บทที่ 3

การรวบรวมข้อมูลและผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน

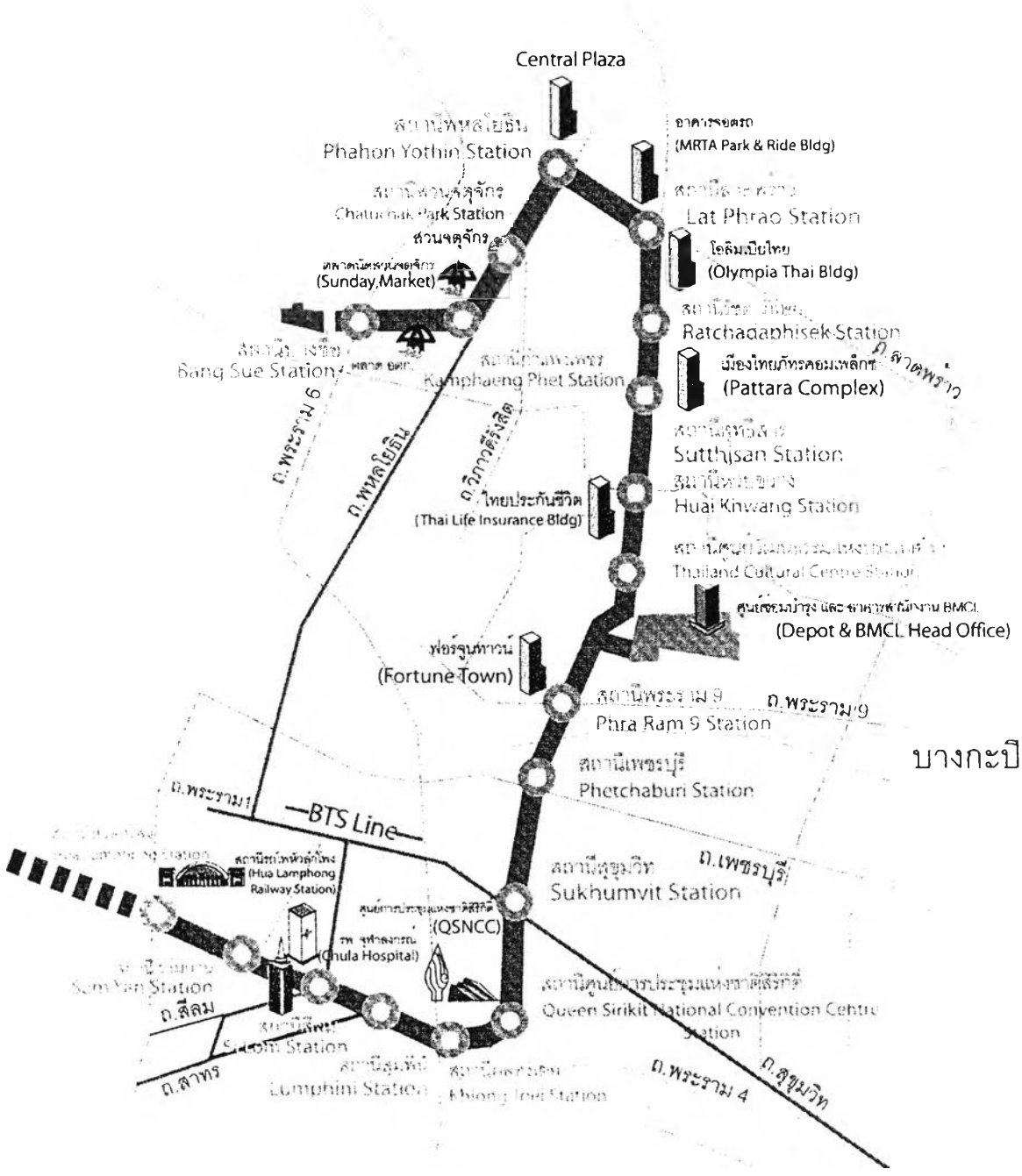
3.1 โครงการรถไฟฟ้ามหานคร

โครงการรถไฟฟ้ามหานคร เป็นโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของประเทศไทย ซึ่งต่อมาเมื่อ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2542 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อเส้นทางรถไฟฟ้ามหานครสายแรกนี้ว่า "เฉลิมรัชมงคล" อันมีความหมายว่า "งานเฉลิมความเป็นมงคลแห่งความเป็นราชา" โครงการนี้มีแนวเส้นทางของการเดินทางแบ่งเป็น 2 สาย คือ สายเหนือ มีแนวเส้นทางจากสถานีบางซื่อ ถึง สถานีศูนย์วัฒนธรรม(เทียมร่วมมิตร) และสายใต้ มีแนวเส้นทางจาก สถานีพระรามเก้า ถึง สถานีหัวลำโพง ลักษณะทั่วไปของโครงการแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการ MRTA

ระยะทาง	ประมาณ 20 กิโลเมตร
จำนวนสถานี	18 สถานีย่อย
ระดับความลึกของงานขุดเจาะ	โดยทั่วไปอยู่ที่ระดับ 18 - 25 เมตร
ลักษณะชั้นดิน	ส่วนใหญ่เป็นชั้นดินเหนียวแข็ง
วิธีการขุดเจาะ	ทำการขุดเจาะด้วยระบบหัวเจาะ(Shield)
ชนิดของหัวเจาะ	หัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล(Earth pressure balance shield)
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	6.30 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	5.70 เมตร
ลักษณะการวางตัวของอุโมงค์	อุโมงค์คู่ขนาน ยกเว้นช่วงถนนพระรามสี่บางช่วงวางตัวซ้อนกัน (stack)
ผู้รับเหมาโครงการ	สายเหนือ กิจการร่วมค้า ION สายใต้ กิจการร่วมค้า BCKT
ที่ปรึกษาโครงการ	Berger-CSC และ MPMC
ระยะเวลาก่อสร้าง	5 ปี
ค่าก่อสร้างทั้งหมด	ประมาณ 80,720 ล้านบาท(เฉพาะส่วนของงานโครงสร้าง ไม่รวมดอกเบี้ยและค่าเวนคืนที่ดิน)

เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล เป็นการขุดเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่ครั้งแรกในเขตกรุงเทพฯ และไม่มีข้อมูลเก่าของโครงการที่มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่ออ้างอิงและประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทางธรณีเทคนิคเป็นจำนวนมาก เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนตัวและพฤติกรรมของดินในขณะทำการก่อสร้างตลอดความยาวของการขุดเจาะอุโมงค์และบริเวณข้างเคียงของเส้นทาง

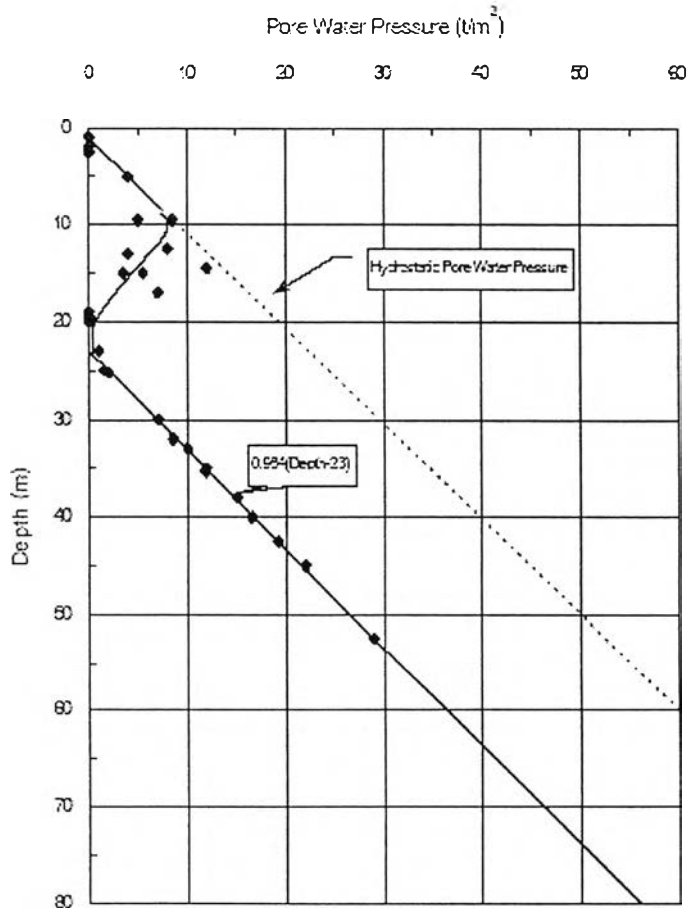


รูปที่ 3.1 แนวเส้นทางของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล

3.2 ลักษณะชั้นดินของกรุงเทพฯ

เป็นที่ราบลุ่มโดยทั่วไป ระดับพื้นที่สูงกว่าน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.00 – 2.50 เมตร ชั้นบนเป็นดินตะกอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำหรือชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งเกิดจากการทับถมและการระเหยของน้ำทะเลเมื่อประมาณ 14,000 – 30,000 ปีมาแล้ว มีความหนาประมาณ 15 เมตร วางตัวอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกอายุ 30,000 - 45,000 ปี หนาประมาณ 5 เมตร มีชั้นดินเหนียวปนทรายแทรกอยู่ในบางพื้นที่ พื้นที่กรุงเทพฯและจังหวัดปริมณฑลโดยรอบได้รับผลจากการสูบน้ำบาดาลมาใช้ ทำให้เกิดการทรุดตัวสูง และส่งผลกระทบไปยังระดับน้ำใต้ดินตั้งแต่ระดับ 8.00 – 10.00 เมตรให้ลดลงจนมีความดันน้ำใต้ดินใกล้ศูนย์ที่ช่วงระดับความลึก 21.00 – 23.00 เมตร จากนั้นแรงดันน้ำใต้ดินจึงเริ่มเพิ่มแบบแรงดันน้ำสถิตย์(hydrostatic) อีกครั้ง

ในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล ระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงจากการสูบน้ำบาดาล (Deep Pumping) ซึ่งส่งผลให้ผิวดินมีการทรุดตัวโดยมีอัตราการทรุดตัว 100 มิลลิเมตร/ปี และ 40 มิลลิเมตร/ปี ในบริเวณเส้นทางสายเหนือและใต้ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่การทรุดตัวจะเกิดจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน



รูปที่ 3.2 แสดงความดันน้ำใต้ดินในชั้นดินกรุงเทพ

3.3 สภาพชั้นดินตลอดเส้นทางการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปตามแนวเส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดิน พบว่ามีลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปดังนี้

ช่วงห้วยขวาง-บางซื่อ

โดยทั่วไปไม่พบชั้นดินทรายแน่นชั้นแรก(First Dense Sand) แต่พบชั้นดินเหนียวแข็ง(Very Stiff Clay) แทรกระหว่างชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก(First Stiff Clay) และชั้นดินเหนียวแข็งมาก(Hard Clay)

ช่วงหัวลำโพง-ห้วยขวาง

ในช่วงหัวลำโพงถึงสามย่านไม่พบชั้นดินเหนียวแข็ง ส่วนช่วงสามย่านถึงพระรามเก้า พบชั้นดินทรายปนดินเหนียว(Medium Dense Clayey Sand) ใต้ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก(First Stiff Clay) และมีลักษณะของชั้นดินเหนียวแข็ง(Hard Clay) สลับกับชั้นดินทรายแน่น(Dense Sand) ที่ค่อนข้างมีความสม่ำเสมอเป็นระยะ และเป็นลำดับชั้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ในช่วงสิริกิติ์ถึงเพชรบุรี ไม่พบชั้นดินทรายแน่นชั้นแรก(First Dense Sand)

การขุดเจาะอุโมงค์ส่วนใหญ่ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก ยกเว้นในช่วง ลุมพินี-สามย่าน และ คลองเตย(บ่อนไก่)-ลุมพินีบางช่วง ซึ่งมีความจำเป็นต้องวางแนวอุโมงค์ซ้อนกันในแนวดิ่งเพื่อหลบฐานรากสะพาน และอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง ทำให้ในบางช่วงอุโมงค์ตัวล่าง(South Bound) ต้องขุดเจาะลงไปถึงชั้นทรายแน่นชั้นแรก(First Dense Sand) ในขณะที่อุโมงค์ตัวบน(North Bound) อาจจะต้องถูกยกจนไปวางอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน

ในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะ(Shield) หากเป็นดินที่มีความแข็ง(Stiffness)มาก อาทิ หินหรือชั้นดินเหนียวแข็งจะมีแรงดันดินด้านข้างกระทำต่อด้านหน้าหัวเจาะน้อย แต่ถ้าสภาพดินค่อนข้างอ่อนหรือเหลว ดินจะมีแรงกระทำต่อด้านหน้าหัวเจาะสูง หากดินไหลเข้าสู่หัวเจาะมากและเร็วเกินไป จะเกิดการทรุดตัวสูงเนื่องจากมวลดินหายไปมากกว่าที่แทนที่ด้วยปริมาตรของอุโมงค์ ดังนั้นชนิดของดินและแรงดันจะเป็นตัวกำหนดค่าความเร็วรอบของการขนถ่ายมวลดินผ่านสายพาน(Screw Conveyor)

ในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล จะมีรายละเอียดบางประการแต่งต่างกันไปตามสภาพดินดังนี้

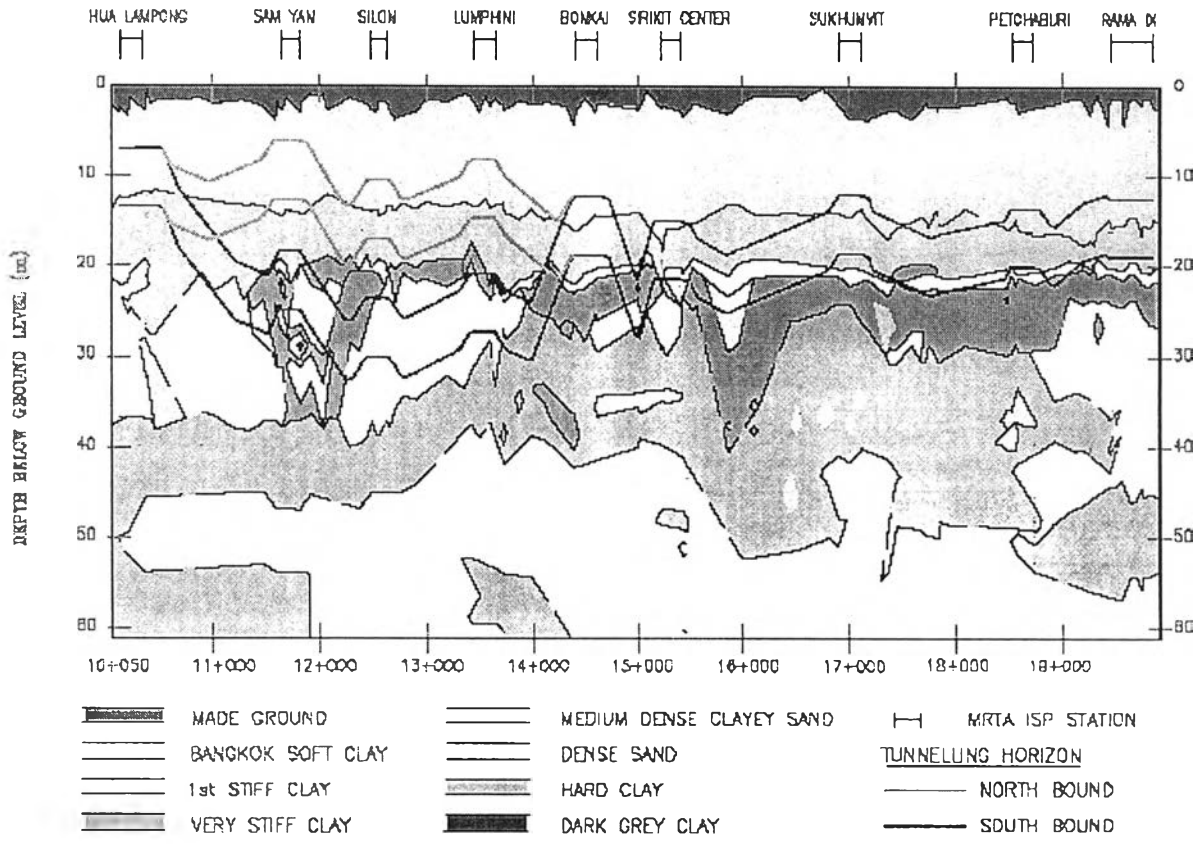
ดินเหนียวแข็ง(Stiff Clay) จำเป็นต้องอัดฉีดน้ำเข้าไปช่วยเพื่อลดความแข็งของดิน โดยดินจะถูกปั่นโดยใบมีดหน้าหัวเจาะผสมกับน้ำ และอ่อนตัวพอที่จะลำเลียงผ่านช่องเปิดมาตามสายพานได้โดยไม่เกิดการอุดตัน

ดินเหนียวแข็งปานกลาง(Medium Stiff Clay) เกิดปัญหาต่อการขุดเจาะน้อย ดินที่เข้ามาในสายพานลำเลียงมีลักษณะเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง

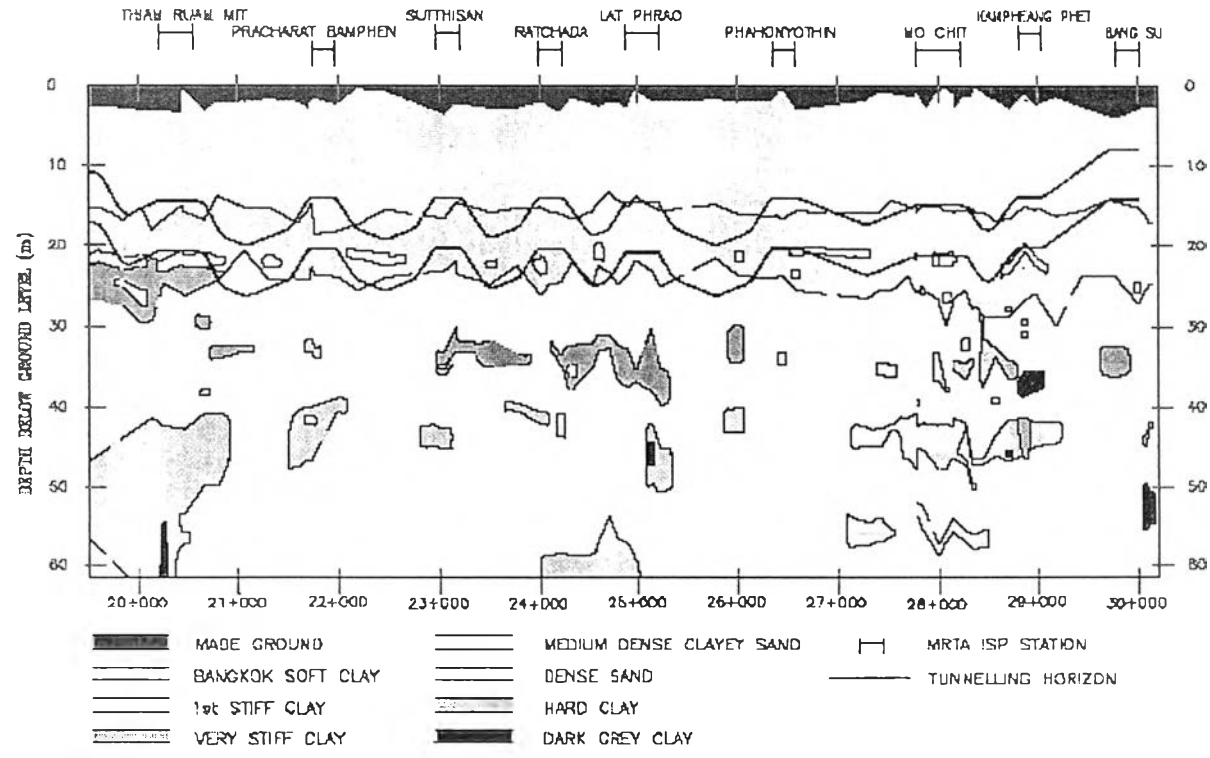
ดินทรายปนดินเหนียว(Clayey Sand) จะต้องมีการฉีดเบนโทไนท์หรือสารพวกโฟมเข้าไปผสมกับดินที่ทำการขุดเจาะด้านหน้าหัวเจาะ เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพไม่ให้ดินที่ด้านหน้าหัวเจาะพังทลาย ในการขุดเจาะต้องมีการอัดแรงดันดินที่ด้านหน้าหัวเจาะ

น้ำใต้ดิน(Ground Water) หากระดับน้ำใต้ดินสูงหรือความดันน้ำใต้ดินมาก ควรต้องมีการทำการเสริมกำลังของดินบริเวณที่จะขุดเจาะด้วยการอัดฉีดน้ำปูน เพื่อให้ดินในบริเวณที่ทำการขุดเจาะมีความแข็งแรงในระดับหนึ่งที่จะไม่เกิดการพังทลาย และการทะลักของดินเข้ามาในหัวเจาะอย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ลักษณะชั้นดินช่วงเส้นทางจากสถานีหัวลำโพงถึงพระรามเก้า



รูปที่ 3.4 ลักษณะชั้นดินช่วงเส้นทางจากสถานีศูนย์วัฒนธรรม(เทียมร่วมมิตร)ถึงบางซื่อ

3.4 การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าผ่านแนวท่อประปา

ตลอดความยาว 20 กิโลเมตรของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร ประกอบด้วยสถานีย่อย 18 สถานี ซึ่งมีแนวเส้นทางผ่านเส้นทางและสถานที่สำคัญหลายแห่ง รวมทั้งผ่านย่านที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกเป็นจำนวนมาก จึงเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องพบกับอุปสรรคในการก่อสร้าง เช่น ความอ่อนไหวของบริเวณที่แนวอุโมงค์ผ่าน หรือแม้แต่สิ่งกีดขวางใต้ดินอย่าง ฐานรากสะพาน หรือท่อประปา ซึ่งมีอยู่แล้วและอยู่ในระดับเดียวกับแนวที่เส้นทางของอุโมงค์ต้องผ่าน

อุปสรรคที่สำคัญประการหนึ่งของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลได้แก่ การที่แนวเส้นทางของอุโมงค์ มีการตัดหรือซ้อนทับกับแนวท่อของประปาของการประปานครหลวง จำนวน 2 จุดด้วยกัน จุดแรกบริเวณช่วงระหว่างสถานีสิริกิตติ์และสถานีบ่อนไก่ จุดที่สองบริเวณสถานีสามย่านช่วงจากสถานีสามย่านไปยังสถานีหัวลำโพง

3.5 กรณีศึกษาการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าผ่านแนวท่อประปาบริเวณสามย่าน

3.5.1 ข้อมูลทั่วไป

แนวอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงนี้อยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 ซึ่งเหมาะกับการก่อสร้างอุโมงค์มาก และระดับในการก่อสร้างอุโมงค์ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินนี้ก็อาศัยชั้นดินนี้ในการวางระดับอุโมงค์ส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากบริเวณสามย่านชั้นดินดังกล่าวถูกจับจองอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นจึงทำให้การก่อสร้างอุโมงค์จำต้องหลีกเลี่ยงชั้นดินดังกล่าวในจุดที่แนวอุโมงค์มีการพาดผ่านกัน ทั้งนี้ด้วยความจำเป็นจากขนาดความกว้างของพื้นที่ก่อสร้างตามแนวของถนนพระรามที่สี่ตั้งแต่ช่วงสถานีศูนย์สิริกิตติ์เป็นต้นมา ทำให้แนวอุโมงค์จำต้องวางในลักษณะซ้อนกันในแนวดิ่ง(Stacked Tunnel) เมื่อมาถึงบริเวณจุดตัดสามย่าน จึงทำให้แนวอุโมงค์จำต้องแยกกันมุดและพาดข้ามแนวของอุโมงค์ส่งน้ำที่มีอยู่แล้วไป เนื่องจากชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก ดังนั้นการข้ามผ่านด้านบนเหนืออุโมงค์ส่งน้ำ ทำให้อุโมงค์สายบน(North Bound, NB) มีระดับความลึกจากผิวดินน้อยมาก คือเพียง 10.5 เมตรวัดถึงแนวกึ่งกลางอุโมงค์ หรือ เพียงประมาณ 7.30 เมตรจากผนังด้านบนของดาดอุโมงค์ถึงผิวดินเท่านั้น

บริเวณจุดตัดสามย่าน เป็นหนึ่งในสองบริเวณที่แนวเส้นทางของการก่อสร้างอุโมงค์พาดทับกับแนวท่อประปาที่มีอยู่แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากท่อดังกล่าวเป็นท่อหลักและอยู่ภายในใจกลางเมือง ดังนั้นนอกจากว่าในขณะก่อสร้างไม่สามารถงดการจ่ายน้ำได้แล้ว ในขณะและหลังการก่อสร้างก็ไม่สามารถให้เกิดผลกระทบจนต้องหยุดจ่ายน้ำได้เป็นอันขาด เนื่องจากจะส่งผลเป็นวงกว้างต่อบริเวณที่สำคัญ คือ สีลม สาทร สี่พระยา และบริเวณใกล้เคียง และทำให้จำเป็นจะต้องเตรียมแผนสำรองเพื่อจัดการกับ

ปัญหาดังกล่าวไว้เผื่อในกรณีที่การขุดเจาะเหนี่ยวนำให้เกิดการทรุดตัวมาก จนกระทั่งอุโมงค์ส่งน้ำได้รับความเสียหาย

บริเวณจุดตัดสามย่านมีความท้าทายในการก่อสร้างมาก และมีความน่าสนใจในการศึกษา ทั้งนี้เพราะมีข้อจำกัดหลายๆประการที่ส่งผลต่อการออกแบบและแนวในการวางตัวของอุโมงค์ อาทิเช่น

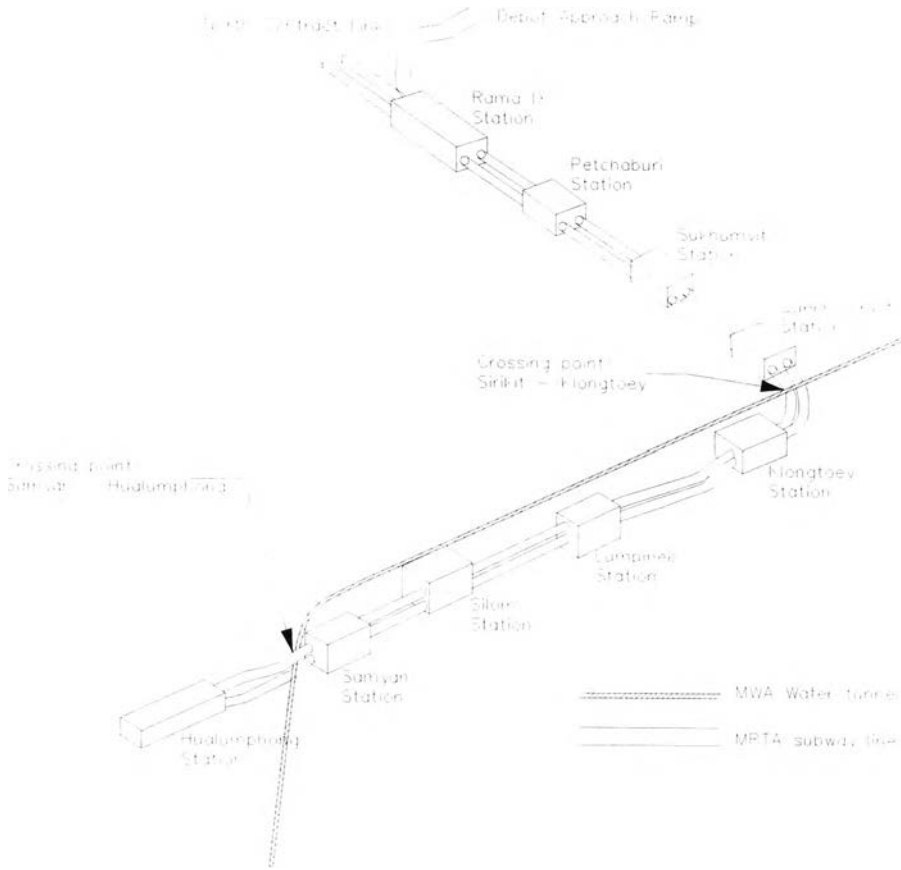
1) ฐานรากสะพานไทย-เบลเยี่ยมและไทย-ญี่ปุ่น

แนวเส้นทางของอุโมงค์ที่มาตามถนนพระรามสี่ที่ต้องผ่านสะพานลอยไทย-เบลเยี่ยม เป็นอุปสรรคสำคัญที่สำรวจเจอในขั้นตอนการออกแบบก่อสร้าง ส่งผลให้จำเป็นต้องวางแนวอุโมงค์เป็นแนวซ้อนบน-ล่าง(stacked tunnel)เปลี่ยนจากที่วิ่งมาเป็นอุโมงค์คู่(twin tunnel) และบีบให้ตัวสถานีเองจำเป็นต้องขุดดินลึกขึ้น เพราะชานชาลาของอุโมงค์ทั้งสองอยู่คนละระดับกัน

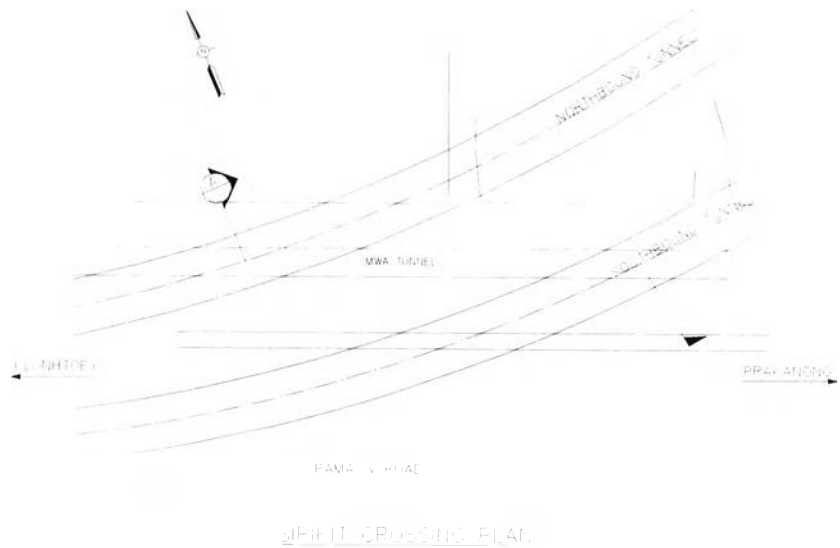
2) อุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง

มีแนวมาจากสี่พระยาเลี้ยวขวาไปตามถนนพระรามสี่ อุโมงค์วางตัวในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก โดยมีระดับของอุโมงค์ที่ประมาณ 15 – 19 เมตรจากผิวดิน ทั้งนี้หากอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินวิ่งมาในลักษณะของอุโมงค์คู่ แนวการขุดเจาะอาจจะก่อสร้างลอดท่อประปาไปทั้งคู่ แต่เนื่องจากปัญหาอุปสรรคของฐานรากสะพานบนเส้นทางพระรามสี่ที่บีบให้อุโมงค์วิ่งซ้อนกันมา ทำให้จำเป็นต้องวางแนวอุโมงค์ให้เส้นหนึ่งลอดผ่านอุโมงค์ส่งน้ำประปา ส่วนอีกเส้นข้ามผ่านด้านบนของท่อไป โดยบริเวณจุดตัดอยู่ห่างออกมาจากสถานีประมาณ 40 เมตร โดยมีระยะห่าง(clearance)โดยประมาณระหว่างอุโมงค์ประปากับอุโมงค์เส้นล่าง(Southbound Tunnel) 2.3 เมตร และ 1.3 เมตร สำหรับอุโมงค์เส้นบน (Northbound Tunnel)

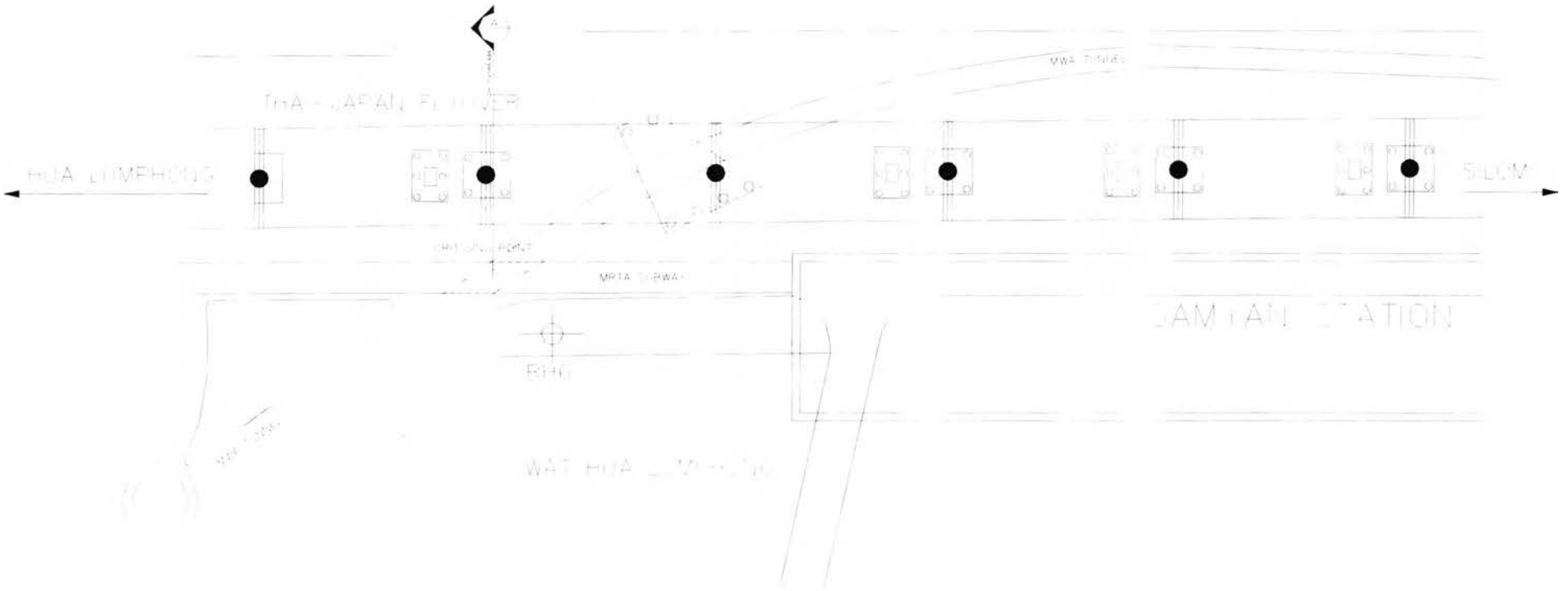
ปัญหาดังกล่าวแม้จะเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับประเทศพัฒนาแล้ว ที่มีการสร้างและใช้โครงสร้างอุโมงค์แพร่หลาย แต่จัดได้ว่าเป็นเรื่องใหม่มากสำหรับประเทศไทย และโดยเฉพาะเป็นการก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุดเท่าที่เคยมีการก่อสร้างมา ดังนั้นปัญหาใดๆในการก่อสร้างจึงเป็นบทเรียนที่น่าศึกษา โดยเฉพาะเมื่อมองว่าอุโมงค์เป็นโครงสร้างเพื่ออนาคตของมหานครกรุงเทพ และจะมีการใช้อุโมงค์อีกมากมาย ทั้งเพื่อกิจการประปา งานระบายและผันน้ำ และรวมไปถึงเพื่อระบบขนส่งมวลชน



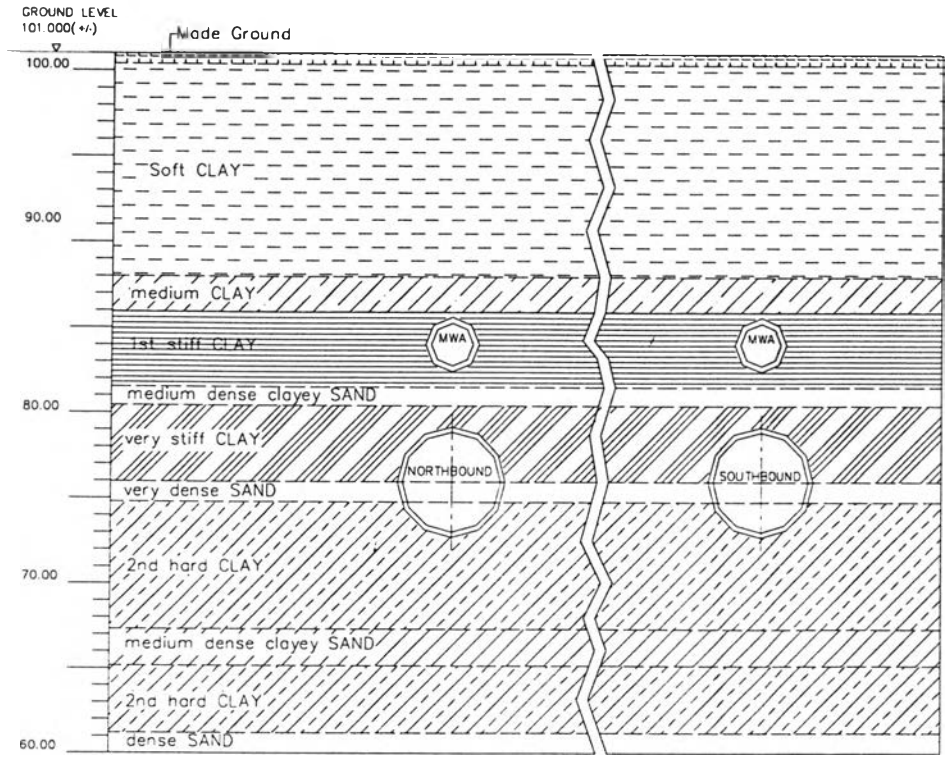
รูปที่ 3.5 แสดงแนวอุโมงค์รถไฟฟ้า(MRTA) และแนวอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง(MWA)



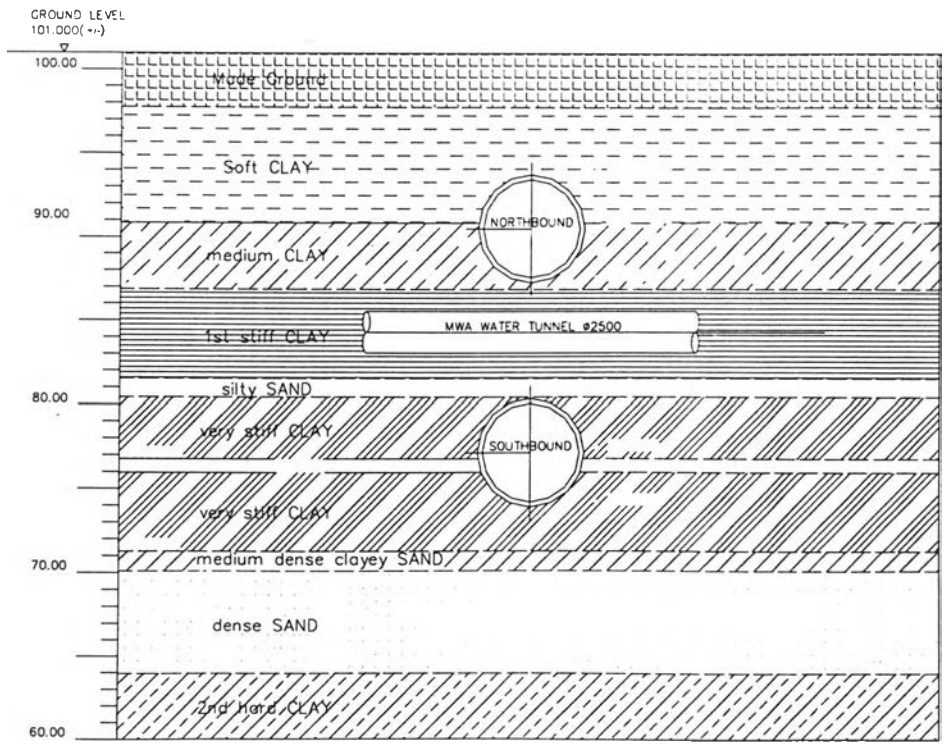
รูปที่ 3.6 แสดงแนวอุโมงค์รถไฟฟ้าและอุโมงค์ประปาบริเวณใกล้สถานีศูนย์สิริกิตติ์



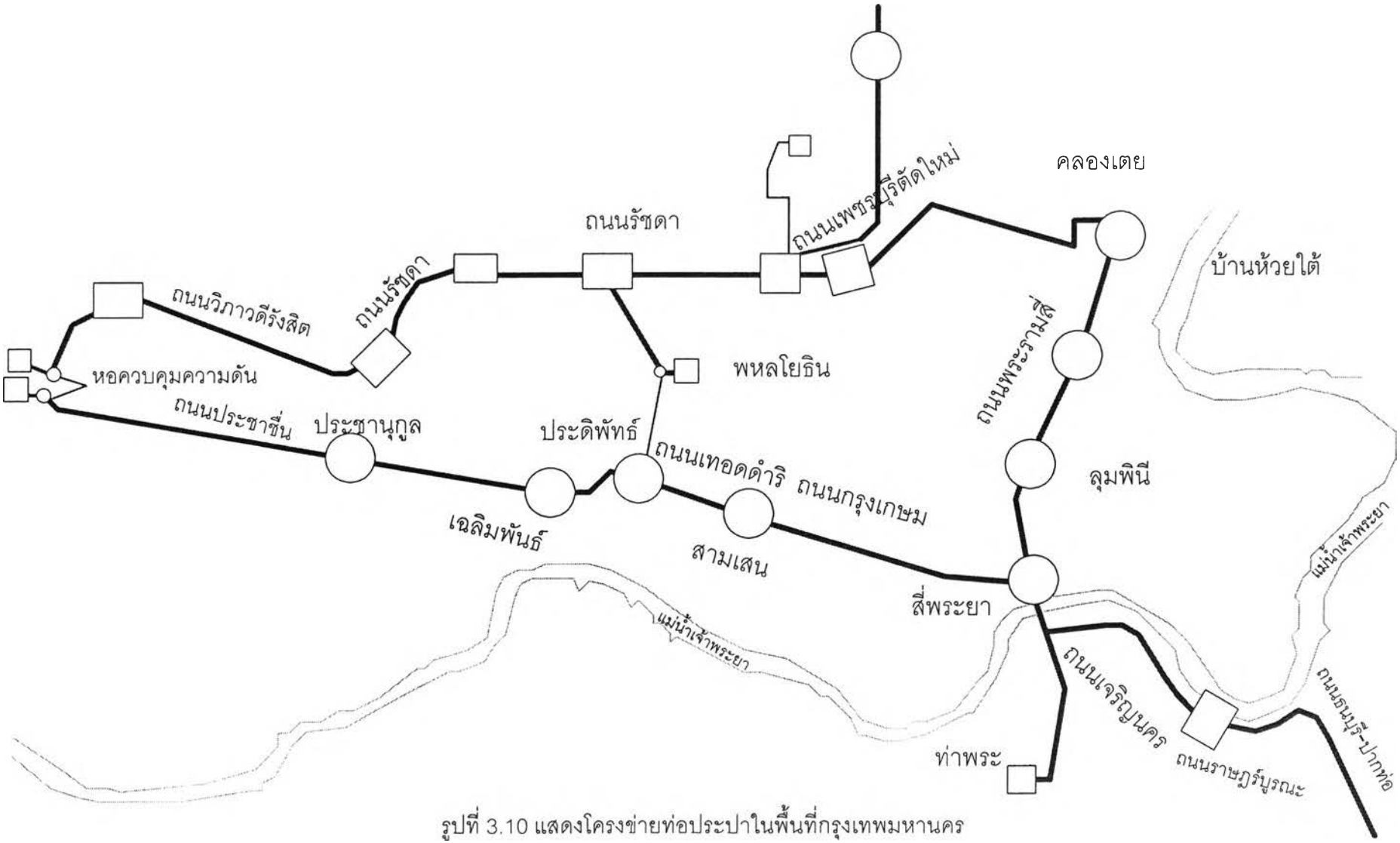
รูปที่ 3.7 แสดงแนวท่ออุโมงค์และสิ่งกีดขวางบริเวณจุดตัดสามย่าน



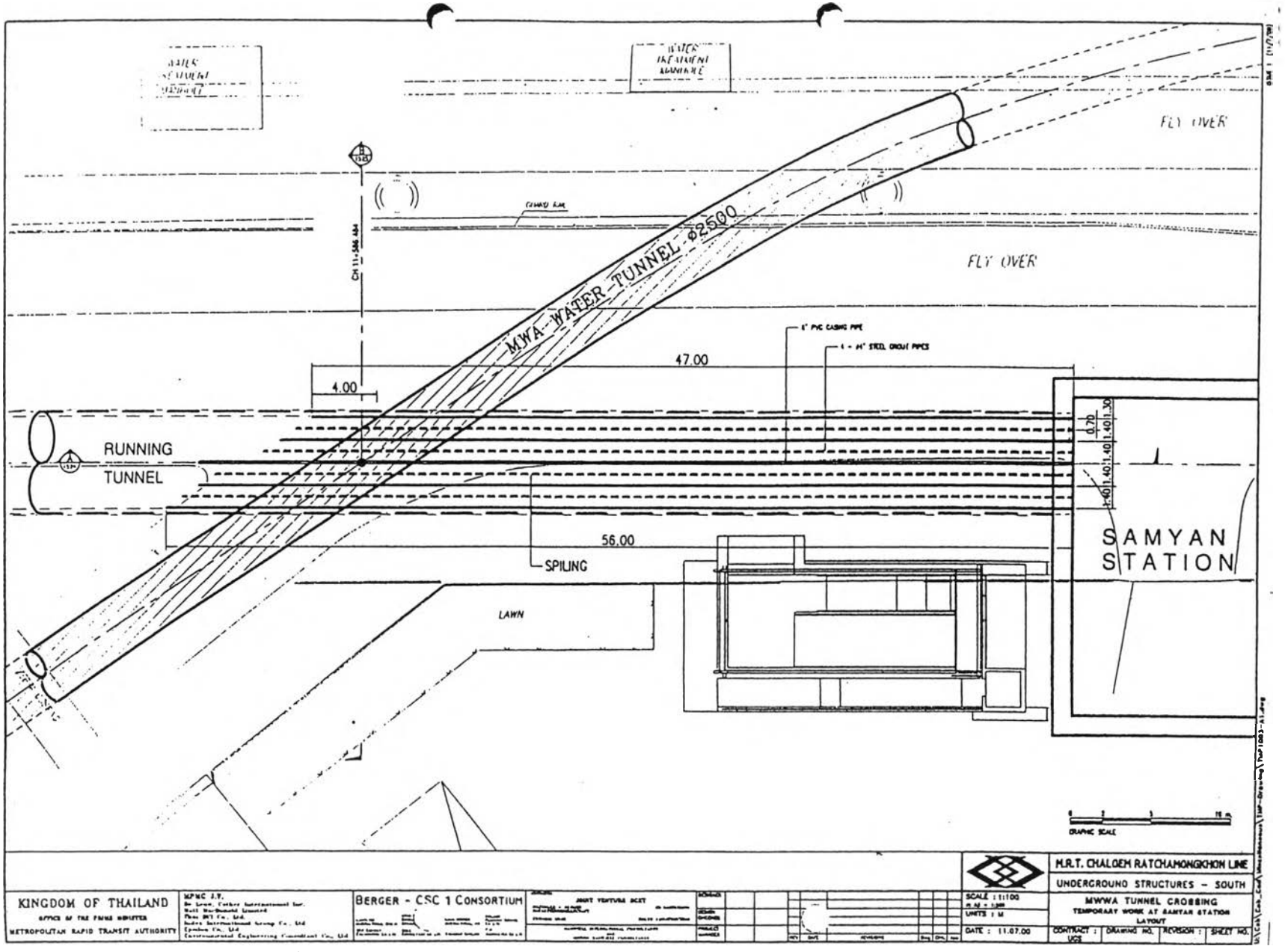
รูปที่ 3.6 แสดงภาพตัดชั้นดินจุดที่อุโมงค์รถไฟฟ้ามีการตัดผ่านกับแนวท่อประปาบริเวณใกล้ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์



รูปที่ 3.7 แสดงภาพตัดชั้นดินจุดที่อุโมงค์รถไฟฟ้ามีการตัดผ่านกับแนวท่อประปาบริเวณใกล้แยกสามย่าน



รูปที่ 3.10 แสดงโครงข่ายท่อประปาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

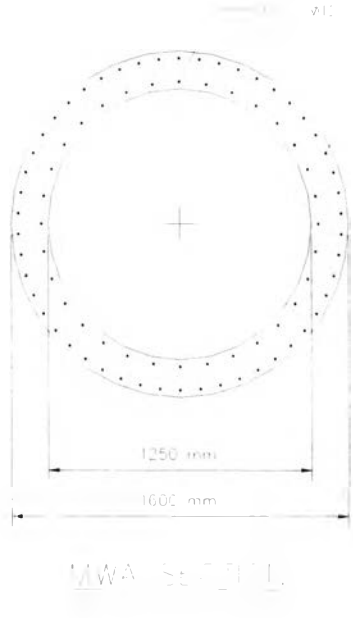


รูปที่ 3.11 แสดงจุดตัดระหว่างแนวท่อประปาและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

3.5.2 ข้อมูลของอุโมงค์และหัวเจาะที่ใช้

อุโมงค์ประปา

เป็นอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเสริมดาดอุโมงค์ภายใน (pre-cast concrete segments with an insitu reinforced concrete lining) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 เมตร หนา 0.35 เมตร



รูปที่ 3.12 แสดงหน้าตัดของอุโมงค์ประปาบริเวณสามย่าน

อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

เป็นอุโมงค์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป(segmental lining concrete) หนา 0.3 เมตร กว้าง 1.2 เมตร ประกอบด้วยชิ้นส่วนทั้งหมด 6 ชิ้น (7 ชิ้น สำหรับสายเหนือ) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.3 เมตร และเส้นผ่านศูนย์ภายใน 5.7 เมตร ความหนา 0.30 เมตร ยึดไว้ด้วยสลักเกลียว และทำการอัดฉีดน้ำปูนในขณะก่อสร้าง สำหรับหัวเจาะเป็นหัวเจาะชนิดแรงดันดินสมดุล(Earth Pressure Balanced Shield) ผลิตโดยบริษัท Herrenknecht ยาว 6.19 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางที่ตัวหัวเจาะ 6.46 เมตร หากรวมใบมีดด้านหน้าจะเป็น 6.48 เมตร รายละเอียดหัวเจาะแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดหัวเจาะที่ใช้

เส้นทาง	สิริกิตติ์ – หัวลำโพง
ผู้ก่อสร้าง	Bilfinger & Berger
คุณลักษณะของหัวเจาะ	
ผู้ผลิต	Herrenknecht
เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเจาะ	6.46 m.
ความดันหน้าหัวเจาะ	180 kPa
ความยาวหัวเจาะ	6.19 m.
Number of Jacks	40 x 100 tonne
Total Thrust Force	28300 kN
Cutter Head drive	8 hydraulic motors powered by 4 x 160 Kw electric pump
Open Ratio of Cutter Face	42 %
การอัดฉีดน้ำปูน	
Grouting Material	เบนโทไนท์ กับซีเมนต์ผสมเถ้าลอย
Typical Pressure	> 3 bar
Typical Quantities	N.A.
Typical Grout Filling Ratio	150 %

3.5.3 ขั้นตอนการก่อสร้าง

1) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพพื้นที่และอุโมงค์ส่งน้ำของการประปาจากพิมพ์เขียวและแบบแปลนที่มีอยู่ ทำการตรวจสอบเพื่อระบุตำแหน่งและระดับที่แน่นอนของอุโมงค์เพื่อสอบทานกับแบบ ซึ่งใช้ทั้งการทำการเจาะสำรวจในแนวดิ่ง รวมถึงการทดสอบที่เรียกว่า magnetic prospecting ซึ่งเป็นการหย่อนเซ็นเซอร์ลงยังหลุมในแนวดิ่งข้างๆอุโมงค์ เพื่อตรวจวัดหาระดับที่แน่นอนของท่อส่งน้ำ

2) วางแผนการก่อสร้างและศึกษาถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์ลอดท่อประปา โดยทำการคาดคะเนกำลังของท่อส่งน้ำจากแบบขณะก่อสร้าง(as build) ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อประเมินการเคลื่อนตัวสูงสุดทียอมให้เกิดได้

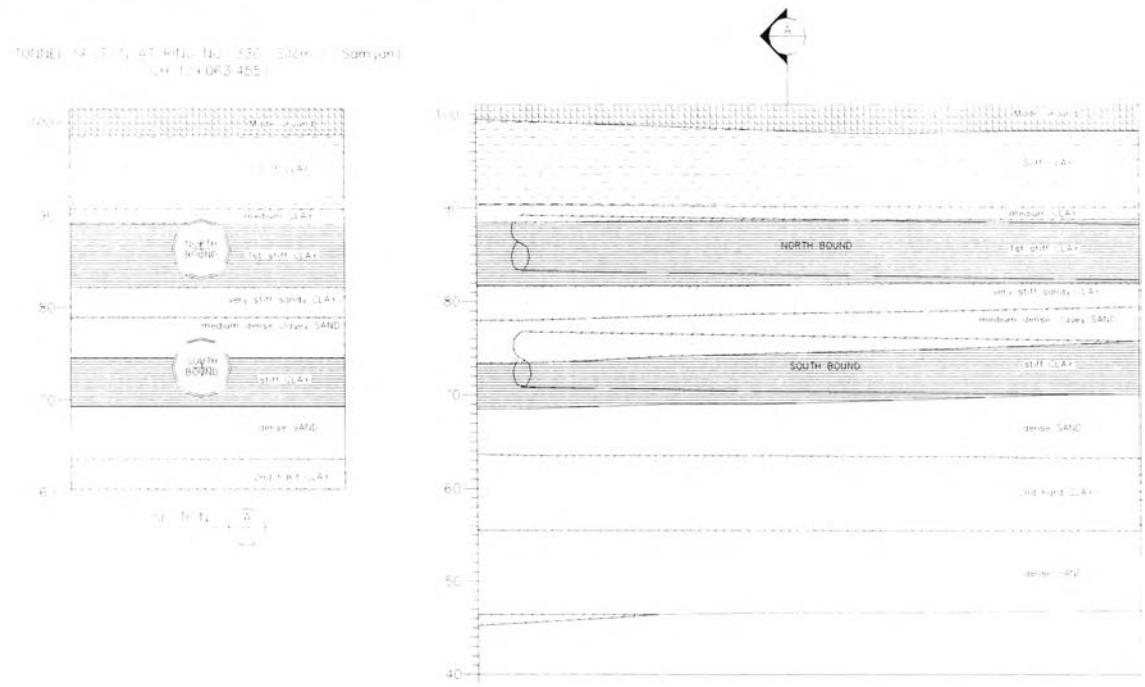
3) วางแผนลำดับขั้นตอนการประสานงานในขณะก่อสร้าง เตรียมแนวทางและมาตรการฉุกเฉินสำหรับกรณีที่อุโมงค์ส่งน้ำประปาได้รับความเสียหายและต้องทำการซ่อมแซมเสริมกำลัง

4) ทำการเสริมกำลังของดินใต้อุโมงค์ โดยทำการติดตั้ง Spiling Pipe ตามแนวก่อสร้างอุโมงค์ตั้งแต่สถานีไปจนเลยบริเวณจุดตัด

5) ทำการขุดเจาะทดสอบ(Test Section) โดยจำลองสภาพการขุด การเดินหัวเจาะ การสังและประสานงาน กับบริเวณหน้าตัดทดสอบ เพื่อเป็นการซักซ้อมกระบวนการทำงานทั้งหมดและเพื่อให้มั่นใจว่าจะสามารถควบคุมการเคลื่อนตัวของดินให้อยู่ในพิกัดที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุโมงค์ส่งน้ำ

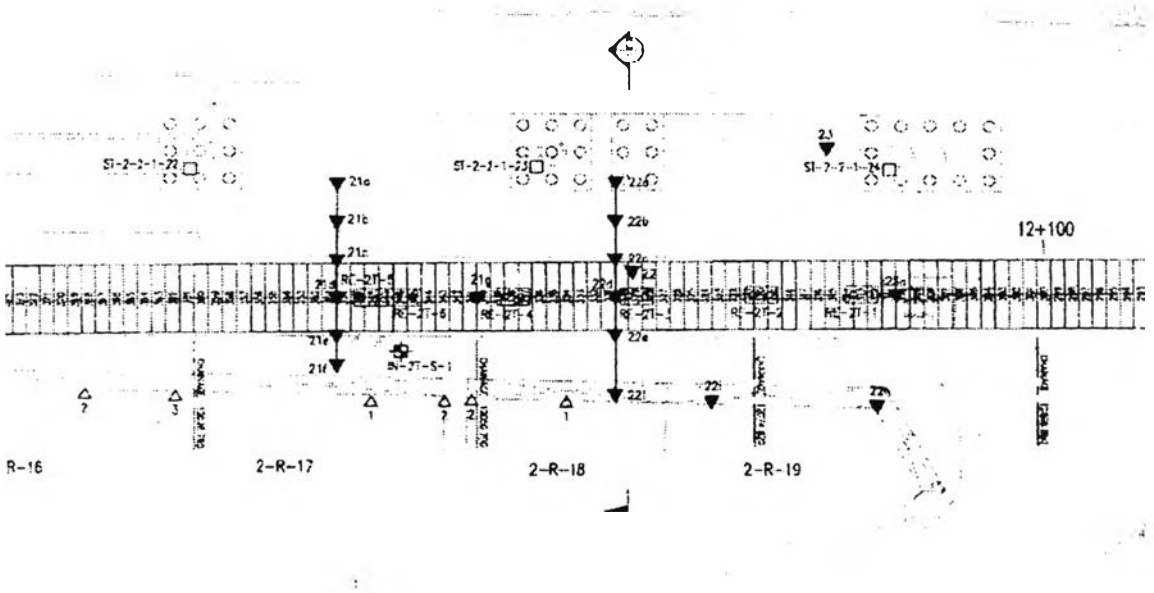
3.6 การทดลองทำการขุดเจาะในบริเวณ Trial Area

ทั้งนี้ก่อนการขุดเจาะผ่านบริเวณจุดตัดจริง ได้มีการทำ Test Section บริเวณระหว่างสถานีสีลม – สามย่าน ซึ่งแนวอุโมงค์วางตัวซ้อนกันคล้ายกับแนวบริเวณจุดตัด และมีสภาพชั้นดินไม่แตกต่างกันมากนัก โดยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินทั้ง Extensometer, Surface settlement, Inclinometer และ Subsurface settlement เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินตลอดเวลาที่ทำการขุดเจาะผ่านแนวหน้าตัดทดสอบนี้

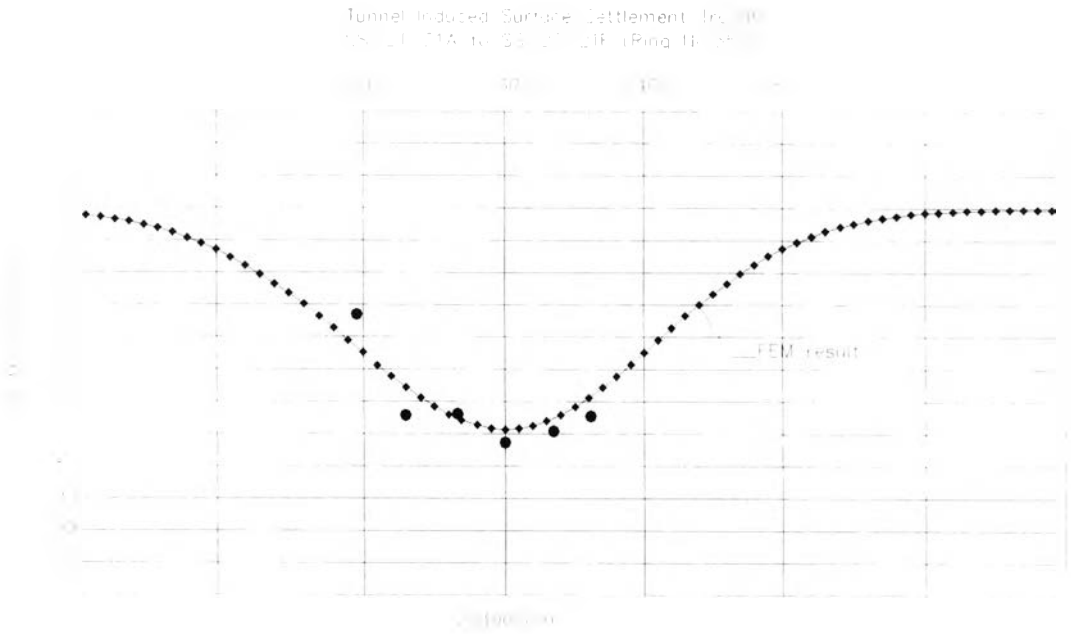


รูปที่ 3.13 แสดงชั้นดิน บริเวณทดสอบการขุดเจาะ(Trial Area) เพื่อซักซ้อมก่อนการทำงานที่จุดตัดสามย่าน

ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ถูกจัดเก็บละเอียดถึงระดับชั่วโมง และประมวลผลเพื่อพร้อมใช้ใน 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นโอกาสดีที่เจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายและผู้เกี่ยวข้องจะได้ซักซ้อมการประสานงานและติดตามการขุดเจาะอย่างใกล้ชิด ก่อนจะทำการขุดจริงลอดผ่านท่อประปาบริเวณสามย่าน



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือบริเวณหน้าตัดเจาะทดสอบ(Trial Area)



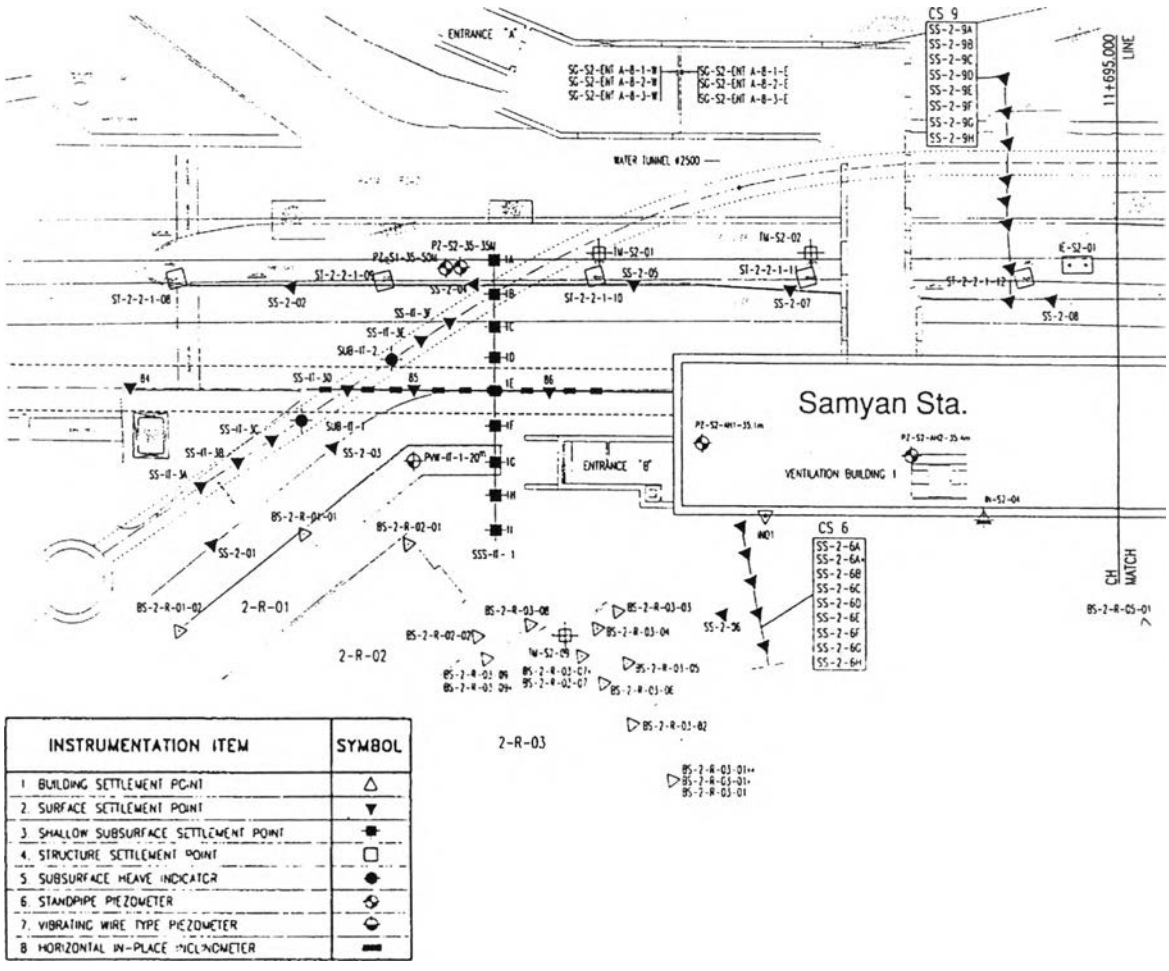
รูปที่ 3.15 แสดงผลระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้จริงเปรียบเทียบกับที่วิเคราะห์จาก FEM บริเวณ Trial Area

จากผลการขุดเจาะหน้าตัดทดสอบ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการควบคุมการทรุดตัวและปริมาณการสูญเสียมวลดิน(Ground Loss) ให้อยู่ไม่เกินขอบเขตที่น่าจะปลอดภัยและยอมรับได้สำหรับการขุดเจาะจริงลอดผ่านอุโมงค์ของการประปานครหลวง

3.7 การตรวจวัดการทรุดตัวและเคลื่อนตัวของดินขณะทำการก่อสร้างของกรณีศึกษา ณ จุดตัดสามย่าน

3.7.1 รายละเอียดและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ

เนื่องจากความสำคัญของท่อประปาในบริเวณสามย่านมีความสำคัญมาก เนื่องจากระบบประปาในกรุงเทพฯเป็นแบบวงแหวน และเป็นเส้นทางจ่ายน้ำสู่บริเวณย่านธุรกิจที่สำคัญใจกลางเมือง ดังนั้นจึงมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทางธรณีเทคนิคเป็นจำนวนมาก ได้แก่ Surface Settlement(SS), Subsurface Settlement(SUB), Shallow Subsurface Settlement(SSS), Inclinometer, Piezometer , Building Settlement โดยติดตั้งทั้งบริเวณเหนือแนวการขุดเจาะ หน้าตัดที่ขุดเจาะผ่าน บริเวณผิวทางใกล้เคียง รอบๆอาคารในบริเวณข้างเคียงการก่อสร้างอุโมงค์และสถานีสามย่าน



รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคในบริเวณจุดตัดสามย่าน

3.7.2 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวและเคลื่อนตัวของชั้นดิน

การบันทึกค่าการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้จากในสนาม จะถูกจัดเก็บตลอดระยะเวลาที่ทำการขุดเจาะ โดยมีความถี่ในการจัดเก็บตามความเหมาะสม ระดับและอัตราการเคลื่อนตัวของดิน โดยจะมีการประมวลผลและรายงานไปยังฝ่ายควบคุมตลอดเวลา เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวมากเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้

เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของหน้าตัดอุโมงค์ส่งน้ำได้โดยตรง ดังนั้นจึงทำการรวบรวมข้อมูลจากแบบก่อสร้าง(As build drawing)ที่มีเก็บไว้ ซึ่งจากการวิเคราะห์หน้าตัดของอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง(MWA Tunnel) ด้วยวิธีต่างๆ เช่นกำลังจากหน้าตัด, Frame Analysis ทำให้ได้ข้อสรุปว่า การเคลื่อนตัวระดับที่น่าจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุโมงค์ส่งน้ำประปา คือ ในระดับไม่เกิน 8 มิลลิเมตร

1) การตรวจวัดจาก Shallow Subsurface Settlement

Shallow Subsurface Settlement(SSS) ติดตั้งอยู่ ณ ระดับความลึก 0.45 เมตรจากระดับผิวดิน โดยมีหน้าตัดการตรวจวัดตั้งฉากกับแนวการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน อยู่ห่างจากสถานีสามย่านเหนือดาดอุโมงค์วงที่ 22 ประมาณ 26 เมตรจากสถานีสามย่านหรือประมาณ 24 เมตรก่อนถึงบริเวณจุดตัด

ลักษณะค่าการทรุดตัวที่ตรวจวัดได้จาก SSS แบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือช่วงแรกเมื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ระดับล่าง(SB Tunnel) การทรุดตัวจะเกิดขึ้นและค่อยๆช้าลงจนค่อนข้างคงที่ ช่วงที่สองคือเมื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ระดับบน(NB Tunnel) การทรุดตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุโมงค์นี้ทำการขุดเจาะในระดับที่ค่อนข้างตื้น ดังนั้นในจังหวะที่หัวเจาะเคลื่อนที่เข้าหาแนวหน้าตัดตรวจวัด จะเกิดการอูด(heave) จากนั้นเมื่อหัวเจาะเริ่มผ่านแนวตรวจวัด ค่าการทรุดตัวจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อหัวเจาะห่างออกไปได้สักพัก ค่าการทรุดตัวก็จะชะลอลงและเริ่มคงที่ ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3.18

2) การตรวจวัดจาก Surface Settlement

Surface Settlement ติดตั้งอยู่ ณ ระดับผิวดิน แนวหน้าตัดตรวจวัดอยู่เหนือจุดตัดและเหนือแนวอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง โดยมีระยะห่างจากสถานีสามย่านถึงเครื่องมือตรวจวัดที่อยู่เหนือแนวกึ่งกลางของอุโมงค์รถฟ้า ประมาณ 50 เมตร ลักษณะการทรุดตัวจะคล้ายกับที่ตรวจวัดได้จาก SSS เพียงแต่มีขนาดน้อยกว่า ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3.19

3) **การตรวจวัดจาก** Subsurface Heave Indicator

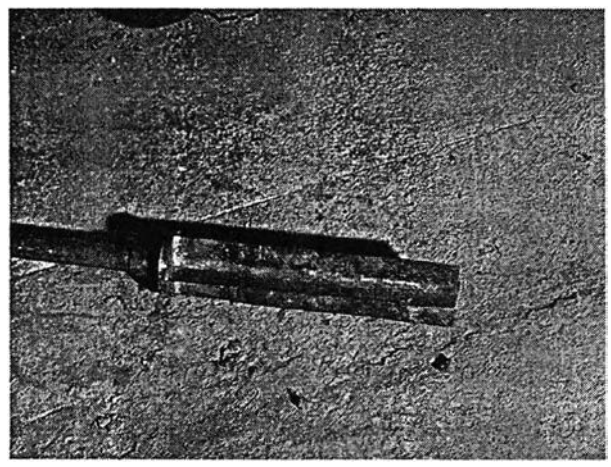
Subsurface Heave Indicator ติดตั้งลึกลงไปจากผิวดินประมาณ 15 เมตร ติดตั้งเหนืออุโมงค์ส่งน้ำบริเวณข้างเคียงจุดตัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามปริมาณการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ส่งน้ำทำได้โดยการติดตั้ง Subsurface Settlement ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อโลหะที่ปลายมีใบพัดคล้ายใบ Vane ที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนาม โดยทำการขุดเจาะนำลงไปจนเกือบถึงระดับของอุโมงค์ส่งน้ำที่ได้ทำการสำรวจไว้ก่อน จากนั้นจึงค่อยๆกดให้ปลายด้านใบพัดของอุปกรณ์ลงไปสัมผัสกับผิวนอกของดาดอุโมงค์ส่งน้ำ ลักษณะปลายของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.17

ผลการตรวจวัดแสดงว่าในช่วงแรกของการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านแนวจุดตัด อุโมงค์ประปาจะเกิดการทรุดตัวลงมากที่สุดเมื่อหัวเจาะที่ขุดเจาะอุโมงค์ระดับล่าง(SB)ผ่านจุดตัดไป โดยเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด 4.56 และ 4.36 มิลลิเมตร และเมื่อมีการก่อสร้างอุโมงค์เส้นบน(NB) ผลการจากนำมวลดินเหนือบริเวณจุดตัวออกไป ทำให้ค่าการทรุดตัวค่อยๆลดลงจนเหลือการทรุดตัวสุทธิตอนท้ายน้อยมากเพียง 0.86 และ 0.28 มิลลิเมตรเท่านั้น

ผลการตรวจวัดแสดงให้เห็นว่า สภาวะที่วิกฤตที่สุดในการก่อสร้างคือเมื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ระดับล่างผ่านแนวจุดตัวไปแล้ว โดยการก่อสร้างอุโมงค์ระดับบนกลับเป็นผลดีต่ออุโมงค์ส่งน้ำ ผลจากการหายไปของมวลดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์ระดับบนช่วยลดขนาดของการทรุดตัว เนื่องจากทำให้อุโมงค์ส่งน้ำเกิดค่อยๆยกตัวขึ้นจากผลของ heave ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3.20

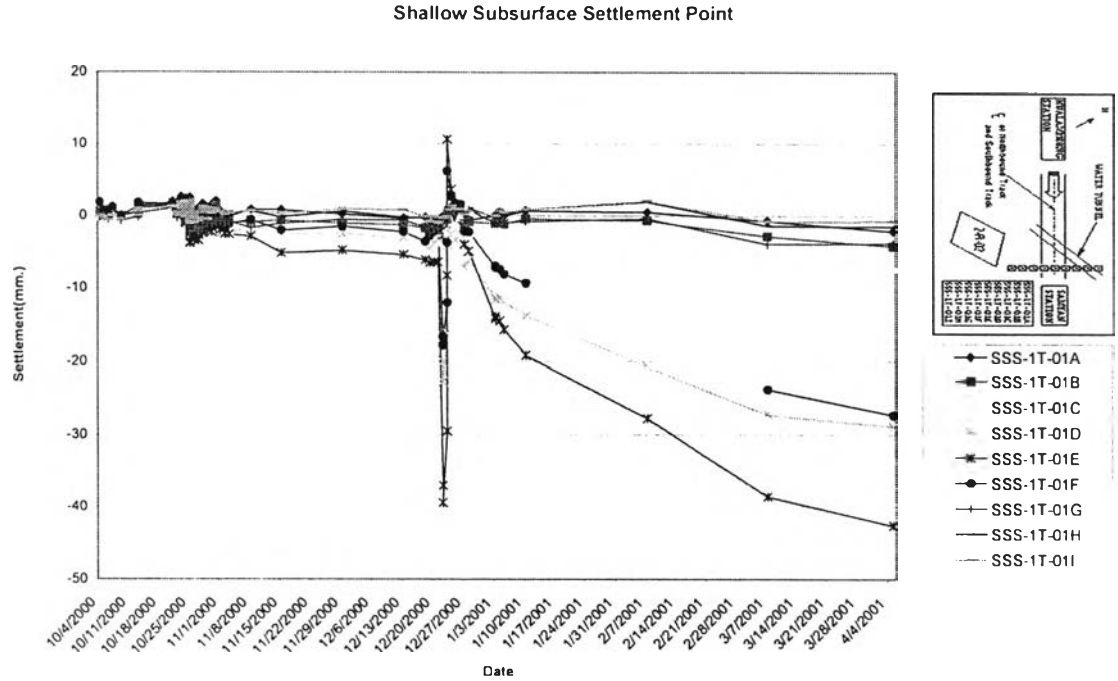
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าการทรุดตัวหลังขุดเจาะเสร็จสิ้น

Instrumentation	CODE	Installment Level (m.)	Final Settlement after NB (mm.)
Surface Settlement	SS-1T-03A-F	Ground	-16.13
Shallow Subsurface Settlement	SSS-1T-01A-I	-0.45	-42.61
Subsurface Settlement	SUB-1T-01-02	-15	-0.86

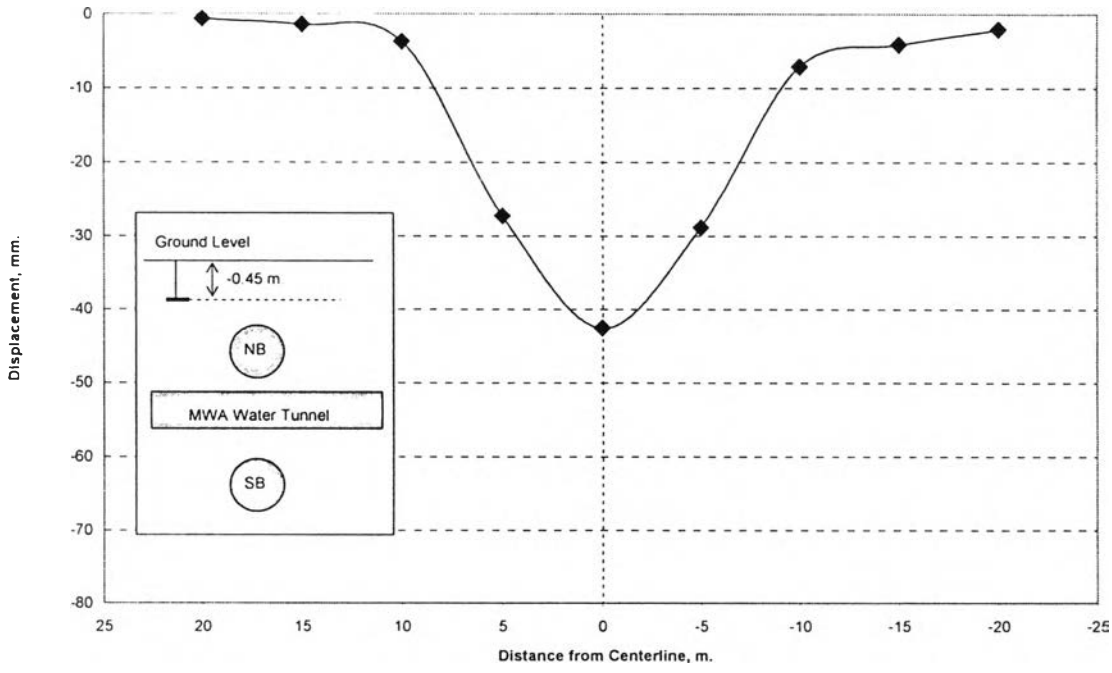


รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะปลายของ Subsurface Settlement

I22036179

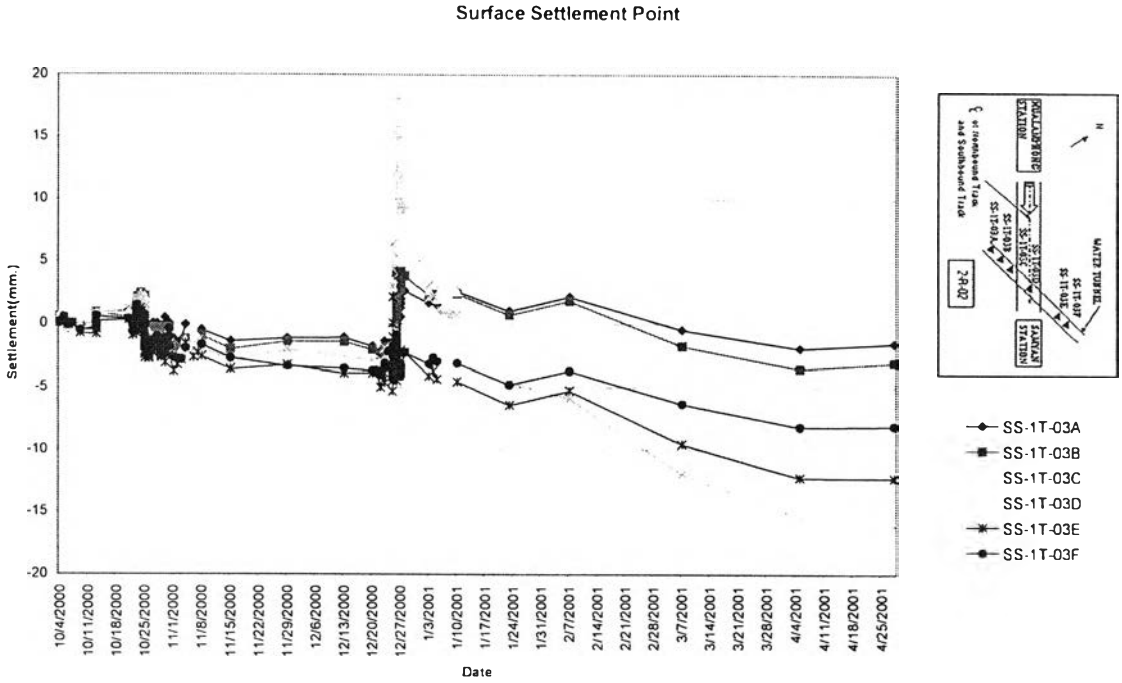


(a)

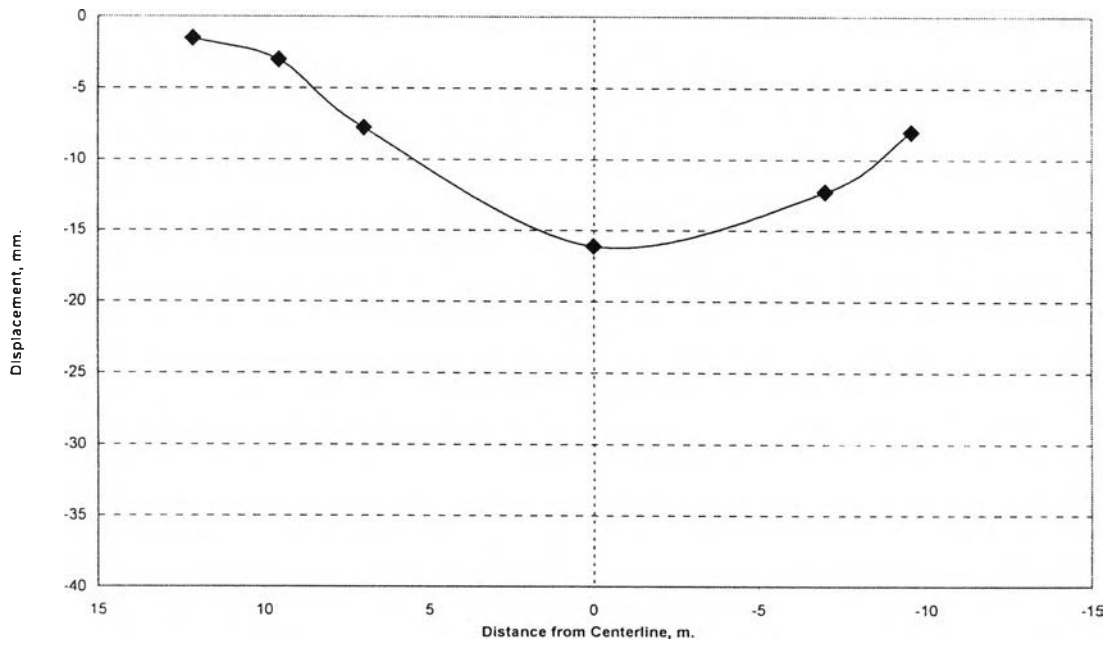


(b)

รูปที่ 3.18 แสดงผลการตรวจวัดจากเครื่องมือ Shallow Subsurface Settlement(-0.45 m. Level)
(a) ขณะทำการก่อสร้าง (b) หน้าตัดติดตั้งเครื่องมือเมื่อก่อสร้างเสร็จ

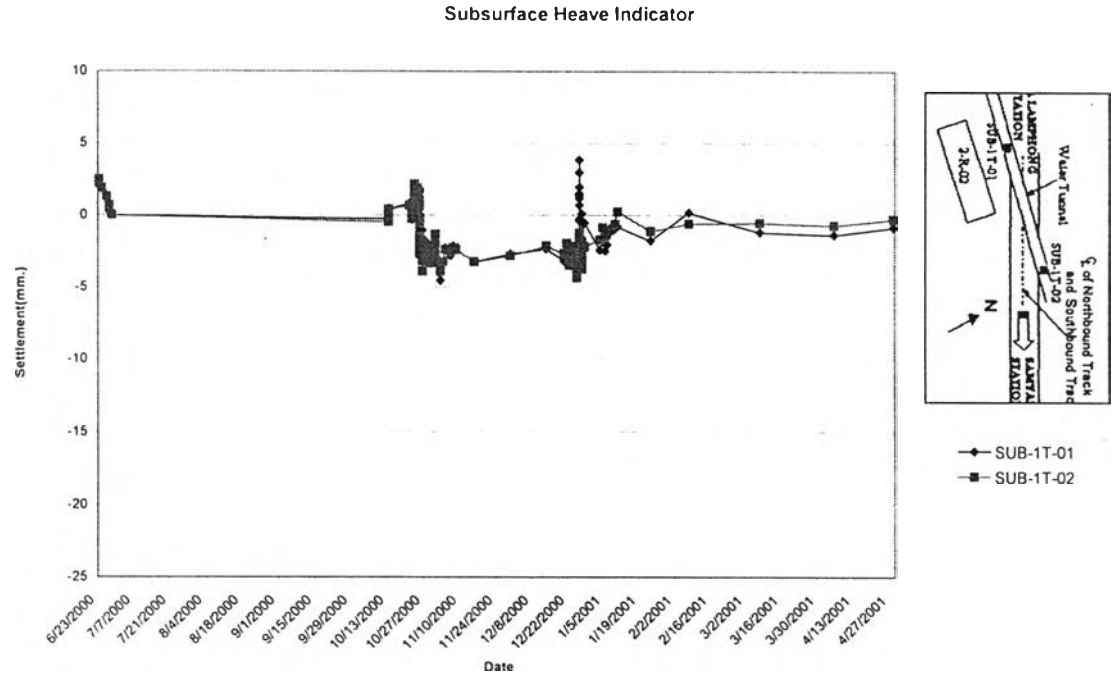


(a)

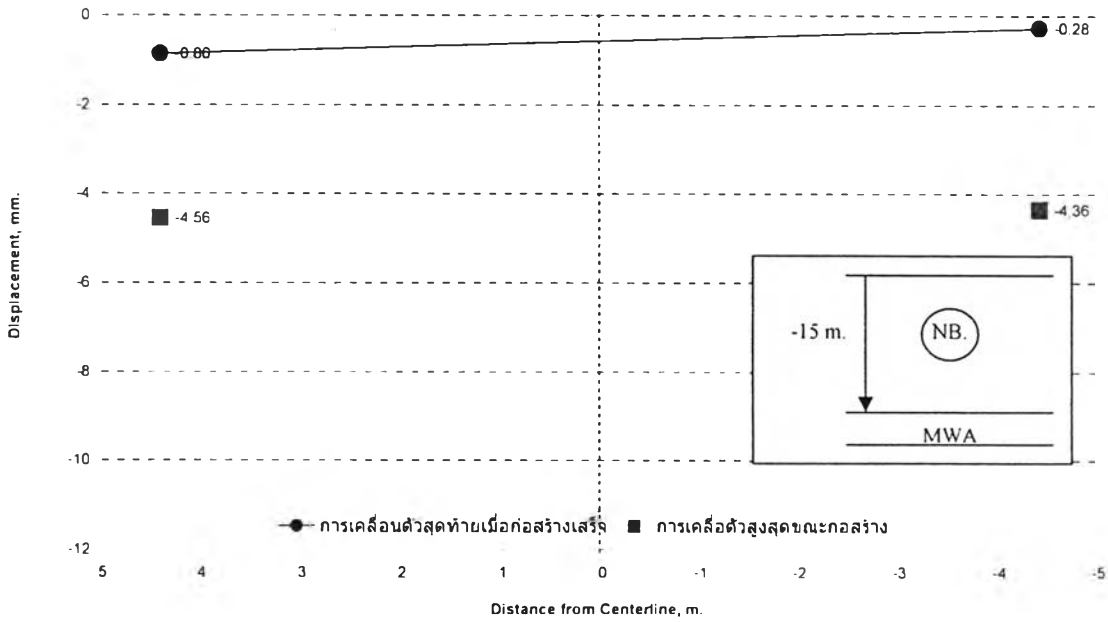


(b)

รูปที่ 3.19 แสดงผลการตรวจวัดจากเครื่องมือ Surface Settlement(Ground Level)
(a) ขณะทำการก่อสร้าง (b) หน้าตัดติดตั้งเครื่องมือเมื่อก่อสร้างเสร็จ



(a)



(b)

รูปที่ 3.20 แสดงผลการตรวจวัดจากเครื่องมือ Subsurface Settlement(-15 m. Level)
(a) ขณะทำการก่อสร้าง (b) หน้าตัดติดตั้งเครื่องมือเมื่อก่อสร้างเสร็จ