.4	138.5	230.6	384.5
205	14.1	44.6	59.4	89.3	133.6	222.8	371.2
260	12.0	42.2	56.2	84.4	126.2	210.5	350.8
315	9.8	38.7	51.3	77.0	115.3	192.3	320.6
345	8.8	37.6	50.3	75.6	113.2	188.8	314.6
370	7.7	36.2	49.9	74.9	112.5	187.3	312.1
400	6.7	35.5	47.1	71.0	106.2	177.2	295.3
425	5.6	28.8	38.7	58.0	86.8	144.8	241.1
455	4.6	19.0	25.0	57.6	56.6	94.2	156.8
480	3.5	12.0	16.2	24.2	36.2	60.5	100.5
510	2.5	7.4	9.8	14.4	21.8	36.2	60.5
540	1.4	3.5	4.9	7.4	10.9	18.3	30.2

ค่าความดันข้างต้นใช้สำหรับวัสดุต่อไปนี้ :

SA-105^{1,2} SA-515-70² SA-516-70² SA-181-70¹ SA-350-LF2
SA-537-C1.1³ SA-216-WCB²

หมายเหตุ :

1. สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิเกินกว่า 455°C แนะนำว่าควรใช้เหล็กกล้าชนิดคิลลสตีล (Killed steel) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่ผ่านการลดออกซิเจนในเนื้อเหล็ก โดยมีสารซิลิกอนที่ใช้ในการลดออกซิเจนเหลือตกค้างอยู่ไม่น้อยกว่า 0.10%
2. ขึ้นอยู่กับความยาวนานในการใช้งานกับอุณหภูมิที่เกินกว่า 425°C โดยส่วนของคาร์ไบด์ของเหล็กกล้าคาร์บอนอาจเปลี่ยนรูปเป็นแกรไฟต์
3. วัสดุนี้จะไม่ใช้งานที่ความหนาเกินกว่า 63.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันของของไหลเนื่องจากพลังศักย์ (Static Head)

ของไหลในถังจะก่อให้เกิดแรงดันต่อผนังของถัง โดยมีความเข้มของความดันขณะที่ของไหลอยู่กับที่เท่ากันทุกทิศทุกทางกระทำต่อด้านข้างหรือด้านล่างของถัง และขนาดของความเข้มนี้จะขึ้นอยู่กับความสูงของของไหลเหนือขึ้นไปจากจุดที่กำลังพิจารณา

ในการออกแบบถังรับแรงดัน พลังงานศักย์ของของไหล ซึ่งในที่นี้คิดในลักษณะความสูงของของไหลในถัง จะต้องนำมารวมเป็นความดันออกแบบด้วย ตารางต่อไปนี้ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความสูงของน้ำ โดยหากต้องการหาความดันของของไหลชนิดอื่น สามารถใช้ค่าที่ทำได้ในตารางคูณกับค่าความถ่วงจำเพาะของของไหลชนิดนั้นได้

ความดัน, kg/cm^2 สำหรับศักย์ของน้ำ (Head) ณ ความสูงต่าง ๆ

ความสูง, เมตร	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.0	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
2.0	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
3.0	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39
4.0	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49
5.0	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59
6.0	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69
7.0	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79
8.0	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
9.0	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99

หมายเหตุ : 1 เมตรของน้ำที่อุณหภูมิ 17°C เท่ากับความดันขนาด 0.1 kg/cm^2 ฉะนั้น สำหรับค่าความดันตามความสูงที่ไม่ได้แสดงไว้ในตาราง สามารถหาได้โดยการเทียบค่าจากข้างต้น

ศักย์ของน้ำ, เมตร ที่สมนัยกับความดันของน้ำ, kg/cm^2

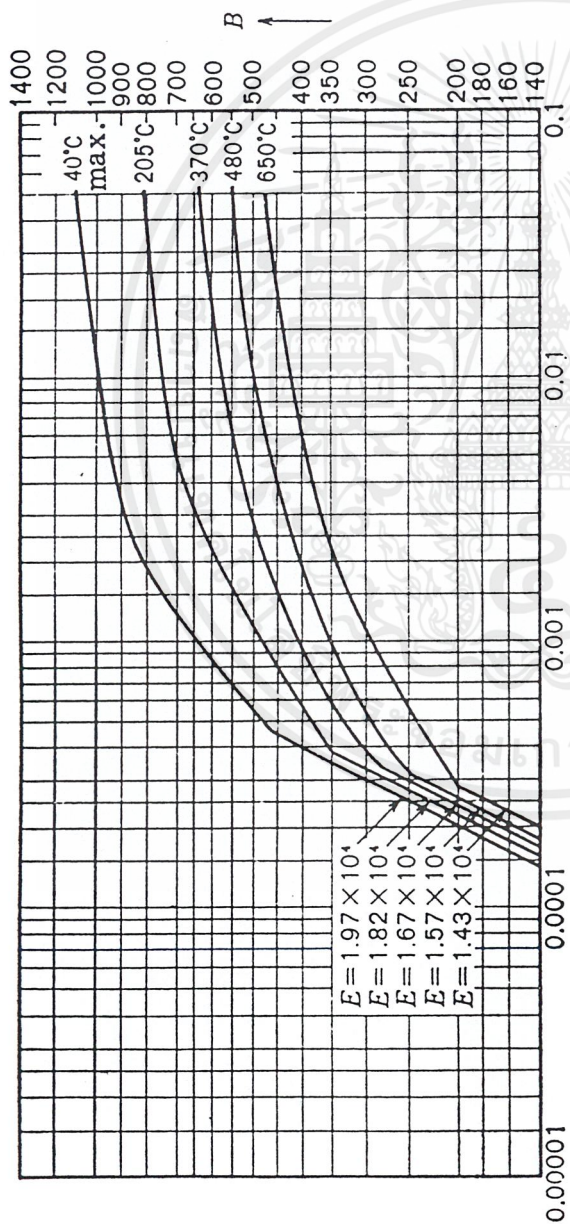
ความดัน, kg/cm^2	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.0	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
2.0	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
3.0	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39
4.0	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49
5.0	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59
6.0	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69
7.0	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79
8.0	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
9.0	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99

หมายเหตุ : ความดันขนาด 0.1 kg/cm^2 เกิดจากน้ำ ณ ความสูง 1 เมตร ที่อุณหภูมิ 17°C

ค่าตัวประกอบ

หมายเหตุ : ในกราฟนี้ค่าของ A ตกอยู่ต่ำกว่าของปลายของเส้นแนวเส้นค่าของ B ตกอยู่สูงกว่าของเส้นแนวเส้นค่าของ

ตัวประกอบ B



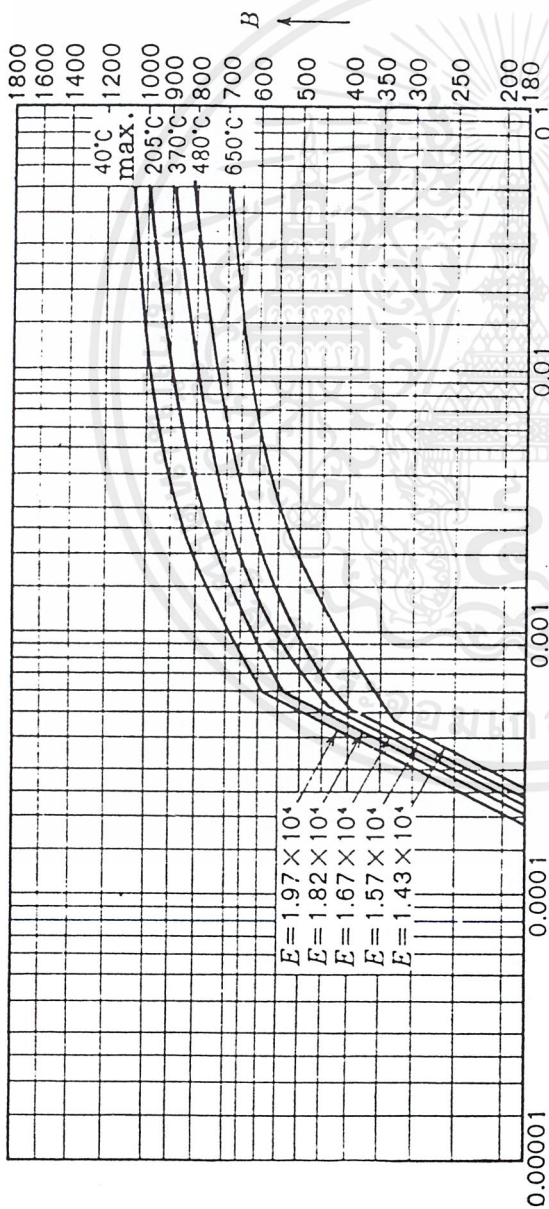
ค่าของตัวประกอบ B ที่ใช้ในสูตรสำหรับถึงภายในได้แรงดันภายนอก

ค่าของแผนภาพใช้งานไม่ได้เมื่อถึงสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าออสเทนติก (18Cr-8Ni, ชนิด 364) (ตาราง 1 หน้า 199)

ค่าตัวประกอบ B

คู่มือของห้องอบแห้งของกรมเกษตรและสหกรณ์
ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและศูนย์ฝึกอบรม
ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ : ในกรณีของ A ค่าอยู่ที่ด้านขวาของปลาย

ตัวประกอบ B

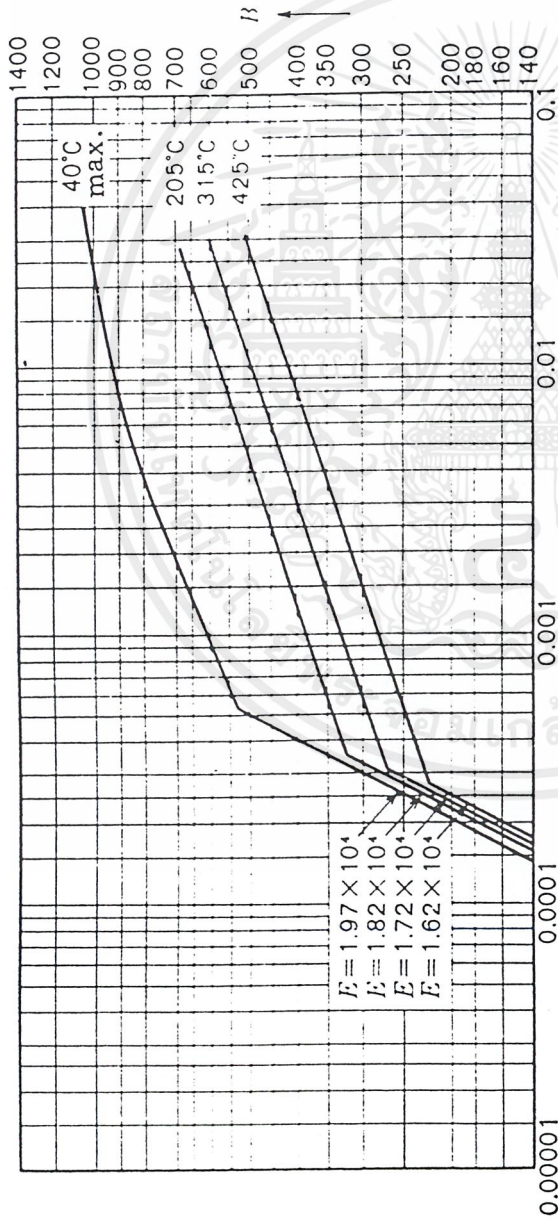


ค่าของตัวประกอบ B
ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก

ค่าของแผนภาพใช้งานได้เมื่อถึงสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าออสเทนนิค (18Cr-8Ni, ชนิด 316) (ตาราง 3 หน้า 199)

ค่าตัวประกอบ B

คู่มือข้อนี้ของคณะกรรมการความปลอดภัยของ
อุตสาหกรรมเหมืองแร่ หินปูน หินปูนอุตสาหกรรม คู่มือข้อนี้ของ
คณะกรรมการ A ของกระทรวงมหาดไทย : ใช้นาฬิกา



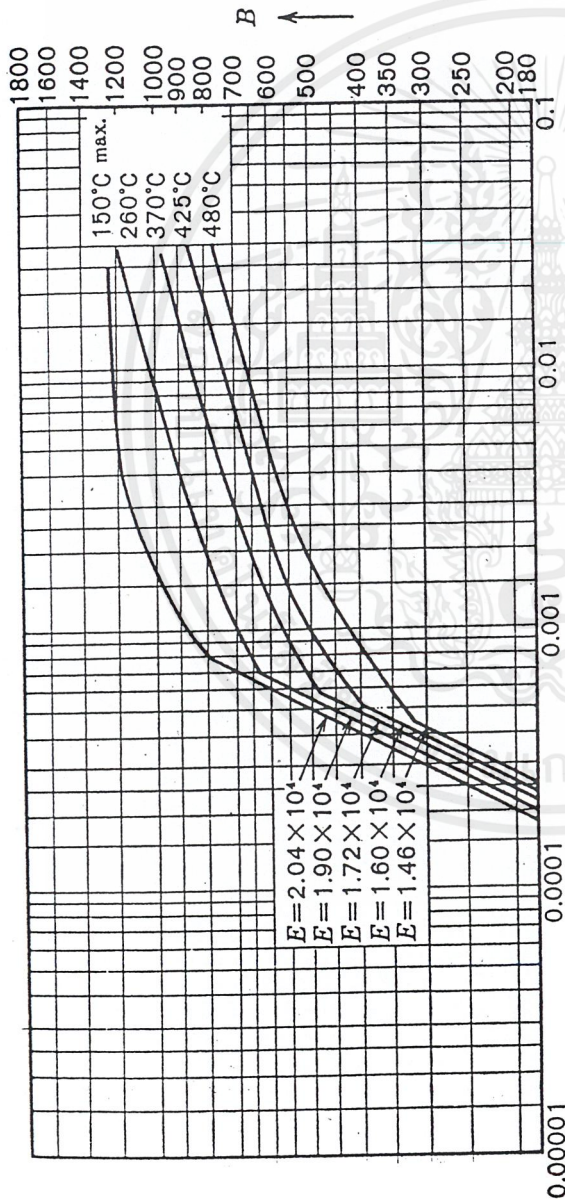
ค่าของตัวประกอบ B
ที่ใช้ในสูตรสำหรับตั้งภายใต้แรงดันภายนอก

ค่าของแผนภาพใช้งานได้เมื่อตั้งสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าออสเทนิติก
(18Cr-8Ni-Mo, คาร์บอนสูงสุด 0.03 ชนิด 304L) (ตาราง 2 หน้า 199)

ค่าตัวประกอบ B

หมายเหตุ : ในการหาค่าของ A ควรใช้ค่าของ A ที่อยู่ในตารางของผู้ออกแบบของแผ่นเหล็กลูกกลิ้งของผู้ออกแบบของเหล็กลูกกลิ้ง

ตัวประกอบ B



ค่าของตัวประกอบ B

ที่ใช้ในสูตรสำหรับถังภายใต้แรงดันภายนอก

ค่าของแผนภาพใช้งานได้เมื่อถึงสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าคาร์บอน และค่าความเค้นที่ยอมให้ที่กำหนดไว้เท่ากับ 2,100 kg/cm² และมากกว่า สำหรับรายการวัสดุที่มักใช้บ่อยตามแผนภาพนี้คือ :

SA-283 C SA-515 } ทุกเกรด
SA-285 C SA-516 }

SA-53-B ชนิด 405 } เหล็กกล้าไร้สนิม
SA-106-B ชนิด 410 }

ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ

การคำนวณเป็นไปตามสูตร: $P = \frac{2SEt}{D+1.2t}$, เมื่อ

P - ความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm²

S - 1,050 kg/cm² ค่าความเค้นของวัสดุที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับท่อ (A 53 B, A 106 B) ที่อุณหภูมิ -30 ถึง 345°C สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า ดูหมายเหตุตอนท้ายของตาราง

E - 1, ประสิทธิภาพรอยต่อของท่อไร้ตะเข็บ

D - เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ, mm

t - ความหนาผนังท่อที่น้อยที่สุด, mm (0.875 คูณความหนาระบุ)

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้คือความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุดในสภาพกักร้อน สำหรับท่อที่ความหนาของผนังคือผนังมาตรฐานที่น้อยที่สุดบวกค่าเผื่อการกักร้อน

ขนาดท่อระบุ		ชื่อระบุ	ความหนาผนังท่อ		ค่าเผื่อการกักร้อน, mm					
					0	1.6	3.2	4.8	6.4	
mm.	in.		ระบุ	น้อยที่สุด	ความดันที่ยินยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ² g.					
15	0.5	STD.	2.769	2.413	<u>262</u>	84				
		X-STG.	3.734	3.277	369	178	10			
		SCH.160	4.750	4.166	488	<u>282</u>	102			
		XX-STG.	7.468	6.528	854	599	379	187	18	
20	0.75	STD.	2.870	2.515	<u>215</u>	75				
		X-STG.	3.912	3.429	302	154	20			
		SCH.160	5.537	4.851	449	286	140	7		
		XX-STG.	7.823	6.828	683	495	<u>327</u>	177	41	
25	1	STD.	3.378	2.946	<u>200</u>	89				
		X-STG.	4.547	3.912	278	161	52			
		SCH.160	6.350	5.563	405	<u>277</u>	160	51		
		XX-STG.	9.093	7.950	620	522	340	<u>218</u>	105	
30	1	STD.	3.556	3.124	<u>166</u>	79				
		X-STG.	4.851	4.242	231	140	54			
		SCH.160	6.350	5.563	311	<u>215</u>	125	41		
		XX-STG.	9.703	8.484	506	397	<u>295</u>	<u>200</u>	111	
40	1.50	STD.	3.863	3.226	<u>149</u>	74	2			
		X-STG.	5.080	4.445	210	131	57			
		SCH.160	7.137	6.248	305	<u>221</u>	142	67		
		XX-STG.	10.160	8.890	456	363	<u>276</u>	<u>194</u>	116	
50	2	STD.	3.912	3.429	<u>126</u>	66	9			
		X-STG.	5.537	4.851	181	119	60	3		
		SCH.160	8.712	7.620	296	<u>229</u>	<u>165</u>	104	45	
		XX-STG.	11.074	9.703	389	318	250	<u>185</u>	123	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ (ต่อ)

ขนาดท่อระบุ		ชื่อระบุ	ความหนาผนังท่อ		ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm				
					0	1.6	3.2	4.8	6.4
mm.	in.		ระบุ	น้อยที่สุด	ความดันที่ยินยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ² g.				
60	2.5				STD.	5.156	4.521	<u>137</u>	88
		X-STG.	7.010	6.147	190	<u>139</u>	89	41	
		SCH.160	9.525	8.331	265	210	<u>158</u>	107	58
		XX-STG.	14.021	12.268	409	349	292	<u>236</u>	<u>183</u>
75	3	STD.	5.486	4.801	<u>119</u>	78	39	1	
		X-STG.	7.620	6.680	167	<u>127</u>	86	46	8
		SCH.160	11.125	9.728	253	208	<u>165</u>	<u>123</u>	<u>83</u>
		XX-STG.	15.240	13.335	359	312	265	220	177
87.5	3.5	STD.	5.740	5.029	<u>109</u>	73	39	5	
		X-STG.	8.077	7.061	155	<u>119</u>	83	49	15
		XX-STG.	16.154	14.148	331	289	249	<u>210</u>	136
100	4	STD.	6.020	5.283	<u>101</u>	70	39	10	
		X-STG.	8.560	7.493	146	<u>114</u>	82	51	20
		SCH.120	11.125	9.728	193	159	<u>127</u>	95	64
		SCH.160	13.487	11.811	238	203	170	<u>137</u>	<u>105</u>
		XX-STG.	17.120	14.986	309	273	238	203	170
125	5	STD.	6.553	5.740	<u>89</u>	63	39	15	
		X-STG.	9.525	8.331	130	<u>105</u>	79	54	30
		SCH.120	12.700	11.125	177	150	<u>124</u>	<u>99</u>	73
		SCH.160	18.875	13.894	225	197	170	144	<u>118</u>
		XX-STG.	19.050	16.662	275	246	218	190	163
150	6	STD.	7.112	6.223	<u>80</u>	59	39	18	
		X-STG.	10.973	9.601	126	<u>104</u>	<u>83</u>	62	41
		SCH.120	14.275	12.497	166	144	122	<u>101</u>	<u>79</u>
		SCH.160	18.237	15.951	216	193	171	148	126
		XX-STG.	21.946	19.202	265	241	217	194	172
200	8	SCH.20	6.350	5.563	55	39	23	8	
		SCH.30	7.036	6.147	61	45	29	13	
		STD.	8.179	7.163	<u>71</u>	55	39	23	8
		SCH.60	10.312	9.017	90	<u>73</u>	57	42	26
		X-STG.	12.700	11.125	112	95	<u>79</u>	63	47
		SCH.100	15.062	13.183	133	117	100	<u>84</u>	67
		SCH.120	18.237	15.951	163	146	129	112	<u>96</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ (ต่อ)

ขนาดท่อระบุ		ชื่อระบุ	ความหนาผนังท่อ		ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm				
					0	1.6	3.2	4.8	6.4
mm.	in.		ระบุ	น้อยที่สุด	ความดันที่ยินยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ² g.				
200	8	SCH.140	20.625	18.059	186	169	152	135	118
		SCH.160	23.012	20.142	209	192	174	157	140
		XX-STG.	22.225	19.456	202	184	167	149	133
250	10	SCH.20	6.350	5.563	44	31	19	6	
		SCH.30	7.798	6.833	54	41	29	16	4
		STD.	9.271	8.103	<u>64</u>	51	39	26	14
		X-STG.	12.700	11.125	89	<u>76</u>	63	50	37
		SCH.80	15.062	13.183	106	93	<u>80</u>	<u>67</u>	<u>54</u>
		SCH.100	18.237	15.951	129	116	103	89	76
		SCH.120	21.412	18.745	153	139	126	113	99
		SCH.140	25.400	22.225	184	170	156	140	129
SCH.160	28.575	24.994	208	149	180	166	152		
300	12	SCH.20	6.350	5.563	37	26	16	5	
		SCH.30	8.382	7.341	49	38	27	17	6
		STD.	9.525	8.331	<u>55</u>	45	34	23	13
		SCH.40	10.312	8.509	60	49	39	28	17
		X-STG.	12.700	11.125	74	<u>64</u>	53	42	34
		SCH.60	14.275	12.497	84	73	<u>62</u>	51	41
		SCH.80	17.450	15.265	103	92	81	<u>70</u>	<u>59</u>
		SCH.100	21.412	18.745	128	117	105	94	83
		SCH.120	25.400	22.225	153	142	130	119	108
		SCH.140	28.575	24.994	173	162	150	139	127
SCH.160	33.325	29.159	205	193	181	169	157		
350	14	SCH.10	6.350	5.563	33	24	14	5	
		SCH.20	7.925	6.934	42	32	22	13	3
		STD.	9.525	8.331	<u>50</u>	41	31	21	12
		SCH.40	11.125	9.728	59	49	39	30	20
		X-STG.	12.700	11.125	68	<u>58</u>	48	38	29
		SCH.60	15.062	13.183	81	71	<u>61</u>	<u>51</u>	41
		SCH.80	19.050	16.662	103	93	82	72	<u>63</u>
		SCH.100	23.800	20.828	130	119	109	99	89
		SCH.120	27.762	24.282	152	142	131	121	111
SCH.140	31.750	27.788	176	165	155	144	134		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ (ต่อ)

ขนาดท่อระบุ		ชื่อระบุ	ความหนาผนังท่อ		ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm				
mm.	in.		ระบุ	น้อยที่สุด	0	1.6	3.2	4.8	6.4
					ความดันที่ยินยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ² g.				
550	22		6.350	5.563	21	15	9	3	
			7.925	6.934	26	20	14	8	2
			9.525	8.331	<u>32</u>	26	20	14	7
			11.100	9.703	37	31	25	19	10
			12.700	11.125	43	<u>36</u>	30	24	18
			14.275	12.497	48	42	<u>36</u>	29	23
			15.875	13.894	54	47	41	<u>35</u>	29
			17.475	15.291	59	53	46	40	<u>34</u>
			19.050	16.662	64	58	52	46	39
600	24	SCH.10	6.350	5.563	19	14	8	3	
		SCH.20 STD.	9.525	8.331	<u>29</u>	23	18	12	7
		X-STG.	12.700	11.125	39	<u>33</u>	28	22	17
		SCH.30	14.275	12.497	44	38	<u>33</u>	27	21
		SCH.40	17.450	15.265	54	48	42	<u>37</u>	<u>31</u>
		SCH.60	24.587	21.514	77	71	65	59	54
		SCH.80	30.937	27.076	97	91	85	80	74
		SCH.100	38.887	34.036	123	117	111	105	99
		SCH.120	46.025	40.284	147	141	135	129	121
		SCH.140	52.375	45.822	169	162	156	150	144
		SCH.160	59.512	52.070	193	187	181	175	168
650	26		6.350	5.563	18	13	8	3	
			7.925	6.934	22	17	12	7	2
			9.525	8.331	<u>27</u>	22	17	11	6
			11.100	9.703	31	26	21	16	11
			12.700	11.125	36	<u>31</u>	26	20	15
			14.275	12.497	40	35	<u>30</u>	25	20
			15.875	13.894	45	40	35	<u>29</u>	24
			17.475	15.291	50	45	39	34	<u>29</u>
			19.050	16.662	54	49	44	39	33
750	30		7.925	6.934	19	15	10	6	2
			9.525	8.331	<u>23</u>	19	14	10	5
			12.700	11.125	31	<u>27</u>	22	18	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในที่ยอมให้ได้สูงสุดสำหรับท่อ (ต่อ)

ขนาดท่อระบุ		ชื่อระบุ	ความหนาผนังท่อ		ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm				
					0	1.6	3.2	4.8	6.4
mm.	in.		ระบุ	น้อยที่สุด	ความดันที่ยินยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm ² g.				
350	14	SCH.160	35.712	31.242	199	188	178	167	156
400	16	SCH.10	6.350	5.563	29	21	12	4	
		SCH.80	7.925	6.934	36	28	20	11	3
		SCH.30STD.	9.525	8.331	44	35	27	19	10
		SCH.40 X-STG.	12.700	11.125	59	50	42	33	25
		SCH.60	16.662	14.580	78	69	61	52	43
		SCH.80	21.412	18.745	101	92	83	75	66
		SCH.100	26.187	22.911	125	116	107	98	89
		SCH.120	30.937	27.076	148	139	130	121	112
		SCH.140	36.525	31.953	177	168	158	149	140
		SCH.160	40.462	35.408	198	188	179	169	160
450	18	SCH.10	6.350	5.563	26	18	11	4	
		SCH.20	7.925	6.934	32	25	17	10	3
		STD.	9.525	8.331	39	31	24	17	9
		SCH.30	11.125	9.728	46	38	31	23	16
		X-STG.	12.700	11.125	52	45	37	30	22
		SCH.40	14.275	12.497	59	51	44	36	29
		SCH.60	19.050	16.662	79	71	64	56	48
		SCH.80	23.800	20.828	100	92	84	76	68
		SCH.100	29.362	25.705	124	116	108	100	92
		SCH.120	34.925	30.556	149	141	133	125	117
SCH.140	39.675	34.722	171	162	154	146	138		
SCH.160	45.237	39.573	196	188	179	171	163		
500	20	SCH.10	6.350	5.563	23	16	10	3	
		SCH.20 STD.	9.525	8.331	35	28	22	15	8
		SCH.30 X-STG.	12.700	11.125	47	40	33	27	20
		SCH.40	15.062	13.183	56	49	42	35	29
		SCH.60	20.625	18.059	77	70	63	56	49
		SCH.80	26.187	22.911	99	92	85	78	71
		SCH.100	32.537	28.473	124	117	109	102	95
		SCH.120	38.100	33.350	146	139	131	124	117
		SCH.140	44.450	38.887	158	165	157	150	142
		SCH.160	49.987	43.739	195	187	180	172	165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของรอยเชื่อม

ชนิด ตามโคด UW-12		ประสิทธิภาพรอยต่อ, E เมื่อรอยต่อเป็น :		
		a. มีการตรวจ สอบด้วยรังสี โดยตลอด	b. มีการตรวจ สอบด้วยรังสี เป็นจุด	c. ไม่มีการ ตรวจเลย
	รอยต่อชนในลักษณะที่ได้มาด้วยการเชื่อมคู่ หรือวิธีการอื่นที่จะให้ได้คุณภาพเหมือนกัน ของโลหะเชื่อมที่เชื่อมอยู่บนพื้นผิวแนว เชื่อมด้านในและด้านนอก ถ้ามีการใช้แผ่นประกบหลัง จะต้องถูกนำ ออกไปภายหลัง ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม	1.00	0.85	0.70
 สำหรับรอยต่อ ตามแนวรัศมี เท่านั้น	รอยต่อชนที่เชื่อมเดียวด้วยแผ่นประกบหลัง ที่ยังคงติดอยู่ด้านหลังแนวเชื่อมภายหลัง การเชื่อม	0.90	0.80	0.65
	รอยต่อชนที่เชื่อมเดียวโดยไม่ใช้แผ่นประกบ หลัง	—	—	0.60
	รอยต่อเกลยเชื่อมฟิลเล็ทคู่โดยตลอด	—	—	0.55
	รอยต่อเกลยเชื่อมฟิลเล็ทเดียวโดยตลอดที่มี การเชื่อมปลั๊ก	—	—	0.50
	รอยต่อเกลยเชื่อมฟิลเล็ทเดียวโดยตลอด ที่ ไม่มีการเชื่อมปลั๊ก	—	—	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

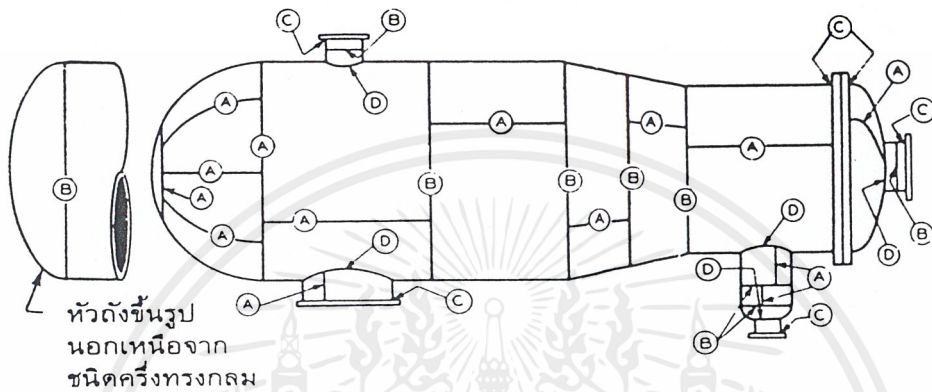
ชนิดของรอยเชื่อม

ข้อจำกัดในการใช้ชนิดของรอยเชื่อม รูปแบบต่าง ๆ	หมายเหตุ								
<p>สำหรับชนิด 1 : ไม่มี ประเภทรอยต่อ : A, B, C, D</p> <p>สำหรับชนิด 2 : ไม่มี ประเภทรอยต่อ : A, B, C, D</p> <p>ยกเว้นรอยต่อชนที่มีแผ่นแผ่นหนึ่งเยื้องออกไป -สำหรับรอยต่อตามแนวเส้นรอบวงเท่านั้น</p> <p>สำหรับชนิด 3 : ประเภทรอยต่อ : A, B, C</p> <p>เฉพาะรอยต่อตามแนวเส้นรอบวง โดยความหนา ไม่เกิน 15.9 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ไม่เกิน 600 mm</p> <p>สำหรับชนิด 4 :</p> <p>(a) รอยต่อตามแนวยาวที่มีความหนาไม่เกิน 9.5 mm ประเภทรอยต่อ A</p> <p>(b) รอยต่อตามแนวรัศมีที่มีความหนาไม่เกิน 15.9 mm ประเภทรอยต่อ : B, C</p> <p>สำหรับชนิด 5 :</p> <p>(a) รอยต่อตามแนวรัศมีสำหรับการเชื่อมต่อของ หัวดิ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกไม่เกิน 600 mm กับตัวดิ่งที่มีความหนาไม่เกิน 12.7 mm โดยไม่รวมรอยต่อที่เชื่อมต่อหัวดิ่งครึ่งทรงกลม กับตัวดิ่ง ประเภทรอยต่อ : B</p> <p>(b) รอยต่อตามแนวรัศมีสำหรับการเชื่อมต่อกับตัว ดิ่งของปลอกหุ้มที่มีความหนาไม่เกิน 15.9 mm ที่ซึ่งระยะจากจุดศูนย์กลางของรอยเชื่อม ปลึกถึงขอบของแผ่นมีค่าไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูสำหรับปลึก ประเภทรอยต่อ : C</p> <p>สำหรับชนิด 6 :</p> <p>(a) สำหรับการเชื่อมต่อของหัวดิ่งที่โค้งออก ด้านนอก และมีความดันกับตัวดิ่งที่มีความ หนาที่ต้องการไม่เกิน 15.9 mm เฉพาะที่ใช้ กับรอยเชื่อมฟิลเล็ทบนด้านในของตัวดิ่ง ประเภทรอยต่อ : A, B</p> <p>(b) สำหรับการเชื่อมต่อของหัวดิ่งที่มีความดันบน ด้านใดด้านหนึ่งกับตัวดิ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในไม่เกิน 600 mm และความหนาที่ต้อง- การไม่เกิน 6.35 mm ที่มีรอยเชื่อมฟิลเล็ทบน ด้านนอกของหน้าแปลนหัวดิ่งเท่านั้น ประเภทรอยต่อ : A, B</p>	<p>1. ในตารางนี้แสดงถึงชนิดของรอยเชื่อมที่อนุ- ญาติโดยโคดในกระบวนการเชื่อมแบบอาร์ค และก๊าซ</p> <p>2. รูปร่างของขอบที่ถูกรวมโดยรอยต่อชนจะเป็น ลักษณะที่ยอมให้มีการหลอมละลายและซึม ลึกได้โดยสมบูรณ์</p> <p>3. รอยต่อชนจะต้องไม่มีการตัดเซาะ การเกยและ สันและรอยเว้าอย่างทันทีทันใด เพื่อให้มั่นใจ ว่าร่องรอยเชื่อมได้รับการเชื่อมปิดอย่างสมบูรณ์ โลหะเชื่อมอาจพอกในลักษณะเป็นการเสริม ความแข็งแรง แต่ความหนาของการเสริมนี้จะ ต้องไม่เกินกว่าความหนาดังต่อไปนี้</p> <table border="1" data-bbox="672 935 1196 1078"> <tr> <td>ความหนาแผ่น, mm</td> <td>การเสริมที่มากที่สุด, mm</td> </tr> <tr> <td>ไม่เกิน 12.7</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>มากกว่า 12.7 ถึง 25.4</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>มากกว่า 25.4</td> <td>4.8</td> </tr> </table> <p>4. ก่อนการเชื่อมด้านที่สองของรอยต่อชนแบบ เชื่อมคู่ สิ่งสกปรกของการเชื่อมด้านแรกจะ ต้องถูกกำจัดออกด้วยการเซาะ ตะไบ หรือละ- ลายออกเพื่อให้มั่นใจว่าโลหะมีความพร้อม สำหรับการหลอมละลายและซึมลึกได้อย่าง สมบูรณ์ สำหรับการเชื่อมแบบอาร์คใต้ปลึก (SAW) ควรกระทำด้วยการเซาะร่อง</p> <p>5. ประสิทธิภาพรอยต่อที่ยอมให้ได้มากที่สุดที่ กำหนดในตารางนี้ ต้องนำไปใช้ในสูตรการ คำนวณเมื่อรอยต่อกระทำขึ้นด้วยกระบวนการ เชื่อมแบบอาร์คหรือก๊าซ</p> <p>6. ประสิทธิภาพรอยต่อ, E - 1 สำหรับรอยต่อ ชนในสภาวะกดอัด</p>	ความหนาแผ่น, mm	การเสริมที่มากที่สุด, mm	ไม่เกิน 12.7	2.4	มากกว่า 12.7 ถึง 25.4	3.2	มากกว่า 25.4	4.8
ความหนาแผ่น, mm	การเสริมที่มากที่สุด, mm								
ไม่เกิน 12.7	2.4								
มากกว่า 12.7 ถึง 25.4	3.2								
มากกว่า 25.4	4.8								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบรอยเชื่อม

การออกแบบรอยต่อเชื่อม



ตำแหน่งรอยต่อเชื่อม

ตามรอยต่อภายใต้สภาวะที่แน่นอนตามความต้องการเฉพาะที่ใช้ ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับรอยต่อที่ออกแบบโดยตัวหนังสือเช่นเดียวกัน

ความต้องการที่เฉพาะเหล่านี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน วัสดุ ความหนา และสภาวะการออกแบบอื่น ได้จัดทำไว้ในตารางถัดไป

สภาวะออกแบบ	ชนิดและประเภทรอยต่อ	การตรวจ สอบด้วย ภาพถ่ายรังสี	ประสิทธิภาพ รอยต่อ	การบำบัด ด้วยความ ร้อนหลังเชื่อม
1. การออกแบบขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพรอยต่อ 1.0 หรือ 0.9 (ดูสภาวะการออกแบบที่ทำรายการไว้ข้างล่างเมื่อมีการบังคับให้ตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอด) UW-11 UW-12 (d)	ใช้รอยเชื่อมต่อชนประเภท A และ D ทั้งในส่วนของตัวถังและหัวถัง	โดยตลอด	ชนิด(1) ชนิด(2) 1.0 0.9	ตามโคด UCS-56
	ใช้รอยเชื่อมต่อชนประเภท B หรือ C ทั้งหมด (แต่ไม่รวมที่อยู่ในนอชเชิลหรือห้องคอมมิวนิเคทิง) ซึ่งตัดกันกับรอยเชื่อมประเภท A ในส่วนของตัวถัง หรือหัวถัง หรือต่อเชื่อมกับส่วนของตัวถังหรือหัวถังไว้ตะเข็บ	เป็นจุด		
	รอยเชื่อมต่อชนประเภท A และ B ในส่วนของตัวถัง และหัวถังจะเป็นชนิด (1) หรือชนิด (2)	ไม่มี	0.85 0.8	
		รอยเชื่อมต่อชนของรอยต่อ B และ C ในนอชเชิลและห้องคอมมิวนิเคทิงที่มีขนาดท่อระบุไม่เกิน 254 mm หรือความหนาผนังไม่เกิน 28.6 mm ไม่บังคับการตรวจสอบด้วยรังสีใดๆ ยกเว้นตามที่บังคับสำหรับเหล็กกล้าเฟอร์ริติกที่มีคุณสมบัติแรงดึงสูงขึ้น ด้วยการบำบัดด้วยความร้อน UHT-57		
2. การตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอดไม่บังคับ UW-11 (b)	รอยเชื่อมต่อชนชนิด (1) หรือชนิด (2)	เป็นจุด	ชนิด(1) ชนิด(2) 0.85 0.80	ตามโคด UCS-56

การออกแบบรอยเชื่อม (ต่อ)

สภาวะออกแบบ	ชนิดและประเภทรอยต่อ	การตรวจสอบด้วยภาพด้วยรังสี	ประสิทธิภาพรอยต่อ	การบำบัดด้วยความร้อนหลังเชื่อม
3. การตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอดไม่บังคับ โดยตัวถังได้รับการออกแบบเพื่อรับความดันภายนอกเท่านั้น UW-11 (c)	ชนิดใดๆ ของรอยต่อเชื่อม	ไม่มี	ชนิด(1) 0.70 ชนิด(2) 0.65 ชนิด(3) 0.60 ชนิด(4) 0.55 ชนิด(5) 0.50 ชนิด(6) 0.45	ตามโคด UCS-56
4. ดังที่บรรจุวัสดุอันตราย UW-2 (a) รอยเชื่อมต่อของรอยต่อ B และ C และห้องคอมมิวนิเคชั่นที่มีขนาดท่อระบุไม่เกิน 254 mm หรือความหนาผนังไม่เกิน 28.6 mm ไม่บังคับการตรวจสอบด้วยรังสีใดๆ ยกเว้นตามที่บังคับสำหรับเหล็กกล้าเพื่อรีดักที่มีคุณสมบัติแรงดึงสูงซึ่งได้รับการบำบัดด้วยความร้อน UHT-57	รอยต่อ A จะเปิดชนิด No.(1) UW-2 (a)(1)(a)	โดยตลอด	1.0	ดังที่ประกอบขึ้นจากเหล็กคาร์บอนหรือผสมต่ำจะต้องมีการบำบัดด้วยความร้อนหลังเชื่อม UW-2(a)
	รอยต่อ B และ C จะเป็นชนิด No.(1) หรือชนิด No.(2) UW-2 (a)(1)(b)		ชนิด(1) 1.0 ชนิด(2) 0.9	
	รอยต่อ D จะเป็นแนวเชื่อมซึมลึกโดยสมบูรณ์ ที่ขยายผ่านทะลุความหนาทั้งหมดของตัวถังหรือผนังนอร์เชิล UW-2 (a)(1)(d) รอยต่อของประเภท C สำหรับปลายโคน (Stub) ของรอยต่อเกลียวที่ประกอบขึ้น UW-2 (a)(1)(c)	รอยเชื่อมต่อชนทั้งหมดในตัวถังและหัวถังจะมีการตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอดยกเว้นท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน UW-2(a)(2) และ(3) และตาม UW-11(a)(4)		
5. ดังที่ใช้งานต่ำกว่า -29°C หรือต้องการทดสอบการกระแทกสำหรับวัสดุหรือโลหะแนวเชื่อม UW-2 (b)	รอยต่อ A จะเป็นชนิด No.(1) (ยกเว้นสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิก โครเมียม นิกเกิล) รอยต่อ B จะเป็นชนิด No.(1) หรือ No.(2) UW-2 (b)(1) และ (2) รอยต่อ D เป็นแนวเชื่อมซึมลึกโดยสมบูรณ์ที่ขยายผ่านทะลุส่วนทั้งหมดของรอยต่อ UW-2 (b)(2) และ (3)	โดยตลอด เป็นจุด ไม่มี	ชนิด(1) ชนิด(2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	ตามโคด UCS-56
6. หม้อไอน้ำที่ไม่เผยแพร่ไฟที่มีความดันออกแบบเกินกว่า 3.5 kg/cm ² ดูข้อสังเกตข้างบนในคอลัมน์นี้ ที่สภาวะออกแบบ 4	รอยต่อ A จะเป็นชนิด No.(1) รอยต่อ B จะเป็นชนิด No.(1) หรือ No.(2) UW-2 (c)	รอยเชื่อมต่อชนทั้งหมดในตัวถังและหัวถังจะมีการตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอดยกเว้นภายใต้กฎของ UW-11 (a)(4) UW-2 (c)	1.0 ชนิด(1) 1.0 ชนิด(2) 0.9	ดังที่ประกอบขึ้นจากเหล็กคาร์บอนหรือผสมต่ำจะต้องมีการบำบัดด้วยความร้อนหลังเชื่อม UW-2 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบรอยเชื่อม (ต่อ)

สภาวะออกแบบ	ชนิดและประเภทรอยต่อ	การตรวจ สอบด้วย ภาพถ่ายรังสี	ประสิทธิภาพ รอยต่อ	การนำบัด ด้วยความ ร้อนหลังเชื่อม
7. ดึงรับแรงดันที่เผชิญ ไฟโดยตรง	รอยต่อ A จะเป็นชนิด No.(1) รอยต่อ B จะเป็นชนิด No.(1) หรือ No.(2) เมื่อความหนาเกินกว่า 15.9 mm ไม่อนุญาตให้ใช้รอยต่อเชื่อมชนิด (3) ไม่ ว่าสำหรับรอยต่อ A หรือ B ในความหนา ใดๆ UW-2 (d)	โดยตลอด เป็นจุด ไม่มี	ชนิด(1) ชนิด(2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	เมื่อความหนา ณ รอยต่อเชื่อมของ เหล็กกล้าคาร์- บอน (P-No.1) เกินกว่า 15.9 mm และความ หนาทุกค่า สำหรับเหล็ก กล้าผสมต่ำ (นอกเหนือจาก P-No.1) ต้องมี การนำบัดด้วย ความร้อนหลัง เชื่อม
8. การเชื่อมอิเล็กโตร- สแลก(Electroslag)	รอยเชื่อมต่อนทั้งหมด UW-11 (a)(6)	โดยตลอด	ชนิด(1) 1.0 ชนิด(2) 0.9	ตามโคด UCS-56
9. ส่วนปิดสุดท้ายของดั่ง	รอยเชื่อมใดๆ UW-11 (a)(7)	โดยตลอด ให้ตรวจสอบ ด้วยคลื่นเสียง อัลตราเมื่อโครง สร้างไม่อนุญาต ให้ตรวจสอบ ด้วยภาพถ่ายรังสี	ชนิด(1) 1.0 ชนิด(2) 0.9	ตามโคด UCS-56
10. ส่วนของตัวดึงหรือ หัวดึงไร้ตะเข็บ UW-11 (a)(5)(b) UW-11 (d)	รอยต่อที่เชื่อมต่อกับส่วนของตัวดึงและ หัวดึง	เป็นจุด ไม่มี หรือเมื่อรอยเชื่อม A หรือ B เป็นชนิด 3,4,5,6	1.0* 0.85*	ตามโคด UCS-56
11. รอยต่อทำให้สม- บูรณ์ด้วยความดัน UW-12 (f)	รอยเชื่อมใดๆ		ไม่เกินกว่า 0.80	

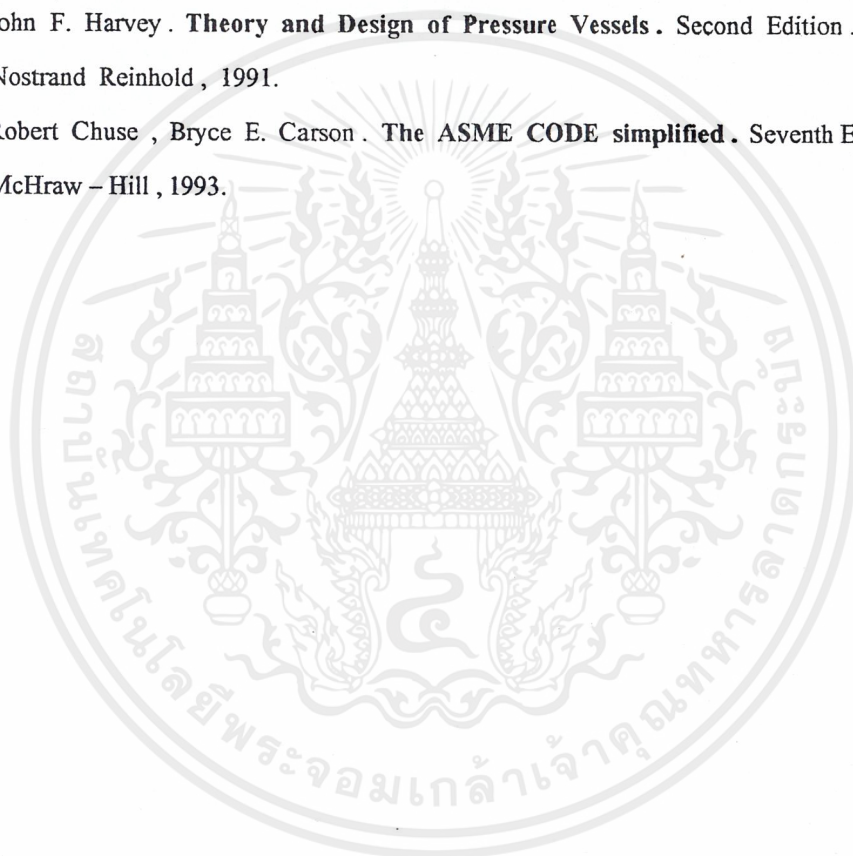
* สำหรับการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับความเค้นตามแนวเส้นรอบวงหรือสำหรับความหนาของหัวดึงไร้ตะเข็บ

ประสิทธิภาพ (E) ที่ใช้ในการคำนวณของความหนาหัวดึงไร้ตะเข็บ ASME Code UW-12(d)				
ชนิดของ หัวดึง	ชนิดของ รอยต่อ	ระดับของการตรวจสอบของรอยต่อ หัวดึงกับตัวดึง		
		โดยตลอด	เป็นจุด	ไม่มี
ครึ่งทรงกลม	No.1	1.00	0.85	0.70
	No.2	0.90	0.80	0.65
อื่นๆ	ใดๆ	1.00		0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eugene F. Megyesy. **Pressure Vessel Handbook**. Tenth Edition. Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc.
- [2] นาวาอากาศโท ตระการ ก้าวถวิลกรรม , คู่มือถังรับแรงดัน , บริษัทเอ็มแอนด์อี จำกัด , 2540
- [3] R.C. Hibbeler . **Mechanics of Materials**. Third Edition . Prentice Hall , Inc.
- [4] รศ. มนตรี พิรุณเกษร , กลศาสตร์ของวัสดุ , บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด , 2539
- [5] John F. Harvey . **Theory and Design of Pressure Vessels** . Second Edition . Van Nostrand Reinhold , 1991.
- [6] Robert Chuse , Bryce E. Carson . **The ASME CODE simplified** . Seventh Edition McHraw – Hill , 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้