

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

4.1.1 ค่าการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวตั้งโดย FEM และการคำนวณด้วยสมการของ Terzaghi พร้อมด้วยค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งในเงื่อนไข Long term ของแต่ละชนิดของโครงสร้าง

ตัวอย่างค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งจะนำเสนอในรูปแบบของตารางโดยแบ่งตามขนาดและความลึกในแต่ละพื้นที่เริ่มจากโครงสร้าง Pipe jacking, HDD และ Duct bank โดยผลการวิเคราะห์การทรุดตัวด้วย FEM โดยใช้โปรแกรม Plaxis ที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.3 โดยที่ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของท่อ Pipe jacking, HDD และ Duct bank ที่ได้จากโปรแกรมนั้นทำการแยกเป็นค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดและค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากการอัดตัวคายน้ำ แล้วทำการคิดค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดจากการรบกวนดินที่เกิดจากการก่อสร้างด้วย (จากหัวข้อที่ 3.5 ยกเว้นการก่อสร้างด้วยวิธี Open cut) เป็นการเคลื่อนตัวในแนวตั้งทั้งหมดที่ได้จากโปรแกรม

ส่วนผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือได้นำเสนอค่าการเคลื่อนตัวทั้งหมดที่รวมผลจากการทรุดตัวที่ประกอบไปด้วย ผลการทรุดตัวแบบทันทีทันใดจากหัวข้อที่ 3.4.1 ผลจากการทรุดตัวที่เกิดจากการอัดตัวคายน้ำในจากหัวข้อที่ 3.4.2 พร้อมทั้งการเคลื่อนตัวที่เกิดจากการสูญเสียเชิงปริมาตร (Ground loss) และการทรุดตัวที่เกิดจากการรบกวนดินด้วย ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.5

ส่วนค่าการทรุดตัวที่ระยะเวลา 10 ปี 30 ปี และ 50 ปี ได้ทำการรวมผลการทรุดตัวครั้งที่สองจากการคำนวณมือและการทรุดตัวที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลเข้ากับการทรุดตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis ซึ่งค่าที่ได้มาบอกได้ว่าไม่ถูกต้องเนื่องจากการรวมเอาค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากแต่ละวิธีที่มีสมมุติฐานต่างกัน เช่นการหาค่าการทรุดตัวที่ได้จากวิธีของ Terzaghi สมมุติว่าดินที่ใช้ต้องเป็นดินที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) แต่ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis สามารถทำได้ในลักษณะดินที่แตกต่างกันตามความลึกซึ่งเป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริง และการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำในโพรง (Δu) เปลี่ยนแปลงตามความลึกดังเสนอในหัวข้อที่ 2.7 แต่ในการวิเคราะห์ด้วยมือสมมุติว่าค่า Δu ไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึกเป็นต้น ซึ่งในตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งทั้งหมดของท่อ Pipe jacking โดยมีทั้งหมด 7 ขนาดโดยแต่ละขนาดจะก่อสร้างที่ความลึกต่างกัน 4 ความลึก ซึ่งลักษณะการเสนอได้แสดงในข้างต้น ตารางที่ 4.2 เป็นค่า

การเคลื่อนตัวในแนวตั้งทั้งหมดของโครงสร้าง Duct bank โดยมีทั้งหมด 6 แบบโดยแต่ละแบบจะก่อสร้างที่ความลึกต่างกัน 3 ความลึก ซึ่งลักษณะการเสนอได้แสดงในข้างต้น และตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งทั้งหมดของโครงสร้าง HDD โดยมีทั้งหมด 3 ชนิดโดยแต่ละขนาดจะก่อสร้างที่ความลึกต่างกัน 5 ความลึก ซึ่งลักษณะการเสนอได้แสดงในข้างต้น โดยตัวอย่างค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 เป็นการก่อสร้างในพื้นที่ที่ 1 ส่วนในพื้นที่อื่นๆ ได้แสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 ค่าการทรุดตัวในแนวตั้งทั้งหมดของท่อ Pipe jacking ในพื้นที่ที่ 1

พื้นที่ที่ 1

Pipe jacking

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
2.5	FEM	Total settlement [mm]	36.72	29.53	25.04	13.21
		Stage construction settlement [mm]	28.50	23.90	20.90	13.00
		Consolidation settlement [mm]	8.22	5.63	4.14	0.21
		Axial force [ton/m]	10.87	18.98	24.76	34.08
		Maximum shear force [ton/m]	0.65	2.41	3.14	3.27
		Maximum bending moment [ton·m]	2.88	6.48	8.52	10.33
	Hand calculation	Total settlement [mm]	14.37	12.34	11.37	8.61
		Immediate settlement [mm]	8.52	8.16	7.88	7.27
		Consolidation settlement [mm]	3.84	2.18	1.49	-0.67
	Design life	10 [years]	152.00	113.88	97.69	34.86
		30 [years]	361.21	279.62	236.28	68.20
		50 [years]	574.34	441.12	371.66	100.72

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
2	FEM	Total settlement [mm]	24.19	22.34	19.36	8.21
		Stage construction settlement [mm]	20.96	17.92	15.92	8.08
		Consolidation settlement [mm]	3.23	4.42	3.44	0.13
		Axial force [ton/m]	7.56	15.35	19.82	25.36
		Maximum shear force [ton/m]	1.48	2.04	2.52	4.08
		Maximum bending moment [ton·m]	2.56	5.01	6.46	8.21
	Hand calculation	Total settlement [mm]	11.41	9.99	9.33	7.32
		Immediate settlement [mm]	6.69	6.46	6.27	5.82
		Consolidation settlement [mm]	2.72	1.53	1.06	-0.50
	Design life	10 [years]	142.00	106.64	91.49	29.86
		30 [years]	346.30	271.15	229.18	63.20
		50 [years]	559.10	432.07	364.15	95.72

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
1.5	FEM	Total settlement [mm]	24.00	19.72	17.77	8.59
		Stage construction settlement [mm]	19.02	15.93	14.79	8.42
		Consolidation settlement [mm]	4.98	3.79	2.98	0.17
		Axial force [ton/m]	3.11	11.75	15.12	28.70
		Maximum shear force [ton/m]	1.16	1.55	1.80	3.38
		Maximum bending moment [ton·m]	1.26	4.54	5.84	8.93
	Hand calculation	Total settlement [mm]	9.48	8.31	7.76	6.17
		Immediate settlement [mm]	5.16	4.99	4.84	4.47
		Consolidation settlement [mm]	2.32	1.32	0.91	-0.30
	Design life	10 [years]	132.08	102.67	89.92	30.24
		30 [years]	349.15	266.56	227.01	63.58
		50 [years]	561.48	427.20	361.70	96.10

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
1.2	FEM	Total settlement [mm]	16.22	14.27	13.32	7.03
		Stage construction settlement [mm]	13.38	12.10	11.36	6.92
		Consolidation settlement [mm]	2.84	2.17	1.96	0.11
		Axial force [ton/m]	4.53	9.63	12.26	16.82
		Maximum shear force [ton/m]	0.80	1.29	1.53	2.15
		Maximum bending moment [ton·m]	1.35	2.87	3.63	4.79
	Hand calculation	Total settlement [mm]	8.19	7.21	7.03	5.45
		Immediate settlement [mm]	4.21	4.08	4.24	3.65
		Consolidation settlement [mm]	1.98	1.13	0.79	-0.19
	Design life	10 [years]	126.79	98.94	84.70	28.68
		30 [years]	343.25	262.21	221.38	62.02
		50 [years]	555.29	422.56	355.88	94.54

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
1	FEM	Total settlement [mm]	12.61	11.92	10.88	5.82
		Stage construction settlement [mm]	10.78	10.00	9.35	5.72
		Consolidation settlement [mm]	1.83	1.92	1.53	0.10
		Axial force [ton/m]	3.57	7.59	9.54	13.23
		Maximum shear force [ton/m]	0.61	1.05	1.17	1.50
		Maximum bending moment [ton·m]	1.09	2.35	2.94	3.91
	Hand calculation	Total settlement [mm]	7.26	6.42	6.26	4.96
		Immediate settlement [mm]	3.56	3.45	3.58	3.09
		Consolidation settlement [mm]	1.71	0.97	0.68	-0.13
	Design life	10 [years]	124.89	97.73	83.03	27.47
		30 [years]	340.93	260.58	219.29	60.81
		50 [years]	552.77	420.73	353.60	93.33

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
0.8	FEM	Total settlement [mm]	8.33	7.94	7.63	5.43
		Stage construction settlement [mm]	7.62	7.31	7.02	5.31
		Consolidation settlement [mm]	0.71	0.63	0.61	0.12
		Axial force [ton/m]	2.63	5.72	7.30	14.63
		Maximum shear force [ton/m]	0.48	0.76	0.87	1.72
		Maximum bending moment [ton·m]	0.79	1.75	2.24	4.53
	Hand calculation	Total settlement [mm]	5.93	5.41	5.29	4.38
		Immediate settlement [mm]	2.78	2.73	2.81	2.48
		Consolidation settlement [mm]	1.16	0.68	0.48	-0.09
	Design life	10 [years]	121.97	94.98	80.54	26.90
		30 [years]	336.51	257.38	216.35	60.00
		50 [years]	547.65	417.32	350.45	92.40

Diameter [m]	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]			
			4	8	10	18
0.6	FEM	Total settlement [mm]	7.82	7.47	7.07	4.24
		Stage construction settlement [mm]	7.05	6.76	6.36	4.17
		Consolidation settlement [mm]	0.77	0.71	0.71	0.07
		Axial force [ton/m]	2.21	4.61	5.83	8.26
		Maximum shear force [ton/m]	0.38	0.59	0.69	0.90
		Maximum bending moment [ton·m]	0.66	1.40	1.77	2.43
	Hand calculation	Total settlement [mm]	5.39	4.93	4.53	3.97
		Immediate settlement [mm]	2.26	2.23	2.04	1.99
		Consolidation settlement [mm]	1.13	0.70	0.49	-0.03
	Design life	10 [years]	122.01	93.51	80.55	25.48
		30 [years]	335.28	255.55	215.99	58.37
		50 [years]	545.84	415.32	349.92	90.67

ตารางที่ 4.2 ค่าการทรุดตัวในแนวตั้งทั้งหมดของ Duct bank ในพื้นที่ที่ 1

พื้นที่ที่ 1

Duct bank

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
1	FEM	Total settlement [mm]	-2.10	-5.64	-5.54
		Stage construction settlement [mm]	-2.30	-5.95	-5.70
		Consolidation settlement [mm]	0.20	0.31	0.16
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	2.55	34.54	13.87
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	28.312	22.49	18.48
		Maximum shear stress [ton/m ²]	3.513	4.51	2.18
	Hand calculation	Total settlement [mm]	0.88	6.50	11.39
		Immediate settlement [mm]	0.12	1.15	2.48
		Consolidation settlement [mm]	0.76	5.35	8.91
	Design life	10 [years]	125.68	112.69	100.19
		30 [years]	370.96	339.07	301.37
		50 [years]	613.25	562.46	499.56

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
2	FEM	Total settlement [mm]	0.29	-2.08	-1.76
		Stage construction settlement [mm]	0.16	-2.92	-1.84
		Consolidation settlement [mm]	0.13	0.84	0.08
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	1.87	5.68	7.73
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	25.680	12.34	13.81
		Maximum shear stress [ton/m ²]	2.828	1.56	1.79
	Hand calculation	Total settlement [mm]	3.17	9.31	14.81
		Immediate settlement [mm]	0.47	1.72	3.35
		Consolidation settlement [mm]	2.69	7.60	11.46
	Design life	10 [years]	127.37	115.55	103.27
		30 [years]	373.85	343.13	305.65
		50 [years]	616.70	567.08	504.40

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
3	FEM	Total settlement [mm]	0.60	0.23	-1.50
		Stage construction settlement [mm]	0.45	0.11	-1.62
		Consolidation settlement [mm]	0.14	0.12	0.12
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	3.53	5.51	9.72
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	16.150	12.28	25.16
		Maximum shear stress [ton/m ²]	2.425	1.40	2.33
	Hand calculation	Total settlement [mm]	5.25	11.93	17.38
		Immediate settlement [mm]	0.82	2.29	3.99
		Consolidation settlement [mm]	4.43	9.64	13.40
	Design life	10 [years]	126.58	116.77	102.22
		30 [years]	374.27	345.56	304.98
		50 [years]	617.68	570.07	503.91

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
4	FEM	Total settlement [mm]	0.40	0.62	-4.18
		Stage construction settlement [mm]	0.31	0.48	-4.30
		Consolidation settlement [mm]	0.09	0.14	0.12
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	5.94	6.16	7.36
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	14.039	12.53	16.06
		Maximum shear stress [ton/m ²]	1.730	1.64	1.96
	Hand calculation	Total settlement [mm]	6.27	13.55	19.14
		Immediate settlement [mm]	1.02	2.67	4.43
		Consolidation settlement [mm]	5.25	10.88	14.70
	Design life	10 [years]	124.96	115.74	98.22
		30 [years]	373.85	345.44	301.32
		50 [years]	617.83	570.37	500.41

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
5	FEM	Total settlement [mm]	-0.42	-0.55	-4.85
		Stage construction settlement [mm]	-0.86	-0.61	-5.90
		Consolidation settlement [mm]	0.44	0.06	1.05
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	15.91	7.91	11.36
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	10.330	16.23	14.94
		Maximum shear stress [ton/m ²]	2.230	2.18	1.74
	Hand calculation	Total settlement [mm]	4.01	12.34	18.86
		Immediate settlement [mm]	0.67	2.45	4.39
		Consolidation settlement [mm]	3.34	9.89	14.47
	Design life	10 [years]	122.46	113.08	96.24
		30 [years]	372.44	343.13	299.69
		50 [years]	616.92	568.22	498.94

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]		
			1.5	3	5
6	FEM	Total settlement [mm]	0.05	-0.50	-2.32
		Stage construction settlement [mm]	-0.23	-0.68	-2.44
		Consolidation settlement [mm]	0.28	0.19	0.12
		Maximum horizontal stress [ton/m ²]	12.31	10.79	12.77
		Maximum vertical stress [ton/m ²]	7.267	16.12	20.37
		Maximum shear stress [ton/m ²]	2.470	2.37	2.45
	Hand calculation	Total settlement [mm]	4.66	13.41	20.26
		Immediate settlement [mm]	0.80	2.70	4.75
		Consolidation settlement [mm]	3.86	10.71	15.51
	Design life	10 [years]	121.35	111.66	97.48
		30 [years]	371.68	342.05	301.27
		50 [years]	616.32	567.31	500.69

ตารางที่ 4.3 ค่าการทรุดตัวในแนวตั้งทั้งหมดของ HDD ในพื้นที่ที่ 1

พื้นที่ที่ 1

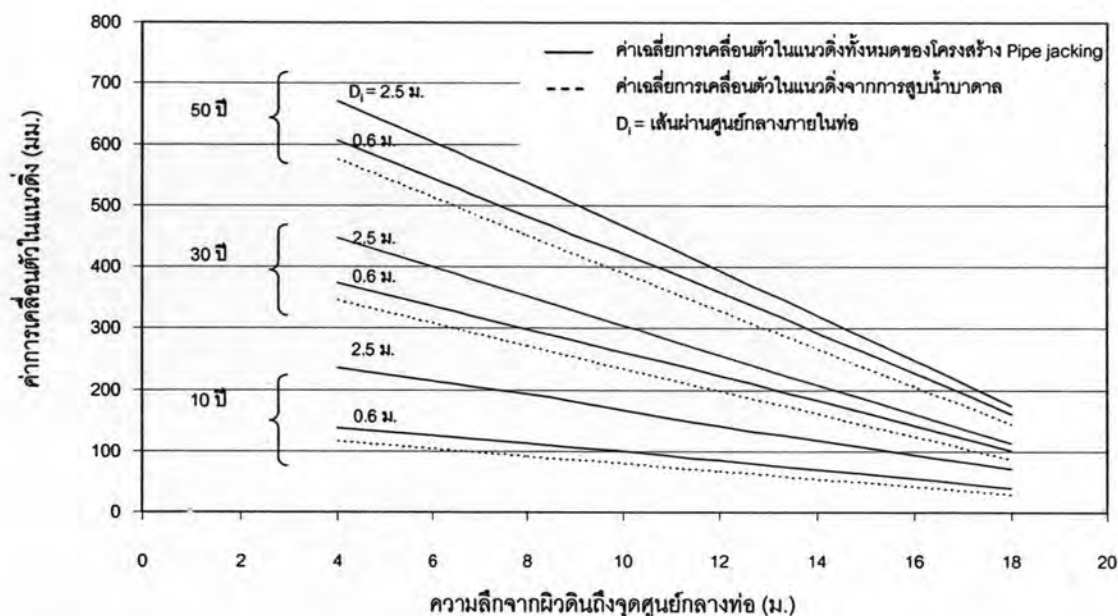
HDD			Depth [m]				
Type	Method of analysis	Analysis results	2	4	6	8	10
PN 8	FEM	Total settlement [mm]	1.55	1.57	1.56	1.54	1.45
		Stage construction settlement [mm]	1.61	1.62	1.62	1.59	1.06
		Consolidation settlement [mm]	-0.04	-0.06	-0.09	-0.14	0.39
		Axial force [ton/m]	0.10	0.17	0.25	0.32	0.06
		Maximum shear force [ton/m]	0.02	0.04	0.06	0.06	0.06
		Maximum bending moment [ton·m]	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
	Hand calculation	Total settlement [mm]	1.43	1.60	1.69	1.74	1.78
		Immediate settlement [mm]	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
		Consolidation settlement [mm]	-0.54	-0.37	-0.28	-0.23	-0.19
	Design life	10 [years]	122.86	110.25	97.63	84.94	72.34
		30 [years]	357.27	319.47	281.64	243.75	205.95
		50 [years]	591.15	528.14	465.11	402.03	339.03

HDD			Depth [m]				
Type	Method of analysis	Analysis results	2	4	6	8	10
PN 10	FEM	Total settlement [mm]	1.71	1.72	1.73	1.74	1.92
		Stage construction settlement [mm]	1.74	1.74	1.77	1.78	1.90
		Consolidation settlement [mm]	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	0.01
		Axial force [ton/m]	0.13	0.17	0.25	0.29	0.36
		Maximum shear force [ton/m]	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08
		Maximum bending moment [ton·m]	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
	Hand calculation	Total settlement [mm]	1.45	1.61	1.70	1.75	1.79
		Immediate settlement [mm]	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
		Consolidation settlement [mm]	-0.52	-0.36	-0.27	-0.22	-0.19
	Design life	10 [years]	122.99	110.40	97.82	85.23	72.81
		30 [years]	357.41	319.62	281.83	244.05	206.42
		50 [years]	591.28	528.29	465.31	402.32	339.49

Type	Method of analysis	Analysis results	Depth [m]				
			2	4	6	8	10
PN 12.5	FEM	Total settlement [mm]	1.72	1.73	1.74	1.74	1.81
		Stage construction settlement [mm]	1.75	1.76	1.77	1.78	1.82
		Consolidation settlement [mm]	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	-0.01
		Axial force [ton/m]	0.14	0.18	0.26	0.31	0.38
		Maximum shear force [ton/m]	0.03	0.03	0.06	0.06	0.09
		Maximum bending moment [ton·m]	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
	Hand calculation	Total settlement [mm]	1.48	1.63	1.71	1.76	1.80
		Immediate settlement [mm]	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
		Consolidation settlement [mm]	-0.50	-0.35	-0.26	-0.21	-0.18
	Design life	10 [years]	123.00	110.42	97.82	85.23	72.70
		30 [years]	357.42	319.63	281.84	244.05	206.31
		50 [years]	591.29	528.30	465.31	402.32	339.38

4.1.2 สัดส่วนค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งจากการสูบน้ำบาดาลกับค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมด

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า การทรุดตัวทั้งหมดของโครงสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วย การทรุดตัวที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างเอง การทรุดตัวที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาล และการทรุดตัวที่เกิดจากการรบกวนดิน สัดส่วนค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของโครงสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินจากการสูบน้ำบาดาลกับค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในหัวข้อนี้เป็นการหาค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งทั้งหมดของแต่ละโครงสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน โดยเฉลี่ยทุกขนาดหรือทุกชนิดแบ่งตามวิธีการก่อสร้างทั้ง 3 วิธี และค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งจากการสูบน้ำบาดาลของ 10 พื้นที่ที่จัดแบ่งตามตารางที่ 3.6 โดยมีค่าอัตราการทรุดตัวจากการสูบน้ำบาดาลที่ความลึก 4 เมตรประมาณ 1.15 ซม./ปี และลดลงตามความลึก สำหรับสัดส่วนค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการสูบน้ำบาดาลสำหรับ Pipe jacking เสนอในรูปแบบที่ 4.1 จากกราฟเป็นค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งทั้งหมดของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 และ 0.6 เมตร และค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลในช่วงเวลาที่ 10, 30 และ 50 ปี



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบที่เวลา 10, 30 และ 50 ปีหลังการก่อสร้าง ระหว่างค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวตั้งทั้งหมดของโครงสร้าง Pipe jacking และค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวตั้งจากการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล

4.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้างท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธีต่างๆ โดยวิธี FEM แยกกรณี

การวิเคราะห์ปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันของท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธีต่างๆ สามารถแบ่งได้ 3 กรณีคือ

- ท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี Pipe jacking ต่อกับบ่อพัก (Manhole)
- ท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี HDD ต่อกับบ่อพัก (Manhole)
- ท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี Open cut ต่อกับบ่อพัก (Manhole)

ในการคำนวณ ไม่รวมการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักของบ่อพัก (เพราะน้ำหนักสุทธิระหว่างดินที่ขุดออกและตัวบ่อพักใกล้เคียงกัน) และไม่รวมถึงการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการสูบน้ำใต้ดิน เพราะตัวท่อใต้ดินและบ่อพักมีความลึกใกล้เคียงกัน (ทำให้การทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำใต้ดินมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นกัน)

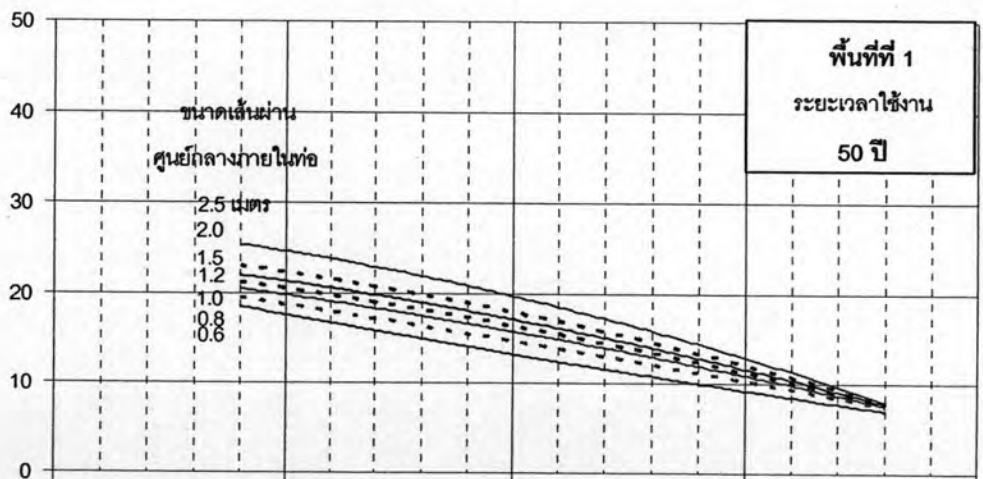
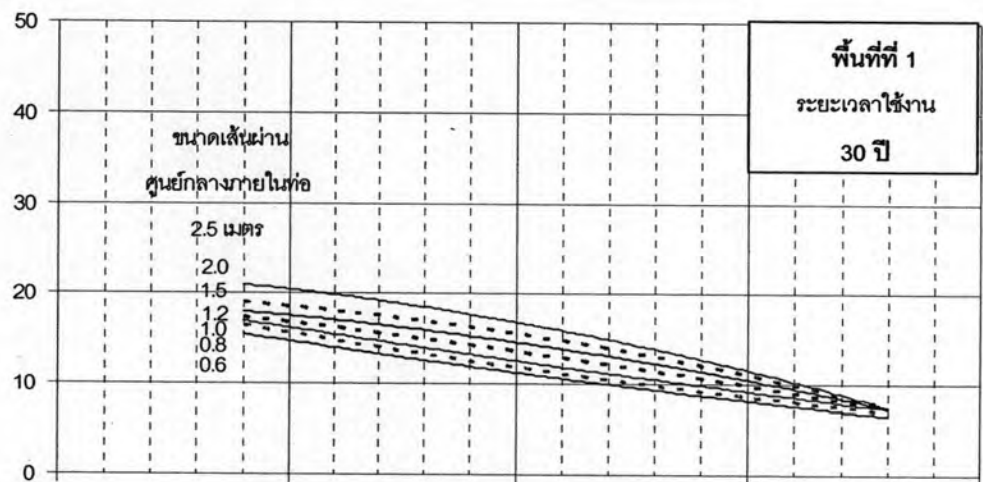
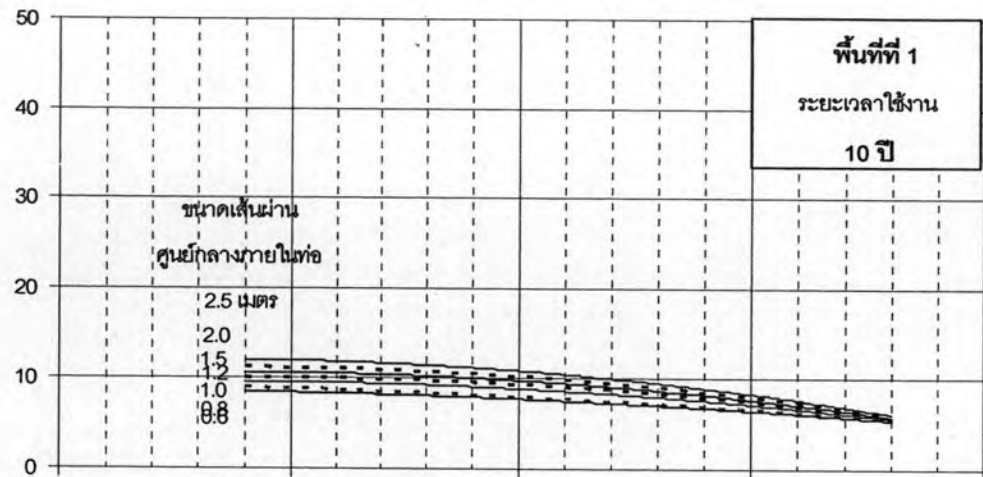
การทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี Pipe jacking กับบ่อพักสำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ถึง 2.5 เมตรที่ระยะเวลาการใช้งาน 10 ปี 30 ปี และ 50 ปี ในพื้นที่ 1 แสดงในรูปที่ 4.1 ส่วนพื้นที่อื่นได้แสดงในภาคผนวก ค

การทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี HDD และบ่อพักสำหรับท่อ PN8 PN10 และ PN12.5 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.16 เมตร ที่ระยะเวลาการใช้งาน 10 ปี 30 ปี และ 50 ปี ในพื้นที่ 1 ถึง 10 แสดงในตารางที่ 4.4

การทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธี Open cut และบ่อพักสำหรับความลึก 1.5 เมตรจากผิวดินถึงพื้น Duct bank ที่ระยะเวลาการใช้งาน 10 ปี 30 ปี และ 50 ปี ในพื้นที่ 1 แสดงในตารางที่ 4.5 และสำหรับความลึก 3 และ 5 เมตรจากผิวดินถึงพื้น Duct bank แสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนในพื้นที่อื่นๆ แสดงในภาคผนวก ค

ในการนำเสนอค่าการทรุดตัวที่ต่างกันระหว่างท่อใต้ดินและบ่อพักในรูปที่ 4.2 ถึง 4.3 และตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวที่เป็นบวก (+) หมายถึง การทรุดตัวของท่อหรือโครงสร้างเมื่อเทียบกับบ่อพัก ส่วนค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวที่เป็นลบ (-) หมายถึงการลอยตัวของท่อหรือโครงสร้างเมื่อเทียบกับบ่อพัก

ค่าความแตกต่างทางการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (มม.)



0 5 10 15 20


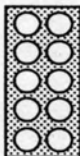
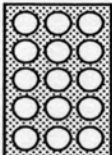
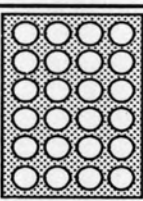
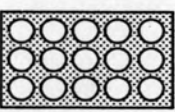
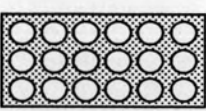
ความลึกจากผิวดินถึงจุดศูนย์กลางท่อ (ม.)

รูปที่ 4.2 ความแตกต่างของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งระหว่างท่อ Pipe jacking กับบ่อพักในพื้นที่ที่ 1

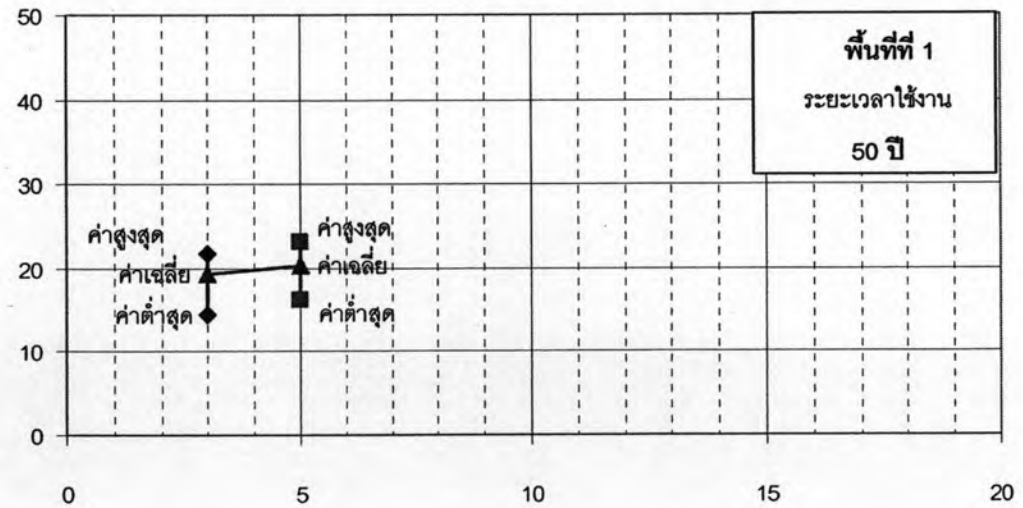
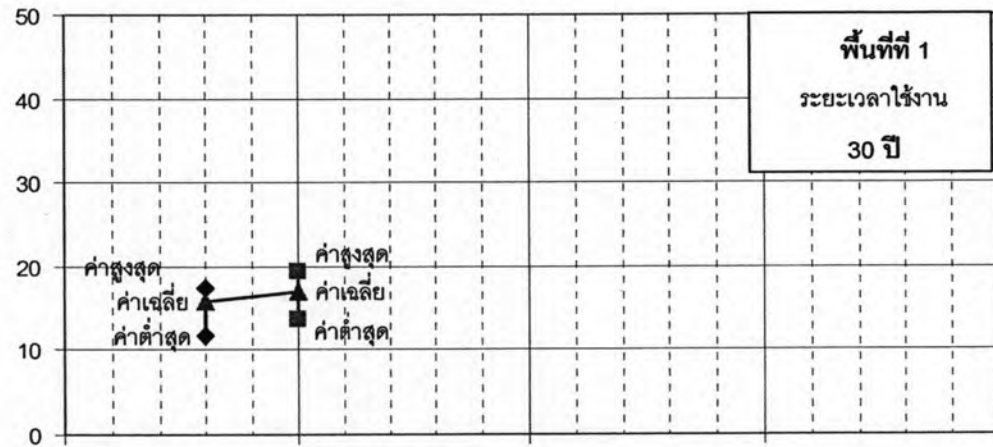
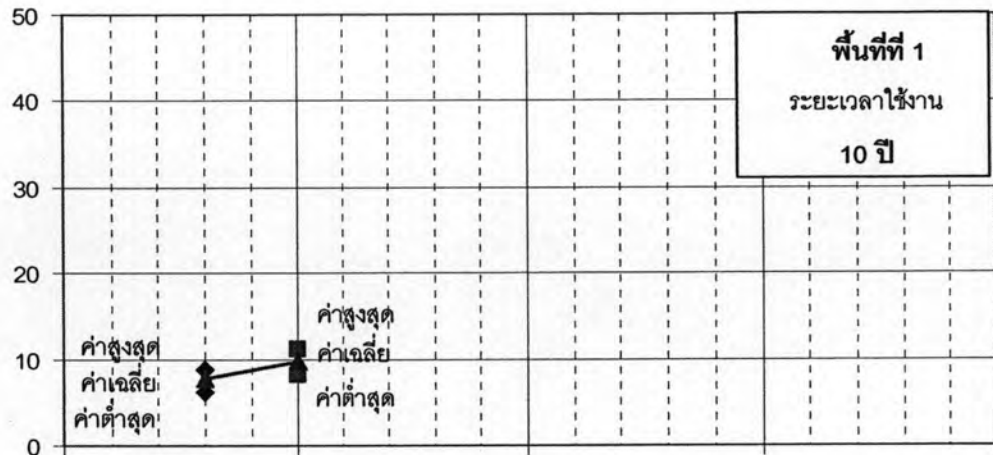
ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของ HDD ในพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่ที่	ระยะเวลาใช้งาน	ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (มม.)	
		ความลึกถึงจุดศูนย์กลางท่อ 2-8 เมตร	ความลึกถึงจุดศูนย์กลางท่อ 10 เมตร
1	10	5	
	30	6	
	50	6	
2	10	4	
	30	4	
	50	5	
3	10	4	
	30	5	
	50	5	
4	10	5	
	30	6	
	50	7	
5	10	5	
	30	7	
	50	7	
6	10	5	
	30	6	
	50	6	
7	10	5	
	30	6	
	50	7	
8	10	6	
	30	8	
	50	8	
9	10	6	
	30	7	
	50	8	
10	10	4	2
	30	5	2
	50	5	3

ตารางที่ 4.5 ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้งระหว่างโครงสร้าง Duct Bank กับบ่อพักที่ความลึก 1.5 เมตรจากผิวดินถึงพื้น Duct bank ในพื้นที่ที่ 1

ชนิด Duct Bank	ระยะเวลาการใช้งาน		ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (มม.)
	(ปี)		
	1	10	18
		30	23
		50	26
	2	10	18
		30	25
		50	28
	3	10	16
		30	24
		50	28
	4	10	15
		30	24
		50	30
	5	10	15
		30	25
		50	30
	6	10	14
		30	24
		50	29

ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (มม.)



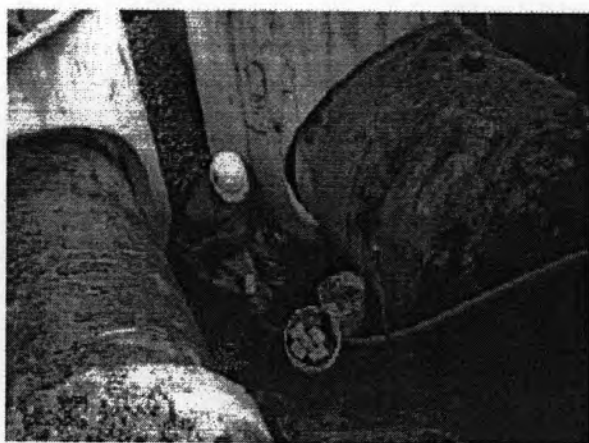
ความลึกจากผิวดินถึงพื้น Duct bank (ม.)

รูปที่ 4.3 ค่าความแตกต่างการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของ Duct Bank กับบ่อพัก ในพื้นที่ที่ 1

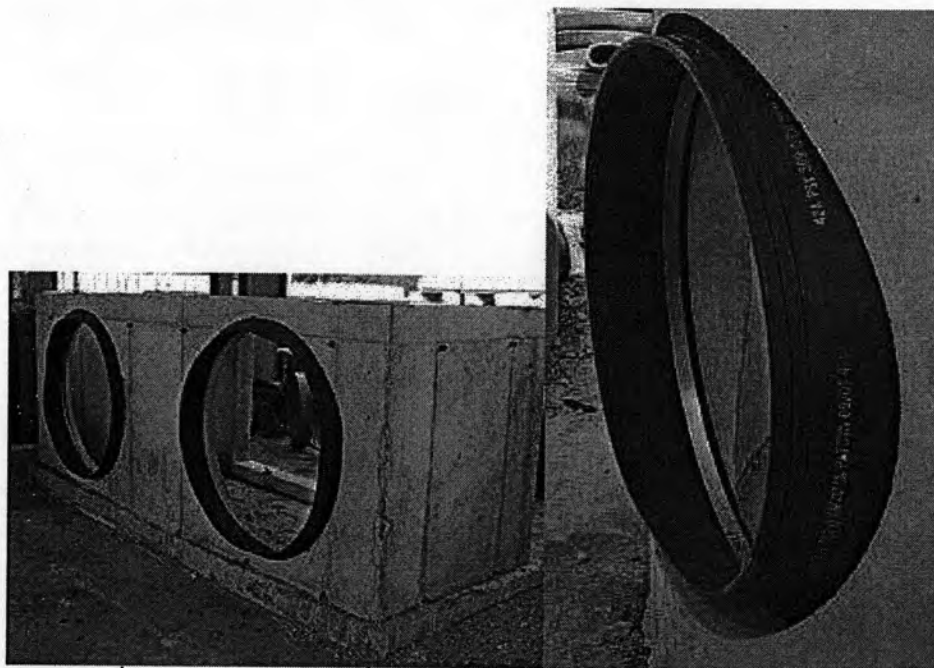
4.2 แนวทางการแก้ปัญหาการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของระบบท่อและโครงสร้างประกอบ

การทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างท่อใต้ดินที่ก่อสร้างด้วยวิธีต่างๆ และบ่อพักสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้จุดต่อเชื่อม (Connection joint) ระหว่างบ่อพักกับท่อ โดยตัวเชื่อมต่อต้องสามารถยุบตัวได้และทึบน้ำ โดยส่วนมากที่จุดเชื่อมต่อสำหรับท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินที่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จะอุดช่องว่างระหว่างท่อใต้ดินและบ่อพักด้วยมอร์ตาร์ (Mortar) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งการอุดช่องว่างด้วยวิธีนี้เมื่อมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันที่มากและทำให้มอร์ตาร์แตกร้าวทำให้ไม่สามารถอุดช่องว่างได้ และจุดเชื่อมต่อที่สามารถรองรับการทรุดตัวที่แตกต่างกันที่นิยมใช้มีดังนี้

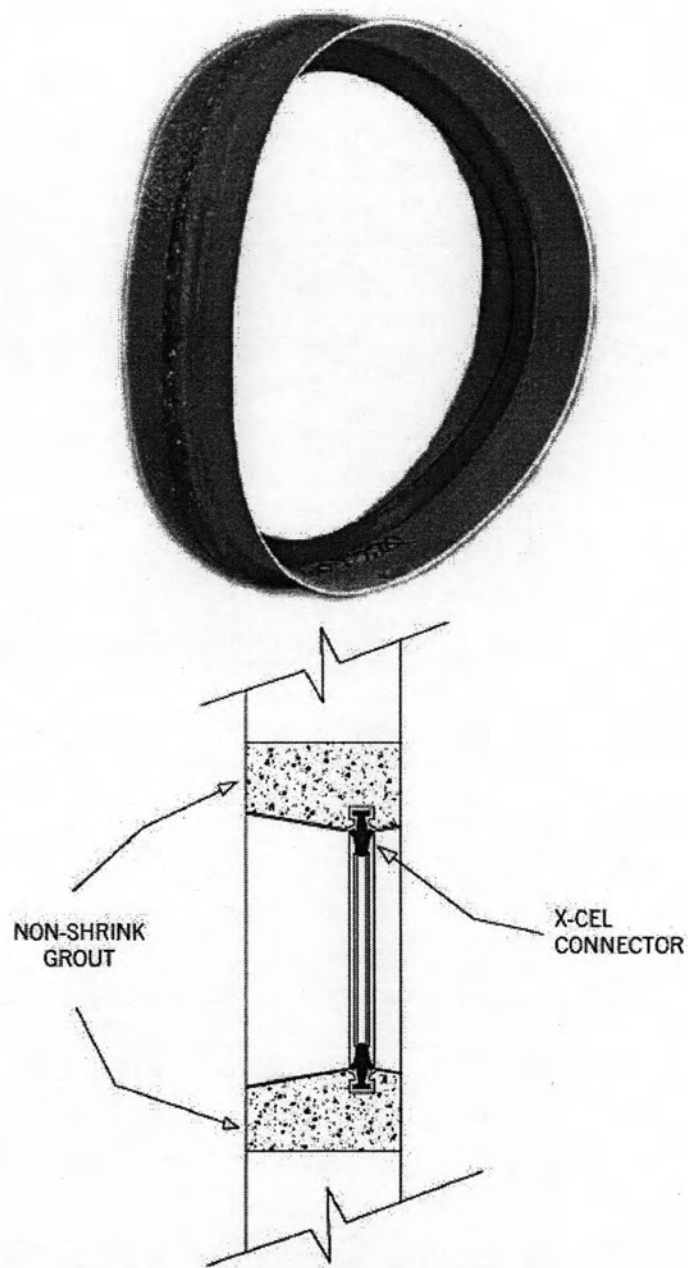
- การอุดช่องว่างด้วยสารเคมีชนิด Hydrophobic foam ซึ่งเป็นเรซินแบบโพลียูรีเทน เมื่อผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจะขยายตัวไปอุดช่องว่างระหว่างท่อใต้ดินและบ่อพัก ซึ่งสามารถยืดหยุ่นได้ ไม่ดูดซับความชื้น มีการทึบน้ำ เป็นต้น
- การใช้วงแหวนแบบ Manhole boot โดยวงแหวนแบบนี้มีความยืดหยุ่นตัวและทึบน้ำ สามารถรองรับการทรุดตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้งได้ และสามารถรองรับการเคลื่อนตัวในแนวราบได้ ตัวอย่างวงแหวน Manhole boot ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.7
- การใช้ Omega seal joint (เป็นชื่อทางการค้า) ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายวงแหวนแบบ Manhole boot เพียงแต่มีความแข็งแรงและอายุการใช้งานสูงกว่า (ผู้ผลิตระบุว่าใช้งานได้มากกว่า 100 ปี) จากเหตุผลนี้ Omega seal joint จึงนำมาใช้กับโครงสร้างที่มีความสำคัญมาก เช่น อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ลักษณะของจุดเชื่อมต่อแบบนี้ได้แสดงในรูปที่ 4.8
- การใช้ Crown seal joint การใช้ตัวเชื่อมต่อแบบนี้จะใช้กับโครงสร้างที่สำคัญมาก เช่น อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นยาง (Rubber) ที่สามารถรองรับการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นมาก ลักษณะของ Crown seal joint แสดงในรูปที่ 4.9



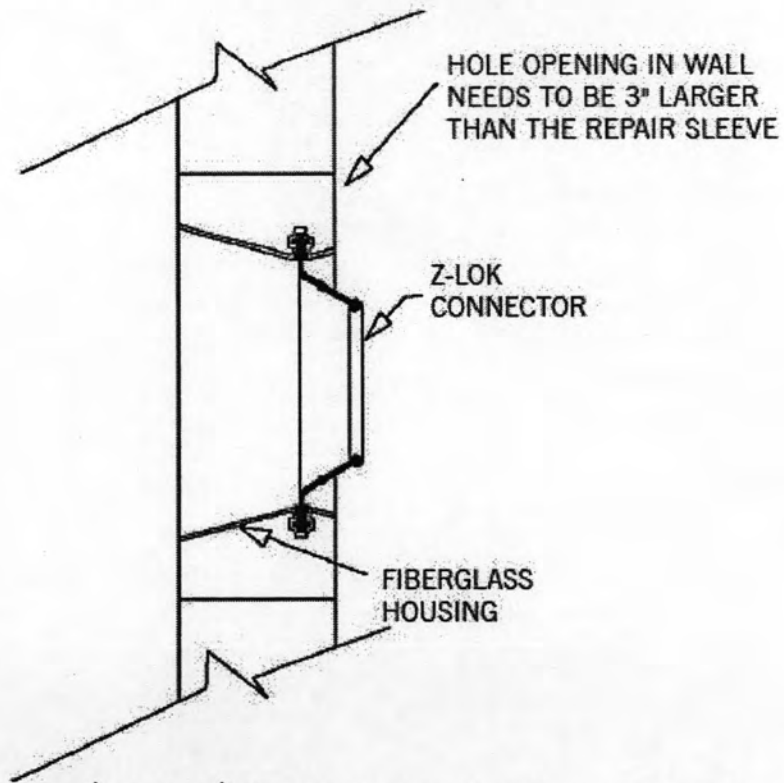
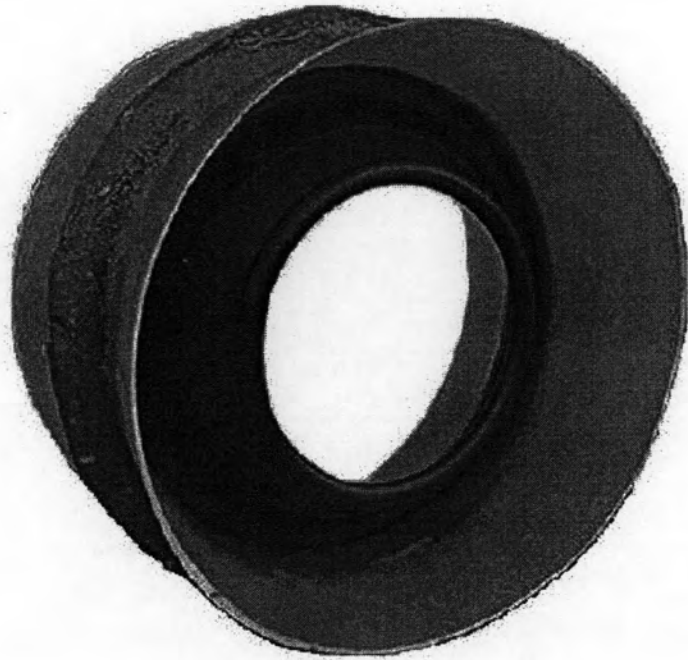
รูปที่ 4.4 การอุดช่องว่างระหว่างบ่อพักกับท่อด้วย Mortar



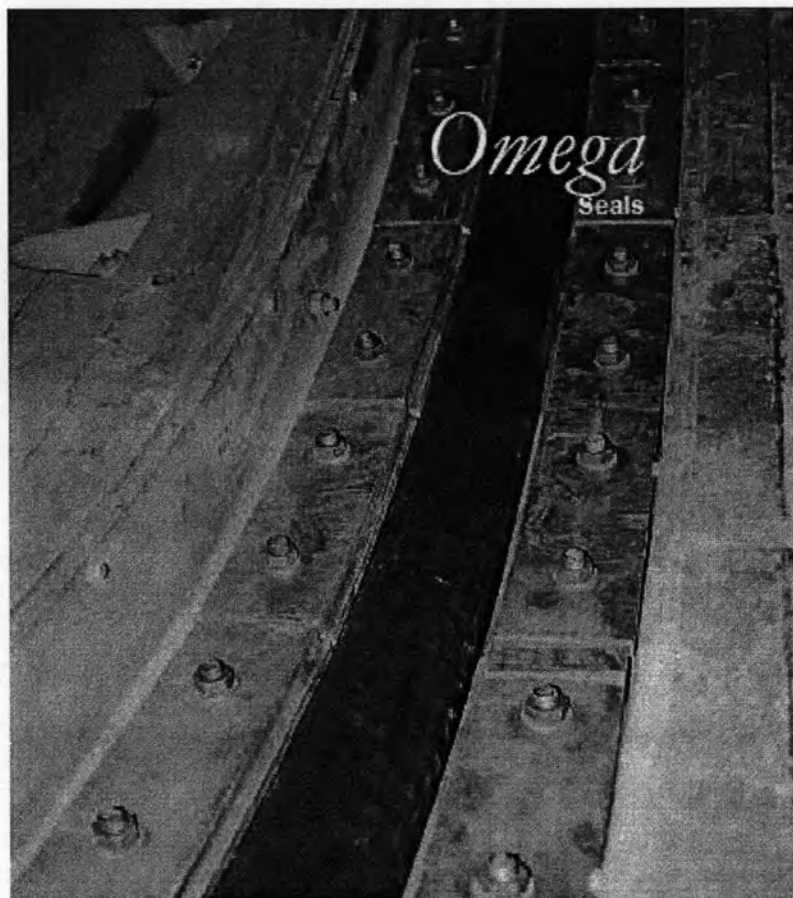
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการติดตั้ง Manhole boot (www.press-seal.com)



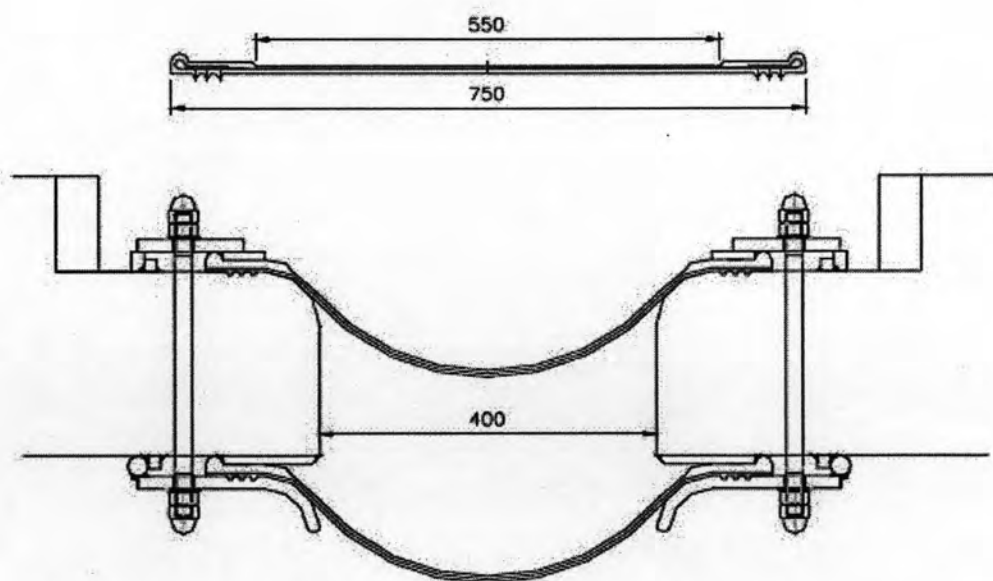
รูปที่ 4.6 ตัวอย่าง Manhole boot (www.a-lok.com)



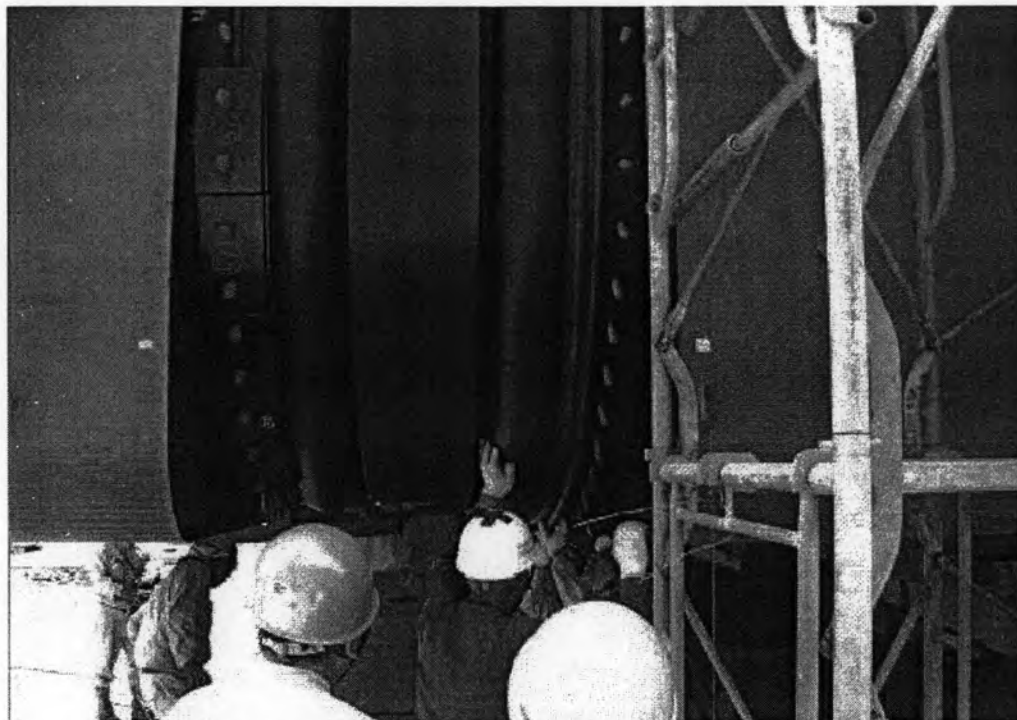
รูปที่ 4.7 อีกหนึ่งตัวอย่าง Manhole boot (www.a-lok.com)



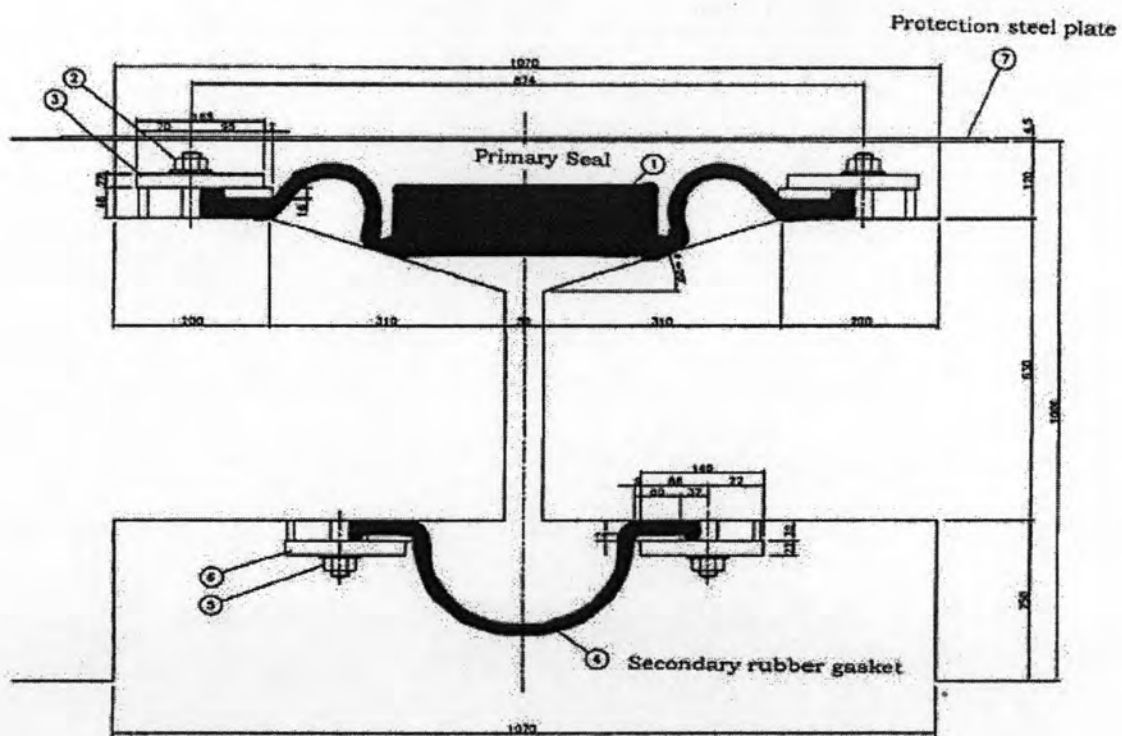
รูปที่ 4.8(ก) ตัวอย่างการติดตั้ง Omega seal joint (www.trelleborg.com)



รูปที่ 4.8(ข) ตัวอย่างภาพขยาย Omega seal joint (www.trelleborg.com)



รูปที่ 4.9 (ก) การติดตั้ง Crown seal joint (www.ita-aites.org)



รูปที่ 4.9 (ข) ภาพขยาย Crown seal joint (www.ita-aites.org)