ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณท่อเหล็กใต้ดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,500 มม.จากแรงแผ่นดินไหว ในจังหวัดกำแพงเพชร ที่ PGA=0.15g Mw = 7.5 ระยะทางจากจุดกำเนิด 50-100 Km

<u>การคำนวณค่าความเครียดจากแรงใช้งาน (Operation Strain)</u>

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงภายใน (Longitudinal Strain due to internal pressure)

ค่าพารามิเตอร์ในกรณีต่างๆสามารถดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4

$$\varepsilon_p = \frac{S_p}{E}\left[1+\frac{n}{1+r}\right]\left(\frac{S_p}{\sigma_y}\right)^r$$

$$\varepsilon_p = \frac{35.40}{2x10^5}\left[1+\frac{10.189}{1+83.614}\right]\left(\frac{35.40}{230}\right)^{83.614}$$

$$\varepsilon_p = 0.00177$$

ค่าแรงดันภายในท่อ S_p สามารถหาได้จาก

เมื่อ P = 3 Mpa , D = 1.5 m. , t = 0.0191 m. และค่า μ = 0.3

$$S_p = \frac{PD\mu}{2t}$$

$$S_p = \frac{3x1.5x0.3}{2x0.0191}$$

$$S_p = 35.34 \quad \text{Mpa}$$

ความเครียดที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการ (Longitudinal Strain due to temperature chance)

$$\varepsilon_t = \frac{S_r}{E}\left[1+\frac{n}{1+r}\right]\left(\frac{S_r}{\sigma_y}\right)^r$$

$$\varepsilon_t = \frac{7.20}{2x10^5}\left[1+\frac{10.189}{1+83.614}\right]\left(\frac{7.20}{230}\right)^{83.614}$$

$$\varepsilon_t = 0.000036$$

ค่า Stress in pipe, S_r สามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงคำนวณได้จาก

เมื่อ T_2 =25 C °, T_2 =28 C°

$$S_r = E\alpha t(T_2 - T_1)$$

$$S_r = 2x10^5 \, x \, 12x10^{-6}(28-25)$$

$$S_r = 7.2 \qquad \text{Mpa}$$

ค่าความเครียดจากแรงใช้งาน ε_{oper}

$$\varepsilon_{oper} = \varepsilon_p + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_{oper} = 0.000177 + 0.000036 \quad = 0.000213$$

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัว (Permanent Ground Deformation , PGD)

ค่าความเครียดจากการเคลื่อนตัวในแนวท่อ (Longitudinal Permanent Ground Deformation)

Ground movement parallel to pipe axis δ^l = 2 m.

Length of permanent ground displacement zone L = 100 m.

I_p importance factor (จากตารางที่ 2.5) = 1.5

$$\delta^l design = \delta^l * I_p = 2x1.5 = 3.00 \quad \text{m.}$$

กรณีที่ 1 Controller by Length

$$\varepsilon_l = \frac{t_u L}{2\pi DtE}\left[1+\frac{n}{1+r}\left(\frac{t_{uL}}{2\pi DtE}\right)\right]^r$$

$$\varepsilon_l = \frac{153.35x100}{2\pi x0.0191x\,2x10^5}\left[1+\frac{10.189}{1+83.614}\left(\frac{153.35x100}{2\pi x0.0191x\,2x10^5}\right)\right]^{83.614}$$

$$\varepsilon_l = 0.00043$$

ค่าแรงเสียดทานต่อความยาวท่อ t_u สามารถหาได้ดังนี้

$$t_u = \pi Dc\,\alpha + \pi DH\gamma\left(\frac{1+K_0}{2}\right)\tan(f\phi)$$

เมื่อ Coefficient of cohesion, c = 30 kPa

α = Adhesion factor คำนวณจาก $0.608 - 0.123c - \frac{0.274}{c^2+1} + \frac{0.695}{c^3+1}$

$$0.608 - (0.123x30) - \frac{0.274}{30^2+1} + \frac{0.695}{30^3+1}$$

$$\alpha = 0.9965$$

H	= dept of pipe centerline + cover D/2 = 5+1.5/2	= 5.75	m.
K_0	= coeffient of pressure at rest	$= 1 + \sin\phi$	
ϕ	= Internal friction angle of soil	$= 30^\circ$	
f	=ค่าแรงเสียดทาน friction factor	= 0.7	

$$t_u = \pi x 1.50 x 30 x 0.9965 + \pi x 1.50 x 5.75 x 16\left(\frac{1+0.5}{2}\right)\tan 21$$

$t_u = 153.35$ kN/m.

<u>กรณีที่ 2 Controller by ground movement</u>

$$\varepsilon_l = \frac{t_{uL_e}}{2\pi DtE}\left[1 + \frac{n}{1+r}\left(\frac{t_{uL_e}}{2\pi DtE}\right)\right]^r$$

$$\varepsilon_l = \frac{153.35 x 835}{2\pi x 1.50 x 0.0191 x 2x10^5}\left[1 + \frac{10.189}{1+83.614}\left(\frac{153.35 x 835}{2\pi x 1.50 x 0.0191 x 2x10^5}\right)\right]^{83.614}$$

$$\varepsilon_l = 0.00356$$

โดยค่า L_e หาได้จาก

$$\delta^l \, design = \frac{t_{uL_e}}{\pi DtE}\left[1+\left(\frac{n}{1+r}\right)\left(\frac{2}{2+r}\right)\left(\frac{t_{uL_e}}{\pi Dt\sigma_y}\right)\right]^r$$

$$3 = \frac{153.35_{L_e}}{\pi x 1.50 x 0.0191 x\, 2 x 10^5}\left[1+\left(\frac{10.189}{1+83.614}\right)\left(\frac{2}{2+83.614}\right)\left(\frac{153.35_{L_e}}{\pi x 1.50 x 0.0191 x 230}\right)\right]^{83.614}$$

แก้สมการได้ $L_e = 835$ m.

ค่าความเครียดจากการเคลื่อนที่ของดินตามแนวท่อ

$$\varepsilon_{l-pgd} = \varepsilon_{oper} + \varepsilon_l$$

$$\varepsilon_{l-pgd} = 0.000213 + 0.00356$$

$$\varepsilon_{l-pgd} = 0.00377$$

ค่าความเครียดจากการเคลื่อนตัวในตั้งฉากกับท่อ (Transverse Permanent Ground Deformation) โดยใช้ค่าความเครียดสูงสุดจาก 2 กรณี

<u>กรณีที่ 1</u>

$$\varepsilon_t = \pm\frac{\pi D\,\delta^t \, design}{W^2}$$

เมื่อ $\delta^t_{design} = \delta^t * I_p = 2x1.5 = 3.00$ m.

แทนค่า $$\varepsilon_t = \pm \frac{\pi x 1.50 x 3}{20^2}$$

$$\varepsilon_t = \pm 0.03534$$

<u>กรณีที่ 2</u>

$$\varepsilon_t = \pm \frac{P_u W^2}{3\pi EtD^2}$$

แทนค่า $$\varepsilon_t = \pm \frac{409.86 x 20^2}{3\pi x 0.0191 x 2x10^5 x 1.5^2}$$

$$\varepsilon_t = \pm 0.00202$$

เมื่อค่า P_u สามารถหาได้จาก

$$P_u = N_{ch} * cD + N_{qh}\gamma HD$$

โดยค่า N_{ch} และค่า N_{qh} สามารถคำนวณได้จาก

$$N_{ch} = a_1 + b_1 x + \frac{c_1}{(x+1)^2} + \frac{d_1}{(x+1)^3}$$

x = ค่าสัมประสิทธ์ระหว่าง $\frac{H}{D}$ เท่ากับ $\frac{5.75}{1.5} = 3.833$

a_1, b_1, c_1, d_1 = ค่าตัวประกอบ (กำหนดไว้ในตารางที่ 2.6)

แทนค่า $$N_{ch} = 6.752 + 0.0065 x 3.833 + \frac{-11.063}{(3.833+1)^2} + \frac{7.119}{(3.833+1)^3}$$

$$N_{ch} = 6.5907$$

$$N_{qh} = a_1 + b_1 x + c_1 x^2 + d_1 x^3 + e_1 x^4$$

a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 = ค่าตัวประกอบ (กำหนดไว้ในตารางที่ 2.6)

แทนค่า

$$N_{qh} = 4.565 + 1.234 x 3.833 + \left(-0.089 x 3.833^2\right) + 0.004275 x 3.833^3 + \left(-0.00009159 x 3.833^4\right)$$

$$N_{qh} = 8.2086$$

ดังนั้น $$P_u = 6.5907 x 30 x 1.50 + 8.2086 x 16 x 5.75 x 1.50$$

$$P_u = 409.86 \quad \text{kN/m.}$$

ค่าความเครียดจากการเคลื่อนที่ของดินตามแนวตั้งฉากกับท่อ

$$\varepsilon_{t-pgd} = \varepsilon_{oper} + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_{l-pgd} = 0.000213 + 0.03534$$

$$\varepsilon_{l-pgd} = 0.03556$$

<u>การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงลอยตัว (Buoyancy due to Liquefaction)</u>

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_{bf}}{E}\left[1 + \frac{n}{1+r}\right]\left(\frac{\sigma_{bf}}{\sigma_y}\right)^r$$

$$\varepsilon_b = \frac{217.52}{2x10^5}\left[1 + \frac{10.189}{1+83.614}\right]\left(\frac{217.52}{230}\right)^{83.614}$$

$$\varepsilon_b = 0.00109$$

แรงดัดสูงสุดที่เกิดจากแรงลอยตัวสามารถหาได้จาก

$$\sigma_{bf} = \frac{F_b L_b^2}{10Z}$$

$$\sigma_{bf} = \frac{7.01x\,100^2}{10x0.03248}$$

เมื่อ Z = Section modulus ของท่อ และค่า L_b เท่ากับ 100 เมตร

$$Z = \frac{\pi}{32}\left[\frac{D^4 - (D-2t)^4}{D}\right]$$

$$Z = \frac{\pi}{32}\left[\frac{1.50^4 - (1.50-2x0.00191)^4}{1.50}\right]$$

$$Z = 0.03248 \qquad \text{m.}^3$$

แรงดันสุทธิต่อหน่วยความยาวของท่อสามารถหาได้จาก

$$F_b = \frac{\pi D^2}{4}(\gamma_{sat} - \gamma_{content}) - \pi Dt\,\gamma_{pipe}$$

$$F_b = \frac{\pi x\,1.50^2}{4}(18-10) - \pi x 1.50 x 0.0191 x 78.60$$

$$F_b = 7.0663 \qquad \text{kN/m.}$$

ค่าความเครียดจากแรงลอยตัวเนื่องจาก Liquefaction

$$\varepsilon_{b-Li} = \varepsilon_{oper} + \varepsilon_b$$

$$\varepsilon_{b-Li} = 0.000213 + 0.00109$$

$$\varepsilon_{b-Li} = 0.00130$$

<u>การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นจากผลของการแพร่ของคลื่นแผ่นดินไหว (Design for Seismic Wave Propagation)</u>

$$\varepsilon_a = \frac{V g}{\alpha_\varepsilon C} \leq \frac{t u \lambda}{4AE}$$

$$\varepsilon_a = \frac{56.0}{1x500} \leq \frac{135.35x100}{4x0.089x\,2x10^5}$$

$$\varepsilon_a = 0.00112 \leq 0.00216$$

เมื่อ C = ค่าความเร็วของการแพร่กระจายของคลื่น R-waves (ใช้ 0.5 km/s)

λ = ความยาวของคลื่นแผ่นดินไหวที่พื้นผิวดินใช้ 1.0 กิโลเมตร

A = Cross sectional area

$$A = \frac{\pi}{4}\left(D^4 - (D-2t)^2\right)$$

$$A = \frac{\pi}{4}\left(1.50^4 - \left(1.50-(2x0.0191)\right)^2\right)$$

$A = 0.089$ m.^{2}

ค่าออกแบบ Peak ground velocity สามารถหาได้ดังนี้

$$V g = PGV * I p$$

$V_g = 37.20x1.50$ m/s

$V_g = 55.80$ m/s

ที่ความรุนแรงของแผ่นดินไหวน้อย PGA at ground = 0.15 g

Soil class D Peak ground acceleration Ground amplification factor (Ig)= 1.6 (จากตารางที่ 2.9)

PGA at Ground = 1.6x0.15 = 0.24 g

ที่ M_w 7.5 และระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว = 50-100 km

PGV/PGA = 155 (จากตารางที่ 2.8)

PGV = PGA x 155 = 155 x 0.24g = 37.2 m/s

ค่าความเครียดจากเนื่องจากการแพร่ของคลื่นแผ่นดินไหว

$$\varepsilon_{a-wave} = \varepsilon_{oper} + \varepsilon_a$$

$$\varepsilon_{a-wave} = 0.000213 + 0.00112$$

$$\varepsilon_{a-wave} = 0.00133$$

Allowable strain in for steel pipe

ค่าความเครียดที่ยอมให้จากแรงอัดในกรณีของการเคลื่อนตัวของดิน (PGD)

$$\varepsilon_{c-pgd} = 0.88\frac{t}{R}$$

แทนค่า $$\varepsilon_{c-pgd} = 0.88\frac{0.0191}{0.75}$$

$$\varepsilon_{c-pgd}=0.02241$$

ค่าความเครียดที่ยอมให้จากแรงอัดในกรณีของการแพร่ของคลื่นแผ่นดินไหว (Seismic Wave Propagation)

$$\varepsilon_{c-wave}=0.75\left[0.5\frac{t}{D'}-0.0025+3000\left(\frac{PD}{2ET}\right)\right]^2$$

$$\varepsilon_{c-wave}=0.75\left[0.5\frac{0.0191}{1.6241}-0.0025+3000\left(\frac{3x1.50}{2x0.0191x2x10^5}\right)\right]^2$$

$$\varepsilon_{c-wave}=0.00332$$

เมื่อ

$$D'=\frac{D}{1-\left(D-D_{min}\right)\frac{3}{D}}$$

$$D'=\frac{1.50}{1-\left(1.50-\left(0.0191x2\right)\right)\frac{3}{1.50}}$$

$$D'=1.6241$$

The allowable strain in tension

$$0.25\,\varepsilon_u=0.25x0.15=0.0375$$

Check for Safety

Total strain for continuous pipeline should be less than allowable strain

$$\varepsilon_{oper} + \varepsilon_{seismic} \leq \varepsilon_{allowable}$$

Case		Maximum strain in pipe		Allowable strain in pipe		Safe/Unsafe
		Tension	Compression	Tension	Compression	
1.PGD	Longitudinal	0.00377	0.00356	0.0375	0.02241	Safe.
	Transverse	0.03556	0.03534	0.0375	0.02241	Unsafe
2.Seismic wave		0.00133	-	0.0375	0.00332	Safe.
Propagation						
3.Liquefaction		0.00130	0.00109	0.0375	0.02241	Safe.