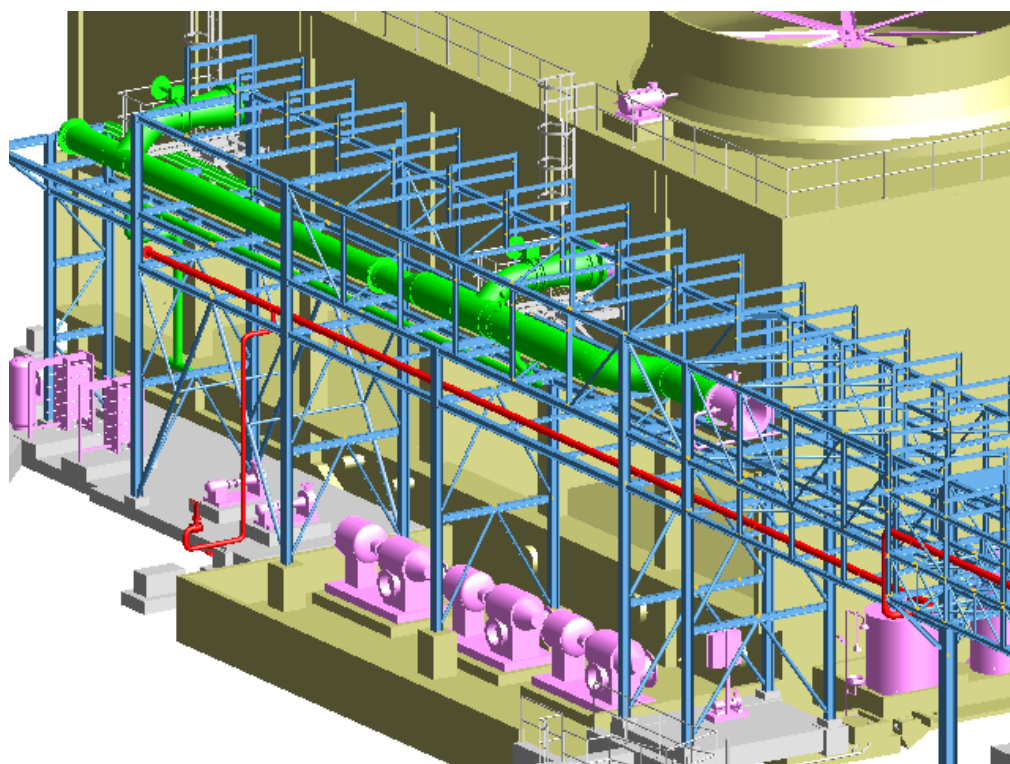


บทที่ 3
Pipe Rack and Expansion Loop
By Piya Kittitanesuan
Lead Piping Engineer

Penspen Limited (Thailand)

(Rev1 : update 19 February 2007)

Pipe Rack คือ โครงสร้าง (structure) ที่รับน้ำหนักท่อที่ใช้ในการ ขนถ่าย (transport) ของไหล ที่เป็น process และ utility จาก หน่วยหนึ่งไปยังอีกหน่วยหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักสายเคเบิลของไฟฟ้าและเครื่องมือวัดด้วย



รูปที่ 1 Pipe Rack 3D Model Create by PDMS

ปัญหาที่พบเห็นเมื่อเราออกแบบ support หรือ restraining lines บน pipe racks ก็คือ

- ท่อแต่ละเส้น มีอุณหภูมิแตกต่างกัน บางเส้นเย็น บางเส้นก็ร้อน เช่น ท่อไอน้ำ จะมีอุณหภูมิร้อน แต่ท่อ cooling จะเย็น
- ความแตกต่างของขนาดท่อ เช่น ท่อ main cooling water supply and return line มีขนาดใหญ่ ส่วนพวก ท่อลม เช่น service air , instrument air มักมีขนาดเล็ก
- ผลกระทบเนื่องจากท่อยืดขยายตัวเนื่องจากความร้อน ท่อขนาดใหญ่และร้อน จะมีผลกระทบมาก
- ท่อแต่ละเส้นขนถ่ายของไหลต่างชนิดกัน ของไหลมีความหนาแน่นแตกต่างกัน

สิ่งสำคัญที่สุดที่ต้องพิจารณา ในการออกแบบระบบหนุนรับท่อ (support) บน pipe rack ก็คือ การควบคุมการขยายตัวของท่อเนื่องจากความร้อน ดังนั้นการออกแบบที่ดี จะทำให้ภาระโหลดกระทำต่อโครงสร้าง pipe rack น้อยที่สุด นั่นคือความประหยัดทางด้านโครงสร้าง pipe rack

หลังจากที่ศึกษาบทนี้จบ ผู้เขียนหวังว่า เราจะบรรลุวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

- 1 ออกแบบระบบ support บน pipe rack ได้ optimize ดังนี้ ทำให้ pressure drop น้อยที่สุด และ ทำให้ ภาระโหลด ที่กระทำต่อโครงสร้างน้อยที่สุด
- 2 รู้ว่า จะส่งข้อมูลอะไรแก่ วิศวกรโครงสร้าง (Structure Engineer) เพื่อออกแบบ pipe rack ให้แข็งแรงรับภาระโหลดของท่อได้

ก่อนที่ Piping Stress Engineer จะวิเคราะห์ปัญหาความเค้น ควรเข้าใจพื้นฐานการออกแบบท่อบน Pipe Rack ให้ดีก่อน จึงสามารถวิเคราะห์และ แก้ปัญหาความเค้นได้อย่างเหมาะสม ซึ่งหลักการออกแบบพื้นฐานที่ควรรู้มีดังต่อไปนี้

3.1 Pipe rack design for process plants

ก่อนที่เราจะออกแบบจัดท่อบน piperack เราต้องมีข้อมูลต่อไปนี้ก่อน

- Flow diagram
- Plot plan
- Specification
- Project-design data

3.2 ตำแหน่งการจัดวางท่อ บน Pipe Rack (Line Location In The Pipe Rack)

โดยทั่วไปท่อที่วางอยู่บน pipe rack สามารถจัดแบ่ง ได้ดังนี้

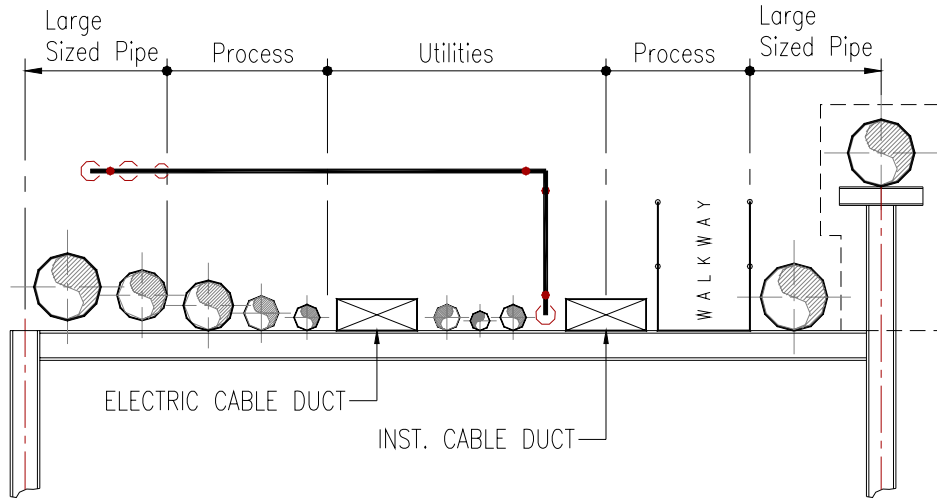
- Process lines
- Utility lines เช่น plant air, instrument air, fuel oil, fuel gas, chemical treating, boiler feed water เป็นต้น

หลักการ design
"CHANGE ELEVATION WHEN
CHANGING DIRECTION"

ซึ่งมีหลักการพื้นฐานจัดวางท่อบน Rack ดังนี้

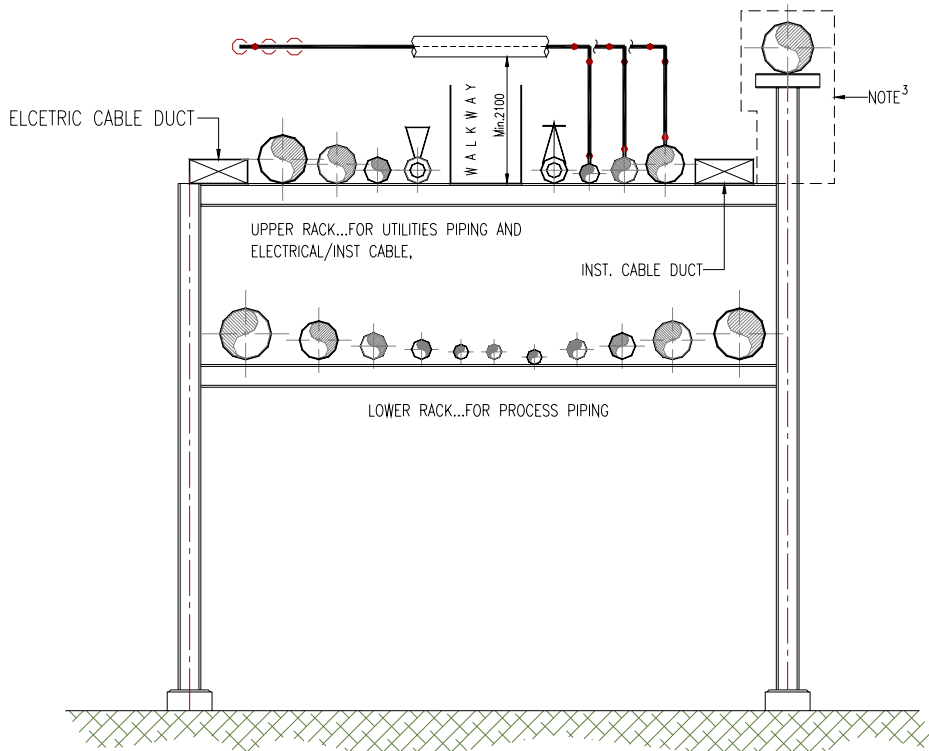
- LINE ไต่เลี้ยวลงซ้าย ก็ให้วางไว้อยู่ด้านซ้ายของ pipe rack ส่วน line ไหนหักลงขวาก็ให้อยู่ด้านขวา
- เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการเดินของท่อควรให้มีการเปลี่ยนระดับเพื่อหลีกเลี่ยงการขวางทางเดินของท่ออื่นๆ

- ถ้า rack มีหลายชั้น ควรกำหนดให้ rack ชั้นบนเป็น ท่อบริการ (utilities line) เช่น Instrument Air, Service Air, Service Water, Fire Water Line เป็นต้น และ rack ชั้นล่างเป็น ท่อ process
- โดยทั่วไป line utility จะวางไว้ตลอดทั้งแนว piperack เพื่อคอยบริการหน่วยต่างๆ ได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 2

- ถ้าเราสามารถวางท่อบน Rack เพียงชั้นเดียว เราอาจจัดท่อได้ตามรูปที่ 2 แต่ ถ้าจำนวนท่อมามากจนไม่สามารถจัด Rack ได้เพียงชั้นเดียวเราสามารถจัดท่อเป็นสองชั้น ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3

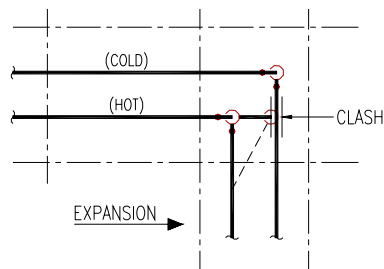
เมื่อ Piping Designer ออกแบบท่อนบน Rack ขึ้นต้นแล้ว จึงส่งแบบให้กับ Piping Stress Engineer เพื่อทำการกำหนดชนิดหน้าที่การทำงานของ pipe support ว่าเป็นอะไร เช่น Line Stop, Guide and Resting Support และหากพบว่า Piping Designer จัดวางท่อยังไม่ดีพอตามหลัก pipe stress ก็ต้องแนะนำการจัดวางท่อที่ดีที่สุดกลับไปยัง Piping Designer

ความรู้ที่จะถ่ายทอดต่อไปนี้ เน้นให้ผู้ศึกษาลดการพึ่งพาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยไม่จำเป็น วิธีการต่างๆ นามาจากประสบการณ์จริงในการทำงาน ซึ่งถือเป็นทักษะขั้นสูงที่จะต้องทำให้เกิดขึ้นให้ได้ ดูได้อย่างไรว่าทักษะเราสูงแล้วหรือยัง หากวิศวกรยังพึ่งพาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยทำงานอยู่ นั่นก็แสดงว่าทักษะเรายังพัฒนาไปได้อีก ยังก็คือว่าอยู่ในระดับปานกลาง ระดับเขียนแล้วจะแก้ปัญหาเรื่องนี้โดยไม่ใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปอย่าง CAESAR II หรือ AUTOPIPE เลย

3.3 ขั้นตอน การเลือกใส่ ชนิดของ restraint สำหรับ line บน pipe rack

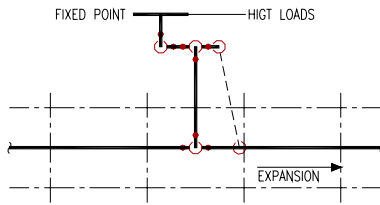
1. หาอุณหภูมิการออกแบบ (design temperature) ของท่อแต่ละเส้น จากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น Line List, P&ID's
2. คำนวณหา ระยะการขยายตัวมากที่สุดท่อแต่ละเส้น โดยการคูณ ความยาว ด้วย อัตราการขยายตัว (thermal expansion rate) อาจใช้เกณฑ์ดังนี้
 - โรงงานที่ก่อสร้างใหม่ เราสามารถเผื่อท่อขยายตัว ได้มากถึง 300 มม.
 - โรงงานเก่า (existing plant) และมีพื้นที่ไม่มาก อาจเผื่อไว้ได้ถึง 200 mm. ซึ่งต้องดูพื้นที่จริงอีกที
3. เราจะควบคุมการขยายตัวของท่อ ด้วยการใส่ line stop และ เพิ่ม expansion loop
4. การพิจารณาเพิ่ม expansion loop นั้นเราจะควบคุมด้วยการขยายตัว (thermal expansion) ด้วยหลักการสี่อย่างต่อไปนี้

a) การชนกัน (pipe clash)



รูปที่ 4

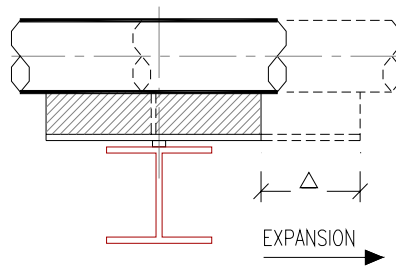
b) ระยะยืดขยายตัวที่จุด Branch connection



รูปที่ 5

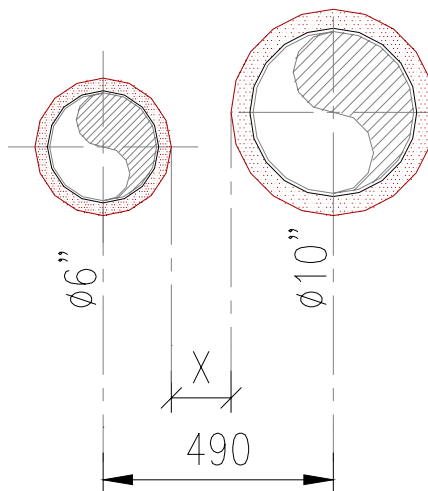
c) ความยาวของ Shoe

ความยาวของ shoe จะต้องยาวเพียงพอเพื่อไม่ให้ตกจากคาน (beam) ผู้ออกแบบมักจะลืมหรือไม่รู้ตรงจุดนี้อยู่บ่อยๆ ทำให้เกิดปัญหา เมื่อท่อเกิดการขยายตัวยืดจน shoe ตกลงมาแล้วไม่สามารถกลับสู่ตำแหน่งติดตั้งได้เมื่อท่อเย็นตัวลง



รูปที่ 6

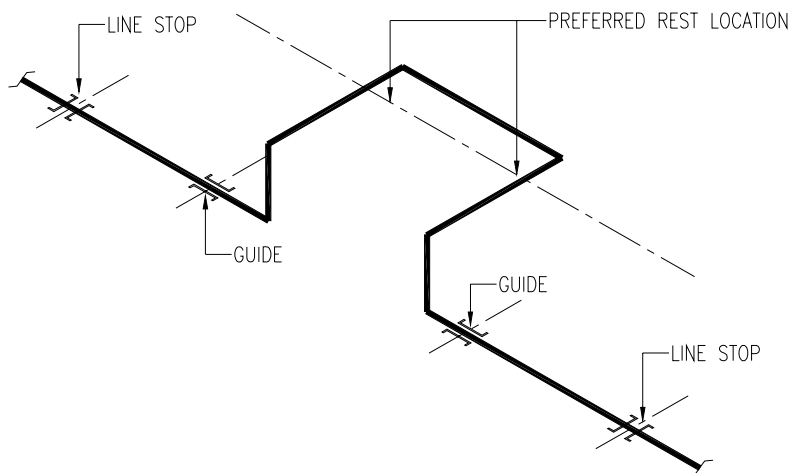
d) pipe space เนื้อที่ช่องว่างระหว่างท่อ



รูปที่ 7

หลักการทั้งสี่นี้จะกล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

5. เพื่อความรวดเร็วในการทำงาน เราจะใช้ charts มาช่วยในการหาขนาดของ loop แต่ถ้าบริษัทของท่าน ไม่มี chart เอาไว้ใช้ ท่านก็ต้องคำนวณหาขนาด loop เอาเอง ซึ่งวิธีการคำนวณ จะได้กล่าวถึงต่อไป แต่โดยทางปฏิบัติแล้วเราไม่นิยมการคำนวณ เพราะทำให้เราทำงานได้ช้า ไม่ทันการ
6. ในการตัดสินใจว่าท่อเส้นใดต้องการ line stops และจะใส่ไว้ที่ตำแหน่งไหน ให้พิจารณาดังต่อไปนี้
 - สำหรับท่อที่ไม่จำเป็นต้องมี expansion loop ให้ใส่ line stop ไว้ตรงกลางท่อมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้เกิดการ balance friction force ซึ่งจะช่วยให้แรงที่กระทำที่จุด stop มีค่าน้อยที่สุด
 - ท่อเส้นใดที่ต้องการมี expansion loop จะต้องมีการใส่ line stop อยู่ทั้งสองข้าง ของ expansion loop ดังรูปตัวอย่าง ซึ่งระยะที่จะใส่ line stop จะกล่าวถึงในตอนต่อไป



รูปที่ 8 ตัวอย่าง ตำแหน่งการติดตั้ง line stop and guide สำหรับ expansion loop

3.4 How to Design Expansion Loop

ในระบบท่อที่มีอุณหภูมิสูง อย่างเช่นท่อไอน้ำความดันสูง จะมีการยืดตัวของท่อสูงมาก แรงและโมเมนต์ ก็สูงมากเช่นกัน ถ้าหากระบบท่อไม่ได้ออกแบบให้มีความยืดหยุ่นดีพอ จะทำให้เกิดการพังเสียหายอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นแน่นอน เช่น

- ท่อ บิดโค้งงอ เห็นได้อย่างชัดเจน
- ฉนวนท่อพัง ยุบ หรือ ฉีกขาด
- ผนังกำแพงคอนกรีตถูกท่อขยายตัวดัน จนแตก
- Support พัง เช่น รอยเชื่อมขาด หรือ อาจจะโก่งงอ เสียรูป เป็นต้น

- มีก๊าซ หรือของเหลว รั่วไหลออกมาจากหน้าแปลนท่อ หรือ หน้าแปลน อุปกรณ์ต่างๆ เช่น equipment , valve
- Pipe rack ล้มพังทั้งแถบ

ปัญหาเหล่านี้ มีให้เห็นมากในเมืองไทย ร้ายแรงสุดก็โรงงานระเบิด ไฟไหม้ ปัญหาส่วนหนึ่ง มาจากเรื่อง piping stress แต่เวลาทำการพิสูจน์ หาสาเหตุ เชื่อว่าเจ้าของงานอีกมากที่ไม่ทราบว่าปัญหาเหล่านี้เกิดจากบริษัท รับเหมา ออกแบบระบบท่อมาไม่ได้มาตรฐานดี ดังนั้นวิศวกรเจ้าของโรงงานควรมีความรู้จริง ในเรื่องการออกแบบอยู่บ้าง โดยเฉพาะเรื่อง piping stress analysis ต่างประเทศเขาให้ความสำคัญกับเรื่อง stress analysis มาก เพราะเป็นส่วนหนึ่งของ เรื่องความปลอดภัย หากเจ้าของงานไม่มีทีมวิศวกรคอยตรวจสอบการออกแบบเอง ก็สามารถว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษามาเป็นผู้ตรวจสอบงานบริษัทรับเหมาอีกที

การที่จะทำให้ระบบท่อมีความยืดหยุ่น (flexibility) เพียงพอ มีหลักการอยู่ สอง ประการ คือ

1. เปลี่ยนทิศทางการเดินของท่อ เช่น ทำ expansion loop
2. ถ้าไม่เปลี่ยนทิศทางการเดินของท่อ ต้องติดอุปกรณ์ช่วย เช่น expansion joint หรือบางคนจะติด spring support ก็ยังช่วยให้ท่อ ยืดหยุ่นได้เลย แต่ว่า spring ช่วยเฉพาะ ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลกเท่านั้น

เนื้อหาบทนี้ผู้แต่งจะกล่าวถึง เรื่อง expansion loop เพียงอย่างเดียว ส่วนเรื่อง ของ expansion joint ไม่ขอกล่าวถึงในบทนี้

What are important basic for design expansion loop ?

ตามที่เคยกล่าวไปแล้ว สิ่งที่สำคัญในการพิจารณา ออกแบบ expansion loop มี 4 ประการ ดังต่อไปนี้

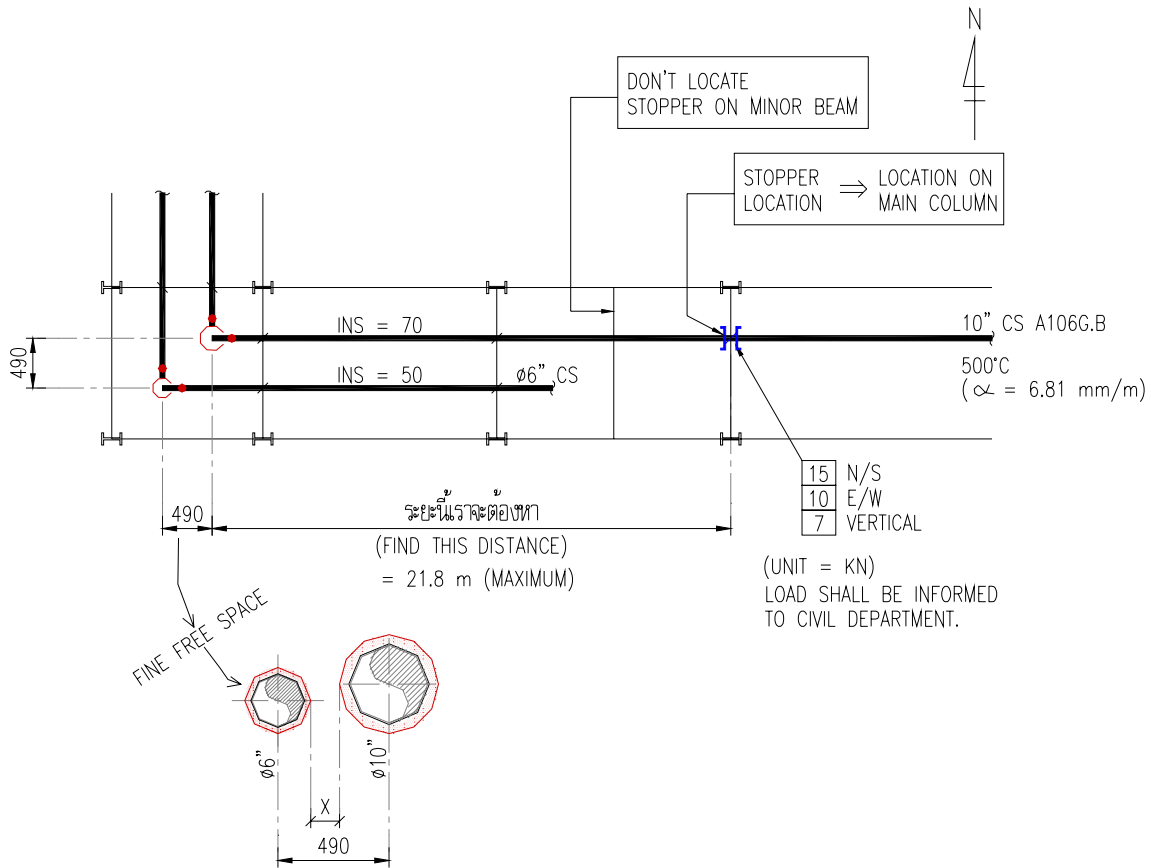
1 การชนกัน (Pipe Crash)

การยืดขยายตัวของท่อ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น

- ท่อยึดไปชน กับท่ออื่น
- เกิดแรงเสียดทาน (friction force) กระทำต่อโครงสร้าง Pipe Rack ถ้าออกแบบไม่ดีจะเกิดการสะสมกันของแรงเสียดทาน ขนาดเป็นตันๆ เลยทีเดียว

เราสามารถควบคุมการชนกันของท่อได้ โดยหาระยะห่างระหว่างท่อที่เหลือ แล้วจึงไปกำหนด จุด stopper หรือ anchor ซึ่งควรจะออกแบบให้วางอยู่บน main column เพราะ โหลดที่กระทำบนจุด fixed point นั้นจะสูงมาก เนื่องจากมันเป็นจุดรับแรงสะสมของแรงเสียดทาน ถ้าโหลดสูงเกินขนาด 10 kN ควรจะ แจ้งให้ทาง CIVIL ทราบ เพื่อที่สามารถออกแบบ pipe rack ได้แข็งแรงเพียงพอกับโหลดจากระบบท่อได้ แรงเสียดทานขนาด 10 kN หรือ 1 ton ก็ประมาณรถกระบะหนึ่งคัน ท่อทำให้เกิดแรงในแนวราบได้ขนาดนี้เลยทีเดียวนี่เอง สิ่งทีวิศวกรใหม่ควรระวัง คือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แก้ปัญหา โดยสนใจแต่ผลของความเค้นให้ผ่าน แต่ละเลยแรงเสียดทาน ซึ่งจะมีค่ามากมายมหาศาล หากออกแบบผิดหลัก ก็จะทำให้เกิดการสะสมกันของแรงเสียดทานขนาด

เกิน 100 ตัน เลยทีเดียว ซึ่งอาจทำให้ Pipe Rack ล้มพังทั้งแถบ ก็เป็นไปได้ หากว่า Piping Stress Engineer ไม่ได้ส่งผลโหลดให้ Structural Engineer



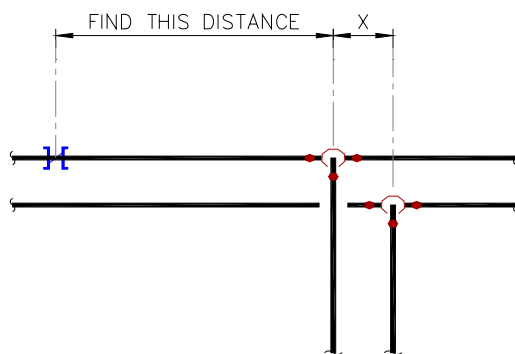
$$X = 490 - \frac{273}{2} - \frac{168.3}{2} - 70 - 50$$

$$X = 149.35 \text{ mm.}$$

X = IS FREE SPACE FOR ALLOW THERMAL MOVEMENT.

รูปที่ 9 ตัวอย่างการคำนวณหา ระยะห่างที่เหลือระหว่างท่อ และการบอกโหลดที่ line stop ให้ทาง Structural Engineer

2 ระยะยึดตัวที่จุด branch connection ของท่อ



ใช้หลักการ เหมือนข้อหนึ่ง
คือต้อง หา ระยะ X ก่อนแล้ว
จึง ไปกำหนด จุดที่จะใส่
stopper

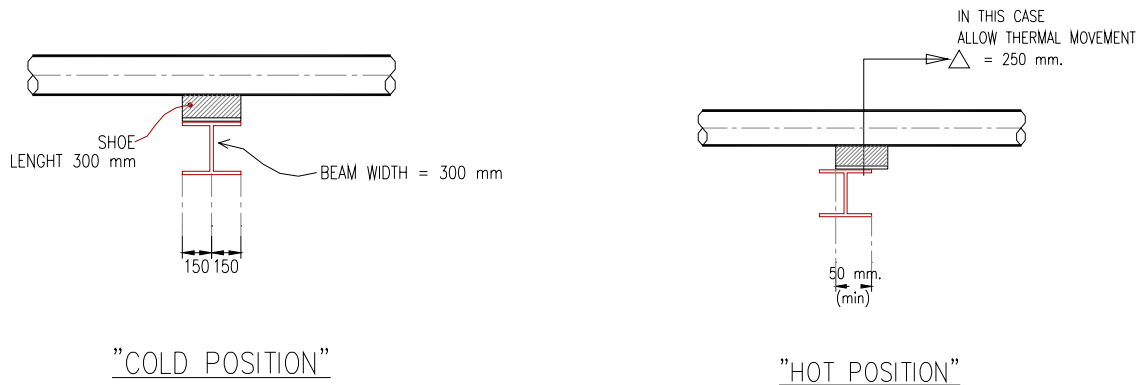
รูปที่ 10

3. ความยาว ของ shoe (Shoe Length)

เราจะเห็นบ่อยในโรงงาน นั้น ทำไม ท่อมัน ยึดขยายจนตก support หรือ beam ก็เพราะไม่มีการคำนวณ การยึดขยายตัว ของท่อ เมื่อท่อเย็นตัว ระยะที่ยึดไปมันก็จะหดตัวกลับสู่ปกติ ทีนี้มันก็จะดึงงัดตัว support หรือ beam จน พัง ได้ ทุกวันนี้ปัญหานี้ก็ยังมีให้เห็นอยู่เนะครับไม่ใช่ ว่าจะหมดไป トラบใดที่ บริษัท contractor ยังขาดแคลน piping engineer ที่มีความเข้าใจ เรื่อง piping stress analysis

จากรูปที่ 11 เราต้องพิจารณา อะไรบ้าง

1. ออกแบบให้ มีระยะ Shoe วางอยู่บน Beam อย่างน้อย 50 mm. ก็จะทำให้ท่อ วางอยู่บน beam ได้อย่างมั่นคง
2. หา ระยะยึดตัวสูงสุด ที่ยอมรับได้ (allow thermal movement) กรณี สมมติ เท่ากับ 250 mm. ท่อจะไม่ยึดไปชน กับท่ออื่น และไม่ตก beam
3. เปรียบเทียบระยะยึดตัวจริงกับระยะสูงสุดที่ยอมรับได้ ถ้าน้อยกว่า ท่อก็จะไม่ตก หล่นจาก beam ถ้ามมากกว่า ต้องออกแบบตำแหน่ง stopper ใหม่ ถ้าทำไม่ได้ อาจจะทำ expansion loop เพื่อเพิ่ม flexibility ให้กับระบบท่อ



รูปที่ 11

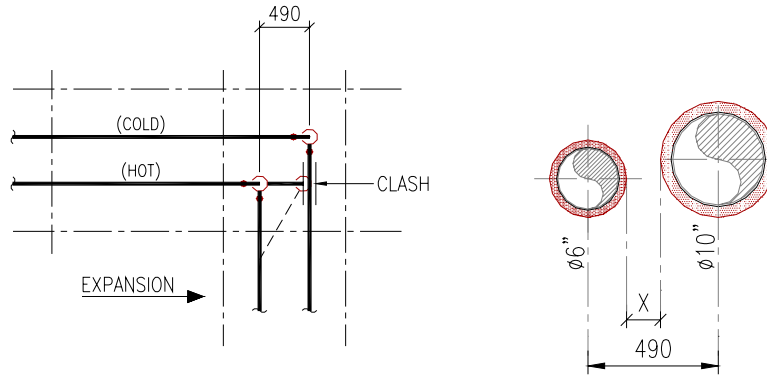
4. Pipe Space

ในกรณีที่เรากออกแบบ existing plant ดังนั้น thermal movement ก็จะถูก กำหนด โดย pipe space หลักการออกแบบก็ใช้ หลักเดียวกับ ข้อ 1

การ Design Expansion Loop

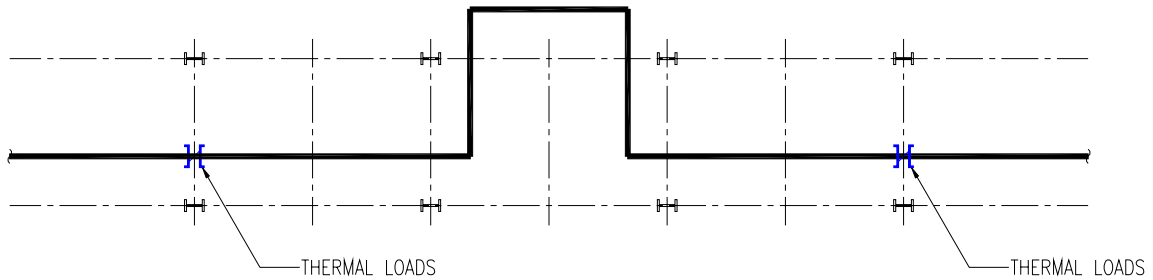
การออกแบบ expansion loop ที่เหมาะสม จะทำให้ ภาระโหลดที่น้อยที่สุด และ ไม่สูญเสียความดันในระบบท่อ (pressure drop) มากเกินไป ซึ่งมีวิธีการดังนี้

พิจารณาจากรูปข้างล่าง ท่อ 6" มีฉนวนหนา 50 มม. และท่อ 10" มีฉนวนหนา 70 มม. ค่าฉนวนระยะที่เหลือ ที่พอจะให้ท่อยึด ได้ $X = 150$ mm.



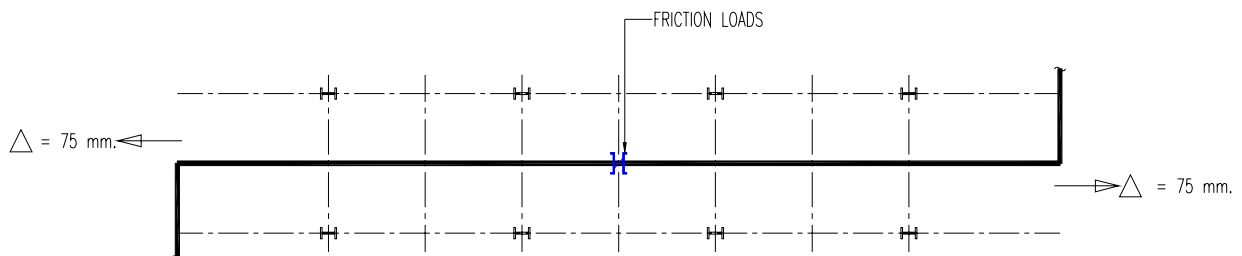
รูปที่ 12 ระยะห่างระหว่างท่อที่เหลือ $X = 150$ mm.

- หากท่อยืดขยายตัวเกินค่าจำกัด (150 มม.) ให้เราใส่ expansion loop ไว้ตรงกลาง ซึ่งจะทำให้ท่อยืดตัวไปสองฝั่งเท่าๆกัน ดังรูปที่ 13

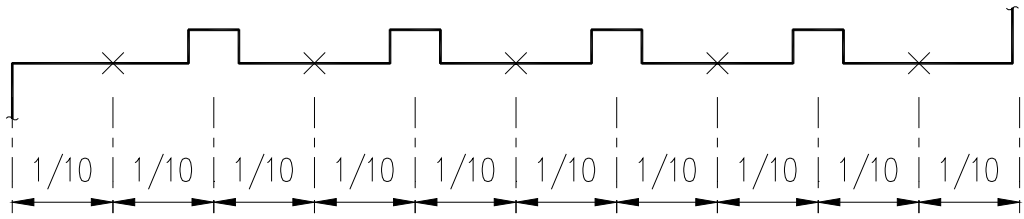


รูปที่ 13

- ในกรณียึดตัวอยู่ในค่าจำกัด 150 มม. เราสามารถใส่ Line Stop ตรงกลางได้เลย ดังรูปที่ 14 ปลายท่อทั้งสองด้าน ก็จะยืดออกไปทั้งสองด้านเท่าๆกัน ด้านละ 75 มม.



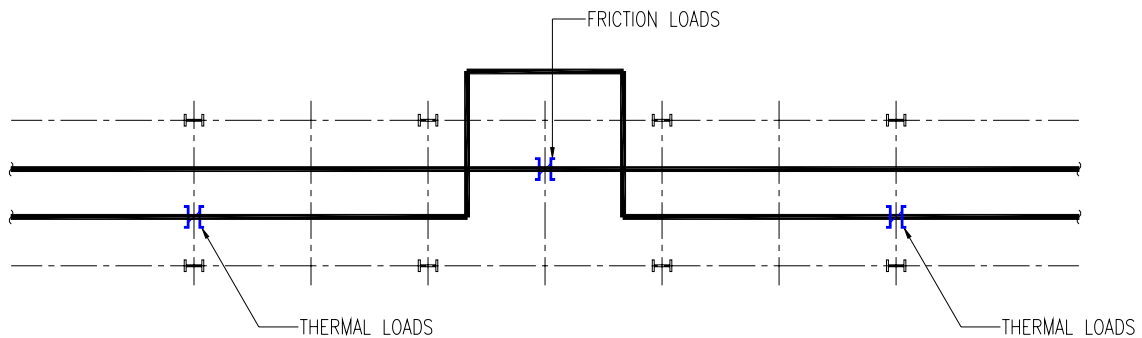
รูปที่ 14



รูปที่ 17 การกำหนดระยะ anchor point เมื่อมี expansion loop จำนวน 4 loop

คำถามท้ายบท

1. ถ้าต้องการ Loop 3 Loop จะแบ่ง เป็นกี่ส่วน
ตอบ (8 ส่วน)
2. ทำไมถึงพยายามแบ่งสัดส่วนให้เท่าๆกัน
ตอบ (การแบ่งสัดส่วนเท่าๆ กันจะมีผลทำให้ แรงที่ Line Stop น้อยที่สุด)
3. จงคำนวณหา Friction Loads ดังรูปข้างล่าง



ตอบ (ศูนย์)