

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ผลจากการศึกษานี้ สามารถจำแนกตามผลตามขนาดของท่อ คือการประเมินท่อเหล็กใต้ดินขนาดขนาด $\varnothing$ 600 มม. และ ขนาด $\varnothing$ 800 มม. ที่ใช้วิธีการขุดวางที่ความลึก 2.50 เมตร และท่อขนาด $\varnothing$ 1,000 มม. , $\varnothing$ 1,200 มม และขนาด $\varnothing$ 1,500 มม. ใช้วิธีคันลวดที่ความลึก 5.00 เมตร การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นรวมทั้งผลการประเมินความเครียดที่ยอมรับให้จะใช้ตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005 ดังที่อธิบายในบทที่ 2 และ 3 การคำนวณประกอบด้วยการหาค่าความเครียดจากการใช้งาน และที่เกิดจากผลของแผ่นดินไหว

4.1 ผลการคำนวณค่าความเครียดใช้งาน (Operation Strain)

การคำนวณความเครียดใช้งานที่เกิดขึ้นในท่อเหล็ก คือความเครียดที่เกิดจากความดันภายในท่อ และจากอุณหภูมิการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงคำนวณตามวิธีที่กำหนดตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005 ซึ่งในการศึกษานี้ได้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในท่อเหล็กขนาด $\varnothing$ 600 มม. ขนาด $\varnothing$ 800 มม.ขนาด $\varnothing$ 1,000 มม. , $\varnothing$ 1,200 มม และขนาด $\varnothing$ 1,500 มม. ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงใช้งานตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

ขนาดท่อเหล็ก (มม.)	ความเครียดจากแรงดันภายใน Strain internal pressure (1)	ความเครียดจากอุณหภูมิ Strain temperature chance (2)	ความเครียดใช้งานรวม Operation strain (1)+(2)
$\varnothing$ 600 มม.	0.00012	0.00002	0.00015
$\varnothing$ 800 มม.	0.00014	0.00002	0.00017
$\varnothing$ 1,000 มม.	0.00018	0.00004	0.00021
$\varnothing$ 1,200 มม.	0.00018	0.00004	0.00021
$\varnothing$ 1,500 มม.	0.00018	0.00004	0.00021

ผลการคำนวณความเครียดใช้งานที่เกิดขึ้นสำหรับท่อขนาด $\varnothing$ 600 มม. ถึง ขนาด $\varnothing$ 1,500 มม.ทั้งแบบขุดวางที่ความลึก 2.50 ม. และแบบคันลวดที่ความลึก 5.00 ม. ที่แรงดันภายในเท่ากับ 3 Mpa. อุณหภูมิ 25 °C ถึง 32 °C พบว่าความเครียดมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับวัสดุท่อเหล็กตามมาตรฐานของการประปานครหลวง หรือตาม ALA-ASCE 2005

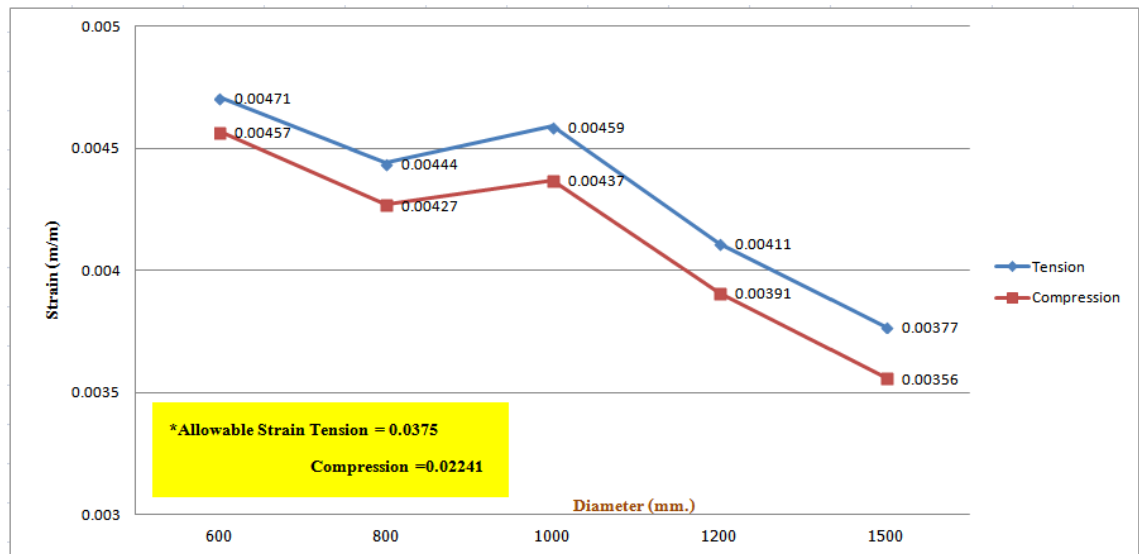
4.2 ผลการคำนวณค่าความเครียดจากการทรุดตัว (Permanent Ground Displacement)

การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณโครงสร้างท่อเหล็กใต้ดินตั้งตามแนวยาว และแนวตั้งฉาก ตามวิธีที่กำหนดตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005 ตามตารางที่ 4.2

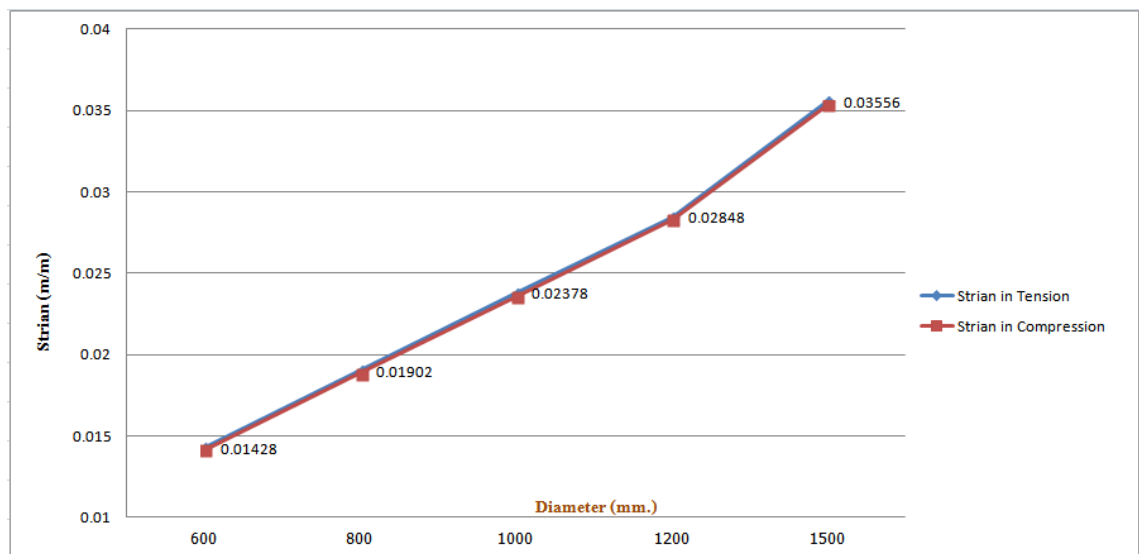
ตารางที่ 4.2 ความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัวของดินตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

ขนาดท่อเหล็ก (mm)	Strain in Pipe Longitudinal PGD		Strain in Pipe Transverse PGD	
	Tension	Compression	Tension	Compression
Ø 600 มม.	0.00471	0.00457	0.01428	0.01414
Ø 800 มม.	0.00444	0.00427	0.01902	0.01885
Ø 1,000 มม.	0.00459	0.00437	0.02378	0.02356
Ø 1,200 มม.	0.00411	0.00391	0.02848	0.02827
Ø 1,500 มม.	0.00377	0.00356	0.03556	0.03534

ผลค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัวตามแนวยาวพบว่าความเครียดทั้งแรงอัดและแรงดึงจะมีค่าลดลงตามขนาดท่อที่ใหญ่ขึ้นและความหนาที่เพิ่มขึ้นของวัสดุท่อเหล็กดังรูปที่ 4.1 สำหรับความเครียดตามแนวตั้งฉากทั้งแรงอัดและแรงดึงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของท่อเหล็กใต้ดินมีขนาดใหญ่และความหนามากขึ้นเนื่องจากมีน้ำหนักท่อที่มากขึ้นกับน้ำหนักของดินหลังที่กดทับทำให้น้ำหนักแบกทานสูงขึ้นมีผลต่อค่าความเครียดให้มีค่าสูงขึ้น โดยความเครียดทั้งแรงอัดและแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.2

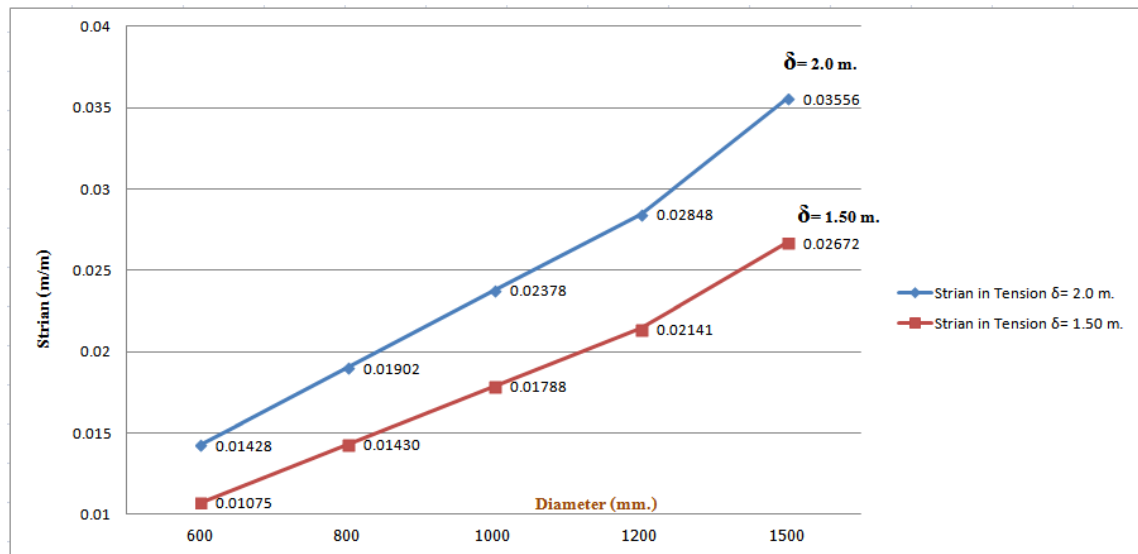


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเครียดที่เกิดขึ้นในกรณี Longitudinal PGD



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเครียดที่เกิดขึ้นในกรณี Transverse PGD

สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นทั้งแนวยาว และแนวตั้งฉากก็คือค่า δ เป็นค่าการทรุดตัวที่ใช้ในการคำนวณกำหนดไว้ที่ 2 m. (ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4.2) ถ้าบริเวณก่อสร้างสามารถปรับปรุงชั้นดินสำหรับวางท่อเหล็กได้ดินหรือวางในชั้นดินที่แข็งก็สามารถลดค่า δ ในการคำนวณลงได้อีกจะทำให้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นลดลงได้อีกตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่ δ ลดลงเหลือ 1.50 m. จะได้ค่าความเครียดลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเครียดที่เกิดขึ้นในกรณี Transverse PGD เมื่อค่าเปลี่ยนแปลงจาก 2.0 m. เป็น 1.50 m.

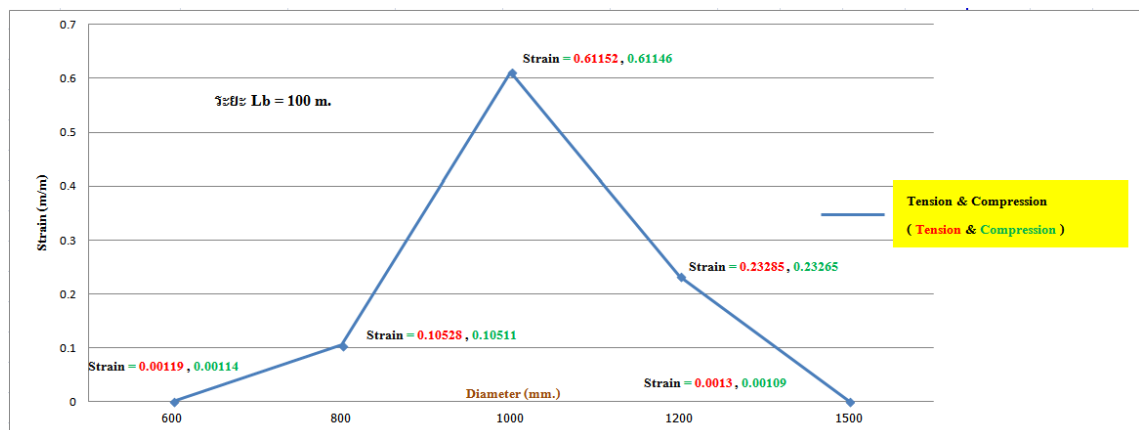
4.3 ผลการคำนวณค่าความเครียดจากแรงลอยตัว (Buoyancy due to liquefaction)

ตามที่ได้อธิบายไว้ความเครียดจากแรงลอยตัวจะเกิดเฉพาะกรณีที่มี Liquefaction ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ท่อเหล็กติดตั้งอยู่บนชั้นทรายที่อ่อนไหวต่อการเกิด Liquefaction ในกรณีนี้สมมุติให้สามารถเกิด Liquefaction ได้ การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงลอยตัวตามวิธีที่กำหนดตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005 ได้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในท่อเหล็กขนาด $\varnothing$ 600 มม. ขนาด $\varnothing$ 800 มม. ขนาด $\varnothing$ 1,000 มม. , $\varnothing$ 1,200 มม และขนาด $\varnothing$ 1,500 มม. ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงลอยตัวตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

ขนาดท่อเหล็ก (mm)	Effect of Buoyancy dye to Liquefaction	
	Tension	Compression
Ø 600 มม.	0.00119	0.00104
Ø 800 มม.	0.10528	0.10511
Ø 1,000 มม.	0.61152	0.61146
Ø 1,200 มม.	0.23285	0.23265
Ø 1,500 มม.	0.00130	0.00109

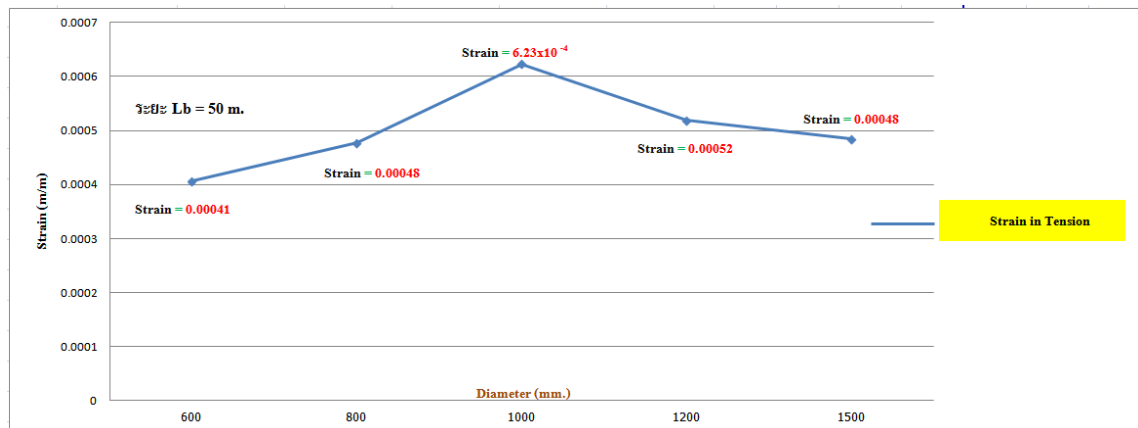
จากผลการคำนวณความเครียดจากแรงลอยตัวในชั้นทรายอ่อนเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหวมีผลกับแนววางท่อใกล้กับน้ำใต้ดิน ท่อเหล็กใต้ดินจะเกิดความเสียหายมากจากแรงลอยตัวที่ดันขึ้นมาจากชั้นดินหรือชั้นทรายที่เปลี่ยนแปลงสภาพกระทำตามแนวเส้นท่อเหล็กใต้ดินที่ระยะความยาวพิจารณา (L_b) คือ 100 m. โดยแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเครียดที่เกิดขึ้นในกรณี Buoyancy dye to Liquefaction ในชั้นทรายอ่อน

จะเห็นได้ว่าเมื่อโครงสร้างท่อเหล็กใต้ดินวางในชั้นดินที่เสี่ยงต่อผลของแรงลอยตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของชั้นดินหรือทรายเป็นของไหลระยะทางในการวางท่อควรจะต้องคำนึงถึงแนวทางป้องกันเป็นอันดับแรก

วิธีการที่สามารถลดผลกระทบได้คือการลดระยะการวางท่อให้สั้นลงการลดค่า (L_b) จะทำให้ผลของค่าความเครียดลดลงไปด้วยดังรูปที่ 4.5 พบว่าการลดระยะ (L_b) จาก 100 m. เป็น 50 m. ค่าความเครียดจากแรงดึงลดลงไปอย่างมาก



รูปที่ 4.5 ค่าความเครียดที่เปลี่ยนแปลงกรณี Buoyancy dye to Liquefaction ในชั้นทรายอ่อนสำหรับการวางท่อที่มีความยาวต่างๆ

4.4 ผลการคำนวณค่าความเครียดจากคลื่นแผ่นดินไหว (Seismic Wave Propagation)

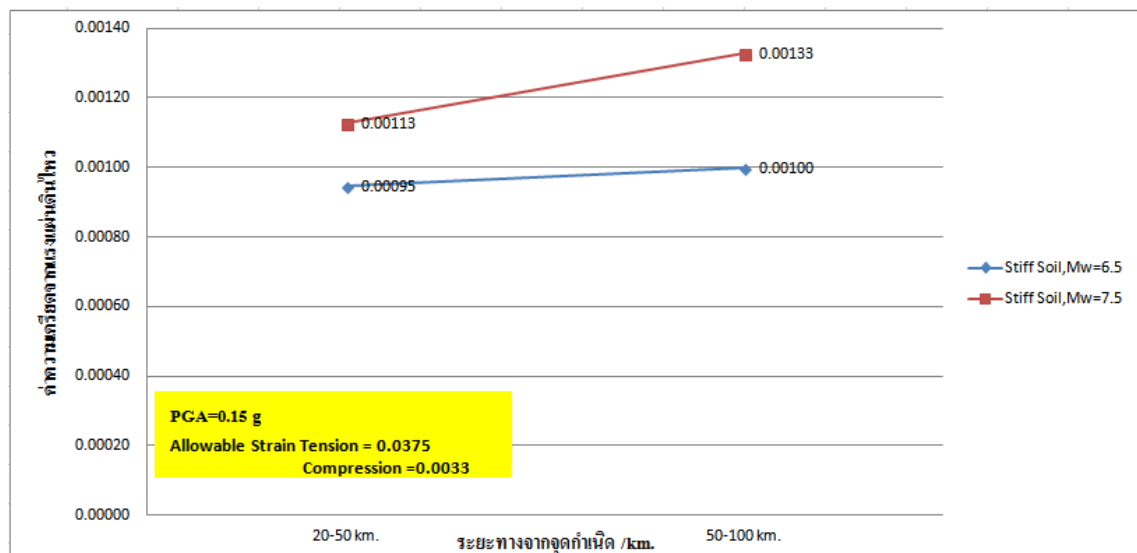
การคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้นจากคลื่นแผ่นดินไหวนั้นตามวิธีที่กำหนดใน ALA-ASCE 2005 ได้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในท่อเหล็กขนาด Ø 600 มม. ขนาด Ø 800 มม. ขนาด Ø 1,000 มม. , Ø 1,200 มม และขนาด Ø 1,500 มม. สำหรับความรุนแรง 3 ระดับ น้อย ปานกลาง และรุนแรงมาก ในพื้นที่ต่างๆกันตามสมมุติฐานได้ดังนี้

ก) ระดับความรุนแรงน้อยจังหวัดกำแพงเพชร ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.4

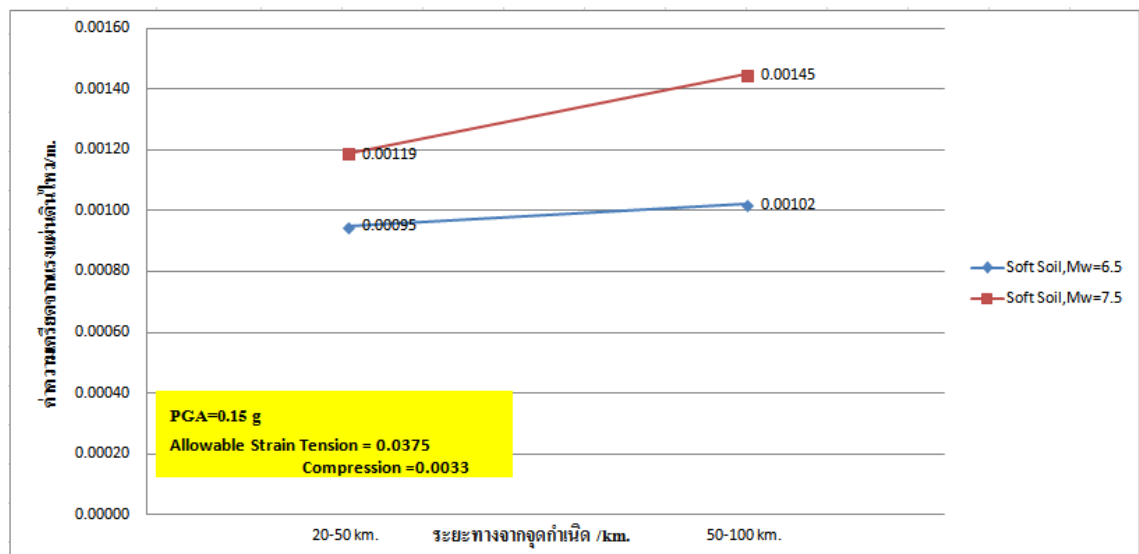
ตารางที่ 4.4 ความเครียดจากคลื่นแผ่นดินไหวความรุนแรงน้อยตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

Soil Class	Mw	Tension	Tension	PGA
		Distance 20-50 (km)	Distance 50-100 (km)	
Stiff Soil	6.5	0.00095	0.00100	0.15g
	7.5	0.00113	0.00133	
Soft Soil	6.5	0.00095	0.00102	
	7.5	0.00119	0.00145	

ผลของการแพร่จากแรงแผ่นดินไหวเป็นความเครียดจากแรงดึง (Tension) ที่เกิดขึ้นกับท่อเหล็กพบว่า ไม่ได้รับผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับความรุนแรงน้อยที่ 0.15g ทั้งชั้นดิน Stiff Soil และชั้นดิน Soft Soil โดยสามารถแสดงเป็นกราฟค่าความเครียดที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงน้อย, (PGA=0.15g) ในชั้นดิน Stiff Soil



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงน้อย, (PGA=0.15g) ในชั้นดิน Soft Soil

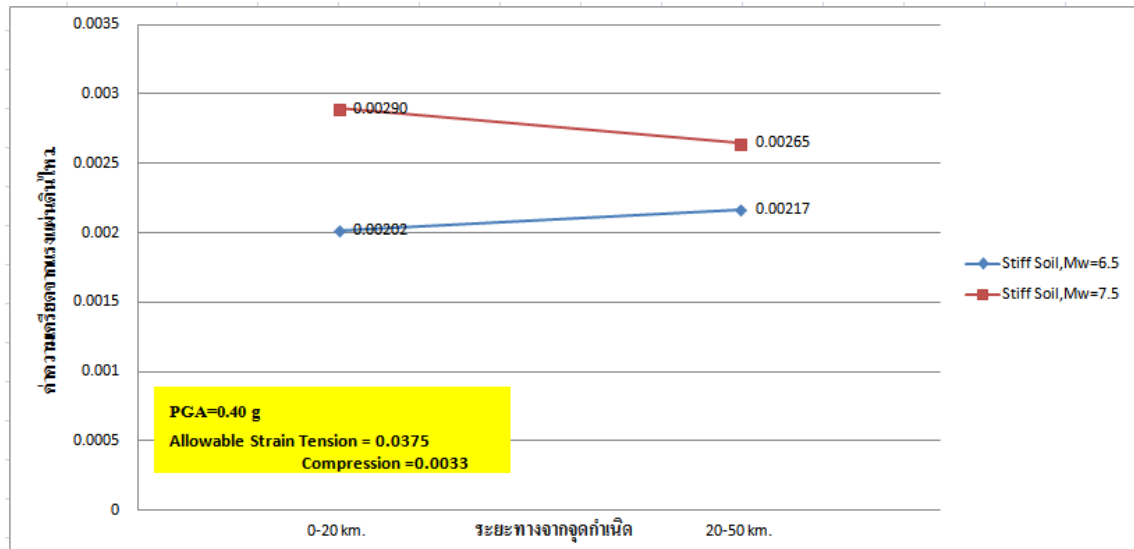
ข) ระดับความรุนแรงปานกลางจังหวัดกาญจนบุรี ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเครียดจากคลื่นแผ่นดินไหวความรุนแรงปานกลางตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

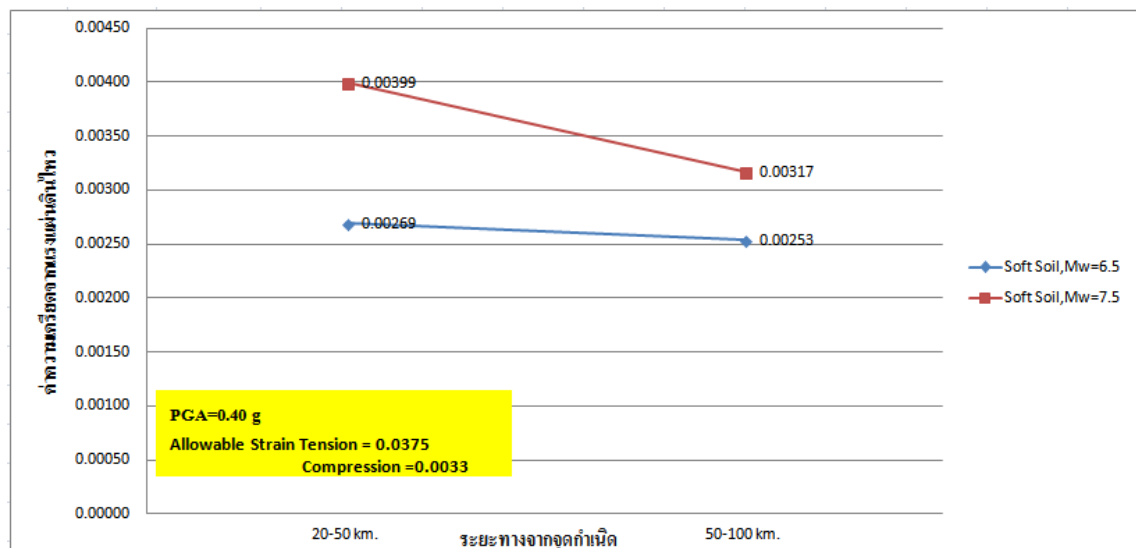
Soil Class	Mw	Tension	Tension	PGA
		Distance 0-20 (km)	Distance 20-50 (km)	
Stiff Soil	6.5	0.00202	0.00217	0.40g
	7.5	0.00290	0.00265	
Soft Soil	6.5	0.00269	0.00253	
	7.5	0.00399	0.00317	

ผลของการแพร่จากแรงแผ่นดินไหวในระดับความรุนแรงปานกลางที่ 0.40g พบว่ายังมีผลกระทบกับท่อเหล็กใต้ดินทั้งชั้นดินแบบ Stiff Soil และสำหรับชั้นดิน Soft Soil มีผลกระทบจากความเครียด

เนื่องจากแรงอัด (Compression) ในกรณี $M_w = 7.5$ ที่มีระยะจากจุดกำเนิด 0-20 km. โดยแสดงเป็นกราฟความเครียดที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงปานกลาง (PGA=0.40g) ในชั้นดิน Stiff Soil



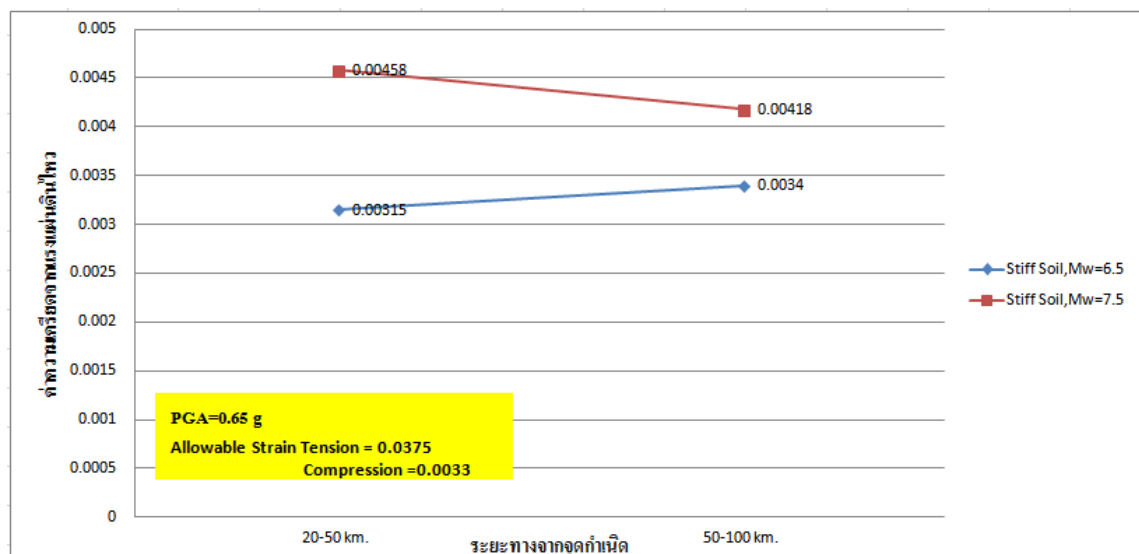
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงปานกลาง (PGA=0.40g) ในชั้นดิน Soft Soil

ค) ระดับความรุนแรงมากจังหวัดแพร่ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.6

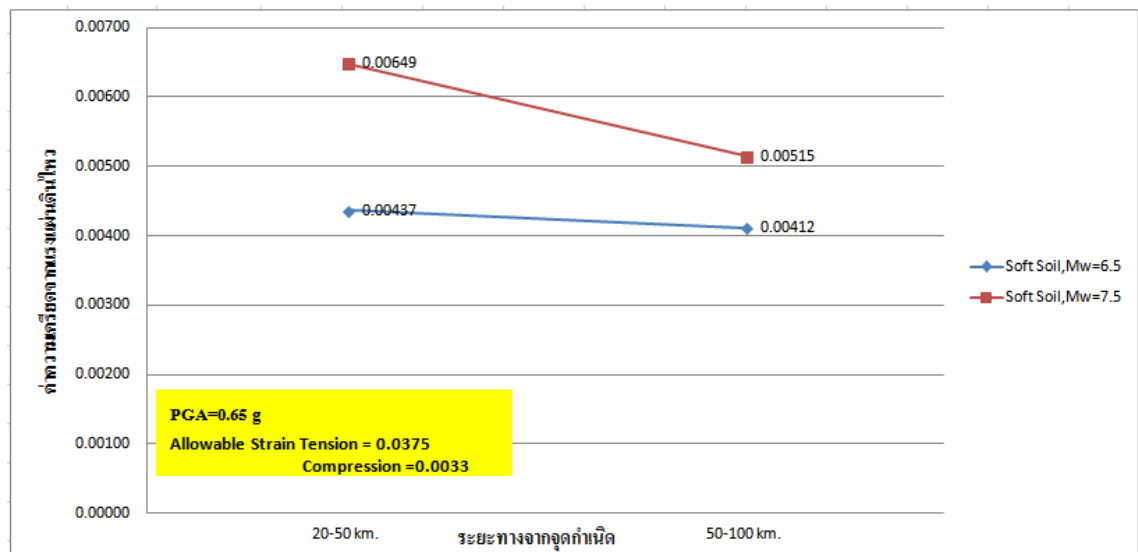
ตารางที่ 4.6 ความเครียดจากคลื่นแผ่นดินไหวความรุนแรงสูงตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

Soil Class	Mw	Tension	Tension	PGA
		Distance 0-20 (km)	Distance 20-50 (km)	
Stiff Soil	6.5	0.00315	0.00340	0.65g
	7.5	0.00458	0.00418	
Soft Soil	6.5	0.00437	0.00412	
	7.5	0.00649	0.00515	

ผลของการแพร่จากแรงแผ่นดินไหวในระดับความรุนแรงมากที่ 0.65g พบว่าส่งผลกระทบต่อเหล็กใต้ดิน ที่ $M_w = 6.5$ และ $M_w = 7.5$ ทั้งชั้นดินแบบ Stiff Soil และชั้นดิน Soft Soil ได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากแรงอัด (Compression) ยกเว้นกรณี $M_w = 6.5$ ระยะจากจุดกำเนิด 0-20 km. ในชั้น Stiff Soil ที่ยังคงปลอดภัยจากการแพร่ของแรงแผ่นดินไหว โดยแสดงเป็นกราฟความเครียดที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงมาก (PGA=0.65g) ในชั้นดิน Stiff Soil



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความเครียดจากแรงแผ่นดินไหวระดับความรุนแรงมาก (PGA=0.65g) ในชั้นดิน Soft Soil

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากผลของการแพร่ของคลื่นแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อน และในพื้นที่จากการศึกษาใน 3 จังหวัด กำแพงเพชร กาญจนบุรี และจังหวัดแพร่ ที่มีค่า PGA, PGV และระยะทางจากจุดเกิดแผ่นดินไหวที่ต่างกันค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากตามค่า PGA ที่เพิ่มขึ้นตามความรุนแรงระยะทางจากจุดกำเนิด และการตอบสนองของชั้นดินที่พิจารณา

จากผลการคำนวณค่าความเครียดสามารถแสดงเป็นค่าความเครียดสูงสุดทั้งจากแรงใช้งานและจากแผ่นดินไหวที่แบ่งตามความรุนแรงทั้ง 3 ระดับ แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางค่าความเครียดสูงสุดจากแรงใช้งานและแผ่นดินไหวเปรียบเทียบกับค่าความเครียดที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005

	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	0.6 m.	0.8 m.	1.0 m.	1.20 m.	1.50 m.
	$\mathcal{E}_{oper}$	0.00015	0.00017	0.00021	0.00021	0.00021
$\mathcal{E}_{oper}$ + $\mathcal{E}_{seismic}$	LPGD	0.00471	0.00444	0.00459	0.00411	0.00377
	TPGD	0.01428	0.01902	*0.02378	*0.02848	*0.03556
	Liquefaction	0.00119	*0.10528	*0.61152	*0.23285	0.0013
	Max Seismic Wave					
	Stiff Soil 0.15g	0.00133	0.00133	0.00133	0.00133	0.00133
	Stiff Soil 0.40g	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
	Stiff Soil 0.65g	0.00458	*0.00458	*0.00458	*0.00458	*0.00458
	Soft Soil 0.15g	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145
	Soft Soil 0.40g	0.00399	0.00399	*0.00399	*0.00399	*0.00399
	Soft Soil 0.65g	*0.00649	*0.00649	*0.00649	*0.00649	*0.00649
	Allowable Strain					
	$\mathcal{E}_{c-pgd}$	0.03256	0.02794	0.02235	0.02332	0.02241
	$\mathcal{E}_{c-wave}$	0.00466	0.00401	0.00331	0.00342	0.00332
	$\mathcal{E}_{tension}$	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375

* ค่าความเครียดไม่ผ่านตามมาตรฐาน ALA-ASCE 2005