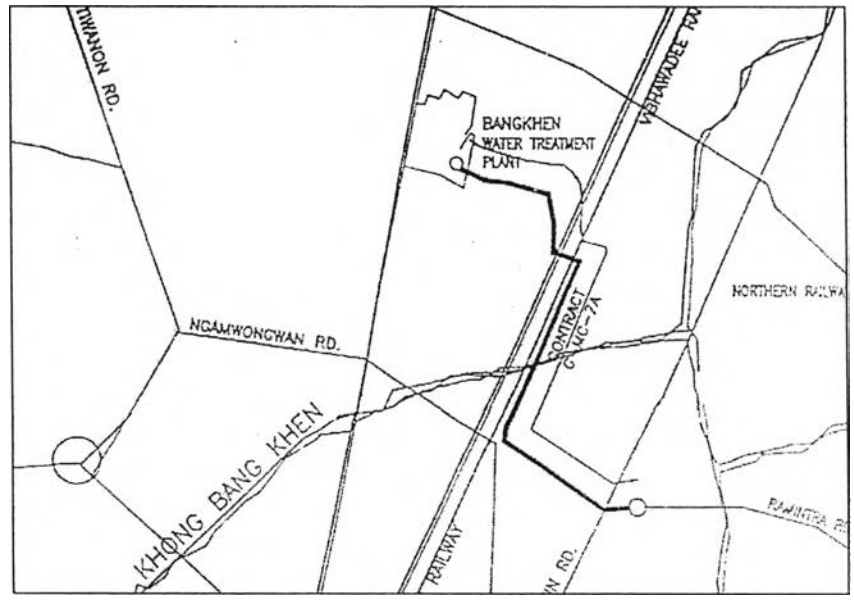
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำในช่วงแรก สัญญาเลขที่ G-MC-7A

โครงการปรับปรุงกิจการประปาแผนหลักครั้งที่ 7 เป็นโครงการก่อสร้างเพื่อขยายเขตการให้บริการน้ำประปา ของการประปานครหลวง โครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำดังกล่าว มีระยะทางความยาวทั้งสิ้น 42 กิโลเมตร ใช้ระบบการก่อสร้างด้วยวิธีการขุดเจาะโดยใช้ หัวเจาะระบบแรงดันดินสมดุลย์ (Earth Pressure Balance System) โดยทำการก่อสร้างอุโมงค์ในระดับชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 20 – 21 เมตร โดยเริ่มวัดความลึกจากระดับผิวดินจน ถึงตำแหน่งกึ่งกลางของอุโมงค์ที่ทำการขุดเจาะ ทำการขุดเจาะแบ่งเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรก เป็นโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำสัญญา G-MC-7A เริ่มจากโรงงานผลิตน้ำบางเขนไปตามถนนวิภาวดีรังสิต จนถึงถนนงามวงศ์วานตัดใหม่ ระยะทางประมาณ 6.7 กิโลเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอุโมงค์ 4.05 เมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอุโมงค์ 3.7 เมตร ดังรูปที่ 3.1 ช่วงที่ 2 เป็นโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำสัญญา G-MC-7B เริ่มจากปลายถนนงามวงศ์วานตัดใหม่ ไปถึงสถานีสูบจ่ายน้ำมีนบุรี ระยะทาง 14 กิโลเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอุโมงค์ 2.4 เมตร แสดงลักษณะทั่วไปของโครงการได้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แนวเส้นทางของอุโมงค์ส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำบางเขนถึงถนนงามวงศ์วานตัดใหม่

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำสัญญา G-MC-7A

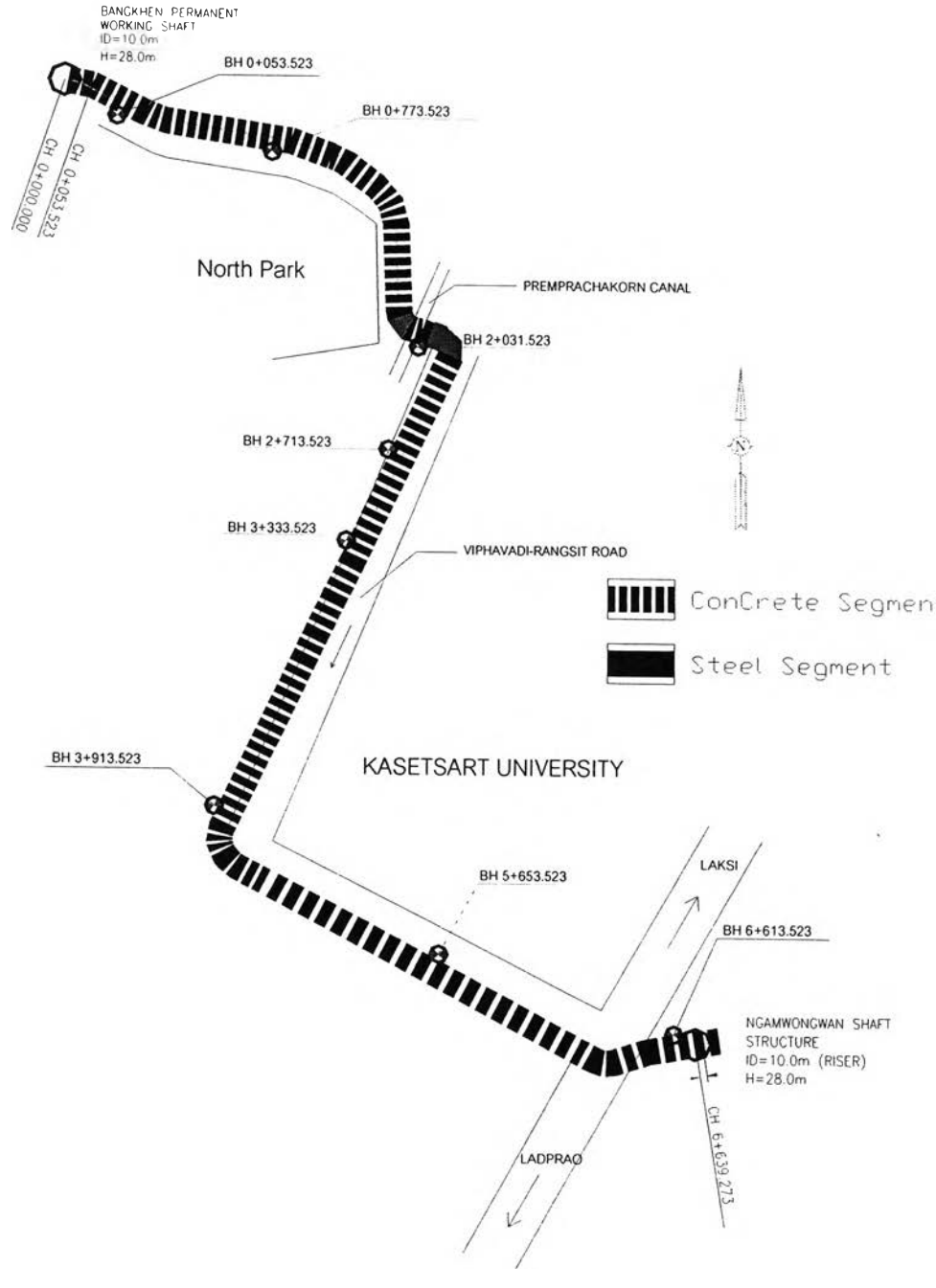
เจ้าของโครงการ	Metropolitans Waterworks Authority (MWA)
ชื่อโครงการ	Transmission Tunnel Project from Bangkhen Water Treatment Plant to Ngamwongwan Road
ผู้ควบคุมงาน	Thai Engineer Consultants Co.,Ltd (TEC) Thai DCI Co.,Ltd (TDCI) CDM International (Thailand) Co.,Ltd (CDM)
ผู้รับเหมาโครงการ	TN Joint Venture consisting of - Summit Grade Ltd.,Part. - Asiatec Development Corp.,Ltd - Nishimatsu Construction Co.,Ltd
ระยะเวลาก่อสร้าง	840 วัน
ค่าก่อสร้างทั้งหมด	1,067,844,712 บาท
ระบบการขุดเจาะ	หัวเจาะระบบแรงดันดินสมดุลย์ (Earth Pressure Balance System)
ความลึกของกึ่งกลางอุโมงค์	ประมาณ 20.5 เมตร
ระยะทาง	ประมาณ 6.7 กิโลเมตร
Primary Lining	Precast Concrete Segment Steel Segment เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอุโมงค์ 4.07 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในอุโมงค์ 3.7 เมตร
Secondary Lining	Steel Tube Element เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 เมตร หนา 18 Cm.
วันเริ่มโครงการ	29 มิถุนายน 2544
วันสิ้นสุดสัญญา	16 ตุลาคม 2546
ประกันผลงาน	730 วันหลังวันสิ้นสุดสัญญา

3.2 ข้อมูลชั้นดินที่ทำการเจาะสำรวจ

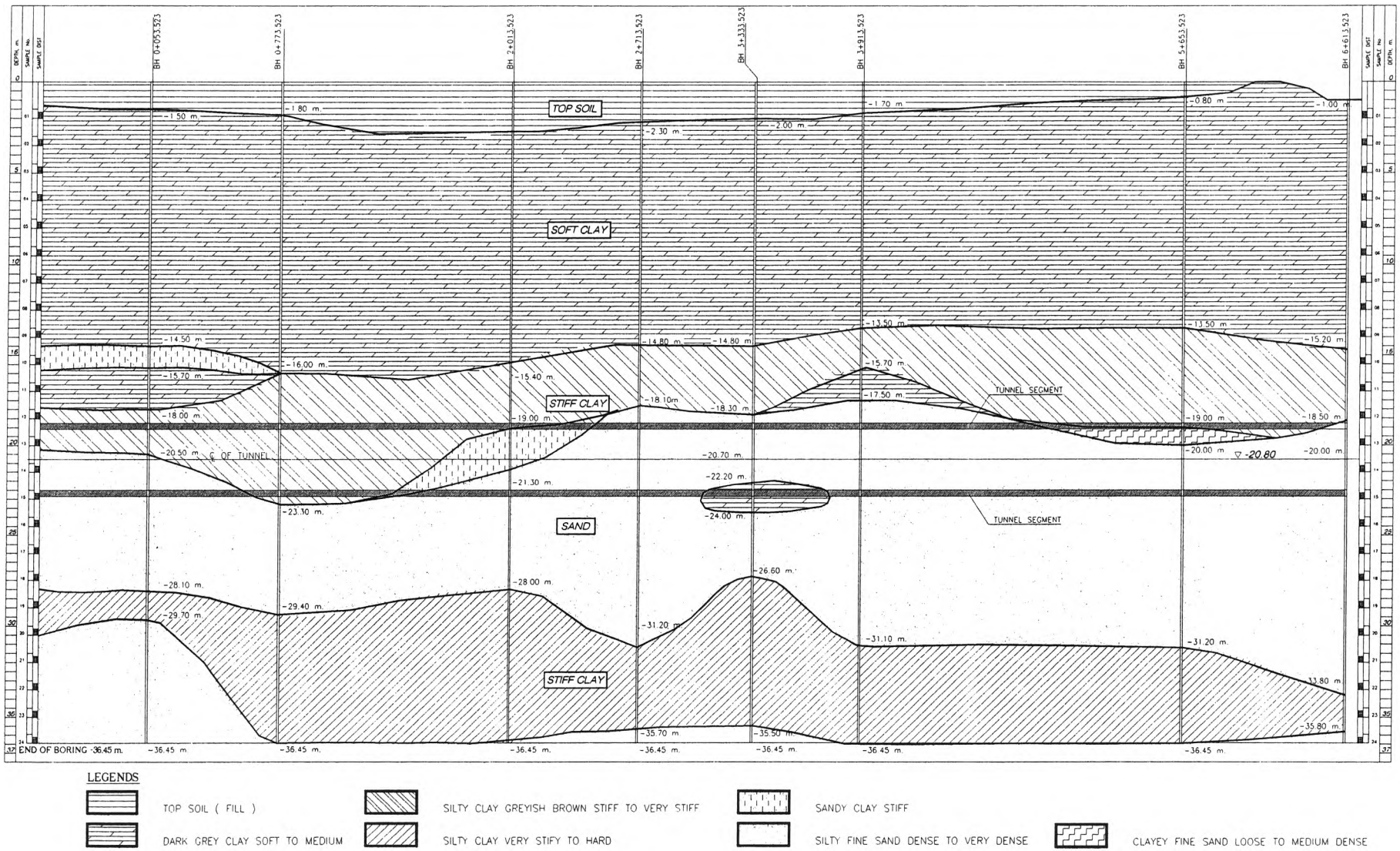
ลักษณะชั้นดินโดยทั่วไป ของแนวเส้นทางการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำประปา ระยะทางทั้งสิ้น 6.7 กิโลเมตร ทำการขุดเจาะสำรวจทั้งสิ้น 8 หลุมเจาะ ที่ Station 0+053, 0+773, 2+031, 2+713, 3+333, 3+913, 5+653, 6+613 โดยเริ่มเจาะสำรวจตั้งแต่บริเวณโรงสูบน้ำบางเขน ผ่านสนามกอล์ฟนอร์ทปาร์ค เข้าสู่ถนนวิภาวดีรังสิตจนไปถึงถนนงามวงศ์วานตัดใหม่ แสดงภาพตำแหน่งของหลุมเจาะดังรูปที่ 3.2 ทำการเจาะสำรวจดินพร้อมเก็บตัวอย่างไม่รบกวน (Undisturbed Sample) ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง และเก็บตัวอย่างดินชนิดรบกวน (Disturbed Sample) พร้อมทดสอบ Standard Penetration Test ลักษณะชั้นดินสามารถสรุปได้ในตารางที่ 3.2 แนวอุโมงค์และรูปตัดชั้นดินแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ลักษณะและคุณสมบัติของชั้นดิน

Depth (m.)	Soil Description	W_n (%)	γt (kN/m^3)	LL (%)	PL (%)	Su (kN/m^2)	SPT N - value (blow/ft)
0.0 – 1.8	Medium or Stiff clay	18	18.1	56	24	20	-
1.8 - 13.4	Soft dark grey clay	50	16.2	56	22	13	-
13.4 – 17	Stiff silty clay brown	25	19.2	42	21	116.5	17
17 - 19.3	Very stiff silty clay brown	22	19.6	42	21	130	19
19.3 - 28	Dense silty sand	20	19.6	-	-	-	40
28 – 40.0	Silty clay	20	20.6	70	22	206	30



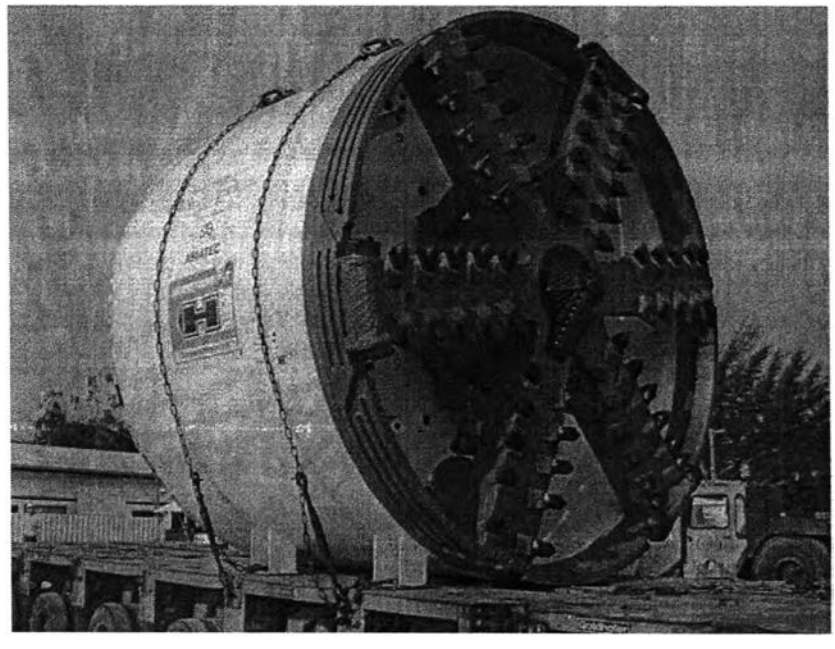
รูปที่ 3.2 แนวเส้นทางการขุดเจาะ ตำแหน่งของหลุมเจาะและดาดอุโมงค์ที่ใช้



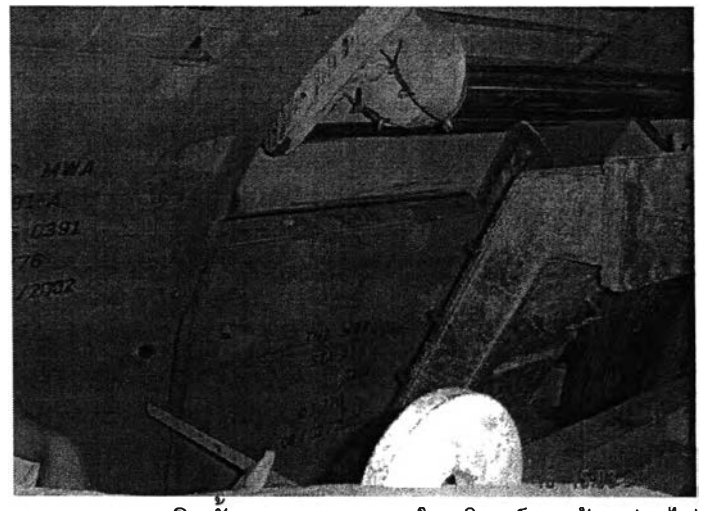
รูปที่ 3.3 ลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปของแนวเส้นทางการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำสัญญาเลขที่ G-MC-7A

3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทำงานของหัวเจาะ

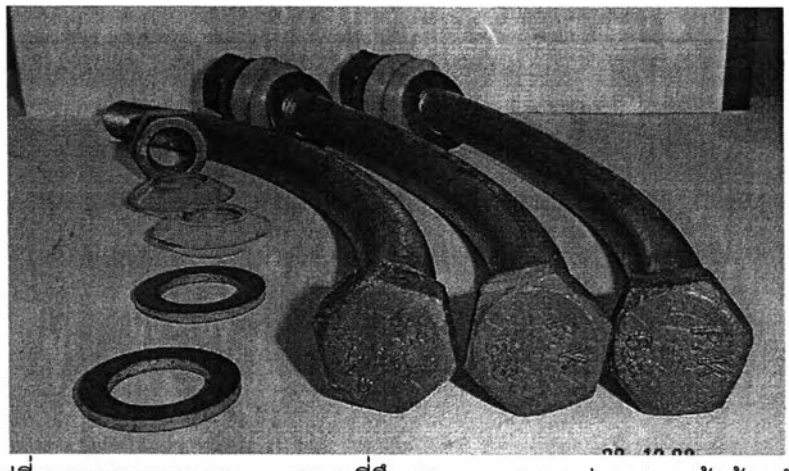
สำหรับหัวเจาะที่ใช้ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำนี้ เป็นหัวเจาะชนิดปรับแรงดันดินสมดุลย์ (Earth Pressure Balance System) ดังแสดงในรูป 3.4 เมื่อดำเนินการขุดเจาะจนมีพื้นที่ด้านหลังหัวเจาะเพียงพอสำหรับติดตั้งชิ้นส่วนผนังอุโมงค์แล้ว จะเริ่มทำการติดตั้ง Segment ดังรูปที่ 3.5 Segment Crane จะยก Segment ซึ่งเป็นคอนกรีตมาทำการประกอบทีละชิ้นจากด้านล่างไปสู่ด้านบนจากนั้นจะทำการประกอบ Key Segment เมื่อประกอบครบเป็นวงแล้วจะทำการยึดชิ้นส่วน Segment ด้วยสลักเกลียวรูปตัวยู (Curve Bolt) และสลักเกลียวธรรมดา ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 จากนั้นทำการฉีดน้ำปูน (Grouting) บริเวณด้านบนของผนังอุโมงค์ เพื่ออุดช่องว่างที่เกิดจากการ Tail Void จากนั้นหัวเจาะจะถีบตัวออกไปข้างหน้าโดยอาศัย Segment เป็นตัวรับแรงถีบ เมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า Segment จะเป็นตัวรับแรงภายนอกที่กระทำต่ออุโมงค์ ความดันของดินหน้าอุโมงค์ ถูกควบคุมด้วยอัตราของการขุดเจาะดินหรือการเคลื่อนตัวของ Shield และอัตราของดินที่ถูกขับออกมาด้วย Screw Conveyor นอกเหนือไปจากนั้น ดินบริเวณด้านหน้าอุโมงค์ที่ถูกอัดและลำเลียงออกมาด้วย Screw Conveyor จะถูกตรวจสอบความดันด้วย Earth Pressure Cell ตลอดทุกขั้นตอน เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าความดันของดินจะไม่มากเกินไป จนอาจทำให้เกิด Soil heave หรือน้อยเกินไปจนทำให้เกิด Ground Settlement อีกทั้งยังต้องการมีการตรวจสอบปริมาณของดินที่ถูกขับออกมาจาก Screw Conveyor ให้มีปริมาณที่เหมาะสมและสอดคล้องกันกับ Advance Rate ของหัวเจาะอุโมงค์ แสดงข้อมูลหัวเจาะดังตารางที่ 3.2



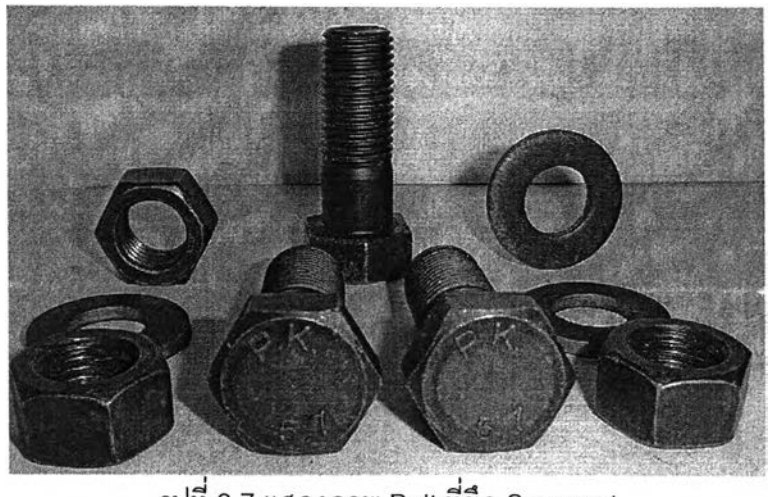
รูปที่ 3.4 แสดงภาพหัวเจาะชนิดปรับแรงดันดินสมดุลย์



รูปที่ 3.5 แสดงภาพการติดตั้ง Segment ภายในอุโมงค์จากด้านล่างไปสู่ด้านบน



รูปที่ 3.6 แสดงภาพ Curve Bolt ที่ยึด Segment ระหว่าง ring เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.7 แสดงภาพ Bolt ที่ยึด Segment

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของหัวเจาะแบบปรับแรงดันดินสมดุลย์

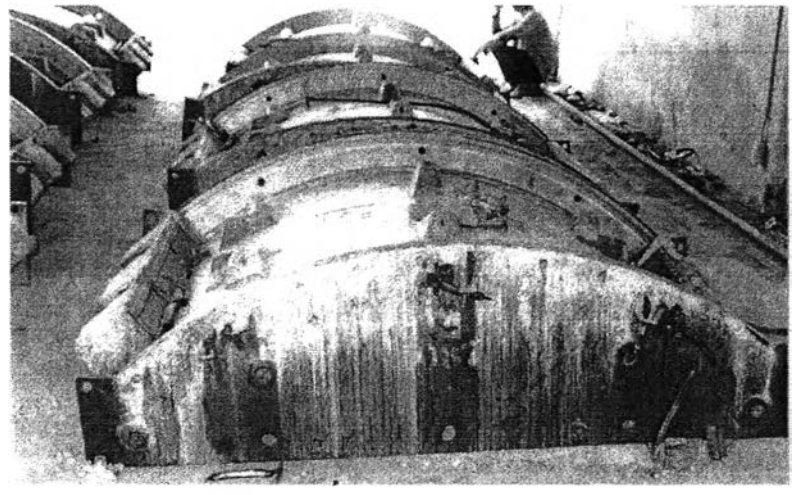
Manufacturer	Herrenknecht รุ่น EPB3600 Shield		
EPB Shield	4,305 mm. O/D x 2,950 mm. long articulated shield (60,000 kg)		
Cutting wheel	Variable speed	0 – 2.60	rpm
	Maximum torque (Continuous)	1,374	kNm.
	Peak torque	1,603	kNm.
	8 No. steering cylinder	1,000	kN.
	Cylinder stroke	200	mm.
Middle Section	4,300 mm O/D x 3,105 mm. long (30,000 kg)		
Screw Conveyer	Diameter	600	mm.
	Pitch	450	mm.
	Theoretical Volume	140	m3/hr
	Variable speed	0 – 18.7	rpm
	Maximum torque (Continuous)	65	kNm.
	Peak torque	75	kNm.
Tail Skin	4,295 mm O/D x 3,325 mm. long with 4 x grout injection lines		
	8 No. articulation cylinder	280	kN.
	Cylinder Stroke	200	mm.
	16 No. Push cylinder	630	kN.
	Cylinder Stroke	1,700	mm.
Belt Conveyor	Length x Width	3600 x 600	mm.
	Speed	1.5	m/sec
	Horizontal stroke	1,000	mm.
	Vertical stroke	590	mm.
	Total Trust	12,000	kN
	Continuous Torque	80	kN
	Advance Speed	0 - 80	mm/min

3.4 ชนิดของดาดอุโมงค์ที่ใช้ (Segment)

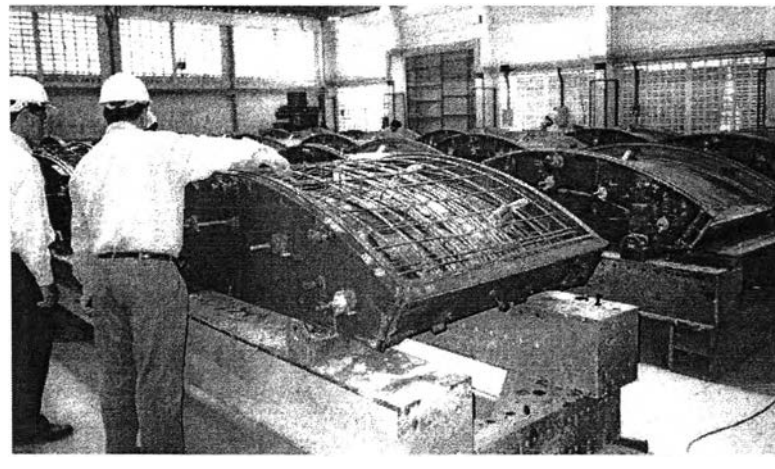
ดาดอุโมงค์ที่ใช้ในโครงการก่อสร้างนี้แบ่งเป็น 3 แบบด้วยกันคือ

3.4.1 Precast Concrete Segment

ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงแห่งนี้ ใช้ดาดอุโมงค์คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยดาดอุโมงค์ชนิดนี้ได้ทำการผลิตที่โรงผลิตโดยทำการหล่อคอนกรีตลงในแบบเหล็กที่ใส่โครงเหล็กเอาไว้ ดังรูป 3.8 และ 3.9 จากนั้นเมื่อทำการถอดแบบเหล็กก็จะได้ Segment ดังรูปที่ 3.8 เมื่อประกอบเป็นวง จะได้เป็นลักษณะรูปวงแหวนประกอบด้วยชิ้นส่วน concrete segment จำนวน 6 ชิ้นติดยางกันซึมทุก segment ยึดติดกันด้วยสลักเกลียว (curve bolt) ในโครงการก่อสร้างนี้ใช้ Precast Concrete Segment มี 2 ชนิดด้วยกันคือ



รูปที่ 3.8 แบบหล่อ Segment concrete



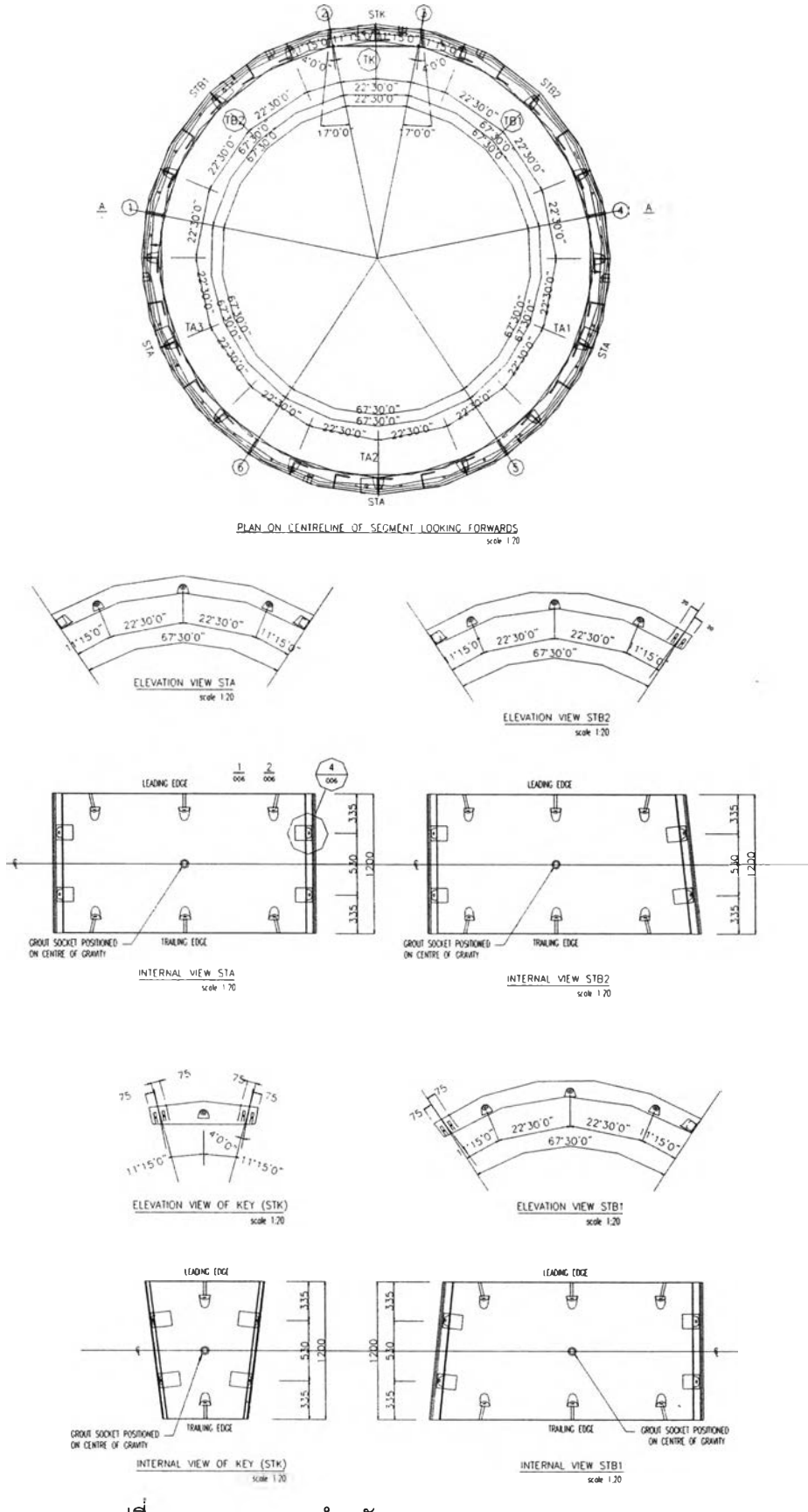
รูปที่ 3.9 โครงเหล็กเสริมในแบบหล่อ Segment

a. Segment สำหรับทางตรง (Straight Segment) - ST segment ชนิดนี้มีขนาดความกว้าง 1200 mm. เท่ากันทุกชิ้น ใช้สำหรับการติดตั้งอุโมงค์ในแนวทางตรง มีจำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 วง กำลังรับน้ำหนักของ segment ชนิดนี้เท่ากับ 400 ksc. ใช้เหล็กเสริมคอนกรีต 2 ชนิดด้วยกันคือ RB 9 (SR 24) และ เหล็กเสริม DB 12 (SD 50) คอนกรีต covering ภายนอก 25 mm. ภายใน 20 mm. ดังรายละเอียดแสดงดังภาพ 3.10.

b. Segment สำหรับทางโค้ง (Tapered Segment) เป็น Segment ที่ใช้สำหรับติดตั้งอุโมงค์ที่มี Alignment ในทางโค้ง มีจำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 วง สำหรับโครงการนี้มี segment สำหรับทางโค้ง 2 แบบด้วยกันคือ

- T1 ใช้สำหรับทางโค้ง มีจำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 วง ขนาดความกว้างของดาดอุโมงค์เท่ากับ 800 mm. ดังแสดงรายละเอียดในภาพ 3.11

- T2 ใช้สำหรับทางโค้ง มีจำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 วง ขนาดความกว้างของดาดอุโมงค์เท่ากับ 1200 mm. ดังแสดงรายละเอียดในภาพ 3.12



รูปที่ 3.10 Segment สำหรับทางตรง Strength Segment ST

SEGMENT TYPE T1A1		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
A	795.5	795.1
B	800	800
C	808.9	809.6
D	816.4	817.7
E	819.3	820.8

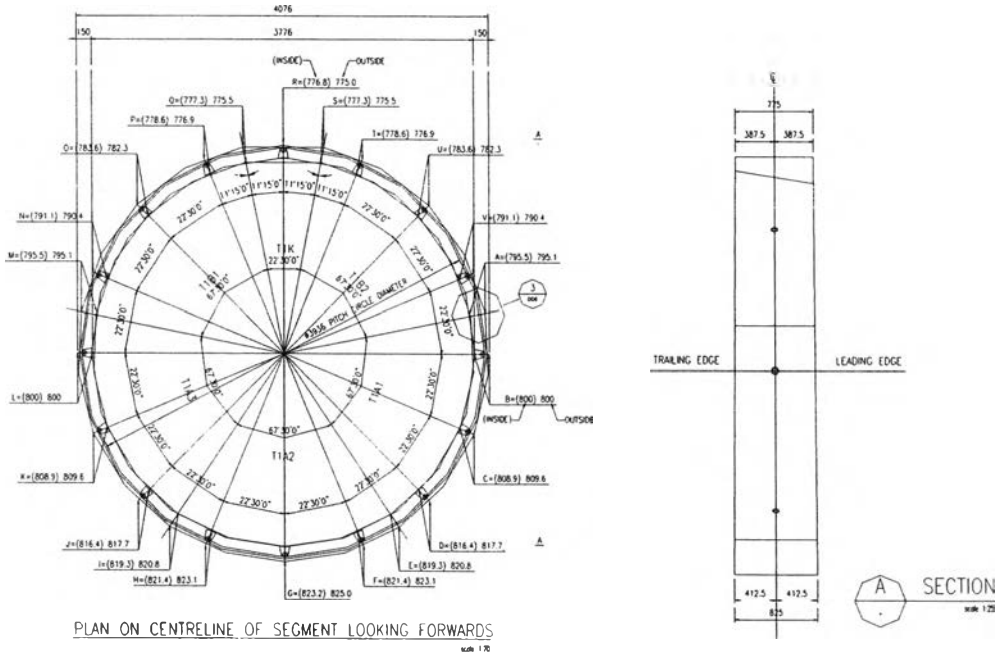
SEGMENT TYPE T1A2		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
E	819.3	820.8
F	821.4	823.1
G	823.2	825.0
H	821.4	823.1
I	819.3	820.8

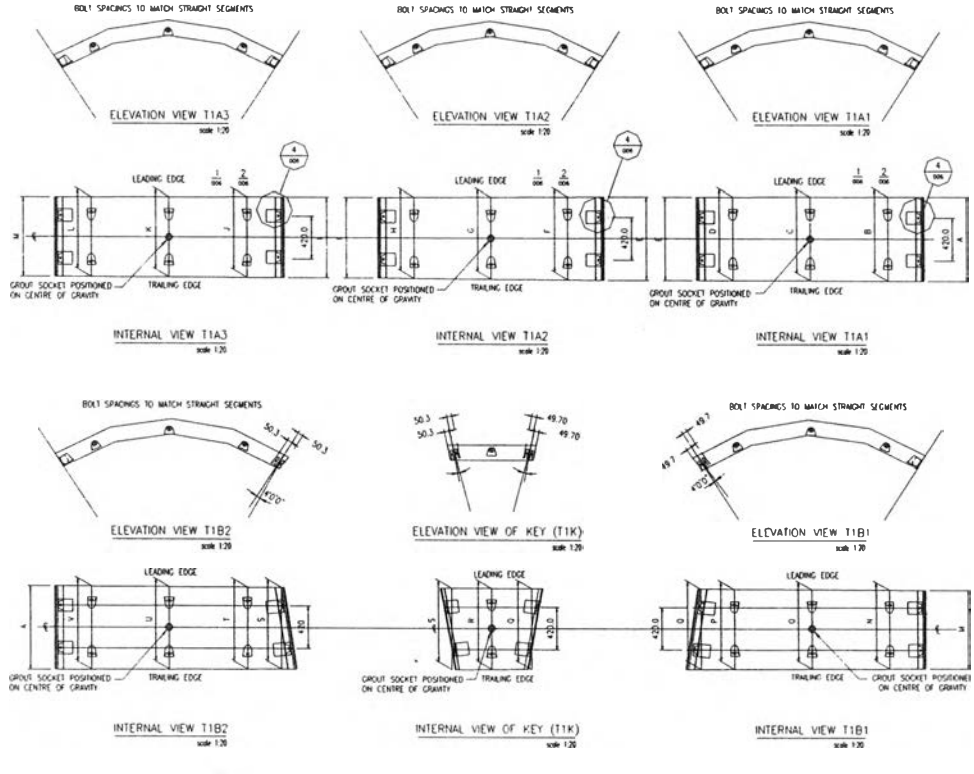
SEGMENT TYPE T1A3		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
I	819.3	820.8
J	816.4	817.7
K	808.9	809.6
L	800	800
M	795.5	795.1

SEGMENT TYPE T1B1		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
M	795.5	795.1
N	791.1	790.4
O	783.6	782.3
P	778.6	776.9
Q	777.3	775.5

SEGMENT TYPE T1K		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
Q	777.3	775.5
R	776.8	775.0
S	777.3	775.5

SEGMENT TYPE T1B2		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
S	777.3	775.5
T	778.6	776.9
U	783.6	782.3
V	791.1	790.4
A	795.5	795.1





รูปที่ 3.11 Segment สำหรับทางโค้ง Taper Segment T1

SEGMENT TYPE T2A1		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
A	1197.7	1197.6
B	1200	1200
C	1204.4	1204.8
D	1208.2	1208.8
E	1209.6	1210.4

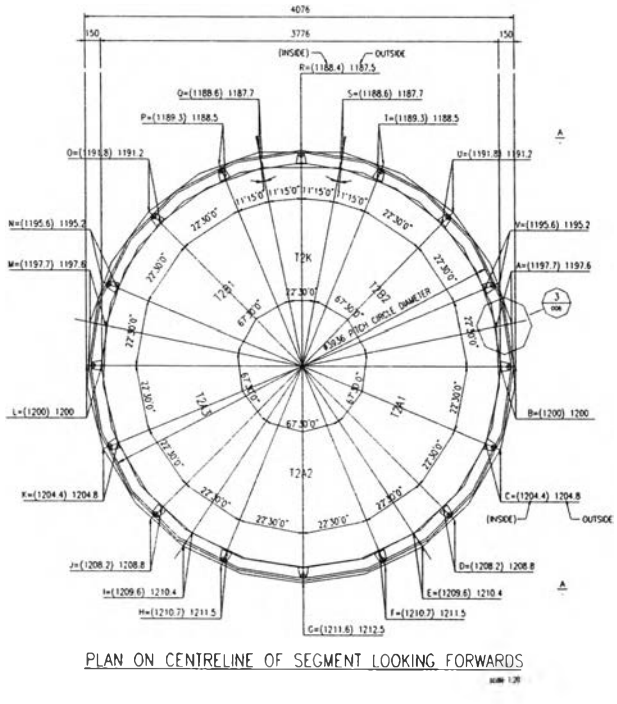
SEGMENT TYPE T2A2		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
E	1209.6	1210.4
F	1210.7	1211.5
G	1211.6	1212.5
H	1210.7	1211.5
I	1209.6	1210.4

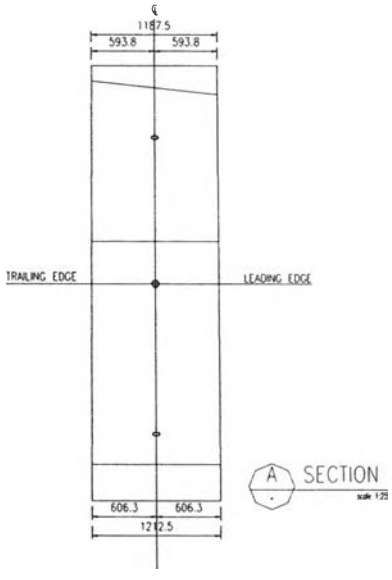
SEGMENT TYPE T2A3		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
I	1209.6	1210.4
J	1208.2	1208.8
K	1204.4	1204.8
L	1200	1200
M	1197.7	1197.6

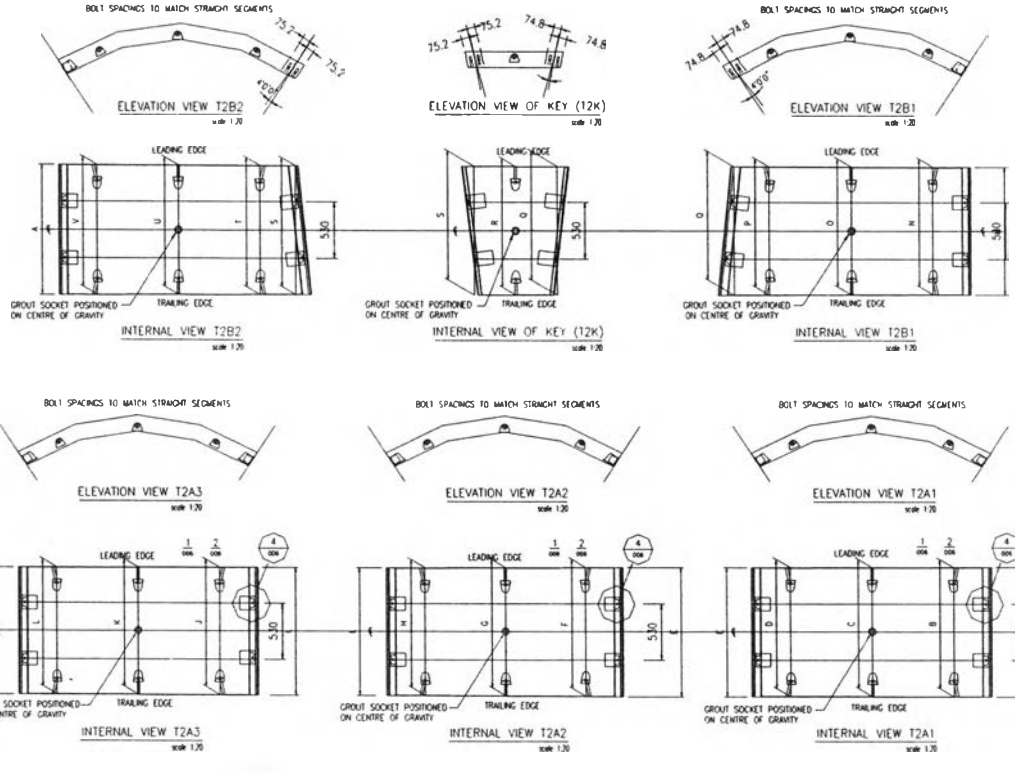
SEGMENT TYPE T2B1		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
M	1197.7	1197.6
N	1195.6	1195.2
O	1191.8	1191.2
P	1189.3	1188.5
Q	1188.6	1187.7

SEGMENT TYPE T2K		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
Q	1188.6	1187.7
R	1188.4	1187.5
S	1188.6	1187.7

SEGMENT TYPE T2B2		
WIDTH	INSIDE	OUTSIDE
S	1188.6	1187.7
T	1189.3	1188.5
U	1191.8	1191.2
V	1195.6	1195.2
A	1197.7	1197.6



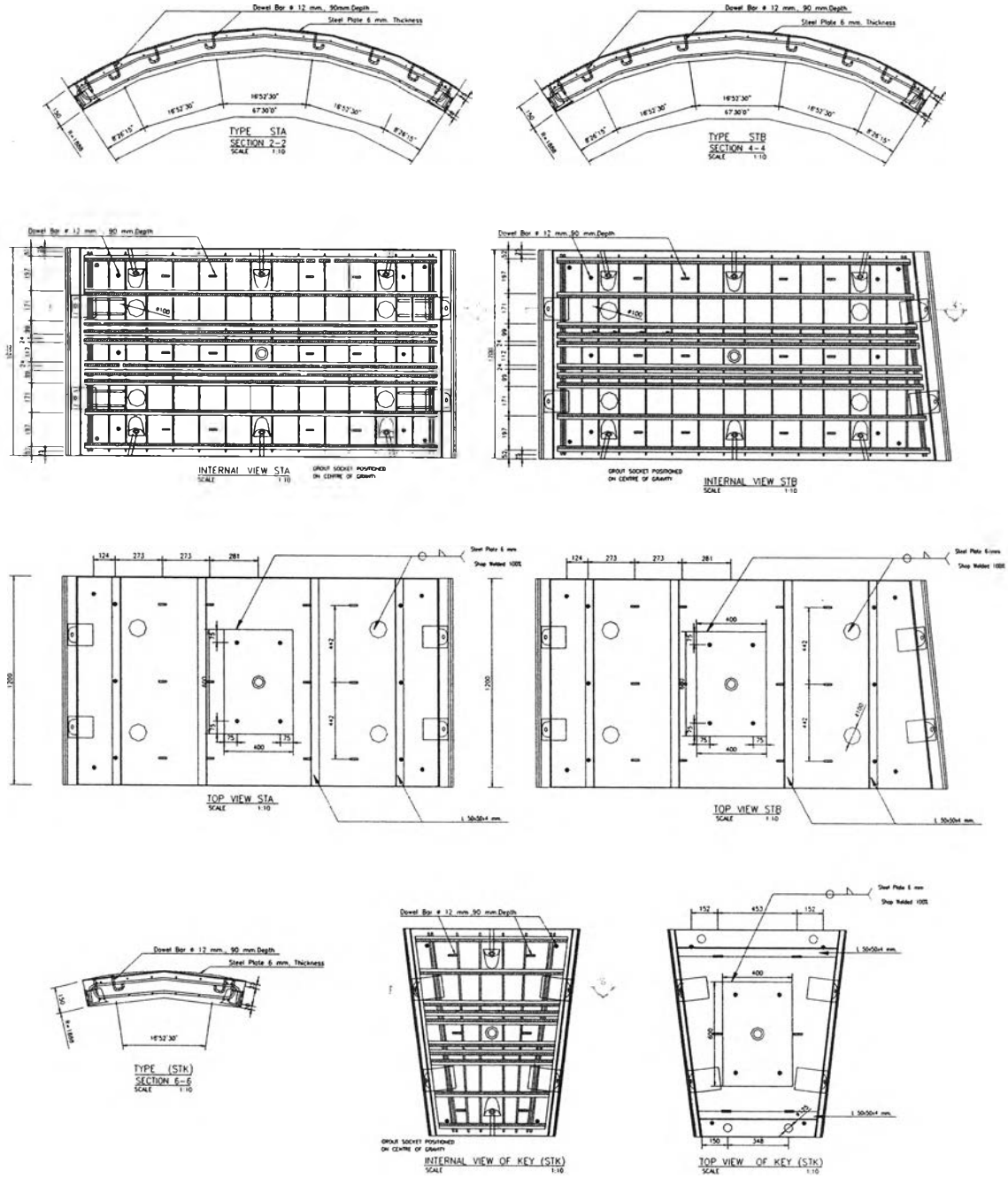




รูปที่ 3.12 Segment สำหรับทางโค้ง Taper Segment T2

3.4.2 Composite Segment

ดาดอุโมงค์ชนิดนี้ ประกอบด้วย Reinforce concrete segment ประกบกับแผ่นเหล็ก (Steel Plate) ดังนั้นผนังอุโมงค์ประเภทนี้จึงมีความแข็งแรงมากกว่า ผนังอุโมงค์คอนกรีตธรรมดา และสามารถรับน้ำหนักที่กระทำต่อผนังอุโมงค์ได้มากกว่า ดาดอุโมงค์ แบบคอนกรีตด้วย รายละเอียดดังรูปที่ 3.13

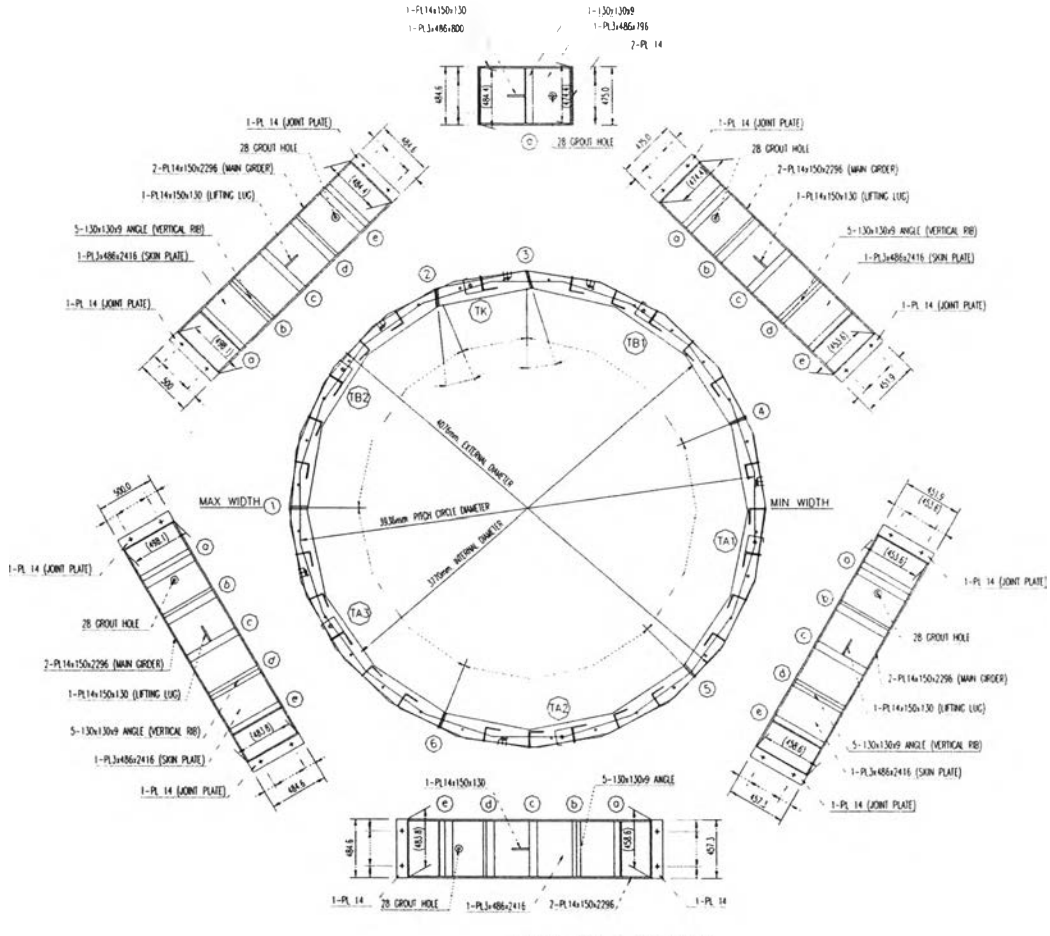


รูปที่ 3.13 Composite Segment

3.4.3 Steel Segment

ผนังอุโมงค์ที่ยึดด้วยเหล็กกล้า มักจะถูกใช้อย่างกว้างขวาง ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ Segment จะถูกยึดติดเข้าด้วยกันโดยวิธีการเชื่อมและยึกด้วยสกูร ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงแห่งนี้ใช้ดาดอุโมงค์เหล็กจำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 วง ขนาดกว้าง 500 mm. ดังรูปที่ 3.14 ดาดอุโมงค์ชนิดนี้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต สามารถติดตั้งได้รวดเร็วกว่า แต่มีราคาแพง ดังนั้น Segment ประเภทนี้จึงนำมาใช้ในบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักมาก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับอุโมงค์

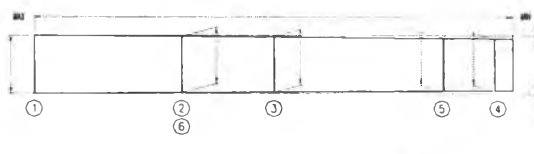
ที่พื้นผิวของ Steel Segment จะต้องถูกทาด้วยสีด้านทานการสึกกร่อน เพื่อป้องกันการเกิดสนิมที่พื้นผิวเหล็กอันเนื่องมาจากน้ำที่อยู่ภายในมวลดินที่สัมผัสกับพื้นผิวเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16



VERTICAL RIBS & JOINT PLATES

SEGMENT			VERTICAL RIBS (SEE NOTE 2) OUTER	INNER
TB	2	a	499.5	497.7
		b	498.1	496.4
		c	495.8	494.2
		d	492.7	491.4
		e	488.9	487.8
TK		a	479.9	479.5
TB	1	a	470.1	470.5
		b	465.4	466.2
		c	461.1	462.2
		d	457.3	458.8
		e	454.2	455.8
TA	1	a	450.5	452.3
		b	450.0	451.9
		c	450.5	452.3
		d	451.9	453.8
		e	454.2	455.8
TA	2	a	461.1	462.2
		b	465.4	466.2
		c	470.1	470.5
		d	475.0	475.0
		e	479.9	479.5
TA	3	a	499.5	497.7
		b	498.1	496.4
		c	495.8	494.2
		d	492.7	491.4
		e	488.9	487.8

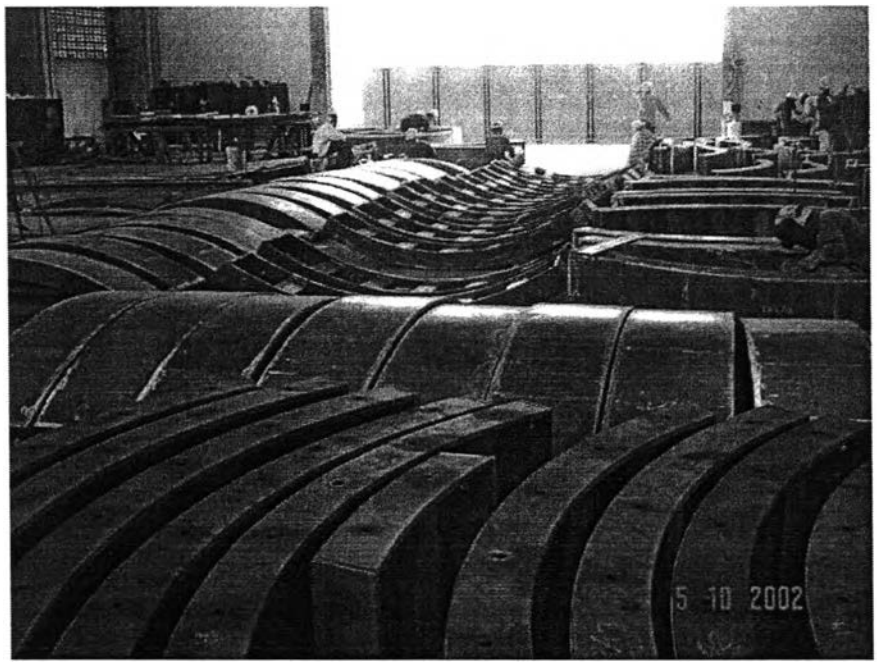
SEGMENT			JOINT PLATES OUTER	INNER
TB	2	1	500.0	498.1
		2	484.6	484.4
TK		2	484.6	484.4
		3	475.0	474.4
TB	1	3	475.0	474.4
		4	451.9	453.8
TA	1	4	451.9	453.8
		5	457.3	458.8
	2	5	457.3	458.8
		6	484.6	483.8
	3	6	484.6	483.8
		1	500.0	498.1



NOTES

1. DIMENSIONS SHOWN WITHOUT UNITS ARE IN MILLIMETERS
2. 14mm SIDE PLATE (2 No) INCLUDED IN LENGTH OF VERTICAL RIBS
3. VALUES IN ( ) INDICATE THE DIMENSIONS AT INTERNAL FACE
4. THESE SEGMENTS ARE TO USED WHERE THE CURVE RADIUS OF TUNNEL CENTER LINE IS 50m
5. STEEL PLATES USED FOR SEGMENTS USED SM50 HAVE A MINIMUM YIELD STRENGTH OF 3,300 Kg/Cm^2 EXCEPT SKIN PLATE (THK 3 mm) USED SS400 STEEL
6. BOLTS CONFORM TO JIS B1180 (GRADE 4.6) AND M22 AND 60 MM LONG (THREADED LENGTHS SUFFICIENT TO ALLOW JOINTS TO TIGHTLY BOLTED UNDER ALL CONDITIONS
7. NUTS CONFORM TO JIS B1181 (GRADE 4)
8. WASHERS STEEL CONFORMING TO JIS B1256 (HARDNESS 14H)
9. ALL SEGMENTS HAVE THE FOLLOWING MARKING ON INSIDE SURFACE :-
   (a) MWA
   (b) TYPE OF SEGMENT EG "TA1", "TA2" ETC
   (c) JOINT NAME FOR ERECTION
10. GROUT HOLE PIPES CONFORM TO JIS G3445 (GRADE STKM 13A) AND THREADED LENGTH 23 MM
11. PLUGS FOR GROUT HOLES CONFORM TO JIS B2301 AND JIS B0203
12. ALL STEEL SEGMENTS COATED WITH ANTI-CORROSIVE PAINT ON BOTH OUTSIDE SURFACE AND INSIDE SURFACE AT WORKSHOP, DAMAGED COAT ON OUTSIDE SURFACE REPAIRED FORE ERECTION
13. WELDING ELECTRODE E60 SERIES

รูปที่ 3.14 Steel Segment



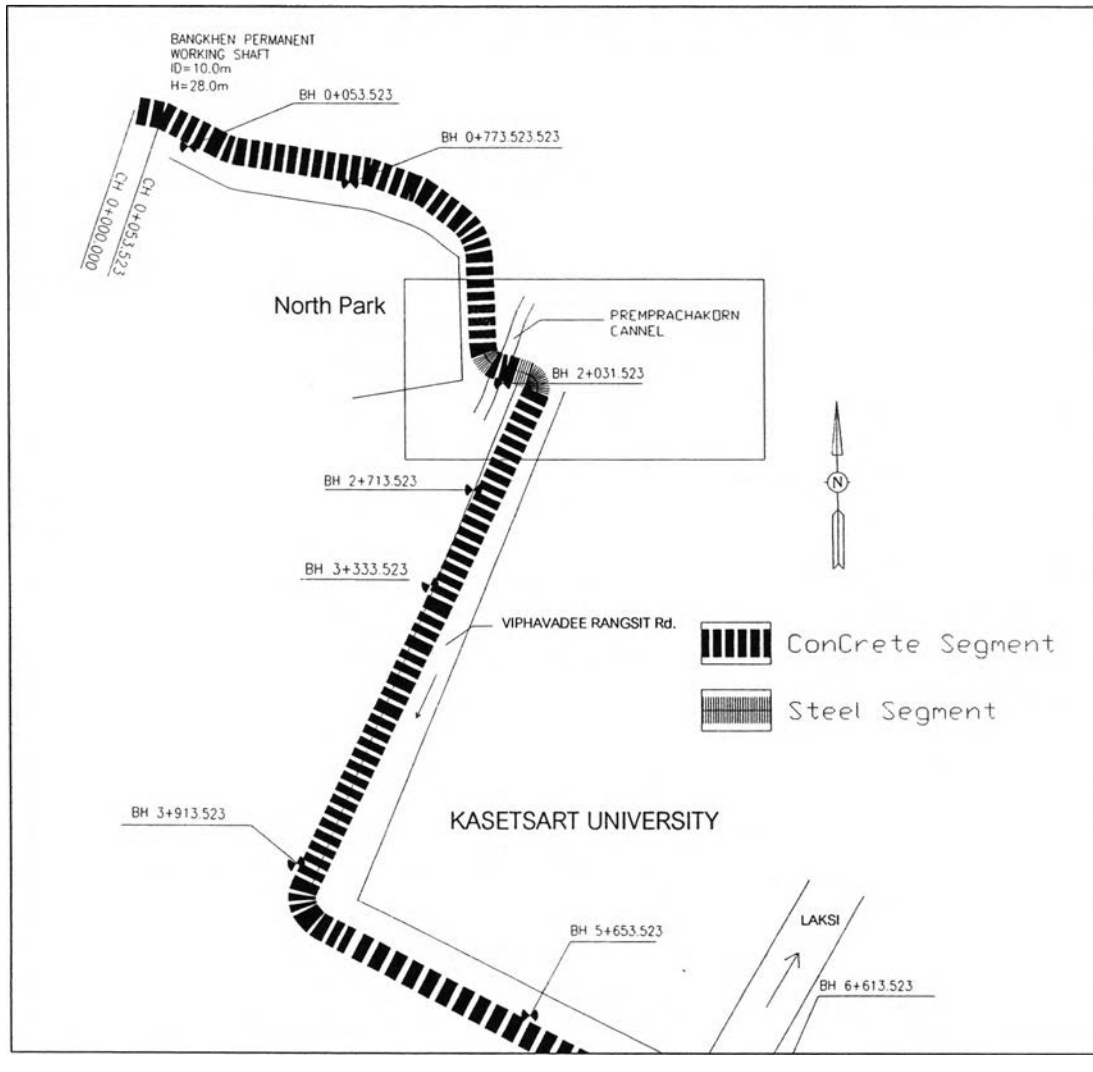
รูปที่ 3.15 Steel Segment ยังไม่ได้ทำสีด้านการกัดกร่อน

รูปที่ 3.16 Steel Segment ทำสีด้านทานการสึกกร่อน

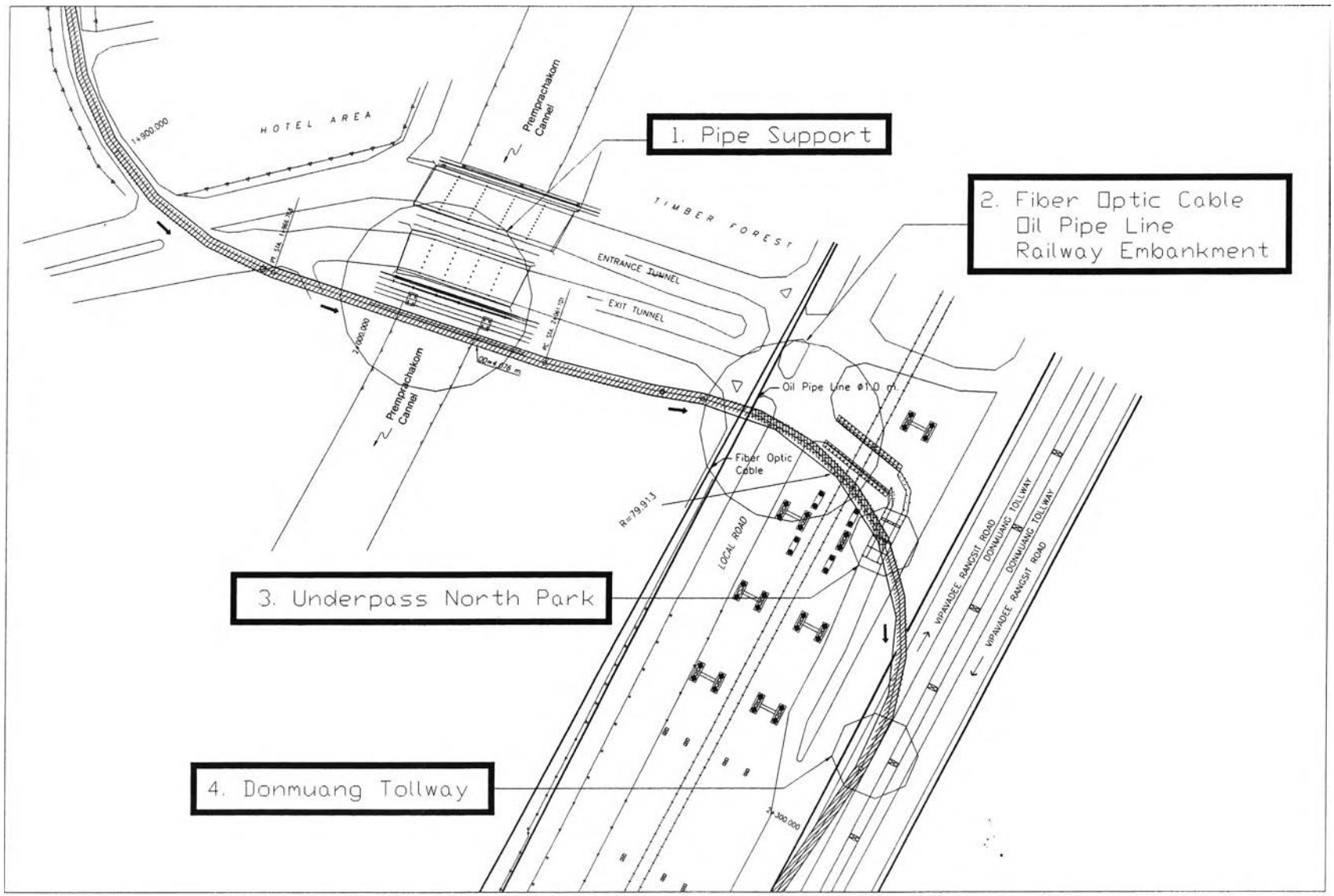
3.5 **ข้อมูลสถานที่ติดตั้งและตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน** (Monitoring Instrument)

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาโครงการอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง เป็นโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำสัญญาเลขที่ G-MC-7A เริ่มจากโรงงานผลิตน้ำบางเขนไปตามถนนเลียบสนามกอล์ฟนอร์ทปาร์ค ตัดผ่านถนน Local road เข้าสู่ถนนวิภาวดีรังสิต จนถึงถนนงามวงศ์วานตัดใหม่ ระยะทางประมาณ 6.7 กิโลเมตร โดยทำการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอุโมงค์ 4.05 เมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอุโมงค์ 3.7 เมตร ในระดับชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 20 – 21 เมตร

การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแห่งนี้มีบางบริเวณที่ทำการก่อสร้างได้ยากลำบาก เนื่องจากแนวของอุโมงค์จำเป็นต้องตัดผ่านเข้าสู่ถนนวิภาวดีรังสิต ซึ่งในบริเวณก่อนเข้าถนนวิภาวดีรังสิต แนวอุโมงค์จะต้องลอดผ่าน ระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ และต้องมีการหลบหลีกแนวเสาเข็มโครงสร้างขนาดใหญ่ซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางแนวของอุโมงค์ บริเวณที่มีสิ่งกีดขวางมากแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 แสดงบริเวณที่ทำการศึกษาแนว Obstruction ทั้ง 4 จุด



รูปที่ 3.18 แสดงภาพขยายบริเวณที่ทำการศึกษาแนว Obstruction ทั้ง 4 จุด

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวของดินและโครงสร้างในบริเวณที่มีแนวอุโมงค์ตัดผ่าน ซึ่งบริเวณที่ทำการศึกษานั้น เริ่มต้นจากจุดแรก เป็นบริเวณที่มีการก่อสร้างอุโมงค์ลอดใต้แนวของเสาเข็ม Pipe Support บริเวณคลองเปรมประชากร ส่วนในจุดที่ 2 เป็นบริเวณที่แนวอุโมงค์ส่งน้ำลอดใต้ สายเคเบิลใยแก้ว ท่อส่งน้ำมัน และทางรถไฟรางคู่บริเวณ Local Road ขนานกับถนนวิภาวดีรังสิต ในจุดที่ 3 แนวอุโมงค์ส่งน้ำได้ตัดผ่าน Underpass ทางเข้าสนามกอล์ฟนอร์ทปาร์คซึ่ง Underpass ดังกล่าวมีแนวของเสาเข็มกลุ่มขนาดใหญ่ขวางแนวอุโมงค์ส่งน้ำอยู่มีความจำเป็นต้องตัดเข็มเดิมออก แล้วเสริมเข็มใหม่เข้าไปแทน และบริเวณสุดท้ายคือจุดที่แนวอุโมงค์ส่งน้ำเลี้ยวโค้งเข้าสู่ถนนวิภาวดีรังสิต ซึ่งแนวของอุโมงค์ได้เข้าใกล้กับเสาเข็มตอม่อของโครงการดอนเมืองโทลย์เวย์ ในจุด Obstruction ทั้ง 4 จุดนั้น แสดงได้ดังภาพขยายที่ 3.18 เป็นจุดที่ควรมีการควบคุม การทรุดตัวของดินและโครงสร้าง อันเกิดจากการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำผ่านแนวโครงสร้างดังกล่าว จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค เพื่อตรวจวัดคุณภาพของการขุดเจาะตลอดระยะเวลาที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์ โดยทำการศึกษา โดย ติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดินและโครงสร้างใต้ดิน ซึ่งถ้ามีการเคลื่อนตัวที่มากเกินไปก็สามารถทราบได้ทันท่วงทีก่อนที่จะเกิดความเสียหายแก่โครงสร้างเดิม

ในบริเวณ Obstruction ทั้ง 4 จุดนี้มีการใช้เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน ดังต่อไปนี้คือ

a.) Ground Surface Settlement Point เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของดินหรือโครงสร้างบนผิวดิน

b.) Ground Settlement Marker เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของผิวดิน ในระดับตื้น โดยติดตั้งลึกลงไป 40 Cm.

c.) Extensometer เป็นครื่องมือใช้วัดการทรุดตัวในแนวดิ่ง ของชั้นดินแต่ละชั้น ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

d.) Inclinometer เป็นครื่องมือใช้วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของชั้นดิน ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

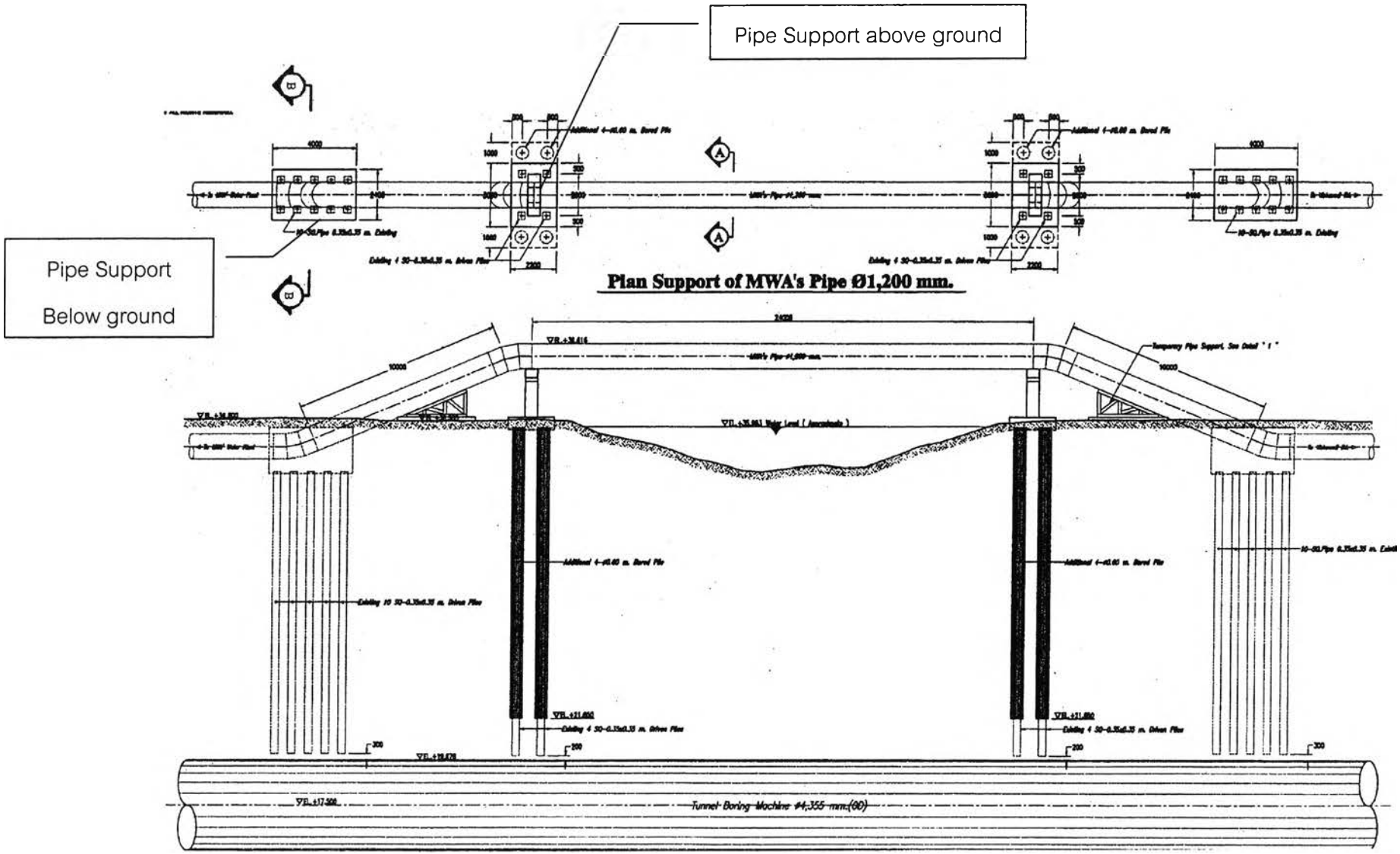
e.) Nail Point เป็นครื่องมือ ใช้วัดการเคลื่อนตัวของผิวจราจรในแนวดิ่ง ประกอบด้วยหมุด Stainless Steel ฝังลงในผิวจราจรประมาณ 76 mm.

3.5.1 Obstruction **บริเวณ** Pipe Support **ของการประปานครหลวง**

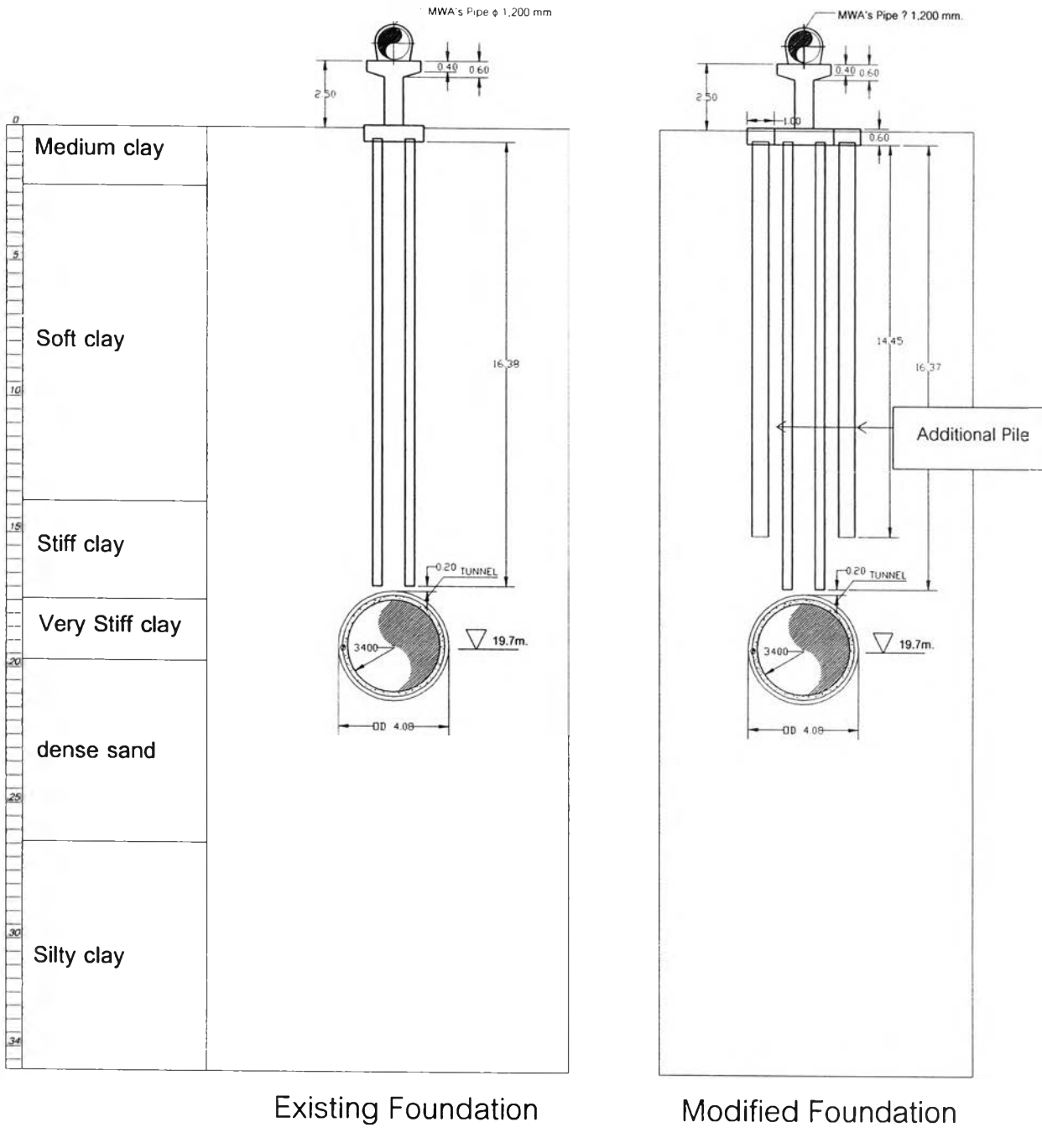
ในบริเวณ Pipe Support **ของการประปานครหลวงนั้น แนวอุโมงค์ได้ทำการตัดผ่าน** ลอดใต้เสาเข็มกลุ่มเดิม (Exiting Pile) ซึ่งรองรับท่อส่งน้ำประปาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,200 mm. ดังรูปที่ 3.19 โดยฐานรากของเสาเข็มกลุ่มนั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

a.) Pipe Support Above Ground **ฐานรากเดิม** (Existing Foundation) ประกอบด้วยเสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 0.35 x 0.35 m. **จำนวน** 4 **ต้น มีความยาวเสาเข็มประมาณ** 16 m. Cab beam **มีขนาด** 2.2 x 0.6 x 3.0 m. **ส่วนฐานรากที่ทำการเสริม** (modified Foundation) **ทำการเสริมเสาเข็มเจาะ** (Addition bore pile) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm. **จำนวน** 4 **ต้น และเสริม** cab beam ออกไปข้างละ 1 m. **แสดงรายละเอียดดังรูปที่** 3.20

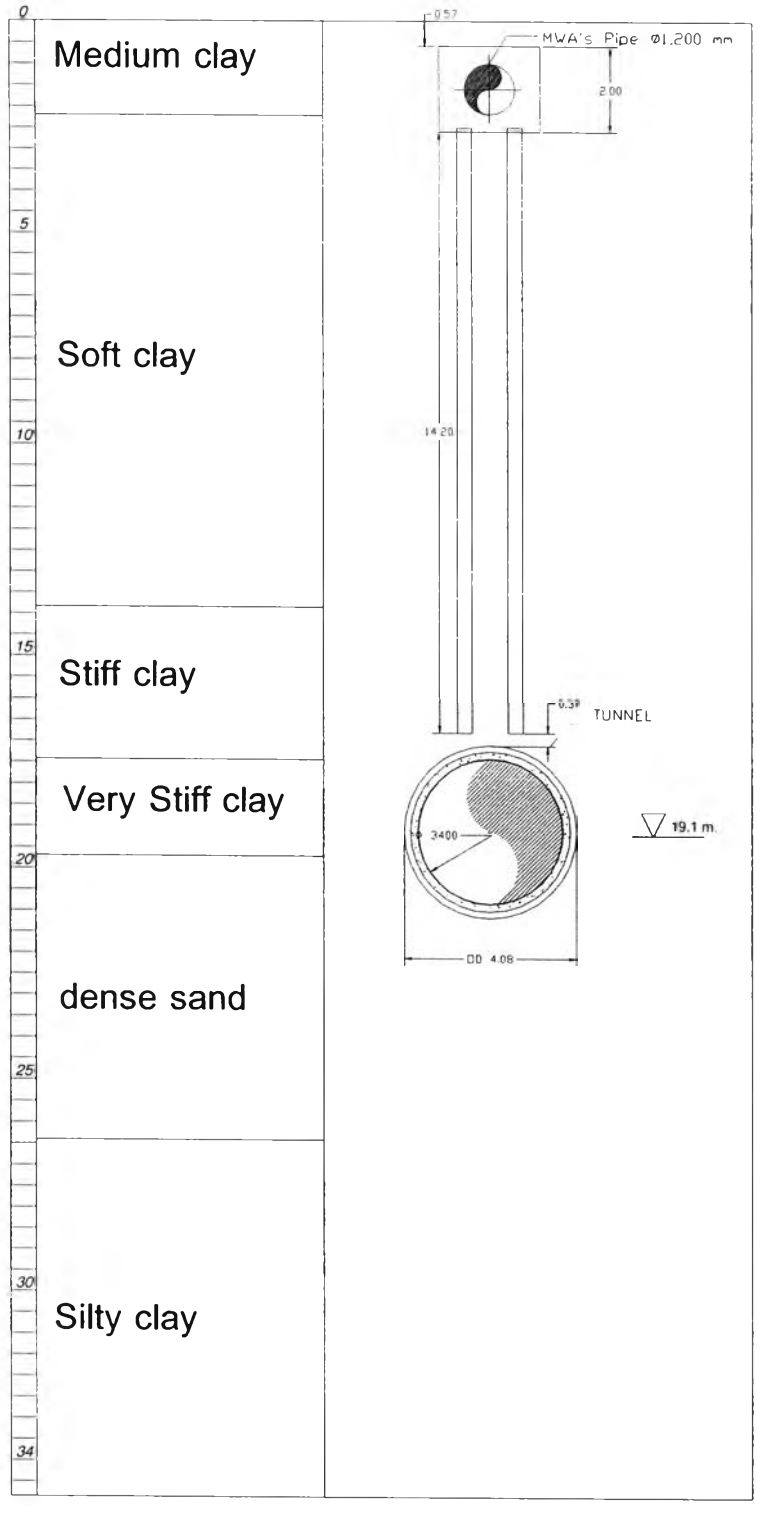
b.) Pipe Support Below Ground **เป็นฐานรากที่ออกแบบรับแรงดันของน้ำ** เมื่อท่อมีการเปลี่ยนแนว **ฐานรากชนิดนี้ประกอบด้วยเสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด** 0.35 x 0.35 m. **จำนวน** 10 ต้นมีความยาว 14 m. โดย cab beam **มีขนาด** 2.0 x 2.4 x 4.0 m. **ฝังอยู่ในพื้นดิน ดังนั้นจึงไม่ต้องทำ** การปรับปรุงฐานรากแต่อย่างใด ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.19 แสดงแนวการขุดเจาะอุโมงค์ลอดผ่านเสาเข็ม และการเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากเดิมบริเวณ Pipe Support



รูปที่ 3.20 แสดงการเสริมฐานรากบริเวณ Pipe Support above Ground



SECTION B - B
FOUNDATION BELOW GROUND

รูปที่ 3.21 แสดงการเสริมฐานรากบริเวณ Pipe Support below Ground

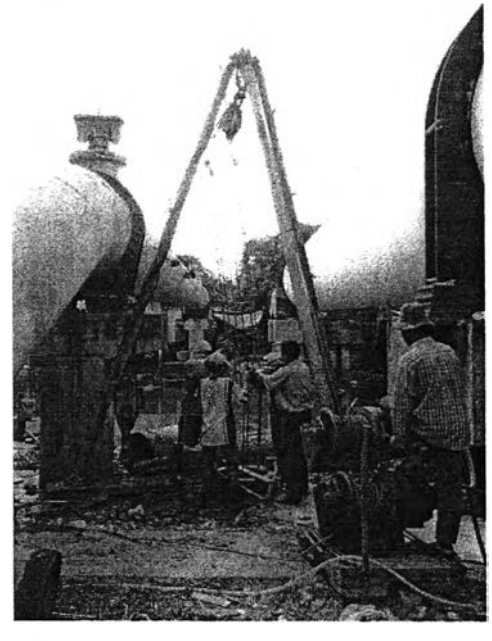
3.5.1.1 **การเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากบริเวณ** Pipe Support Foundation

ในบริเวณนี้มีการเจาะอุโมงค์ลอดใต้เสาเข็ม Pipe Support แสดงดังรูปที่ 3.22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวการเจาะอุโมงค์นั้นอยู่ใต้ปลายของเสาเข็มของฐานรากเดิม ประมาณ 20 Cm. เท่านั้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนั้นเป็นข้อมูลที่มีระยะเวลาผ่านมานานแล้ว ในปัจจุบันปลายเข็มเดิมนั้นอาจจะไม่ได้อยู่ในระดับดังกล่าวก็อาจเป็นได้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบระดับ Pile Tip ของเสาเข็มเดิมด้วยวิธี Pararell Seismic or Low Strain Pile Integrity Test ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบดังกล่าวพบว่าที่ปลายของเสาเข็มเดิมอยู่ห่างจากแนว Crown of Tunnel ประมาณ 20 Cm. เพื่อเป็นการเสริมความแข็งแรงกับฐานราก Pipe Support ให้เพิ่มขึ้น ได้ทำการเสริมฐานราก Pipe Support นี้ โดยใช้การเสริมเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 Cm. เพิ่มจากเดิมฐานรากละ 4 ต้น มีขั้นตอนการทำการเสริมเข็มดังนี้

การเสริมความแข็งแรงของฐานรากรองรับท่อประปาจะแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ ด้านสนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค และด้านถนนเลียบทางรถไฟโดยการก่อสร้างจะเริ่มที่ด้านติดถนนเลียบทางรถไฟก่อนดังนี้

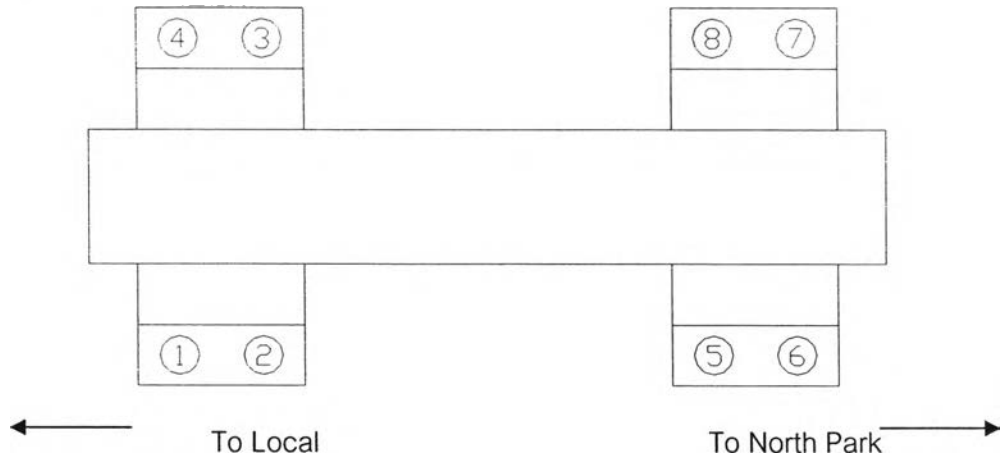
- รื้อถอนบ้านหลังที่อยู่ใกล้ฐานรากฝั่งถนนเลียบทางรถไฟ โดยจะรื้อเฉพาะส่วนที่กีดขวางการก่อสร้างเท่านั้น

- เคลื่อนย้ายเครื่องจักรในการทำเข็มเจาะเข้าหน้างานโดยใช้เครื่องเจาะแบบ 3 ขา และวางบนพื้นไม้หนาเพื่อความมั่นคง ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 แสดงการทำเข็มเจาะเสริมฐานราก

- กำหนดจุดศูนย์กลางเข็มเจาะตามแบบ Shop Drawing โดยเรียงลำดับการทำดังนี้



รูปที่ 3.23 แสดงแนวศูนย์กลางการทำเข็มเจาะเสริมฐานราก

- ทำเสาเข็มเจาะแบบ dry process ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ใช้ Casing ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 เซนติเมตร ยาว 1.5 เมตรต่อท่อน ตอกเพื่อป้องกันดินโดยรอบพังทลาย โดยเจาะลึกประมาณ 15 เมตร (ปลายเข็มอยู่ที่ระดับ +21.650 เมตร, ระดับผิวดินอยู่ที่ +36.65 เมตร)

- ใส่เหล็กเสริมข้ออ้อยขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร (SD30) จำนวน 6 เส้น ความยาว 5 + 5 + 6 เมตร โดยมีระยะทาบประมาณ 0.9 เมตร ระยะ covering 7.5 เซนติเมตร และใส่เหล็กปลอกขนาด 9 มิลลิเมตร ทุกระยะ 30 เซนติเมตร

- เทคอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย 280 kg/cm2 (ทรงกระบอก) ที่ 28 วัน (ซีแพค) หน่วงน้ำยา 4 ชั่วโมง

- ทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic test

- ตรวจสอบการทำงานตาม Inspection Sheet

- หลังจากทำเสาเข็มเจาะด้านติดถนนเลียบทางรถไฟแล้ว เสร็จจำนวน 4 ต้น จึงเคลื่อนย้ายเครื่องจักรไปยังด้านสนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค เพื่อทำเข็มเจาะอีกจำนวน 4 ต้น โดยทำงานเช่นเดียวกับข้อ 1 – 7

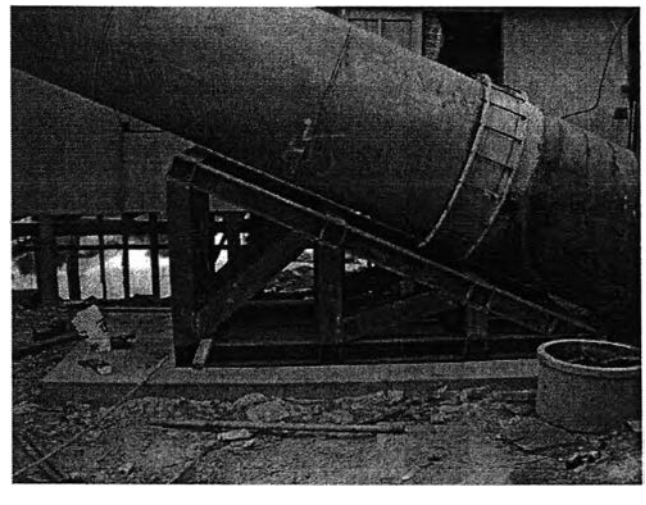
- ทำการซ่อมแซมบ้านที่รื้อย้ายทั้ง 2 ฝั่งให้มีสภาพเหมือนเดิม

- ขยายฐานรากออกไปจากฐานรากเดิมข้างละ 1 เมตร โดยทำการสกัดเสาเข็มให้มีระยะหัวเข็มในฐานรากประมาณ 10 เซนติเมตร และเหล็กเสริมแนวตั้งจากเสาเข็มประมาณ 50 เซนติเมตร (ฐานรากหนา 60 เซนติเมตร)

- ผูกเหล็กเสริมข้ออ้อยขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทั้งด้านสั้นและด้านยาวโดยเสียบเหล็กเข้าไปในฐานรากเดิม 30 เซนติเมตร โดยยึดด้วย Epoxy bonding

รูปที่ 3.24 แสดงการเสริมฐานราก

- เทคอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย 280 kg/cm2 (ทรงกระบอก) ที่ 28 วัน (ซีแพค)
- ทำ Temporary Support รองรับท่อประปาดังกล่าว โดย
- เทพื้นคอนกรีตขนาด 2.0 x 3.8 x 0.15 m. เสริมเหล็กกลม RB9@0.2 ม.
- สร้างโครงเหล็กถัก WF 150 x 150 mm.รองรับท่อประปา ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 Temporary Support

- ปรับสภาพหน้างานให้เหมือนก่อนเริ่มการก่อสร้าง

- ตรวจวัดการทรุดตัว (Settlement) ของฐานรากอย่างใกล้ชิดตลอดช่วงเวลาที่หัวเจาะเจาะผ่านฐานรากทั้งสอง

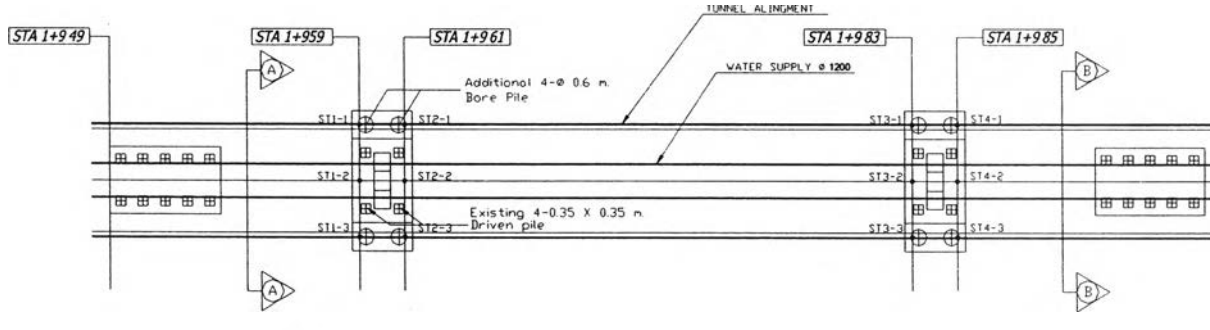
3.5.1.2 **ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณ** Pipe Support

บริเวณ pipe Support นี้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างตอม่อ (Structural Settlement) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

a.) บริเวณ Foundation Below Ground ทำการติดตั้ง Structural settlement Point 1 จุด ดังรูปที่ 3.26 บริเวณ station 1+949

b.) บริเวณ Foundation Above Ground ทำการติดตั้ง Structural settlement Point 4 จุด ดังรูปที่ 3.26 บริเวณ station ต่าง ๆ ดังนี้

- Station 1+959 ติดตั้ง 3 จุดบนฐานรากคือ ST1-1, ST1-2, ST1-3
- Station 1+961 ติดตั้ง 3 จุดบนฐานรากคือ ST2-1, ST2-2, ST2-3
- Station 1+983 ติดตั้ง 3 จุดบนฐานรากคือ ST3-1, ST3-2, ST3-3
- Station 1+985 ติดตั้ง 3 จุดบนฐานรากคือ ST4-1, ST4-2, ST4-3



รูปที่ 3.26 Instrumentation บริเวณ Pipe Support

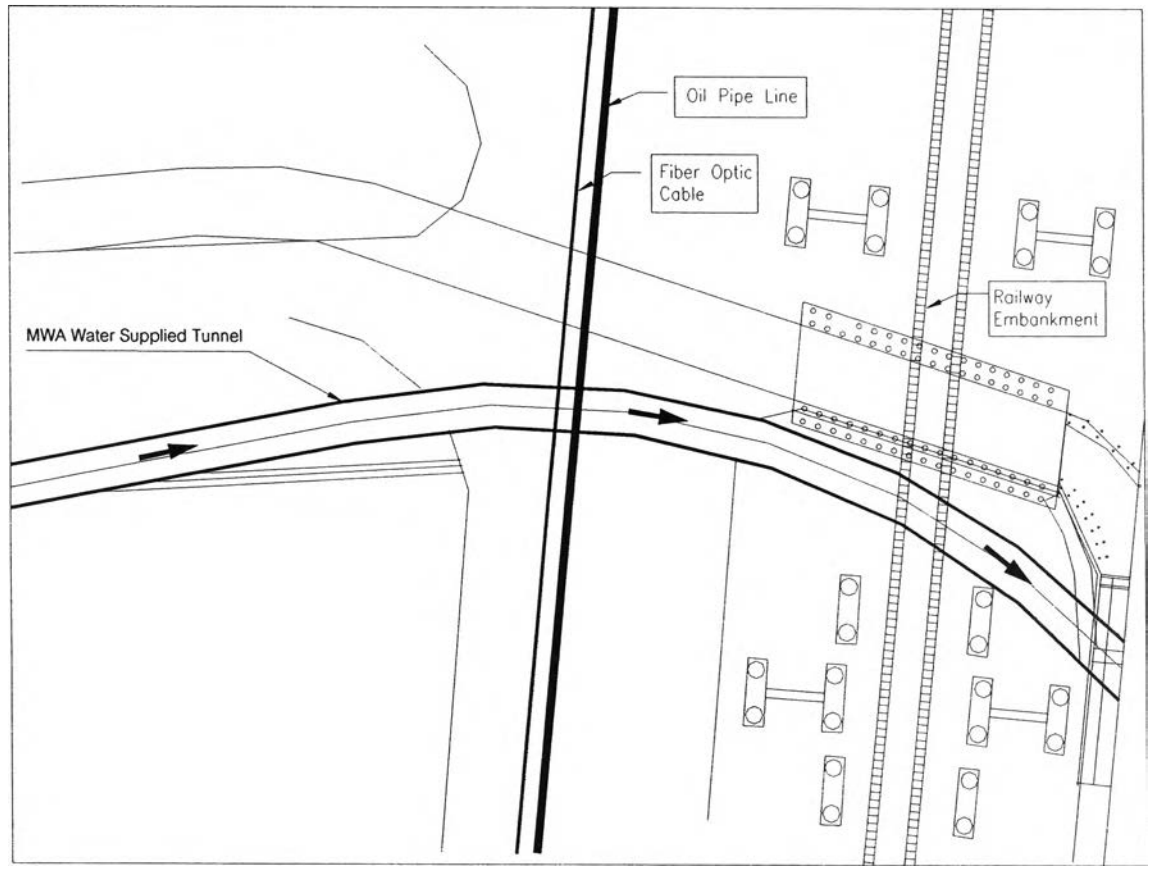
3.5.2 Obstruction บริเวณ Oil pipe line, Fiber optic cable และ รางรถไฟ

ในบริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic Cable และ Railway Embankment แนวอุโมงค์ได้ทำการลอดใต้ Obstruction ทั้ง 3 จุดมีแปลนแสดงตำแหน่งดังรูปที่ 3.27 และ 3.28

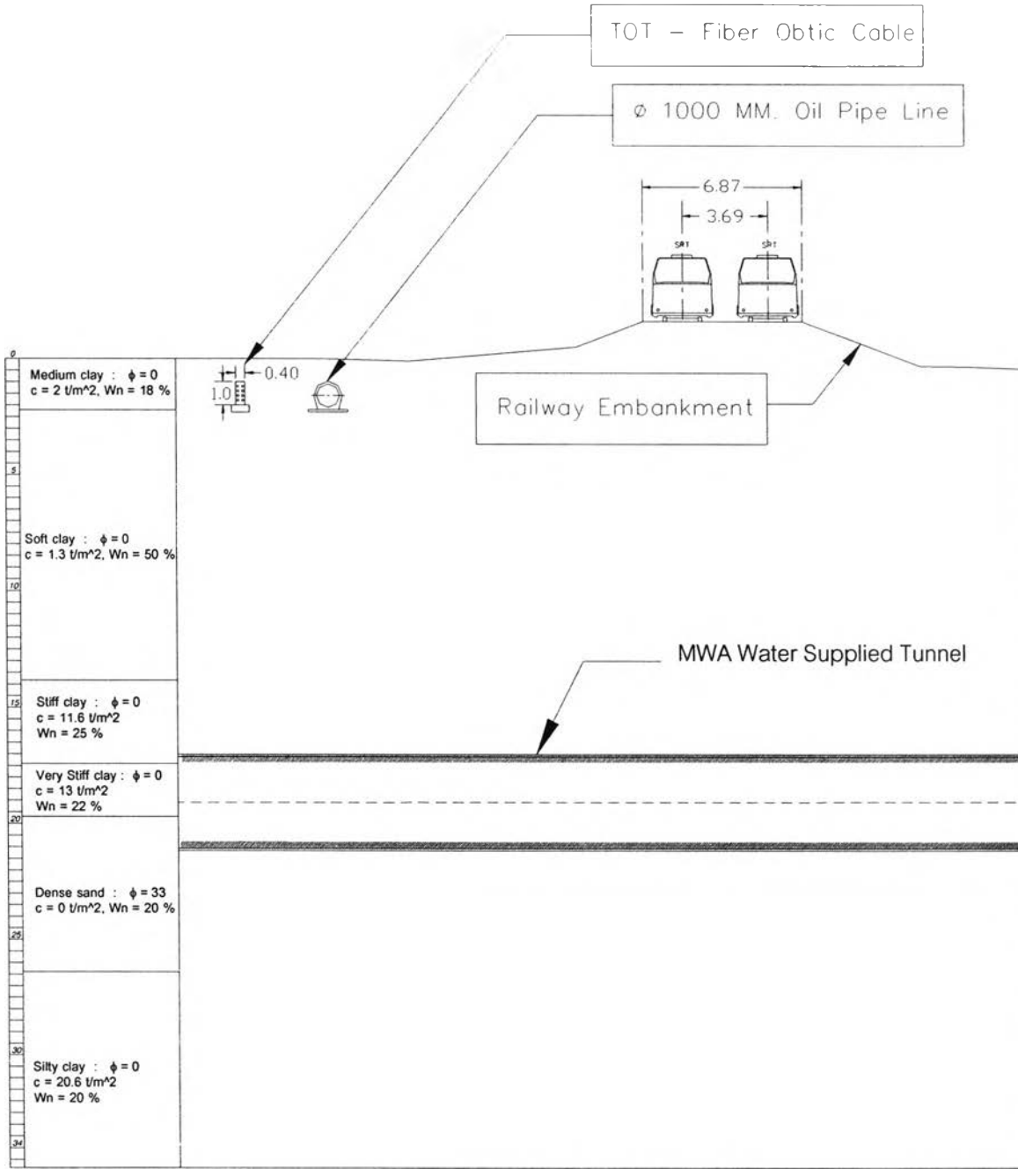
a.) Oil Pipe Line ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 m. วางในแนวคู่ขนานกับ Local Road ฝังลึกลงไปจากผิวดินลึกประมาณ 1 m.

b) Fiber Optic Cable เป็นสายโทรศัพท์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว จำนวน 8 เส้น วางในแนวคู่ขนานกับ Local Road ลงไปจากผิวดินลึกประมาณ 1 m.

c) Railway Embankment เป็นคันทางรถไฟรางคู่ วางตัวในแนวคู่ขนานกับ ถนนวิภาวดีรังสิต อยู่ระหว่างถนน Local Road และถนนวิภาวดีรังสิต



รูปที่ 3.27 Plan แสดงแนวเส้นทางขุดเจาะอุโมงค์ผ่าน Fiber Optic cable, Oil Pipe Line และ Railway Embankment



รูปที่ 3.28 แสดงแนวขุดเจาะอุโมงค์ลอดผ่าน Fiber Optic, Oil Pipe Line และ Embankment

3.5.2.1 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Fiber Optic cable, Oil Pipe Line และ Railway Embankment

ในส่วนของบริเวณนี้ ได้ทำการคัดเลือกให้ทำการทดสอบและตรวจสอบพฤติกรรมการคลื่อนตัวของชั้นดินขณะทำการขุดเจาะอุโมงค์ โดยทำการติดตั้ง Test Section จำนวน 1 Section ที่ Station 2+071 ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน Extensometer ,

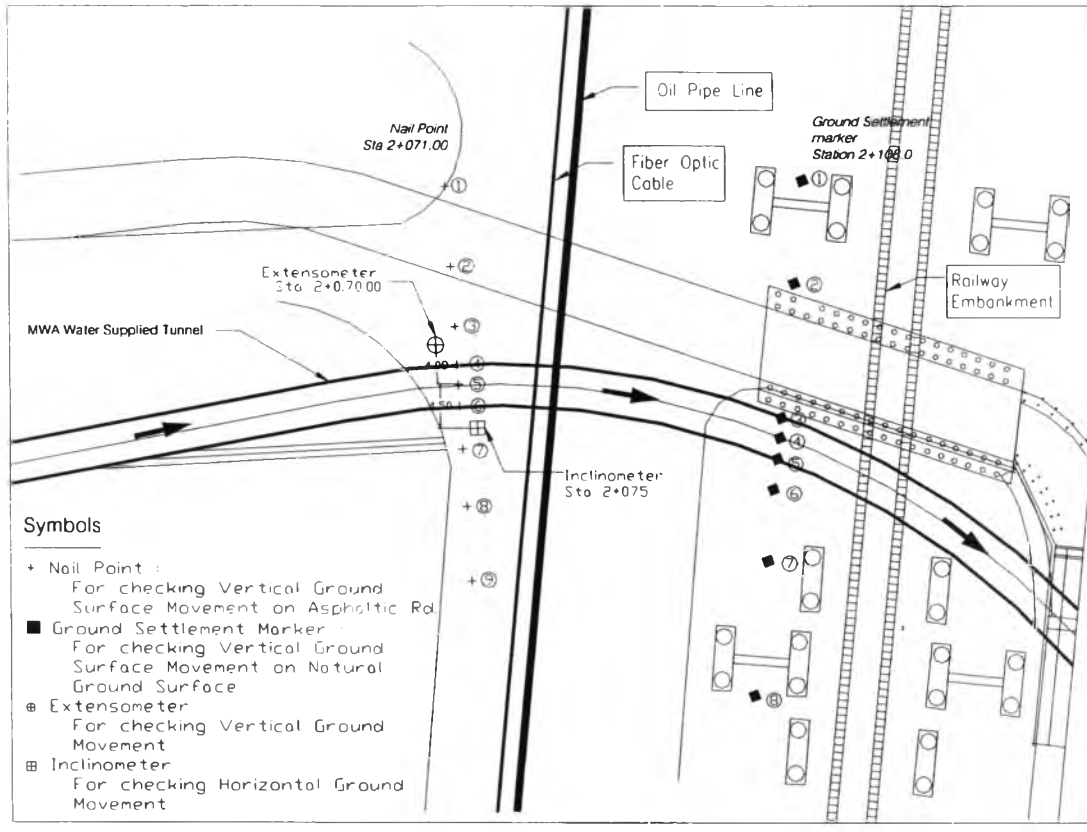
Inclinometer และ Ground Surface Settlement ดังแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งและรายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 3.29

a.) Extensometer 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+070.00 EXT-5 ฝังลึก 17 เมตร วัดที่ระดับความลึก 2.5, 8.5, 13.5 และ 16.5 เมตร วัดการเคลื่อนตัวของผิวดินก่อนหัวเจาะถึงบริเวณ Oil pipe line, Fiber Optic Cable และรางรถไฟวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ แสดงภาพตัดขวางในรูปที่ 3.30

b.) Inclinometer 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+075.00 IN-3 วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ วัดค่าเป็นช่วง ๆ ทุกระยะ 0.5 m.ฝังท่อลึก 24.5 m. แสดงภาพตัดขวางในรูปที่ 3.30

c.) Ground Settlement Marker 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+108.00 วัดการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับตื้น โดยติดตั้งลึกลงไป 40 Cm.เพื่อให้ถึงระดับพื้นดินจริงก่อนหัวเจาะถึงบริเวณรางรถไฟ

d.) Nail Point 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+071 วัดการเคลื่อนตัวของผิวจราจรในแนวดิ่งก่อนหัวเจาะถึงบริเวณ Oil pipe line, Fiber Optic Cable และรางรถไฟ ประกอบด้วยหมุด Stainless Steel ฝังลงในผิวจราจรประมาณ 76 mm.



รูปที่ 3.29 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Fiber Optic cable, Oil Pipe Line และ Railway Embankment

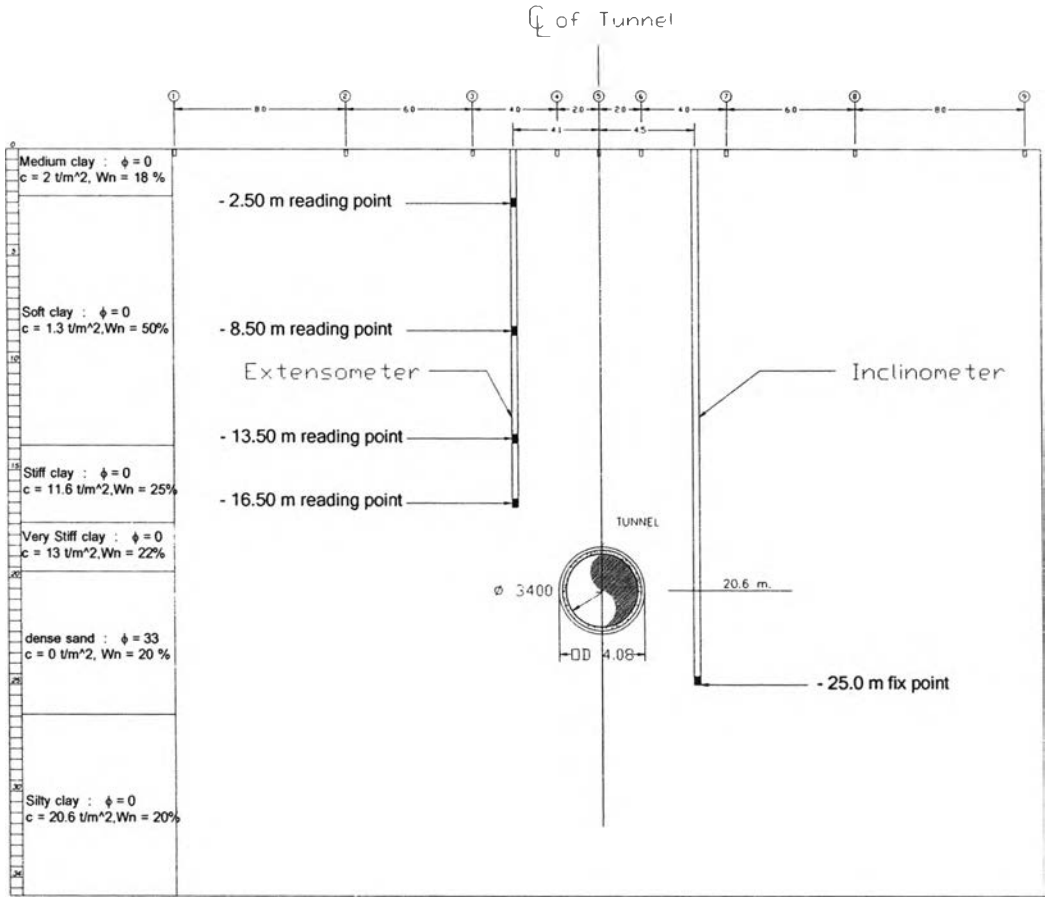
เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินทั้ง 4 ชนิดนี้ จะอ่านค่าแบ่งเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ

- อ่านค่าการเคลื่อนตัวของดินก่อนหัวเจาะถึงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดอย่างน้อย 30 เมตร เป็นค่าเริ่มต้น

- ทำการอ่านค่าในช่วง Short Term ก่อนหัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ติดตั้งเตรื่องมือวัดที่ระยะ 12, 8, 5, 3, 2, 1.5, 1 และ 0 เมตร

- ทำการอ่านค่าในช่วง Short Term เมื่อหัวเจาะผ่านตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดไปแล้ว 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 8 และ 12 เมตร

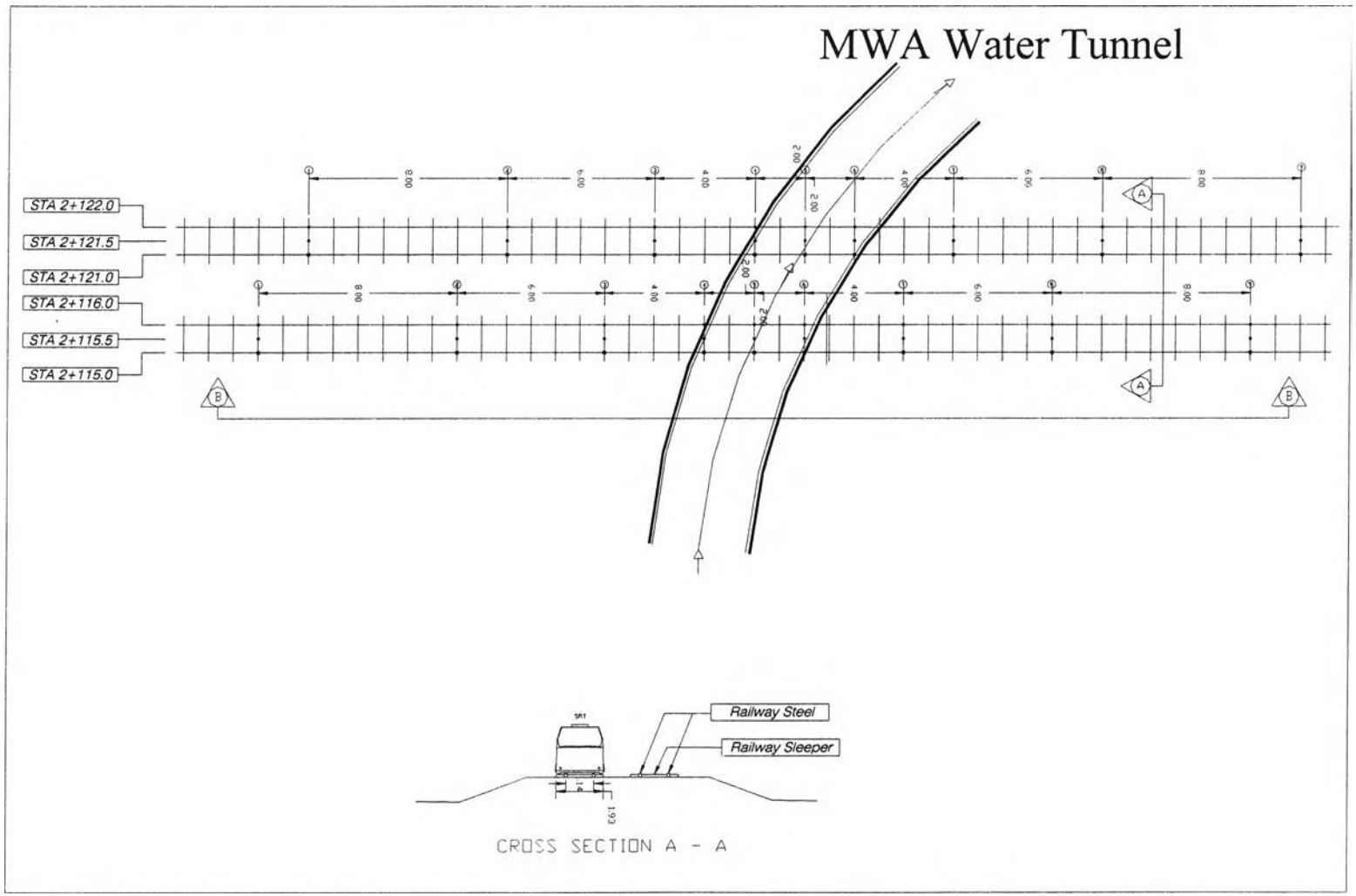
- การอ่านค่าในช่วง Long Term เมื่อหัวเจาะผ่านตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดไป 0.5, 1, 2 สัปดาห์ 3 เดือน



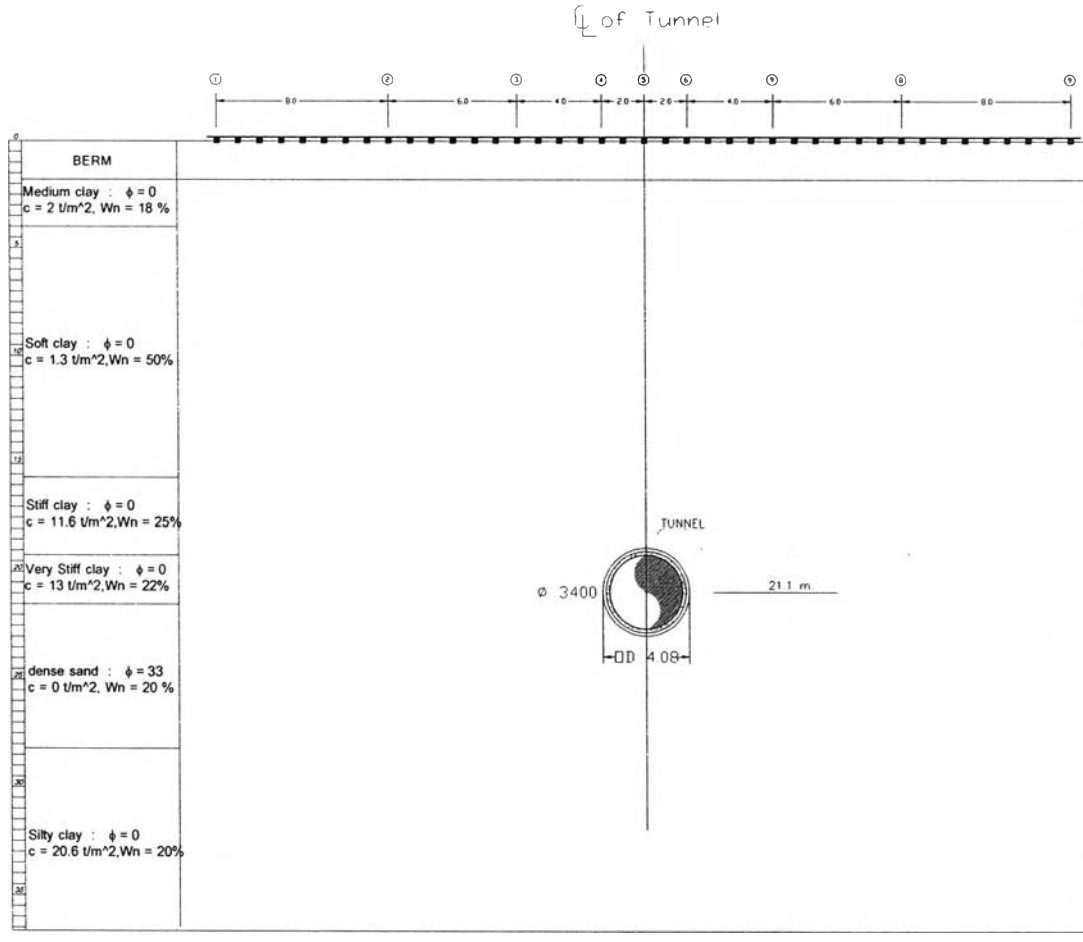
รูปที่ 3.30 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer และ Extensometer ที่ Sta 2+071 m.

e.) Mark Point 6 จุด ได้แก่บริเวณ station ต่าง ๆ เพื่อวัดการเคลื่อนตัวของรางรถไฟและหมอนหนุนรางรถไฟโดยติดตั้งไว้บนแนวรางรถไฟ แสดงภาพการติดตั้ง Mark Point บนแนวรางรถไฟได้ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32

- Station 2+115 m. (Steel railway)
- Station 2+115.5 (Sleeper railway)
- Station 2+116 m.(Steel railway)
- Station 2+121 m.(Steel railway)
- Station 2+121.5 m. (Sleeper railway)
- Station 2+122 m. (Steel railway)



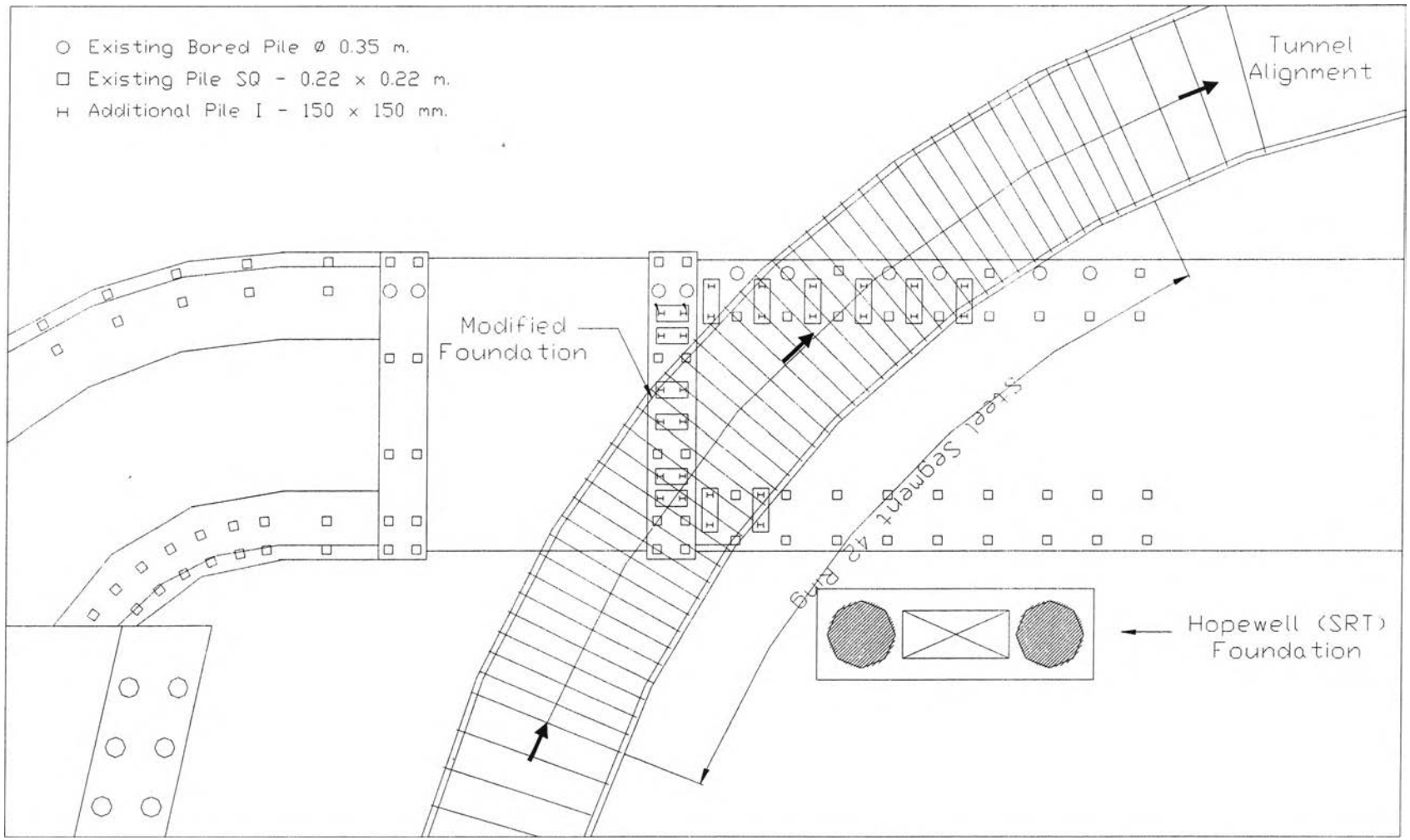
รูปที่ 3.32 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Mark Point บริเวณ รางรถไฟ



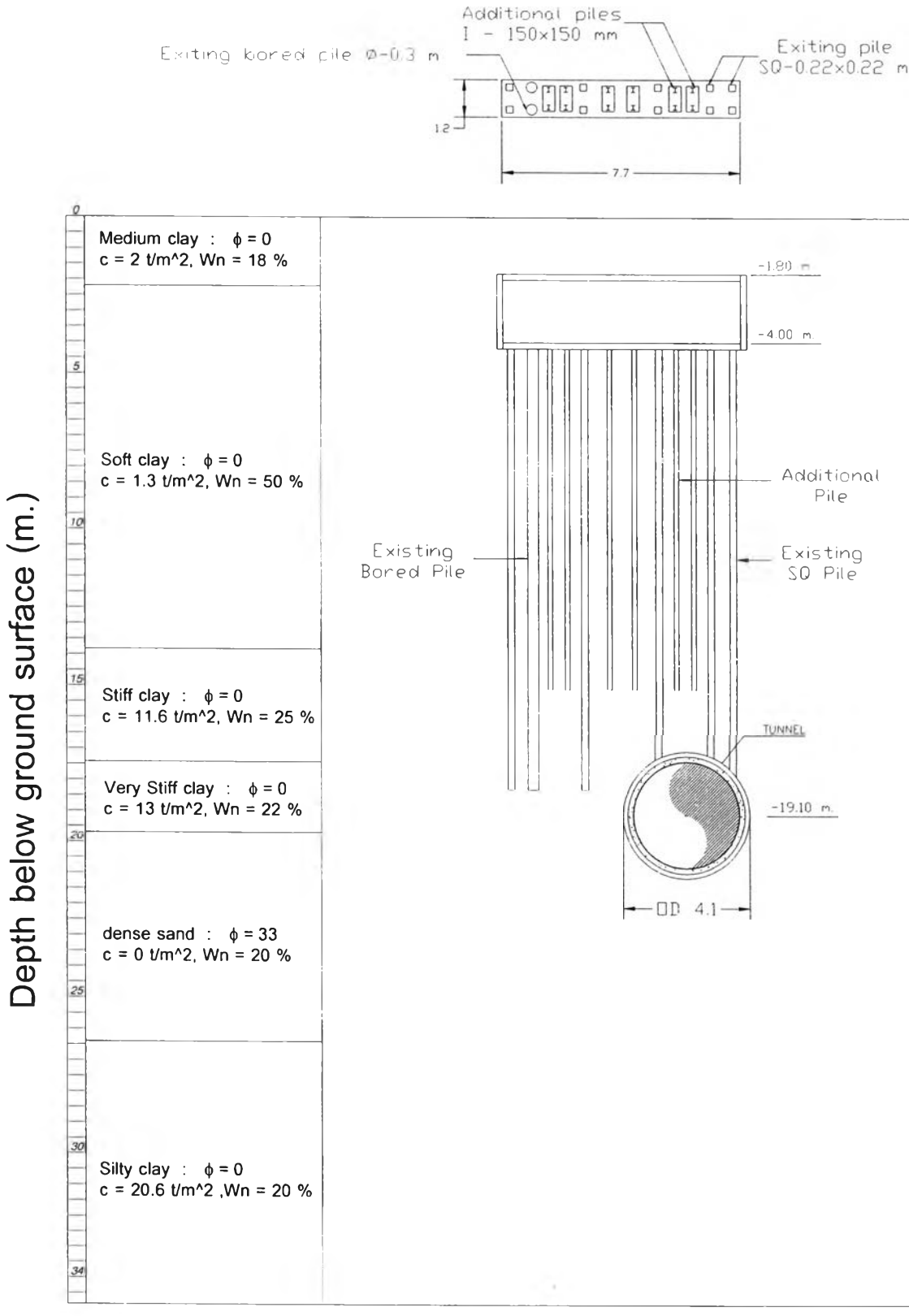
รูปที่ 3.31 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Mark Point บริเวณ - Sta 2+115, Sta. 2+115.5, Sta .2+116, Sta. 2+121, Sta. 2+121.5 และ Sta. 2+122

3.5.3 Obstruction บริเวณ North Park Underpass

ในบริเวณ North Park Underpass นั้นเป็นถนนลอดใต้ทางรถไฟ แนวอุโมงค์ได้ตัดแนวของเสาเข็มกลุ่มเดิม (Exiting Pile) ฐานรากเดิม (Existing Foundation) ประกอบด้วยเสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 0.22 x 0.22 m. และ เสาเข็ม Bore Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 m. ส่วนฐานรากที่ทำการเสริม (modified Foundation) ทำการเสริมเสาเข็ม I (Additional I pile) ขนาด 150 x 150 mm. จำนวน 28 ต้น.ดังรูปที่ 3.33 และ 3.34



รูปที่ 3.33 แสดงแนวการขุดเจาะอุโมงค์ตัดผ่านเสาเข็ม และการเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากเดิมบริเวณ North Park Underpass



รูปที่ 3.34 แสดง Plan แนวอุโมงค์ตัดผ่านเสาเข็มโครงสร้าง Underpass North Park

3.5.3.1 การเสริมความแข็งแรงให้กับทางลอดใต้ทางรถไฟ ผ่านเข้าสนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค

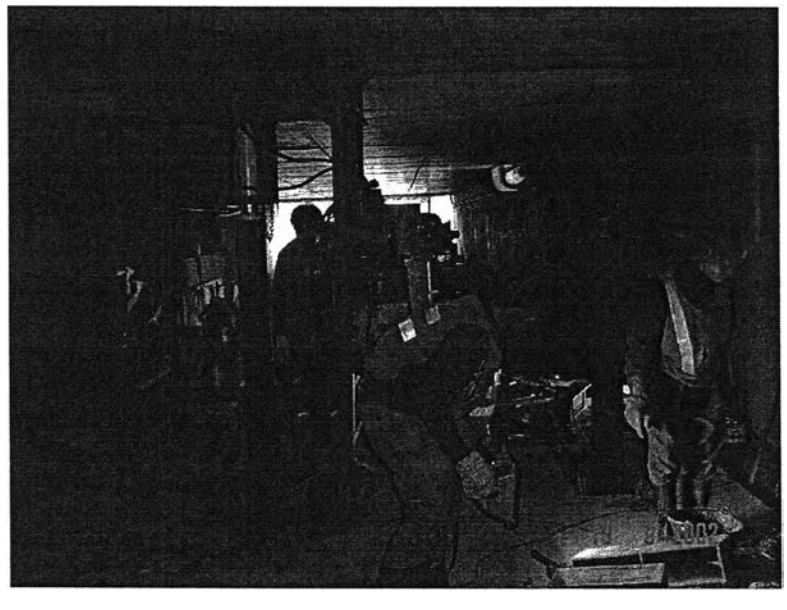
ในบริเวณนี้มีการเจาะอุโมงค์ตัดผ่านแนวเสาเข็มบริเวณทางลอด Underpass North Park ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวการเจาะอุโมงค์นั้นตัดผ่านเสาเข็มของโครงสร้างเดิม จึงทำการเสริมฐานราก โดยใช้การเสริมเข็มเหล็ก H 150 x 150 mm. เพิ่ม ตาม Plan การเสริมเข็มเหล็กในรูปที่ 3.34 โดยมีวิธีการเสริมเข็มดังต่อไปนี้

- สกัดและลอกผิวแอสฟัลท์ผิวทางบริเวณที่จะเสริมเสาเข็มเหล็ก H 150 x 150 จำนวน 8 รู (เสาเข็ม 16 ต้น) ที่เลนด้านซ้าย

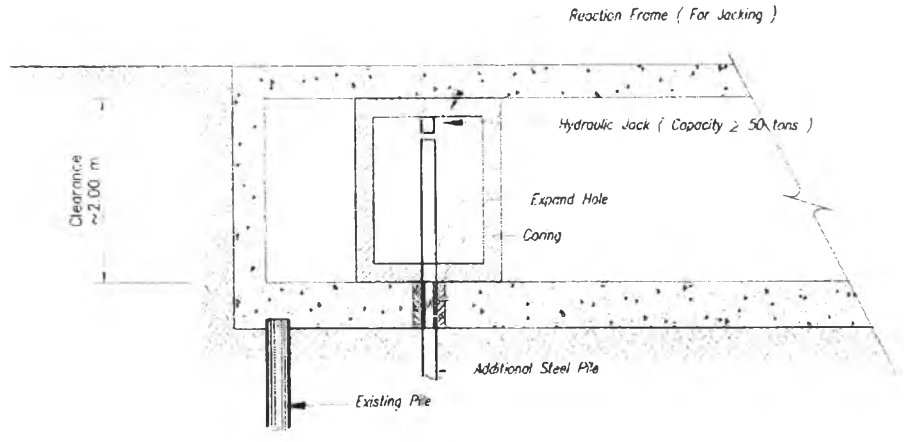
- กำหนดตำแหน่งของฐานรากเดิมและเสาเข็มที่จะเสริมโดยช่างสำรวจ

- ตัดฐานรากเดิมด้วยเครื่องตัดคอนกรีต รอบแนวของเสาเข็มเหล็กที่จะเสริมเพิ่มและสกัดคอนกรีตออก เพื่อกดเสาเข็มเหล็กจำนวน ครั้งละ 2 ต้น (ดังภาพที่ 3.35)

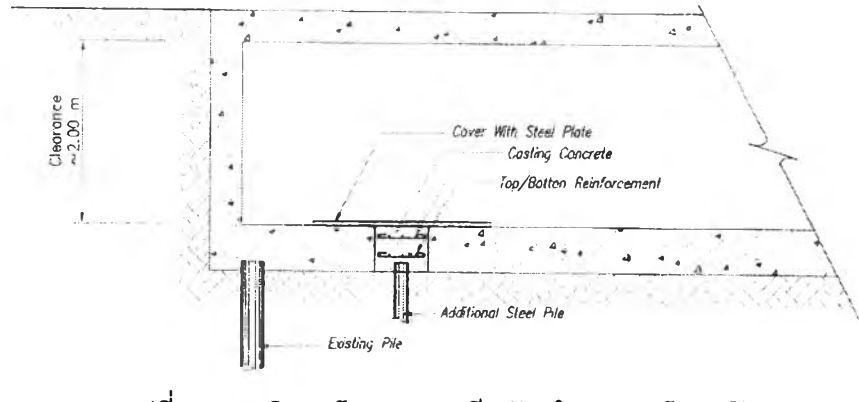
- ดันเสาเข็มเหล็ก H 150 x 150 ด้วย Hydraulic Jack ขนาด 50 ตัน ที่ติดอยู่กับ Reaction Frame ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.35 สกัดคอนกรีตออกเพื่อกดเสาเข็มเหล็กจำนวนครั้งละ 2 ต้น

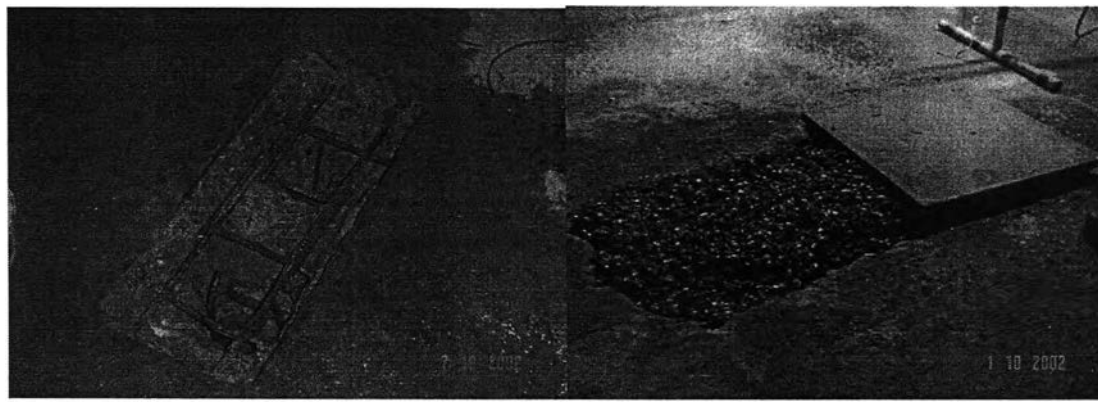


รูปที่ 3.36 ดันเสาเข็มเหล็ก H 150 x 150 ด้วย Hydraulic Jack ขนาด 50 ตัน



รูปที่ 3.37 เสริมเหล็ก เทคอนกรีตทับ นำแผ่นเหล็กมาปิด

- เสริมเหล็กในบริเวณที่เจาะรูไว้ (DB 16 @ 0.10 ม. และ DB 12 @ 0.15 ม. ทั้งเหล็กเสริมบนและเหล็กเสริมล่าง) แล้วเทคอนกรีตชนิดแข็งเร็วก่อนปิดท้ายด้วยแผ่นเหล็ก ดังภาพที่ 3.38



รูปที่ 3.38 การทำเสริมเหล็ก เทคอนกรีตทับ และนำแผ่นเหล็กมาปิด

- ทำการเสริมเข็มต่อไป จนกระทั่งครบ 26 ต้น

- ปูผิว Asphaltic Concrete

3.5.3.2 **การเสริมความแข็งแรงเปลือกอุโมงค์ชั้นนอก**

ในช่วงที่อุโมงค์ตัดผ่านเสาเข็มโครงสร้าง จะทำการเสริมความแข็งแรงแก่เปลือกอุโมงค์ชั้นนอกเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากเสาเข็ม โดยการใช้ steel segment ที่ชิ้นส่วนอุโมงค์วงที่ 1824 ถึง 1865 (รวม 42 วง) ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ตัดผ่านเสาเข็มมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

- ทำงานทางด้านซ้ายของทางลอดก่อนโดยเสริมเสาเข็ม เริ่มต้นจากคู่ที่ 1 ถึง 8

- หลังจากทำผิวทางทางด้านซ้าย เริ่มต้นจากคู่ที่ 9 ถึง 13

- ทำการเคลื่อนหัวเจาะผ่านเข้าไปใน Obstruction Pile

- ลดความเร็วในการเคลื่อนตัวของหัวเจาะลงไปที่ระดับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที ปรับอัตรา cutter head เป็น 2 รอบต่อนาที

- เคลื่อนหัวเจาะไปสัมผัสกับเข็มคอนกรีตที่กีดขวางอยู่ (โดยปกติผู้เคลื่อนหัวเจาะจะสามารถรู้สึก หรือได้ยินเมื่อหัวเจาะได้กระทบกับสิ่งกีดขวางแล้ว)

- หยุดการทำงานของ Screw conveyor เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา over excavation ในขณะที่กำลังเจาะเข้าไปในเข็มคอนกรีต

- เคลื่อนหัวเจาะไปข้างหน้าอย่างช้า ๆ โดยต้องแน่ใจว่าค่า face pressure อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

- ในกรณีที่เกิด high torque เนื่องจากสิ่งกีดขวางใต้ดิน

- กรณีที่เกิดค่า face pressure มากในขณะที่เจาะเข้าไปในเข็มคอนกรีต ให้เปิด screw conveyor และทำการเจาะด้วยความระมัดระวัง

- ตรวจสอบเศษเข็มคอนกรีตหรือเหล็กที่ปลาย Screw Conveyor

- เมื่อเคลื่อนหัวเจาะผ่านเข็มได้สักระยะหนึ่งแล้ว ให้เริ่มทำการตรวจสอบ ความเสียหายของใบมีดในหัวตัดในทันที

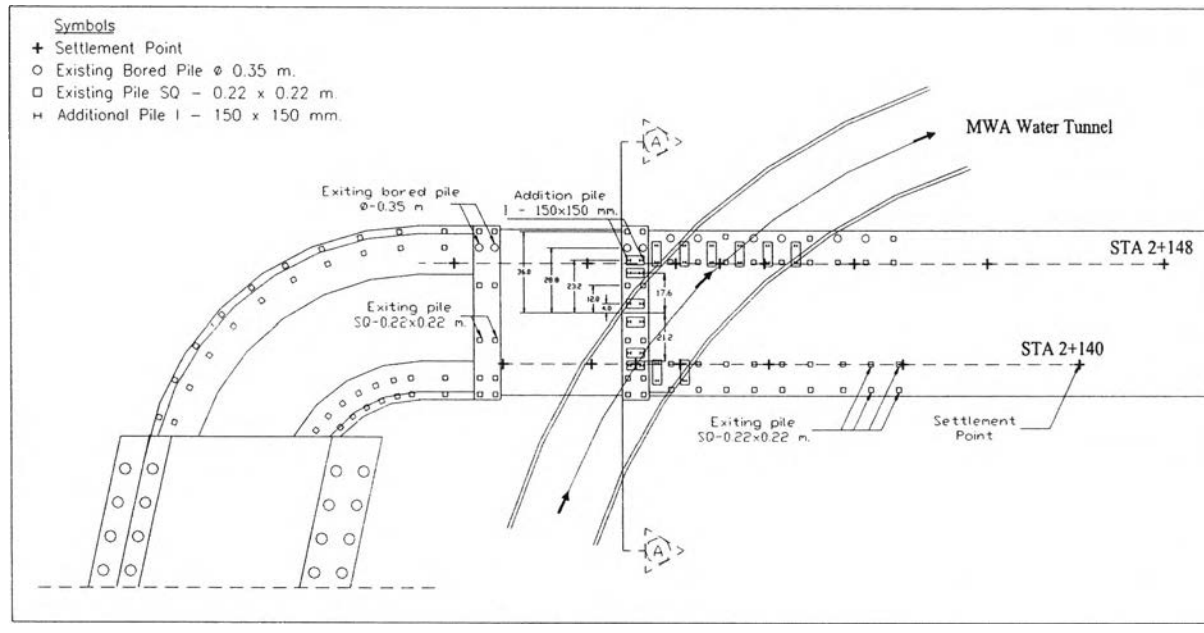
3.5.3.3 **ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน บริเวณทางลอด** North Park Underpass

บริเวณนี้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.39

a.) Ground Settlement Marker 2 จุด บริเวณ station ที่ 2+148 และ Sta 2+140

Inside underpass วัดการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับตื้น โดยติดตั้งลึกลงไป 40 Cm.เพื่อให้ถึงระดับพื้นดินจริงก่อนหัวเจาะถึงบริเวณ Under pass

Above underpass วัดการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับตื้น โดยติดตั้งลึกลงไป 40 Cm.เพื่อให้ถึงระดับพื้นดินจริงก่อนหัวเจาะถึงบริเวณ Under pass



รูปที่ 3.39 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด Ground settlement marker Sta 2+148 และ Sta 2+140 บริเวณ Under pass North Park

3.5.4 Obstruction **บริเวณตอม่อเสาเข็มสะพานดอนเมืองโทลเวย์**

ในบริเวณตอม่อเสาเข็มสะพานดอนเมืองโทลเวย์นั้น แนวอุโมงค์ได้เคลื่อนตัวเข้าใกล้แนวของเสาเข็มกลุ่มขนาดใหญ่ ห่างจากเสาเข็มเป็นระยะประมาณ 3.8 m. ซึ่งฐานรากของ

เสาเข็มตอม่อนั้น ประกอบด้วย Spun Pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m จำนวน 9 ต้น มี Pile Tip อยู่ที่ระยะ 28 m. จากผิวดิน ดังรูปที่ 3.40 และ 3.41

3.5.4.1 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณตอม่อเสาเข็มดอนเมืองโทลเวย์

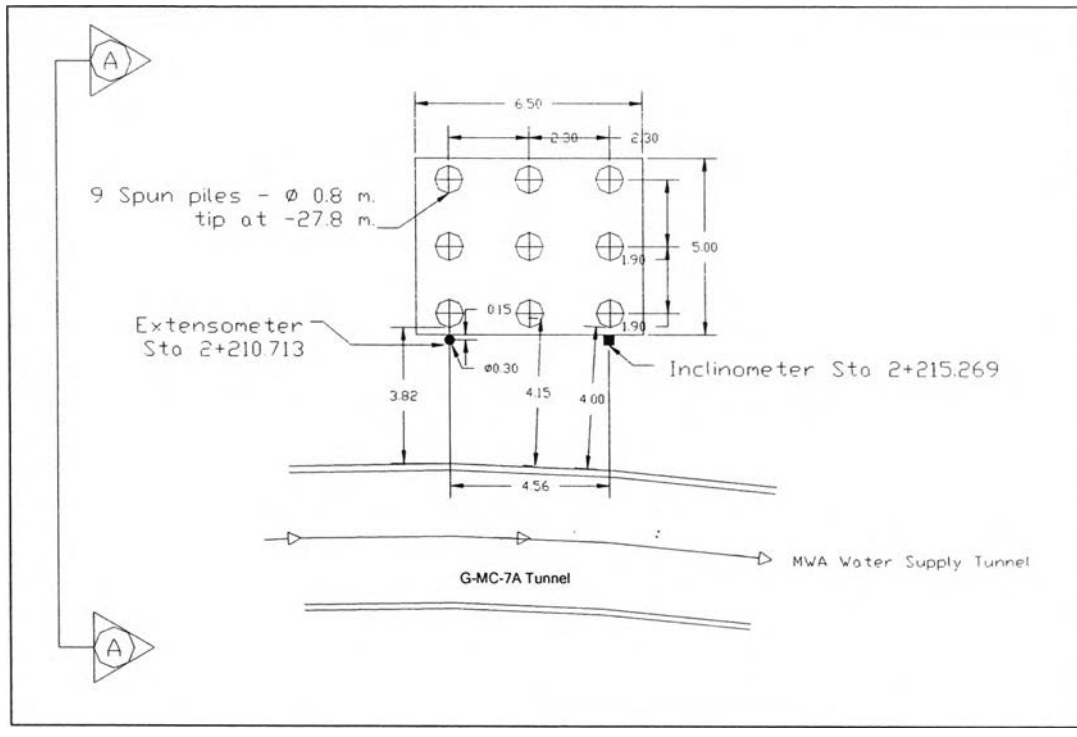
บริเวณนี้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.40

a.) Magnetic Extensometer 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+210.71 EXT-6. ฝังลึก 17 เมตร วัดที่ระดับความลึก 2.5, 8.5, 13.5 และ 16.5 เมตร วัดการเคลื่อนตัวของผิวดินเมื่อหัวเจาะถึงบริเวณ ตอม่อเสาเข็มสะพานดอนเมืองโทลเวย์วัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง แสดงภาพการติดตั้งดังรูปที่ 3.41

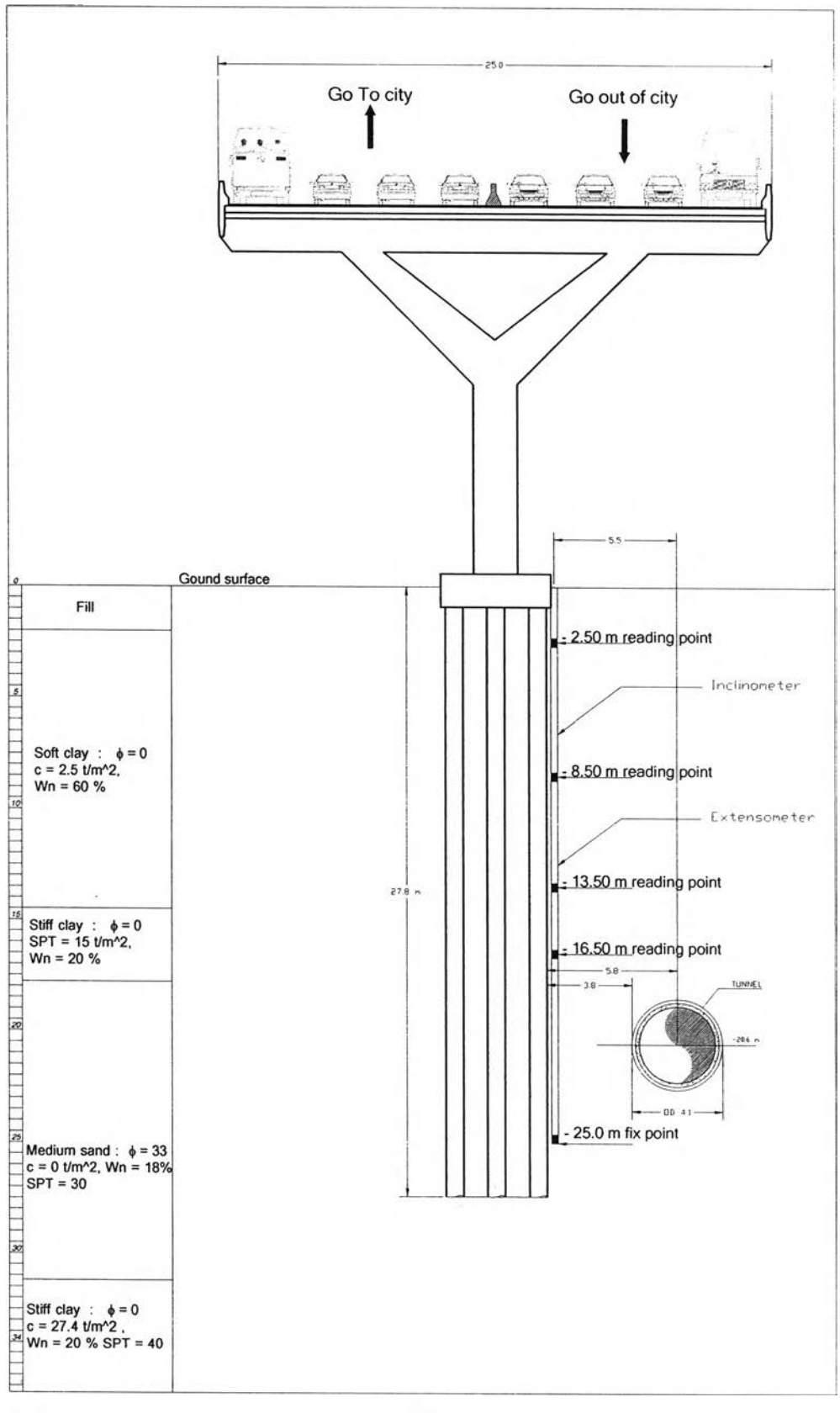
b.) Inclinometer 1 จุด ได้แก่บริเวณ station ที่ 2+212.80 IN-4.วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ที่มีความแม่นยำสูง โดยจะพิจารณาจากการเคลื่อนตัวในแนวตั้งฉากและแนวขนานกับอุโมงค์โดยอ่านค่าจ่กหัวอ่านซึ่งมี Gravity Sensing Transducer วัดค่าเป็นช่วง ๆ ทุกระยะ 0.5 m.ฝังท่อลึก 23.5 m.วัดจนถึงระดับ 13 m. แสดงภาพการติดตั้งดังรูปที่ 3.41

เครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำการอ่านค่าของเครื่องมือวัดแบ่งเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ

- ก่อนหัวเจาะถึงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดอย่างน้อย 30 เมตร เป็นค่าเริ่มต้น (Initial)
- ทำการอ่านค่าในช่วง Short Term ก่อนหัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ติดตั้งเตรื่องมือวัดที่ระยะ 12, 8, 5, 3, 2, 1.5, 1 และ 0 เมตร
- ทำการอ่านค่าในช่วง Short Term เมื่อหัวเจาะผ่านตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดไปแล้ว 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 8 และ 12 เมตร
- การอ่านค่าในช่วง Long Term เมื่อหัวเจาะผ่านตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดไป 0.5, 1, 2 สัปดาห์ 3 เดือน



รูปที่ 3.40 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดบริเวณตอม่อเสาเข็มดอนเมืองโทลเวย์



รูปที่ 3.41 ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer และ Extensometer บริเวณเสาเข็มตอม่อดอนเมืองโทลเวย์