

การวิเคราะห์หาค่าความเค้นในท่อเอ็กซ์แพนชันลูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Stress Analysis of Expansion loop Using Finite Element Method

สมเกียรติ ไข่มุสิก^{1*} และ จำลอง ปราบแก้ว¹

1 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

E-mail :kpchamlo@kmitl.ac.th, Tel: 02-3298350-1

* ติดต่อ E-mail: kh.somkiat@yahoo.com, Tel: 091-886-1665

บทคัดย่อ

การออกแบบระบบท่อที่ใช้งานในสภาวะอุณหภูมิและความดันสูงอย่างเช่น ท่อไอน้ำในโรงงานผลิตไฟฟ้า ท่อจะขยายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงและจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง ถ้าปลายท่อถูกจับยึดทั้งสองข้าง การขยายตัวและการหดตัวอาจทำให้ระบบท่อพังเสียหายเนื่องจากค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงเกินกว่าค่าความเค้นอนุญาตของวัสดุที่ใช้ทำท่อได้ ซึ่งการแก้ปัญหาการขยายตัวของระบบท่อดังกล่าวสามารถใช้ข้อต่อแบบขยายตัว (Expansion joints) หรือการติดตั้งท่อโค้งที่เรียกว่าเอ็กซ์แพนชันลูป (Expansion Loops) เพื่อรองรับการขยายตัวและการหดตัวของท่อได้ การใช้เอ็กซ์แพนชันลูปราคาถูกจะถูกกว่าการใช้ข้อต่อแบบขยายตัว การออกแบบหาขนาดของเอ็กซ์แพนชันลูปจะถูกกำหนดอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME B31.1 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบท่อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานผลิตไฟฟ้า ก่อนหน้านี้ได้มีผู้นำเสนอวิธีการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในเอ็กซ์แพนชันลูปหลายวิธีอย่างเช่น วิธี Tube turns วิธี Grinnell เป็นต้น แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือวิธีของ Kellogg และต่อมาได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใช้ในการคำนวณหาขนาดของเอ็กซ์แพนชันลูปหลายรายอย่างเช่น โปรแกรม CAESAR II สำหรับบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าความเค้น, โมเมนต์และแรงที่กระทำกับเอ็กซ์แพนชันลูปของวิธีการคำนวณของ M.W. Kellogg โดยได้ทำการศึกษาจากแบบจำลอง 3 มิติของท่อแบบ Three-dimensional-horizontal loop โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและขนาดความหนาของท่อ และคำนวณผลเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS WORKBENCH ผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันตามข้อกำหนด ASME B31.1 ที่ใช้การออกแบบระบบท่อ

คำหลัก: ความเค้นและความยืดหยุ่น, ขยายตัวทางความร้อน, ASME B31.1

Abstract

Designing of piping which they are operating in extreme high temperature and pressure condition such as steam pipes in power plants. Pipes can expand when temperatures has raised in high and will shrink when the temperature drops. If the pipe is clamped and fixed on either side. The expansion and contraction can cause pipeline damage due to the stresses exceed the allowable stress of the material used to make pipes. The solution to the expansion of the pipeline system can be used an Expansion joints or installing a pipe Expansion Loops to support the expansion and the shrinkage of the pipe line. By using the expansion loops are cost cheaper than using expansion joints. The designing of the expansion loop must be designed with in provisions of the standard ASME B31.1, which is the standard used in the design of steam pipes in power plants. Previously, a presenter shows how to calculate the stresses in the expansion loops in several ways. Such as Tube turns method and Grinnell method, but the most used and effective method is the Kellogg's. And later, computer developers have developed several programs which were used to calculate the size of expansion

loops, such as CAESAR II. This article presents a method of how to calculate the stress and momentum of force acting on the expansion loop with the method of calculation of M.W. Kellogg by study from the Three-dimensional-horizontal loop from modifying the temperature and pipe size. As the results of the studied were used to compared with Finite Element by program ANSYS, which results are consistent along together.

Keywords: stress, flexibility, thermal expansion, ASME B31.1.

1. บทนำ

การออกแบบท่อเพื่อใช้งานกับของไหลที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เช่น ท่อไอน้ำในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าหรือท่อที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จะทำให้ท่อขยายตัว ส่งผลให้แรงและโมเมนต์ที่กระทำกับท่อมีค่าสูงขึ้นจนอาจเป็นสาเหตุทำให้ท่อเกิดความเสียหายได้ เช่น ท่อบิดโค้งงอ, ฉนวนหุ้มท่อฉีกขาด หรือ จุดจับยึดท่อพังเสียหาย ซึ่งการแก้ไขปัญหามาจากการขยายตัวของท่อด้วยการออกแบบให้ระบบท่อมีความยืดหยุ่น ซึ่งมีหลักอยู่สองประการคือ ทำท่อโค้งรองรับการขยายตัว (Expansion loop) หรือติดตั้งข้อต่อแบบขยายตัว (Expansion joint) หรือถ้าเป็นการวางท่อในแนวตั้งก็อาจติดตั้งสปริง (Spring support) รองรับการขยายตัวของท่อได้ การติดตั้งท่อโค้งรองรับการขยายตัวของท่อ (Expansion loop) ได้รับความนิยมนิยมนักออกแบบเป็นอย่างมากเพราะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการติดตั้งข้อต่อรองรับการขยายตัว การออกแบบท่ออีกphenชั้นลูปให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับการขยายตัวของท่อได้นั้นจึงต้องมีการศึกษาวิจัย จึงทำให้มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดกับท่อ โดย Gaurav Bhende, Girish-Tembhare [1] ได้อธิบายแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการหาค่าความยืดหยุ่น, ค่าความเค้นหนาแน่นตามสมการที่ระบุไว้ใน ASME B31 และตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับสมการคำนวณหาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นตาม ASME B31 โดยวิเคราะห์ค่าความเค้นหนาแน่นข้อต่อรูปตัวที เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีสอดคล้องกันและสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของท่อมีผลต่อค่าความยืดหยุ่นและค่าความเค้นหนาแน่นในท่อตามสมการ ASME B31, Andrzej Banaszek, Radovan Petrovic and Bartlomiej Zylinski. [2] ได้วิเคราะห์ expansion loop ชนิด “U” เป็นท่อที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกความดันสูง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 130x30 mm เหล็ก

คาร์บอน 52.4 โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าท่อมีค่าความเค้นและความยืดหยุ่นสูงสุดที่จุด elbow 90 และนักวิจัย João Pedro Amaral Vidigal da Silva.[3] ได้พัฒนาวิธีการคำนวณในการวิเคราะห์ expansion loop โดยกำหนด $W=1/2H$ คำนวณจากโปรแกรม CAESAR II ตาม ASME B31 เปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณการขยายตัวของความร้อนด้วยวิธีของ Spielvogel และ Grinnell พบว่าค่าความยืดหยุ่นจาก CAESAR II น้อยที่สุด ค่าความแตกต่าง 44 % สำหรับบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าความเค้น, โมเมนต์และแรงที่กระทำกับอีกphenชั้นลูปของวิธีการคำนวณของ M.W. Kellogg และคำนวณผลเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS WORKBENCH โดยได้ทำการศึกษาจากแบบจำลอง 3 มิติของท่อแบบ Three-dimensional-horizontal loop วิธีการนำเสนอนี้จะช่วยการออกแบบระบบท่อที่มีความแม่นยำและสะดวกรวดเร็วมากขึ้น โดยที่ค่าความปลอดภัยยังอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐานสากล

2. ทฤษฎี

2.1 มาตรฐานระบบท่อ

สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานในการออกแบบระบบท่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยโดยแบ่งออกเป็นหลายมาตรฐานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานแต่ละประเภทเช่นมาตรฐาน ASME B31.1 Power Piping สำหรับระบบท่อที่ใช้ในโรงงานผลิตไฟฟ้าหรือโรงงานกลั่นน้ำมันที่ใช้ไอน้ำเป็นของไหล โดยมีค่าความปลอดภัยประมาณ 3.5 [4] ASME B31.3 Process Piping สำหรับระบบท่อที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน เช่น โรงงานปิโตรเคมีโดยมีค่าความปลอดภัยประมาณ 3.0 [5]

2.2 การหาความหนาท่อ

$$\text{Thickness, } t_m = \frac{PD_o}{2SE_q + PY} + A \quad (1)$$

t_m = ความหนาน้อยสุดที่ต้องการ

P = ความดันภายในที่ใช้ออกท่อ

D_o = ความหนาภายนอกท่อ

S = ค่าความเค้นอนุญาติที่อุณหภูมิที่ใช้ออกแบบท่อ

Y = coefficient of material

A = allowance corrosion

E_q = quality factor

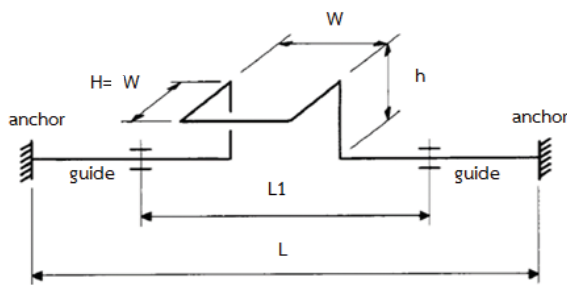
2.3 การหาขนาดแฉีกเพนชั้นลูป

จากรูปที่ 1 ความยาว Bend Length (L_2) เป็นส่วนหนึ่งของท่อที่ใช้ในการรองรับการขยายตัวทางความร้อน คำนวณได้จากสมการ [6]

$$L_2 = \sqrt{\frac{3E_h D \Delta}{S_A}} \quad (2)$$

เมื่อ E_h เป็นโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่อุณหภูมิใช้งาน, D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของท่อ, S_A เป็นความเค้นการขยายตัวอนุญาติ และกำหนดให้

$$L_2 = 2H + W \quad (3)$$



รูปที่ 1 Three-dimensional-horizontal loop

2.4 ทฤษฎีการขยายตัวทางความร้อน

ระบบท่อส่วนใหญ่ทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการติดตั้ง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะนำไปสู่การขยายตัวทางความร้อนของท่อการขยายตัวทางความร้อนของวัสดุ คำนวณด้วยสมการต่อไปนี้ [6]

$$\Delta = \alpha L \quad (4)$$

α = สัมประสิทธิ์การขยายความร้อนของท่อ

L = ความยาวท่อ

2.5 ทฤษฎีความเค้นการขยายตัว

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นจะกระทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างผลรวมของความเค้นเฉือนที่เกิดจากแรงบิดและความเค้นดัด [6]

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + S_t^2} \quad (5)$$

S_t = ความเค้นบิด (Torsion stress)

$$S_t = \frac{M_T}{2Z} \quad (6)$$

S_b ความเค้นดัด (Bending Stress)

$$S_b = \frac{\beta M_b}{Z} \quad (7)$$

M_t = โมเมนต์บิด

M_b = โมเมนต์ดัด

Z = โมดูลัสหน้าตัด

β = แฟกเตอร์ค่าความเค้นหนาแน่น

2.6 ความเค้นอนุญาติ (Allowable stress)[5]

$$S_A = f(1.25 S_c + 0.25 S_h) \quad (8)$$

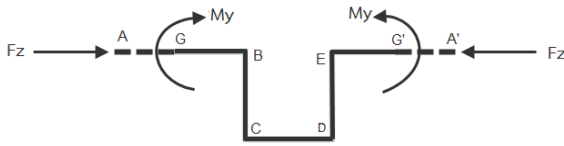
S_c = เป็นความเค้นเค้นอนุญาติที่อุณหภูมิการติดตั้ง

S_h = ความเค้นอนุญาติที่อุณหภูมิใช้งาน

2.7 ทฤษฎีแรงและโมเมนต์

พิจารณาแรงจากการขยายตัวของท่อเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามแนวแกน Z ที่จุดยึดทั้งสองข้าง (FZ) และพิจารณาโมเมนต์จากการขยายความร้อนของท่อที่เกิดแนวแกน Y ที่จุดยึด Guide (MY) โดยแรงและ

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นมีค่าความปลอดภัยจากแรงภายนอก 33% [6]



รูปที่ 2 Free Body Diagram

$$F_{zA} = -F_{zA'} = \frac{-10^6 A_1 \Delta}{L^3} \quad (9)$$

$$M_G = -M_{G'} = \frac{-10^5 A_2 \Delta}{L^2} \quad (10)$$

Δ = Deflection

L = ระยะระหว่างจุด Guide - Guide

I = โมเมนต์เฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด

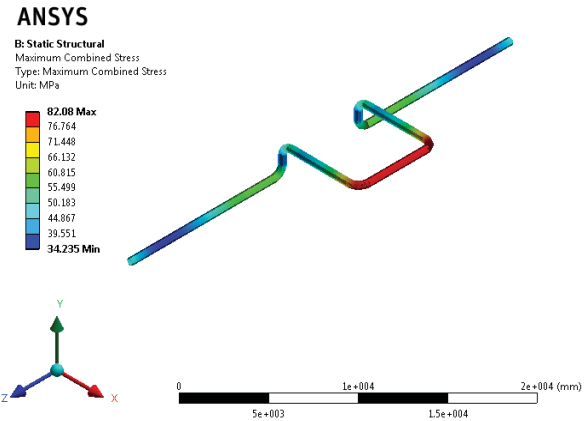
2.8 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาด้านวิศวกรรมซึ่งหากใช้การคำนวณเพียงตัวเลขอย่างเดียวจะทำให้ไม่สามารถเห็นผลลัพธ์ที่ออกมาได้ และบางวิธีต้องใช้ในการคำนวณด้วยมือ ซึ่งมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ปัญหาด้านวิศวกรรม ดังนั้นหากใช้วิธีการ FEM ในการเขียนโปรแกรมและใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ จะทำให้สะดวกและง่ายต่อการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมและยังสามารถแสดงเป็นกราฟฟิคออกมาได้อีกด้วย [8] ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กระบวนการดังนี้

1. การ Pre-Processing เป็นการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และกำหนดข้อมูลทางกายภาพ และกำหนดภาระที่กระทำกับแบบจำลองโดยมีหลายลักษณะให้กับแบบจำลองเพื่อทำการประมวลผล
2. การ Solve-Processing เป็นส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดผลลัพธ์ที่ต้องการวิเคราะห์ผล

3. การ Post-Processing เป็นการแสดงการวิเคราะห์ที่ได้ออกมาในลักษณะของภาพกราฟฟิค

4.การวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3 แบบจำลอง 3 มิติ Three-dimensional-horizontal loop

สร้างแบบจำลอง 3 มิติของท่อแบบ Three-dimensional-horizontal loop โดยใช้ท่อขนาด 20 นิ้วที่ทำจากวัสดุ ASTM-A335-P11 alloy steel, อุณหภูมิติดตั้งภายนอก 22 °C กำหนดให้อุณหภูมิใช้งานภายในท่อ 200, 300, 400 °C และความดันที่ใช้ออกแบบ 4.5 MPa และความหนาต่อตาม Schedule number 40, 60 และ 80 โดยคำนวณหาความยาวแฉีกเพนซ์นูลูป (L_2) จากวิธีการคำนวณของ M.W. Kellogg, และคำนวณแรงที่กระทำที่จุดจับยึด (Anchor), โมเมนต์กระทำที่จุดประคองให้ท่อขยายตัวในแนวนอน (Guide) และค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench แล้วนำผลคำนวณค่าความเค้น, โมเมนต์, และแรง ไปเปรียบเทียบกับที่ได้จากวิธีการคำนวณของ M.W. Kellogg แสดงในตารางที่ 1

3. ผลการวิเคราะห์

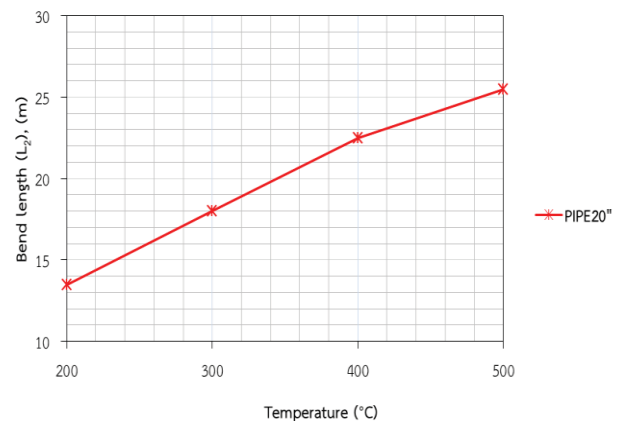
ตารางที่ 1 ตารางผลการวิเคราะห์แรง, โมเมนต์ และความเค้น จาก FEA เทียบกับทฤษฎี M.W. Kellogg

ข้อมูล								ผลการวิเคราะห์					
								Kellogg			FEA		
Temp. (°C)	L (m)	L ₁ (m)	L ₂ (m)	W(m)	H(m)	h(m)	Schedule	F _{Az} (kN)	M _{Gy} (kN-m)	S _A (MPa)	F _{Az} (kN)	M _{Gy} (kN-m)	S _E (MPa)
200	30	8	13.5	4.5	4.5	2	40	172.71	370.10	132.85	137.95	246.76	82.28
							60	229.61	492.02	132.85	176.86	324.26	73.14
							80	281.42	603.05	132.85	223.11	401.42	66.65
300	30	10	18	6	6	2	40	137.95	349.45	121.52	107.80	229.16	82.08
							60	176.86	464.56	121.52	138.79	307.12	72.62
							80	223.11	569.40	121.52	176.69	388.13	66.55
400	30	12	22.5	7.5	7.5	2	40	83.27	297.40	112.22	82.85	223.21	78.29
							60	110.70	395.37	112.22	106.89	295.09	68.92
							80	135.69	484.59	112.22	135.16	371.30	62.51
500	30	14	25.5	8.5	8.5	2	40	75.33	304.90	108.57	74.70	195.45	78.21
							60	100.14	405.33	108.57	96.50	265.80	68.90
							80	122.74	496.80	108.57	122.09	337.89	62.51

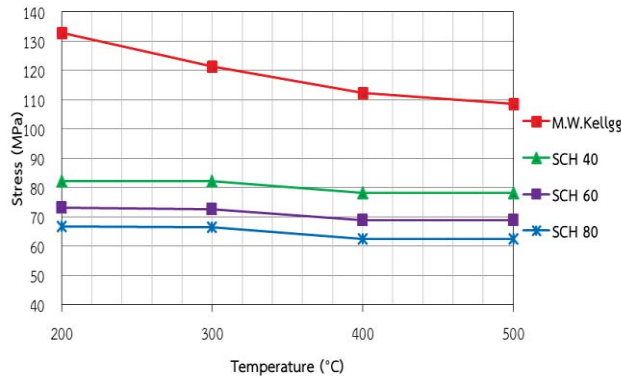
3.1 กราฟจากการวิเคราะห์ด้วย FEA และทฤษฎีของ M.W Kellogg

รูปที่ 4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวแอ็กเพนชันลูป (L₂) กับอุณหภูมิเท่ากับ 200, 300, 400 °C และ 500 °C เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการขยายของท่อ (α) เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นความยาวแอ็กเพนชันลูป (L₂) ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวไม่ให้สูงเกินกว่าค่าความเค้นอนุญาตของวัสดุที่ใช้ทำท่อ รูปที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดจากการขยายตัวของท่อที่ความหนาต่อเท่ากับ Schedule number 40, 60 และ 80 และที่อุณหภูมิเท่ากับ 200, 300, 400 °C และ 500 °C, ความยาวแอ็กเพนชันลูปเท่ากับ L₂ เห็นได้ว่า เมื่อความหนาต่อเพิ่มขึ้นค่าความเค้นสูงสุด (S_E) จากการขยายตัวจะลดลง และเมื่อเทียบค่าความเค้นสูงสุดจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นอนุญาตจากทฤษฎีของ M.W. Kellogg เห็นได้ว่า ความเค้นสูงสุดที่คำนวณได้ไม่เกินค่าความเค้นอนุญาต (S_E < S_A) ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASME B31.1 รูปที่ 6 – 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและโมเมนต์จากการขยายตัวของท่อเทียบกับ Schedule Number 40, 60 และ 80 และความยาวแอ็กเพนชันลูปเท่ากับ L₂ โดยรูปที่ (ก) เป็นผลการคำนวณจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และรูปที่ (ข) เป็น

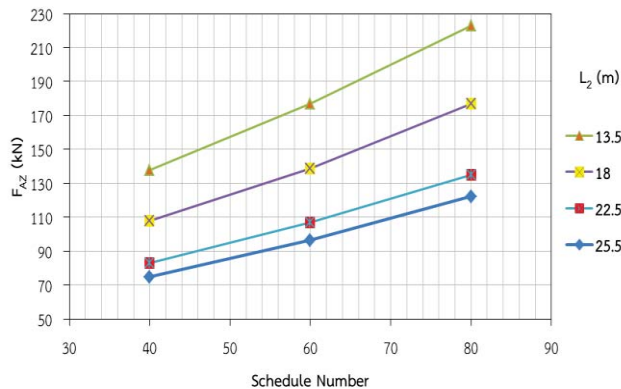
ผลการคำนวณจากวิธีทฤษฎีของ M.W. Kellogg จากรูปที่ 6(ก) - 6(ข) เห็นได้ว่า เมื่อมีความหนาต่อเพิ่มขึ้นแรงที่เกิดจากการขยายตัวกระทำที่จุดยึด Anchor ในแนวแกน Z เพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 7(ก) - 7(ข) พบว่า เมื่อมีความหนาต่อเพิ่มขึ้นโมเมนต์ที่เกิดจากการขยายตัวกระทำที่จุดยึด Guide ในแนวแกน Y เพิ่มขึ้น เนื่องจากท่อมีค่าโมเมนต์เฉื่อย (Moment of Inertia) มีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากท่อมีค่าโมเมนต์เฉื่อย (Moment of Inertia) มีค่ามากขึ้น จึงทำให้แรงและโมเมนต์ที่เกิดจากการขยายตัวของท่อมีค่าเพิ่มขึ้น



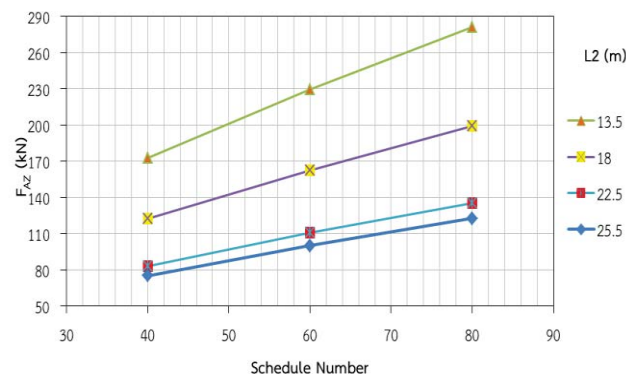
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวแอ็กเพนชันลูป(L₂) กับอุณหภูมิ



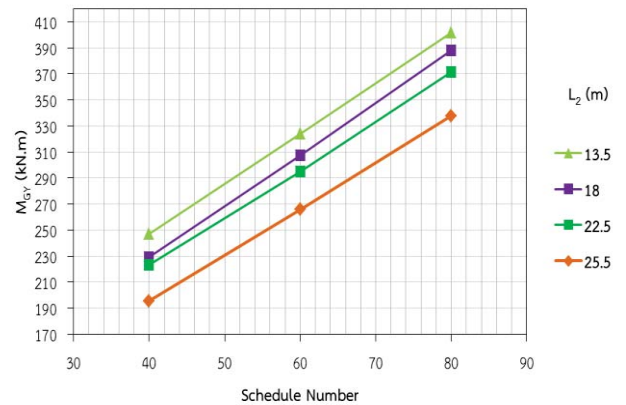
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดจากการขยายตัวกับความหนาที่ต่อตาม Schedule number 40, 60 และ 80 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 200, 300, 400 °C และ 500 °C, จาก FEA เทียบกับค่าความเค้นสูงสุดจากการขยายตัวจากทฤษฎี M.W. Kellogg และค่าความเค้นอนุญาตจาก ASME B31.1



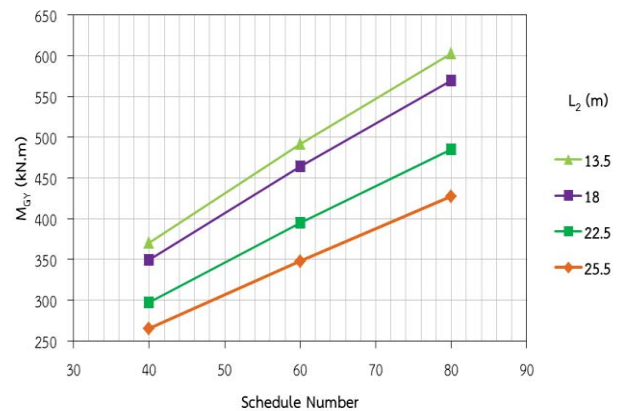
รูปที่ 6(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงจากการขยายตัวกับ Schedule Number เท่ากับ 40, 60 และ 80 ที่เกิดขึ้นในแนวแกน Z ที่จุดยึด Anchor จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 6(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงจากการขยายตัวกับ Schedule Number เท่ากับ 40, 60 และ 80 ที่เกิดขึ้น ในแนวแกน Z ที่จุดยึด Anchor จากทฤษฎี M.W. Kellogg



รูปที่ 7(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์จากการขยายตัวกับ Schedule Number เท่ากับ 40, 60 และ 80 ที่เกิดขึ้นในแนวแกน Y ที่จุดยึด Guide จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 7(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์จากการขยายตัวกับ Schedule Number เท่ากับ 40, 60 และ 80 ที่เกิดขึ้นในแนวแกน Y ที่จุดยึด Guide จากทฤษฎี M.W. Kellogg

4. สรุปผล

จากการนำทฤษฎีของ M.W. Kellogg มาใช้ในการออกแบบขนาดของเอ็กสเฟนชันลูป แล้วนำไปคำนวณด้วยจากวิธีคำนวณด้วย FEA ซึ่งได้ผลการคำนวณค่าความเค้น, โมเมนต์และแรงที่กระทำกับเอ็กสเฟนชันลูปสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของความยาวเอ็กสเฟนชันลูป

($L_2=2H+W$), อุณหภูมิ และขนาดความหนาต่อ คือ เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นการขยายตัวของท่อจะมากขึ้น ขนาดความยาวเอ็กซ์แพนชันลูป (L_2) จะเพิ่มขึ้นเพื่อลดความเค้นที่เกิดจากการขยายตัวทางความร้อนไม่ให้ความเค้นที่เกิดขึ้นสูงเกินกว่าค่ากำหนดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ และเมื่อขนาดความยาวเอ็กซ์แพนชันลูป (L_2) และขนาดความหนาต่อเพิ่มขึ้น ทำให้แรงและโมเมนต์เนื่องจากเกิดการขยายตัวที่กระทำกับท่อเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความเค้นที่กระทำกับท่อลดลง และจากการเปรียบเทียบผลของแรง, และโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี FEA เทียบกับทฤษฎีของ M.W. Kellogg ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และจากการเปรียบเทียบค่าความเค้น (S_E) ที่ได้จากวิธีคำนวณด้วย FEA ไม่เกินค่าความเค้นอนุญาต S_A จากทฤษฎีของ M.W. Kellogg ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนด ASME B31.1 ที่ใช้การออกแบบระบบท่อ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัดมหาชน
ที่ให้การสนับสนุนงานข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gaurav Bhende¹, Girish Tembhare² “Stress Intensification & Flexibility in Pipe Stress Analysis” Department of Mechanical Engineering, VJTI, Mumbai, India Vol.3, Issue.3, May-June. 2013 pp-1324-1329 ISSN: 2249-6645
- [2] Andrzej Banaszeka, Radovan Petrovicb and Bartlomiej Zylinski c “Finite element method analysis of pipe material temperature changes influence on line expansion loops”
a.Faculty of Maritime Technology, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland,
b.Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo, University of Kragujevac, Serbia,
c.Strata Ma rine & Off shore AS, Oslo, Nor way
Year 2011, Vol. 15, No. 1, pp. 81-90
- [3] João Pedro Amaral Vidigal da Silva “Development of calculation methodologies for

the design of piping systems” Mechanical Engineering Department, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

[4] ASME B31.1 (2004) Power Piping. ASME, American Society of Mechanical Engineers.

[5] ASME B31.3 (2004) Process Piping. ASME, American Society of Mechanical Engineers.

[6] Kellogg, The M.W., Company (1956) Design of Piping Systems, 2nd ed., New York, John Wiley & Sons.

[7] Sam Kannappan, P.E. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*, John Wiley & Sons, New York. .

[8] วิทยา สงวนวรรณ. การวิเคราะห์โครงสร้างด้วย NX CAE. สมุทรปราการ: เอนจิเนียร์แอนด์คิเตคพลัส.