

# PIPING STRESS TRAINING COURSE

Present By

ปิยะ กิตติธเนศวร

Piya Kittitanesuan



***“STRESS SPECIALIST IS ALWAYS RIGHT”***

***John M. Nedovich***

Last Update : 20 March 2002

## คำนำ

เหตุผลในการจัดทำครั้งนี้ เพื่อเก็บบันทึกรวบรวมประสบการณ์ที่ผมได้เคยทำงานสาย Piping Engineering มาตั้งแต่จบจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปี 1995 จนกระทั่งปัจจุบัน ก็ยังเดินอยู่ในเส้นทางสายนี้ อนาคตเป็นสิ่งที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแน่นอน สักวันหนึ่งเราอาจจำเป็นต้องละทิ้งงานตรงนี้ไปทำอย่างอื่น ดังนั้นความรู้ที่เราสั่งสมมาก็จะขาดช่วง การพัฒนาความรู้ความสามารถ อย่างต่อเนื่อง จากบุคคลหนึ่งไปสู่อีกบุคคลหนึ่งเป็นสิ่งสำคัญ ถือเป็นการต่อยอด ปรับปรุงความรู้เดิมที่มีอยู่ ให้ดีขึ้น ซึ่งดีกว่าการพัฒนาแบบ **คิดใหม่ทำใหม่** ซึ่งจะทำให้เราเสียเวลาในการศึกษานาน และก็ไม่สามารถดึงประสบการณ์ความรู้ดี ๆ จากรุ่นพี่มาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้

ประโยชน์ที่ผมมองเห็นจากการจัดทำนี้ ก็คือตัวบุคคลที่จะก้าวเข้ามาทำงานทางด้านนี้ จะได้มีคู่มืออ้างอิง ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากผู้มีประสบการณ์ทางด้านนี้มาก่อน และประโยชน์อีกทางหนึ่งก็คือตัวผู้จัดทำเอง ได้ขีดเวลา ความรู้ด้วยตัวเองอยู่เสมอ และถ้ามีสิ่งใดผิดพลาด จากการเรียนรู้ที่ผิดพลาดมาหรือเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ย่อมมีใครสักคน สะท้อนหรือชี้แนะข้อผิดพลาดให้ผมได้รับทราบไม่มากนักน้อย จึงจักเห็นประโยชน์ทั้งผู้ให้และผู้รับ ศาสดาของศาสนาพุทธสอนไว้ว่าการให้ธรรมชนะการให้ทั้งปวง เพราะธรรมทำให้เราประสบเจอแต่ความสุขปราศจากความทุกข์ ธรรมอันเป็นข้อปฏิบัติที่ทำให้เราพ้นทุกข์ก็คือ มรรค 8 ในองค์มรรคทั้งแปดนั้นมีอยู่ข้อหนึ่งคือ สัมมาอาชีวะ คือการประกอบอาชีพที่ถูกต้อง ซึ่งย่อมทำให้เราเป็นสุขและพ้นทุกข์ได้ ดังนั้นการให้ความรู้ในการประกอบสัมมาอาชีวะ จึงน่าจะชนะการให้ทั้งปวงด้วยเช่นกัน ดังนั้นเราแบ่งปันความรู้ให้กันเถอะ อย่างหวงไว้เลย ไม่ต้องกลัวตกงาน หรือใครมาแย่งงานเรา ถ้าเรามัวแต่หวง มัวแต่กักอยู่ เดี่ยวเวียดนามก็แข่งไทยเราแน่ดอก จะบอกให้

## OBJECTIVE OF THE PROGRAM

- To transfer knowledge of pipe stress analysis

## OVERVIEW OF THE PROGRAM

Page

**บทที่ 1 Basic Piping Stress Analysis และการใช้โปรแกรม CAESAR II**

5

**บทที่ 2 Static**

11

- ทำความเข้าใจกับ hot sustain stress และ cold sustain stress
- การนำ piping input file มาวิเคราะห์พร้อมกันหลายๆ file

**บทที่ 3 Pipe Rack**

- การทำ stress line บน pipe rack
- ปัจจัย 4 อย่างที่มีผลต่อการ Design Expansion Loop
- How to design expansion loop
- ตำแหน่งการใส่ support ให้กับ line บน pipe rack

**บทที่ 4 Pipe Support Design**

- Introduction to pipe support design

**บทที่ 5 Spring Hanger Design**

- Variable Spring Hanger
- Constant Spring Hanger

**บทที่ 6 Jacket Pipe**

- วิธีการ model และ analysis line jacket pipe
- วิธีการ model jacket pipe โดยวิธี equivalent method
- การคำนวณหา minimum leg require สำหรับ line jacket pipe
- การคำนวณหา Critical Buckling Force

**บทที่ 7 Dynamic**

- ทำความรู้จักกับปัญหา dynamic problem ว่ามีอะไรบ้าง
- วิธีการใช้ CAESAR II ทำ dynamic analysis สำหรับ line ที่ต่อกับ reciprocating compressor
- วิธีการแก้ปัญหา static และ dynamic
- IMPACT LOAD ANALYSIS

### **บทที่ 8 Seismic Analysis**

- ทำความรู้จัก code และสูตรที่ใช้ ในการวิเคราะห์ seismic
- วิธีการใช้ CAESAR II วิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อในกรณี แผ่นดินไหว

### **บทที่ 9 Stress Analysis for Underground Piping**

### **บทที่ 10 โครงสร้าง file ของ Program CAESAR II**

- เจาะลึกโครงสร้าง file ของ CAESAR II

### **บทที่ 11 การใช้ Technology 3D ร่วมกับ CAESAR II**

- แนะนำให้รู้จัก PDS 3D INTERGRAPH และ PD STRESS
- การใช้ PD STRESS สร้างไฟล์กลาง (neutral file) สำหรับ มาใช้กับ CAESAR II
- การนำ neutral file มา สร้าง piping input file

### **บทที่ 12 Structural**

- การใช้ CAESAR II model structure
- การนำ structure model มาวิเคราะห์ร่วมกับ piping model

### **บทที่ 13 การสร้างโปรแกรมเพื่อคำนวณงานด้าน pipe stress บน INTERNET**

- การเขียนโปรแกรม PERL. ให้สามารถคำนวณหา pipe wall thickness , maximum pipe span, etc

APPENDIX A: ตาราง Allowable Nozzle Loads ของอุปกรณ์ต่างๆ

APPENDIX B: CODE ต่างๆ ที่ เกี่ยวข้องกับ pipe stress analysis

APPENDIX C: Stress Analysis Check List

APPENDIX D: ตัวอย่าง stress analysis report

## บทที่ 1

### BASIC PIPING STRESS และการใช้ โปรแกรม CAESAR II

#### พื้นฐานการทำ Piping Stress Analysis

โดยพื้นฐานเลยก็คือ การออกแบบท่อให้มีความยืดหยุ่น (flexibility) โดยใช้จำนวนข้อต่อ (fitting) ให้น้อยที่สุด เพื่อความประหยัด และ ลด pressure drop ที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด

ระบบท่อที่ร้อน จะเกิดการขยายตัวของท่อ ส่วนระบบท่อที่เย็นจะเกิดการหดตัวของท่อ ทั้งสองระบบนั้น จะทำให้เกิดปัญหาความเค้นในท่อได้ทั้งนั้น การทำ stress analysis จะต้องคำนวณหาแรง และ โมเมนต์ ที่กระทำ ณ จุดยึด (ต่อไปนี้จะเรียกทับศัพท์ว่า จุด anchor ) ยกตัวอย่างของจุด anchor ในที่นี้ก็ได้แก่ line stop หรือว่า จะเป็น nozzle ของ equipment ก็ได้

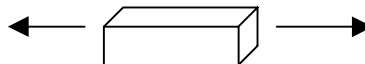
เรานำค่าแรง และ โมเมนต์ ที่ได้ขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่า Allowable Forces และ MomentS โดยค่าแรง และโมเมนต์ที่คำนวณได้นั้นจะต้องไม่เกินค่า Allowable ไม่เช่นนั้นจะทำให้อุปกรณ์พังเสียหายได้ โดยเราสามารถทราบค่า Allowable Load ได้จาก โรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ หรือได้จาก code ที่ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ถ้าเป็น pump ก็อาจจะเป็น code API 610 ถ้าเป็น steam turbine ก็ใช้ code ของ NEMA SM23 ถ้าเป็น Tank ขนาดใหญ่ ก็ใช้ code API650 เหล่านี้เป็นต้น จะใช้ code ไหน แต่ละ project ก็ไม่เหมือนกัน แต่โดยทั่วไปในงาน ออกแบบ petrochemical และ refinery plant ก็จะใช้ code ที่กล่าวมาข้างบน

#### 1.1 BASIC STRESS QUANTITIES

ก่อนที่เราจะเริ่มทำการคำนวณ pipe stress ให้เราทำความเข้าใจกับปริมาณ stress พื้นฐานต่อไปนี้ก่อน

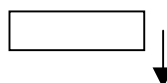
##### AXIAL STRESS (ความเค้นตามแนวแกน)

$$\text{Axial Stress} = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$



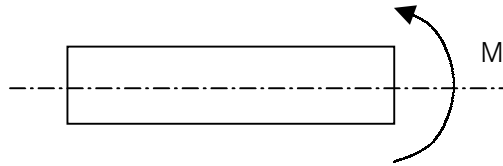
##### SHEAR STRESS (ความเค้นเฉือน)

$$\text{Shear Stress} = \frac{\text{Force in Shear}}{\text{Shear Area}}$$



### BENDING STRESS (ความเค้นดัด)

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$



โดยที่

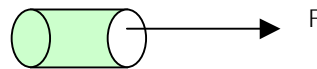
M- Moment @ cross section

c- Distance from neutral axis to outer surface

I – cross section moment of inertia =  $\frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{64}$

### LONGITUDINAL PRESSURE STRESS

$$\sigma_{PL} = F/A = Pd/4t$$



### HOOP PRESSURE STRESS

$$\sigma_{PH} = \frac{F}{A} = \frac{P d}{2 t}$$

ทางยุโรปนิยมใช้ ค่า d เป็น outside diameter มากกว่าที่จะใช้เป็น inside

จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน [  $\Sigma F = 0$  ]

$$2 F = P d_i L$$

$$\sigma_{PH} = \frac{P d_i L}{2 t L} = \frac{P d_i}{2 t}$$

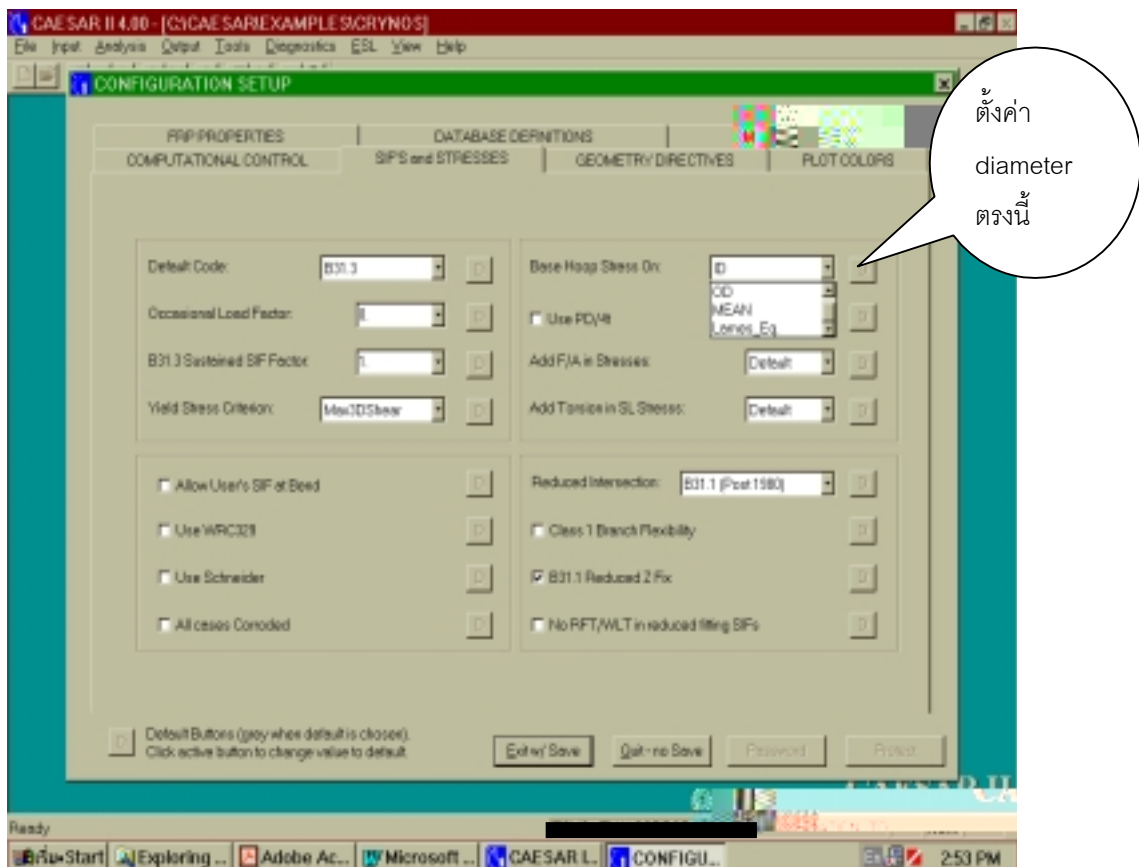
จริงๆ แล้ว สมการ hoop pressure stress ที่ใช้กล่าวถึงข้างบนนี้ เป็นสมการ ที่ให้ค่าประมาณ

สมการที่ให้ค่าได้ exact นั้น ถูกกำหนดโดย สมการของ LAME ดังต่อไปนี้

$$\sigma_{PH} = \frac{Pr_i^2 + L r_i^2 r_o^2 P / r^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

r = position thru the thickness

รูปที่ 1 คือการกรกำหนดค่าให้กับ program CAESAR II มี option ให้เลือก 4 ค่า คือ ID , OD , MEAN และ LAMES\_EQ ถ้าเราต้องการค่าที่ conservative ที่สุด ก็เลือกใช้ base hoop stress on เป็น OD แต่โดยทั่วไปนิยมใช้ ID ผมก็ไม่เข้าใจเหมือนกัน คงอยากให้ผ่านง่ายๆ ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มต้น ทำ pipe stress analysis โดยใช้ CAESAR II ก็ควรจะมาตั้งค่า ตรงนี้ก่อน โดยไปที่ TOOL บน main menu ของ CAESAR VERSION 4.XX และ Configures/Setup ก็จะได้ dialog box ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกำหนด diameter ที่ใช้ในการคำนวณ hoop stress ให้กับ CAESAR II

### Stress ที่เกิดขึ้นบนผนังท่อ

โดยทั่วไป หน้าตัดของท่อจะเกิดปัญหา stress หลักๆ ได้สามรูปแบบ คือจาก bending , axial และ pressure ดังนั้นสมการในการ คำนวณหาค่า longitudinal stress ที่หน้าตัดท่อจะเป็นดังนี้

$\frac{Mc}{I}$	+	$\frac{F}{A}$	+	$\frac{Pd}{4t}$
Bending		axial		pressure

ซึ่ง โดยทั่วไปแล้ว U.S Code ก็จะใช้ รูปแบบสมการข้างบนในการหา longitudinal stress

### CODE COMPLIANCE BASICS :

ในการทำ stress นั้น มีรูปแบบการเสียหายพื้นฐานสองแบบ ดังนี้

1. Sustained ( or Primary ) Stress Failure
2. Expansion (or Secondary ) Stress Failure

ซึ่งแต่ละ mode นั้นก็มีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน

### ลักษณะที่เป็น PRIMARY STRESS

1. primary stress ส่วนเกิน มีสาเหตุมาจากการเกิด plastic deformation และ rupture.
2. เกือบทั้งหมดเกิดจากการรับภาระเนื่องจาก weight และ pressure
3. Allowable limits สำหรับ sustained stresses นั้น จะสัมพันธ์กับ ค่า yield stress ของ material
4. การพังเสียหายจะเกิดขึ้นแบบทันทีทันใด จะไม่มีอาการเตือนให้เราเห็นล่วงหน้า เหมือนกับการพังเนื่องจากการล้าของวัสดุ (fatigue)
5. โดยทั่วไปก็จะไม่เกี่ยวกับ cyclic

### ลักษณะ ที่เป็น SECONDARY STRESS

1. เกิดเนื่องจาก การขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal expansion)
2. การพังเสียหายอาจจะเกิดการ crack เป็นจุดเล็กๆ ตามผิวด้านใน หรือ ด้านนอกของท่อก่อน

### ลักษณะ ที่เป็น OCCASIONAL STRESS

นอกจากการพังเสียหาย ที่กล่าวมาแล้วบางครั้งก็มี การเสียหายเหตุการณ์บางครั้งบางคราวเช่น wind , earthquakes หรืออาจจะเนื่องจาก steam/water hammer



CODE STRESS ALLOWABLE :

THE SUSTAIN ALLOWABLE STRESS คือการเอาค่า hot yield stress มาคูณด้วยค่า factor ซึ่ง sustained stresses ไม่ควรเกินค่า materials elastic limit ณ อุณหภูมิ ที่ operating หรือ อุณหภูมิที่ใช้ในการ design ถ้าเขียนเป็นสมการจะได้ดังนี้

$$S_I < S_h$$

โดยที่  $S_I$  = Stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก sustained load

$S_h$  = Hot Allowable stress ซึ่งมีค่าไม่เกิน  $0.666 S_y$  หรือ  $0.25 S_u$

ค่า  $S_h$  นี้เราสามารถเปิดหาค่าได้จาก table A-1 ใน ASME B31.3

เช่น pipe carbon steel A53 Gr.B ที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮต์ จะได้ค่า  $S_h = 20000$  psi หรือ จะแปลงเป็นหน่วย SI ก็หารด้วย 145 จะได้เท่ากับ  $137.93$  N/mm<sup>2</sup>

บางทีเราอาจเปิดไม่เจอวัสดุที่ต้องการหา เป็นเพราะว่า วัสดุนั้นไม่ใช่ code ASME B31.3 ก็ได้

THE EXPANSION ALLOWABLE STRESS RANGE ค่านี้จะต้องไม่เกิน สองเท่าของ yield stress คูณกับ safety factor , cyclic reduction factor ลบ ด้วยค่า mean stress . ซึ่ง total stress range ( expansion บวก กับ sustained) ถูก set ไว้เท่ากับ สองเท่าของ yield stress

$$S_A < f ( 1.25 S_c + 1.25 S_h - S_I )$$

โดยที่  $S_A$  = Computed expansion stress range

$f$  = Cyclic reduction factor for fatigue

$S_c$  = Cold allowable stress

$S_h$  = Hot allowable stress

ค่า  $f$  นั้น ขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบความร้อนที่ท่อ จะได้รับ ซึ่งกำหนดไว้ใน code B31.1 table 102.3.2 ดังนี้

$f = 1.0$  สำหรับ 7000 รอบ หรือต่ำกว่า

$f = 0.9$  สำหรับ 7000 – 14000 รอบ

$f = 0.8$  สำหรับ 14000 – 22000 รอบ

$f = 0.7$  สำหรับ 22000 – 45000 รอบ

$f = 0.6$  สำหรับ 45000 – 100000 รอบ

$f = 0.5$  สำหรับ มากกว่า 100000 รอบ

ส่วนใหญ่แล้วระบบท่อที่เรา ออกแบบก็จะอยู่ในช่วงประมาณ ไม่เกิน 7000 รอบความร้อน อย่างเช่น การออกแบบสำหรับการ operating ในช่วง 20 ปี ของโรงไฟฟ้า เต็มที่แล้วก็ จะ shut down steam line ที่เข้าไปขับ Steam Turbine ไม่เกิน 1 รอบต่อวัน ดังนั้นเราจะไม่ค่อยได้เห็นนักสำหรับที่ค่า  $f$  จะต่ำกว่า 1

ยกตัวอย่างอีกระบบหนึ่ง ที่รอบไม่น่าเกิน 7000 ก็เช่น relief valves เพราะการทำงานของ relief valve คงไม่เกิด ขึ้นบ่อยมากทุกวัน

**THE OCCASIONAL STRESS** คือ stress ที่เกิดขึ้นเป็นบางครั้งบางคราว ไม่สม่ำเสมอ เช่น แผ่นดินไหว (seismic ) รายละเอียดเกี่ยวกับ การวิเคราะห์ piping including seismic effect นื่องๆ สามารถศึกษาได้จากบทที่ 7 ,wind , water hammer เป็นต้น occasional allowable stress โดยทั่วไปจะมีค่า อยู่ระหว่าง  $1.1Sh - 1.33Sh$  ขึ้นอยู่กับ code ที่ใช้ อย่างเช่น B31.1 ใช้  $1.15Sh - 1.2 Sh$  ส่วน B31.3 ใช้  $1.3 Sh$  เป็นต้น

**ขั้นตอนการ check flexibility** ต่อไปนี้เป็นขั้นตอนการ check flexibility ของระบบท่อ

- 1 คำนวณหา sustained stress ยกตัวอย่างเช่น stress ที่เกิดจาก primary load ปกติก็คือ weight และ pressure
- 2 คำนวณหา expansion stress
- 3 เปรียบเทียบ sustained stress ที่คำนวณได้ในข้อ 1 กับ allowable stress :  $Sh$
- 4 เปรียบเทียบ expansion stress ที่คำนวณได้ตามข้อ 2 กับ ค่า allowable :  $f (1.25Sc + 1.25Sh - SI)$