

## ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงคิงในท่อน้ำมันขณะติดตั้งแบบตัวเอส โดยใช้สมการแคทีนารี

### ข. 1. ข้อมูลการคำนวณเบื้องต้น

แสดงตัวอย่างค่าแรงดึงที่น้ำมันในทะเลระหว่างการติดตั้งท่อแบบเอส โดยใช้วิธีสมการแกทีนารี ท่อขนาด 6 นิ้ว ที่ความลึกน้ำ 60 เมตร โดยใช้ข้อมูลท่อและคุณสมบัติท่อ ดังแสดงในตารางที่ ข. 1.

ตารางที่ ข. 1 ข้อมูลขนาดท่อและน้ำหนักท่อ [27]

NPS [Note (1)] in.	Customary Units			STD,XS,XXS [Note (2)]	Schedule No.	DN [Note (3)]
	Outside Diameter in.	Wall Thickness in.	Plain End Mass, lb/ft			
6	6.625	0.375	25.05	...	...	150
8	8.625	0.375	33.07	xs	40	200
10	10.75	0.500	54.79	xs	60	250
12	12.75	0.625	81.01	xs	60	300
16	16	0.625	102.72	...	...	400
20	20	0.625	201.28	...	...	600

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับป้อนค่าคำนวณ

Parameter	Symbol	Unit	Value
Pipe Data;			
Nominal Outside Diameter	OD	mm	323.9
Pipe wall thickness	$t_w$	mm	15.88
Corrosion allowance	CA	mm	neglect
Pipe density	$\rho_{steel}$	$kg/m^3$	7850
Coating data;			
External coating thickness	$T_{con}$	mm	neglect
External coating density	$\rho_{cor}$	$kg/m^3$	neglect
Concrete coating density	$\rho_{con}$	$kg/m^3$	neglect
Sea Data;			
Minimum water depth	WD	m	60
Sea water density	$\rho_{sea}$	$kg/m^3$	1025
Soil Data;			
Soil Type	-	-	Rock
Soil density	$\gamma_s$	$N/m^3$	neglect
Grain size	-	m	neglect
Undrained shear strength	Su	Pa	neglect
Trench depth	$Z_{tr}$	m	0
Trench side angle	$\theta_{tr}$	deg	0
Other Constant;			
Young's Modulus of Elasticity	$E$	GPa	207
Passion Ratio	$\nu$	-	0.3
Steel grade X52-yield(Sec.7 B300 Table 7-5)	$F_y$	MPa	358
The gravitational constant	$g$	$\frac{m}{s^2}$	9.807
Coefficient of Thermal Expansion	$\alpha_T$	$^{\circ}C$	neglect

## ข. 2 การคำนวณแรงดึงต่อน้ำมันบริเวณโค้งงาย

การคำนวณไม่คำนึงถึงขนาดเริ่มต้นความหนาคอนกรีตหุ้มท่อ, วัสดุป้องกันการกัด, วัสดุหุ้มทุกประเภท

### ข.2.1 การคำนวณค่าเริ่มต้นของท่อ

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

$$\begin{aligned} ID &= OD - 2t_w \\ &= 0.168 - (2 \times 0.0095) \\ &= 0.229m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{st} &= 7850 \frac{kg}{m^3} \\ t_w &= 0.375in \ t_w \end{aligned}$$

### ข.2.2 คำนวณน้ำหนักของท่อ

พื้นที่หน้าตัดเหล็ก (Cross sectional area of the steel pipe)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi}{4} [(OD)^2 - (ID)^2] \\ &= \frac{\pi}{4} (0.168^2 - 0.149^2) \\ &= 4.75 \times 10^{-3} m^2 \end{aligned}$$

พื้นที่หน้าตัดท่อ (Overall cross-sectional area)

$$\begin{aligned} A_{all} &= \frac{\pi}{4} OD^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 0.168^2 \\ &= 0.022m^2 \end{aligned}$$

น้ำหนักท่อในน้ำ

$$\begin{aligned} W_s &= P_{st} \cdot g \cdot A_s - P_w \cdot g \cdot A_{all} \\ &= 7850 \times 9.81 \times 4.75 \times 10^{-3} \times 0.022 \\ &= 142.145 \frac{N}{m} \end{aligned}$$

คำนวณค่าความหนาแน่นของเหล็กเทียบเท่า

$$\begin{aligned}
 P_{ep} &= \frac{w}{A_s \cdot g} \\
 &= \frac{142.145}{[4.75 \times 10]^{-3} \times 9.81} \\
 &= 3051.292 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

ข.2.3 คำนวณแรงดึงท่อนแนบราบ และรูปร่างของท่อบริเวณโค้งงาย

ค่าความลึกน้ำทะเล

$$d_{stinger} = 60_m$$

ความลึกจุดตัดกลับท่อบ จากโปรแกรม ABAQUS

$$d_{inf} = 10.1901m$$

คำนวณค่าความลึกช่วงโค้งงาย

$$\begin{aligned}
 d &= d_{stinger} - d_{inf} \\
 &= 49.81m
 \end{aligned}$$

ค่าแรงดึงท่อบริเวณเริ่มต้น จากโปรแกรม ABAQUS

$$\begin{aligned}
 T &= 127052N \\
 &= 12.956 \text{ tonnef}
 \end{aligned}$$

คำนวณแรงดึงท่อบริเวณที่จุดสัมผัสพื้นทะเล

$$\begin{aligned}
 H &= T - w \cdot d \\
 &= 127052 - 142.145 \times 60 \\
 &= 12.234 \cdot \text{tonnet}
 \end{aligned}$$

รูปร่างของท่อบริเวณโค้งงาย ที่แกน (x, y) ใดๆ

$$y(x) = \frac{H}{w} \left( \cosh \left( \frac{w \cdot x}{H} \right) - 1 \right)$$

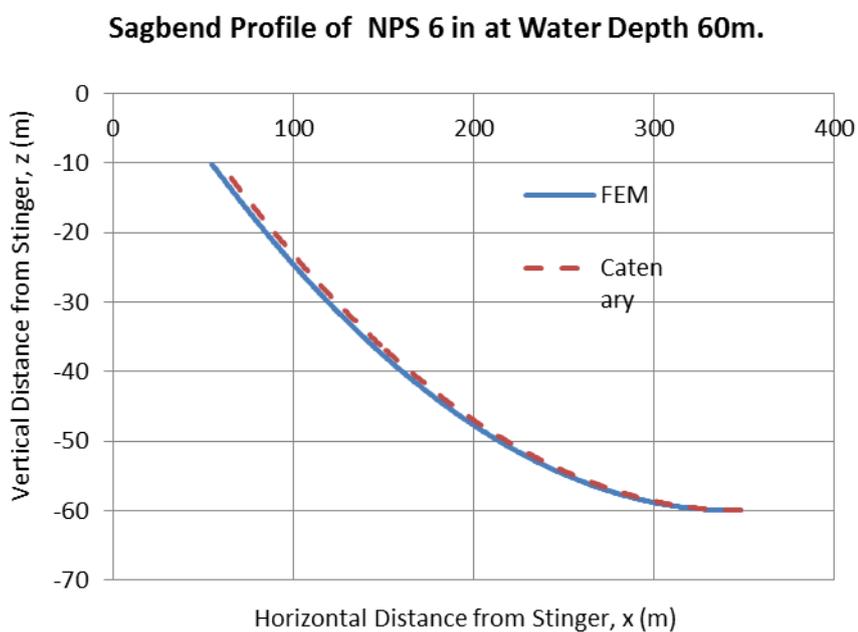
เมื่อกำหนดให้

$$\begin{aligned} x &= 400m \\ f(x) &= y(x) - d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{top} &= \text{root}(f(x), x) \\ &= 288.558m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} xx &= 0m, 1m \dots X_{top} \\ y(x_{top}) &= 49.81m \end{aligned}$$

จากนั้นนำผลมาเขียนกราฟ



รูปที่ ข.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปร่างสำหรับท่อ 6 นิ้ว ที่ความลึกน้ำ 60 เมตร บริเวณโค้งงาย

ข.2.4 คำนวณการกระจายตัวของโมเมนต์ในท่อ

โมเมนต์ความเฉื่อยของท่อ  $I = 0.15 \times 10^{-4} m^4$

(จากตารางที่ 3.6 ในบทที่ 3)  $E = 201 \text{ GPa}$

น้ำหนักท่อในน้ำ

$$W_s = 142 \text{ N/m}$$

คำนวณหาค่ารัศมีความโค้งของท่อ

$$R = \frac{H}{w_s} \cosh^2\left(\frac{w_s \times x}{H}\right)$$

เมื่อระยะในแนวราบ  $x = 0$  ที่จุดสัมผัสพื้นทะเล

ค่าระยะแนวราบที่จุดตัดกลับท่อเพื่อนำค่าไปเขียนกราฟ

$$X_{inf.} = 60.2 \text{ m}$$

$$X_{TDP} = 348.2 \text{ m}$$

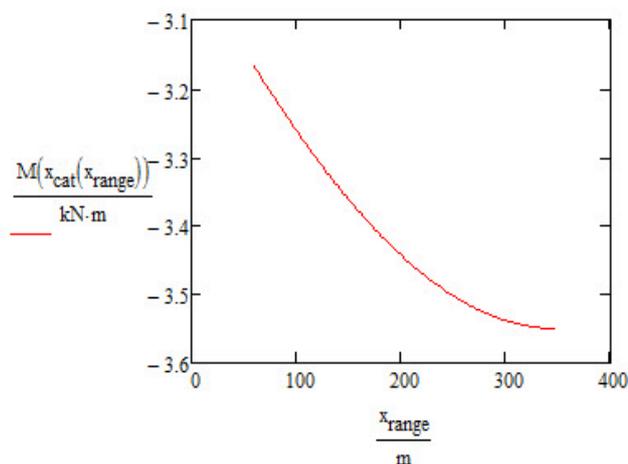
$$X_{cat}(X) = X_{TDP} - X$$

$$X_{rang} = X_{int}, (X_{int} + 2m) \dots X_{TDP}$$

คำนวณหาโมเมนต์ช่วงโค้งห่างจากสมการ

$$M = \frac{EI}{R}$$

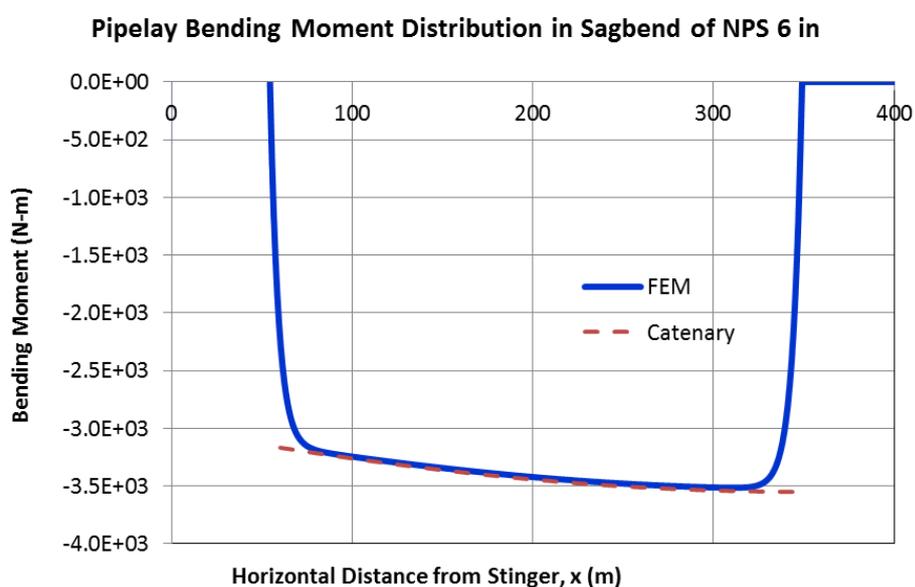
ใช้โปรแกรม Mathcad ช่วยในการคำนวณหาค่าระยะแนวราบที่จุดตัดกลับท่อและค่าโมเมนต์ตัดท่อ ดังแสดงในรูปที่ ข.2 และ ข.3 ตามลำดับ



รูปที่ ข.2 โปรแกรม Mathcad ช่วยในการคำนวณหาค่าระยะแนวราบที่จุดตัดกลับท่อ

$x_{range} =$	$M(x_{cat}(x_{range})) =$
60.2 m	$-3.168 \cdot 10^3$ N·m
62.2	$-3.173 \cdot 10^3$
64.2	$-3.177 \cdot 10^3$
66.2	$-3.182 \cdot 10^3$
68.2	$-3.187 \cdot 10^3$
70.2	$-3.192 \cdot 10^3$
72.2	$-3.197 \cdot 10^3$
74.2	$-3.201 \cdot 10^3$
76.2	$-3.206 \cdot 10^3$
78.2	$-3.211 \cdot 10^3$
80.2	$-3.216 \cdot 10^3$
82.2	$-3.22 \cdot 10^3$
84.2	$-3.225 \cdot 10^3$
86.2	$-3.23 \cdot 10^3$
88.2	$-3.234 \cdot 10^3$
...	...

รูปที่ ข.3 โปรแกรม Mathcad ช่วยในการคำนวณหาค่าระยะแนวราบที่จุดดัดกลับท่อและโมเมนต์ดัด จากนั้นนำค่าไปเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายโมเมนต์ดัดสำหรับท่อ 6 นิ้ว ที่ความลึกน้ำ 60 เมตร บริเวณโค้งหงาย

จากรูป ข.1 และ ข.4 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของท่อโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีสมการแคทีนารีพบว่ารูปร่างของท่อในส่วนโค้งหงายของท่อขนาด 6 นิ้ว มีความโค้งใกล้เคียงกันมาก จะเห็นได้ว่าวิธีสมการแคทีนารีสามารถใช้ในการวิเคราะห์แรงดึงและรูปร่างของท่อขนาด 6 นิ้วได้