

การพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร  
TUNNELLING DATABASE DEVELOPMENT FOR THE SUBWAY PROJECT IN  
BANGKOK



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 61399  
วันเดือนปี 17 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TUNNELLING DATABASE DEVELOPMENT FOR THE SUBWAY PROJECT  
IN BANGKOK**



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินใน  
กรุงเทพมหานคร

นักศึกษา นายชเนศ เขมวาส รหัสประจำตัว 44010725  
นายสรรเสริญ ชิดทอง รหัสประจำตัว 44010857

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์	ศรินิต	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	
ดร.อุมา	สิบุญเรือง	
อ.สมเกียรติ	ขวัญฤกษ์	
อ.อุบะ	ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

( ผศ.สุพจน์ ศรินิต )

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 22 เดือน เมษายน พ. ศ. 2548

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้า ในกรุงเทพมหานคร TUNNELING DATABASE DEVELOPMENT FOR THE SUBWAY PROJECT IN BANGKOK
นักศึกษา	นายธเนศ เขมवास นายสรรเสริญ ชิตทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2546

### บทคัดย่อ

โครงการรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครสายเฉลิมรัชมงคล(สายสีน้ำเงิน) เป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้มีการว่าจ้างบริษัทเอกชนทำการขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน โดยที่แต่ละบริษัท ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการขุดเจาะ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมารวมกัน ข้อมูลที่ได้ไม่ได้มีการจัดหมวดหมู่และข้อมูลมีจำนวนมาก จึงทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ โดยใช้คอมพิวเตอร์แสดงผลให้สามารถใช้งานได้ง่ายต่อการวิเคราะห์ และยังสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลของรถไฟฟ้าใต้ดินส่วนต่อขยายที่จะทำการก่อสร้างอีกในอนาคต

**Title** : TUNNELING DATABASE DEVELOPMENT FOR THE SUBWAY PROJECT IN BANGKOK

**Name** : MR. TANED KHEMAVAS  
MR. SANSERN CHIDTONG

**Field** : CIVIL ENGINEERING

**Department** : CIVIL ENGINEERING

**Faculty** : ENGINEERING

**Advisor** : ASST.PROF. SUCHATVEE SUWANSAWAT

## ABSTRACT

The M.R.T. Chaleomratchamongkon Line (Blue line) is the first subway project in Bangkok area. The project hires private companies for underground tunneling construction. All companies collected excavation and instrumentation data. When combined data together, we found that it was difficult to analyze and because not only a lot of data but also all of them wasn't classified. Therefore the computerization became necessary to make it easy and comfortable to analyze for user. The database can be used for the construction of the new project.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณแก่บุคคลดังต่อไปนี้

อาจารย์สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำงาน ให้ข้อมูล และกำลังใจอันสำคัญยิ่งกับทางคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณทางรุ่นพี่พิชชากร ศรีจันทร์ทอง พี่พิทยา ตั้งอารยทรัพย์ และพี่สุภชัย โชคชัยวัฒนากร ที่ได้แนะนำการทำงานของโปรแกรมเก่าและช่วยเริ่มต้น โครงการดีๆให้ทางผู้จัดทำได้พัฒนา

นายสันติชล ชัชวาลรัตน์ ที่เป็นคนคอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับตัวโปรแกรมที่ใช้ในปริญญาบัตรฉบับนี้

เพื่อนๆพี่ๆภาควิชาวิศวกรรมโยธา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการประจำอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา รวมทั้งผู้ที่มีส่วนร่วมและช่วยเหลือจนทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

บุคลากร ที่คอยอนุเคราะห์เรื่องค่าใช้จ่ายและเป็นกำลังใจที่ดีในเวลาที่ปริญญาบัตรฉบับนี้มีอุปสรรค

ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาบัตรฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านไม่มากนักน้อย คุณความดีของปริญญาบัตรฉบับนี้ขอมอบแด่ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตราบนานวันสุดท้ายของภาคเรียน

นายชเนศ เขมวาส

นายสรรเสริญ ชิตทอง

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญรูป	ฅ
1	บทนำ	1
	1.1 บทนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
	1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
	1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินปริญญานิพนธ์	2
	1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
2	การขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน	3
	2.1 ข้อมูลทางธรณีวิทยา(Geology)	3
	2.2 การขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้เครื่องเจาะ	3
	2.2.1 ส่วนประกอบของหัวเจาะ	4
	2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องเจาะ	5
	2.2.3 การขุดเจาะอุโมงค์	5
	2.2.4 ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง

หน้า

2.2.5	เทคนิคการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance (EPB)	8
2.2.5.1	การควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์	9
2.2.5.2	การคำนวณออกแบบความดันที่หัวเจาะ	9
2.2.5.3	วิธีเลือกตำแหน่ง Construction shaft	9
2.2.5.4	การวางแผนและลำดับขั้นตอนการนำดินที่ขุดเจาะอุโมงค์ไปทิ้ง	9
2.3	ปัญหาอุปสรรคและวิธีการแก้ไขในขณะดำเนินงานขุดเจาะอุโมงค์	10
2.3.1	เมื่อหัวเจาะเคลื่อนออกไปจากแนวที่กำหนด	10
2.3.2	เมื่อพบชั้นทราย, ชั้นดินปนทรายหรือน้ำใต้ดิน	10
2.3.3	เมื่อพบอุปสรรคขวางหน้า (Obstruction)	11
2.3.4	วิธีการตรวจสอบการทรุดตัวของชั้นดิน (Ground Settlement)	11
2.3.4.1	ตรวจสอบการทรุดตัวของบ่อก่อสร้าง (Working Shaft)	11
2.3.4.2	ตรวจสอบการทรุดตัวของสิ่งก่อสร้างข้างแนวขุดเจาะอุโมงค์	11
2.3.4.3	การดำเนินการและป้องกัน (Operation Method & Prevention)	12
2.4	ข้อมูลต่างๆ ในการขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Parameter)	13
3	เครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค	14
3.1	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1	14
3.1.1	การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	14
3.1.2	รายละเอียดของการติดตั้ง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง

หน้า

3.1.3	วิธีการเตรียมการ	14
3.1.4	การติดตั้ง	14
3.1.5	การจดบันทึกค่า	16
3.2	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2	16
3.2.1	การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	16
3.2.2	รายละเอียดของการติดตั้ง	16
3.2.3	วิธีการเตรียมการ	16
3.2.4	การติดตั้ง	16
3.2.5	การจดบันทึกค่า	17
3.3	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3	18
3.3.1	การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	18
3.3.2	รายละเอียดของการติดตั้ง	18
3.3.3	วิธีการเตรียมการ	18
3.3.4	การติดตั้ง	18
3.3.5	การจดบันทึกค่า	19
3.4	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ Combined Inclinometer และ การติดตั้ง Megnetic Extensometer	19
3.4.1	การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	19
3.4.2	รายละเอียดของการติดตั้ง	19
3.4.3	วิธีการเตรียมการ	19
3.4.4	การติดตั้ง	20
3.4.5	การจดบันทึกค่า	21
3.5	วิธีการติดตั้ง Vibrating Wire Piezometer	22
3.5.1	การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	22
3.5.2	รายละเอียดของการติดตั้ง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.5.3 วิธีการเตรียมการ	22
	3.5.4 การติดตั้ง	22
	3.5.5 การจดบันทึกค่า	23
4	โครงการส่วนต่อขยายสายเคเบิลโรมมิ่งและสายใหม่	24
4.1	โครงการส่วนต่อขยายสายเคเบิลโรมมิ่ง(สายสีน้ำเงิน)และสายใหม่	24
4.2	โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน(ส่วนต่อขยาย)	26
4.2.1	แนวเส้นทาง	26
4.2.2	โครงสร้าง	26
4.2.3	สถานี	27
4.2.4	ศูนย์ซ่อมบำรุง	27
4.2.5	ที่จอดรถ	27
4.2.6	ระบบรถ	27
4.2.7	ระบบราง	27
4.2.8	ระบบเก็บค่าโดยสาร	27
4.2.9	มูลค่าโครงการ	28
4.3	โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีม่วง ช่วง บางใหญ่ ถึง ราษฎร์บูรณะ	28
4.3.1	ความเป็นมาโครงการ	28
4.3.2	ลักษณะโครงการ	28
4.3.2.1	แนวเส้นทาง	29
4.3.2.2	ระยะทาง	29
4.3.2.3	โครงสร้างทางวิ่ง	29
4.3.2.4	สถานี	29
4.3.2.5	ศูนย์ซ่อมบำรุง	29
4.3.2.6	ที่จอดรถสำหรับผู้โดยสาร	29

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง

หน้า

4.3.2.7 ระบบราง	30
4.3.2.8 ระบบรถ	30
4.3.2.9 ระบบเก็บค่าโดยสาร	30
4.3.2.10 มูลค่าโครงการ	30
4.4 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม ช่วง บางกะปิ ถึง บางบัวรุ	31
4.4.1 ความเป็นมาโครงการ	31
4.4.2 ลักษณะโครงการ	31
4.4.2.1 แนวเส้นทาง	31
4.4.2.2 การก่อสร้าง	31
4.4.2.3 สถานี	32
4.4.2.4 โรงเก็บและซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า	32
4.4.2.5 ที่จอดรถ	32
4.4.2.6 ระบบราง	32
4.4.2.7 ระบบรถ	32
4.4.2.8 ระบบเก็บค่าโดยสาร	32
4.4.2.9 มูลค่าโครงการ	33
4.5 ข้อมูลรถไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ	33
4.5.1 ชนิดของรถไฟฟ้า	33
4.5.2 ขนาดของตัวรถ	33
4.5.3 การจัดรูปแบบขบวนรถ	34
4.5.4 ภายในตัวรถ	34
4.5.5 ประตูกั้นชานชาลา(Platform Screen Door)	34
4.5.6 การขับเคลื่อนและห้ามล้อ	35
4.5.7 ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ	35
4.5.8 ระบบความปลอดภัย	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
4.5.9 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า	37
4.5.9.1 ระบบรับไฟฟ้าที่ศูนย์ซ่อมบำรุง	37
4.5.9.2 ระบบจ่ายไฟฟ้า ที่สถานีและทางวิ่ง	37
4.5.10 รูปแบบสถานี	39
4.5.10.1 รูปแบบที่มีชานชาลากลาง (Center Platform)	40
4.5.10.2 รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (Side Platform)	40
4.5.10.3 รูปแบบที่ชานชาลาซ้อนกัน (Stack Platform)	41
4.6 รูปแบบทางขึ้น-ลงและสถานีรถไฟฟ้ามหานคร	42
<b>5 การจัดเก็บฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์</b>	<b>43</b>
5.1 การจัดการเก็บฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ (Computerized Database Management)	43
5.1.1 Geology database	45
5.1.2 Instrument database	46
5.1.2.1 Surface settlement	48
5.1.2.2 Surface settlement array	49
5.1.2.3 Extensometers	50
5.1.2.4 Inclinometers	52
5.1.2.5 Piezometers	53
5.1.3 Operational Parameter Database	55
5.2 การจัดเรียงข้อมูลในคอมพิวเตอร์	60
5.2.1 Geology	60

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.2.2 Instrument	61
	5.2.3 Tunnel	66
6	การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการทรุดตัวของผิวดิน	70
	6.1 การวิเคราะห์ค่า พารามิเตอร์ ที่มีอิทธิพลต่อการทรุดตัวของผิวดิน (Analyses of Parameter Influencing Surface Settlement)	70
	6.2 Face Pressure ) ความดันผิวหน้าของหัวเจาะ(	70
	6.3 Penetration Rate	80
	6.4 Pitching Angle	83
	6.5 Grouting Quality	84
	6.6 Distance from Launching Station	88
	6.7 Tunnel Depth	90
	6.8 Geological Condition	91
	6.9 Summary	93
7	วิธีการใช้โปรแกรม	95
	7.1 การเลือกและการแสดงข้อมูล	95
	7.1.1 ส่วนข้อมูลทั่วไป	95
	7.1.2 ส่วนข้อมูลดิน	97
	7.1.2.1 ส่วนที่ 1 Geology หรือ ส่วนข้อมูลชั้นดิน	98
	7.1.2.2 ส่วนที่2 Tunnel หรือ ส่วนของข้อมูลดินในอุโมงค์ระหว่างการขุดเจาะ	100
	7.1.2.3 ส่วนที่ 3 Instrument หรือส่วนของเครื่องมือวัด	105
	7.1.2.4 ส่วนที่ 4 Instrument Layout หรือส่วนของแผนที่ แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Instrument	110

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
7.2 การเลือกข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ	112
8 บทวิจารณ์และสรุป	113
บรรณานุกรม	114



# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	หัวเจาะ Tunneling Boring Machine(TBM)	4
2.2	แสดงสมดุลแรงดันและการลำเลียงดิน	5
2.3	การขุดเจาะอุโมงค์วิธี Earth Pressure Balance Shield	5
2.4	รูปก่อนการทำงาน	6
2.5	แสดงการขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)	6
2.6	แสดงการอัดค้ำน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting)	7
2.7	แสดงการประกอบชิ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)	8
3.1	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1	15
3.2	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2	17
3.3	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3	18
4.1	โครงข่ายรถไฟไฟฟ้าส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคลสายสีน้ำเงิน (และสายใหม่)	25
4.2	ภาพตัวรถไฟฟ้าตัวอย่าง	33
4.3	การวางเก้าอี้ภายในตัวรถไฟฟ้า	34
4.4	ภาพตัวอย่างประตูชานชาลา	35
4.5	ภาพตัวอย่างเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ	36
4.6	ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ	36
4.7	ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ	36
4.8	รางรถไฟ	37
4.9	รูปแบบที่มีชานชาลากลาง(Central Platform)	40
4.10	รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง(Side Platform)	40
4.11	รูปแบบที่ชานชาลาซ้อนกัน(Stack Platform)	41
4.12	ภาพจำลอง ทางขึ้น-ลง	42
4.13	ภาพจำลองภายในสถานี	42
4.14	ภาพจำลองบริเวณชานชาลา	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.1 แสดงระดับของการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ การขุดเจาะอุโมงค์ลงในคอมพิวเตอร์	44
5.2 ข้อมูลที่จัดเก็บจากเครื่องมือวัดและการแสดงผลในคอมพิวเตอร์	46
5.3 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Surface settlement	48
5.4 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Surface settlement	48
5.5 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Surface settlement array	49
5.6 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Surface settlement array	50
5.7 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Extensometers	50
5.8 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Extensometers	51
5.9 แสดงตำแหน่งระยะการติดตั้ง Extensometers	51
5.10 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Inclinometers	52
5.11 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Inclinometers	53
5.12 แสดงตำแหน่งระยะการติดตั้ง Inclinometers	53
5.13 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Piezometers	54
5.14 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Piezometers	55
5.15 ตัวอย่างกราฟของ Face Pressure กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	56
5.16 ตัวอย่างกราฟของ Penetration Rate กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	56
5.17 ตัวอย่างกราฟของ Pitching Angle กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	57
5.18 ตัวอย่างกราฟของ Trust Force กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	57
5.19 ตัวอย่างกราฟของ Cutter Speed กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	58
5.20 ตัวอย่างกราฟของ Grouting Pressure กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	58
5.21 ตัวอย่างกราฟของ Grout Filling กับหมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	59
5.22 ตัวอย่างกราฟของ Time-position กับหมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.23 แสดงรูป Geology	60
5.24 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Settlement Point)	61
5.25 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Array)	62
5.26 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Extensometer)	63
5.27 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Inclinometer)	64
5.28 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Vibrating Wire Piezometer)	65
5.29 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Face Pressure, Cutter Torque, Penetration Rate)	66
5.30 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Thrust Force, Discharged Soil, Additive Volume, Percent Discharged Soil, Grouting Pressure)	67
5.31 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Percent Grout Filling, Screw Torque, Pitching Angle, Screw Conveyer Speed)	68
5.32 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Cutter Head Speed, Cutter Head Pressure)	69
6.1 เส้นทางโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน)	72
6.2 Face Pressure versus the maximum surface settlement after shield passing	73
6.3 Face Pressure ratio versus the maximum surface settlement after shield passing	73
6.4 Face Pressure classified by geological conditions versus the maximum surface settlement after shield passing	74
6.5 Average face pressure and average penetration rate	74
6.6 Schematic diagram of a typical longitudinal surface settlement profile	76
6.7 Face Pressure versus surface settlement measured at the end of Zone 1	76
6.8 Face Pressure ratio versus surface settlement measured at the end of Zone 1	77
6.9 Face Pressure versus surface settlement developing in Zone 2	78
6.10 Face Pressure ratio versus surface settlement developing in Zone 2	78
6.11 Face Pressure versus surface settlement developing in Zone 3	79

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
6.12 Face Pressure ratio versus surface settlement developing in Zone 3	79
6.13 Penetration rate versus surface settlement	81
6.14 Penetration rate versus surface settlement measured at the end of Zone	82
6.15 Penetration rate versus surface settlement developing within Zone 2	82
6.16 Ground movement caused by pitching angle	83
6.17 Pitching Angle versus the maximum surface settlement	84
6.18 Schematic diagram showing a tail void between tunnel lining and the liner	85
6.19 Grouting pressure and grout filling	85
6.20 Grouting pressure versus the maximum surface settlement after shield passing	86
6.21 Grout filling (%) versus the maximum surface settlement after shield passing	86
6.22 Grouting pressure versus surface settlement developing in Zone 3	87
6.23 Grout filling (%) versus surface settlement developing in Zone 3	88
6.24 Geometry parameter : distance from launching station	89
6.25 Distance from launching station versus the maximum surface settlement after shield passing	90
6.26 Tunnel depth versus the maximum surface settlement after shield passing	91
6.27 Geological condition versus the maximum surface settlement after shield passing	92
6.28 Distance from tunnel invert to water table versus the maximum surface settlement after shield passing	93
7.1 แสดงเมนูหลัก	95
7.2 แสดงหน้าฐานข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์	97
7.3 แสดงการเลือกสถานี Geology	98
7.4 แสดงผลข้อมูลการเลือก Geology	99
7.5 แสดงหน้าฐานข้อมูล tunnel การเลือกกราฟข้อมูล	100

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
7.6	แสดงการเลือกเส้นทางระหว่างสถานี	102
7.7	แสดงกราฟข้อมูล Tunnel	102
7.8	แสดงการค้นหาข้อมูลแต่ละ Ring Number	104
7.9	แสดงการเลือกฐานข้อมูล Instrument	105
7.10	แสดงการเลือกสถานี	106
7.11	แสดงการเลือก station	107
7.12	แสดงผลข้อมูล Instrument	108
7.13	แสดงการค้นข้อมูลเป็นตัวเลข Instrument	109
7.14	แสดงการเลือกบริเวณที่ต้องการทราบ Instrument Layout	110
7.15	การแสดงผลข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง Instrument	111
7.16	แสดงรูปการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปิดข้อมูล 2 พารามิเตอร์	112

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ในปัจจุบันมีการสร้างอุโมงค์ใต้ดินมากขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวของสาธารณูปโภค และการขนส่งขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการขุดเจาะอุโมงค์จะพัฒนาขึ้นมาก แต่ก็ยังพบปัญหาในการขุดเจาะ ข้อมูลที่สะดวกต่อการค้นหาและวิเคราะห์จึงมีความจำเป็น

### 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนทางด้านเทคนิค โดยต้องใช้เครื่องขุดเจาะอุโมงค์ (Tunneling Boring Machine) ถึง 8 เครื่องด้วยกัน แต่ละเครื่องมีการจดบันทึกค่าพารามิเตอร์ขณะทำงานเพื่อใช้ในการควบคุมขณะขุดเจาะอุโมงค์ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผิวดินและอาคารข้างเคียง อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวมีจำนวนมาก อีกทั้งค่าคุณสมบัติของดินและค่าการวัดการเคลื่อนตัวของดินยังไม่ได้มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด จึงจำเป็นต้องมีการจัดรูปแบบของฐานข้อมูลอย่างถูกต้องและง่ายต่อการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
2. จัดเก็บข้อมูลให้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาค้นคว้างานการก่อสร้างอุโมงค์ อย่างเป็นระบบ สะดวกต่อการค้นหา
3. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยในการก่อสร้างอุโมงค์

#### 1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

พัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ให้สามารถใช้ได้กับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในอนาคต และสามารถแสดงผลที่ต้องการให้เชื่อมโยงเพื่อเปรียบเทียบกันในส่วนของคุณข้อมูล โดยการรวบรวมข้อมูลและศึกษา จากโปรแกรมฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล

#### 1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินปริญญานิพนธ์

1. นำข้อมูลที่ผ่านการจัดเก็บแล้วจากบริษัทต่างๆมาทำการจัดเก็บให้เป็นหมวดหมู่
2. ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้มาเพื่อให้เกิดความถูกต้องและทำการศึกษาว่าข้อมูลแต่ละตัวคืออะไร
3. ทำการจัดเก็บและนำเสนอข้อมูลแก่ผู้ที่สนใจ หรือเพื่อเป็นต้นแบบในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในอนาคต

#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นต้นแบบของโปรแกรมฐานข้อมูลรถไฟฟ้าใต้ดินในอนาคต
2. เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้มีระบบและแสดงผลออกมาให้สามารถศึกษาได้ง่าย
3. สามารถคาดเดาลักษณะของดินบริเวณใกล้เคียงได้
4. นำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาเมื่อจะมีการต่อเติมสถานี
5. สามารถคาดเดาความเป็นไปได้ของการก่อสร้างงานอุโมงค์ที่มีลักษณะของดินคล้ายคลึงกัน

## บทที่ 2

### การขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน

#### 2.1 ข้อมูลทางธรณีวิทยา(Geology)

บอกข้อมูลต่างๆดังนี้

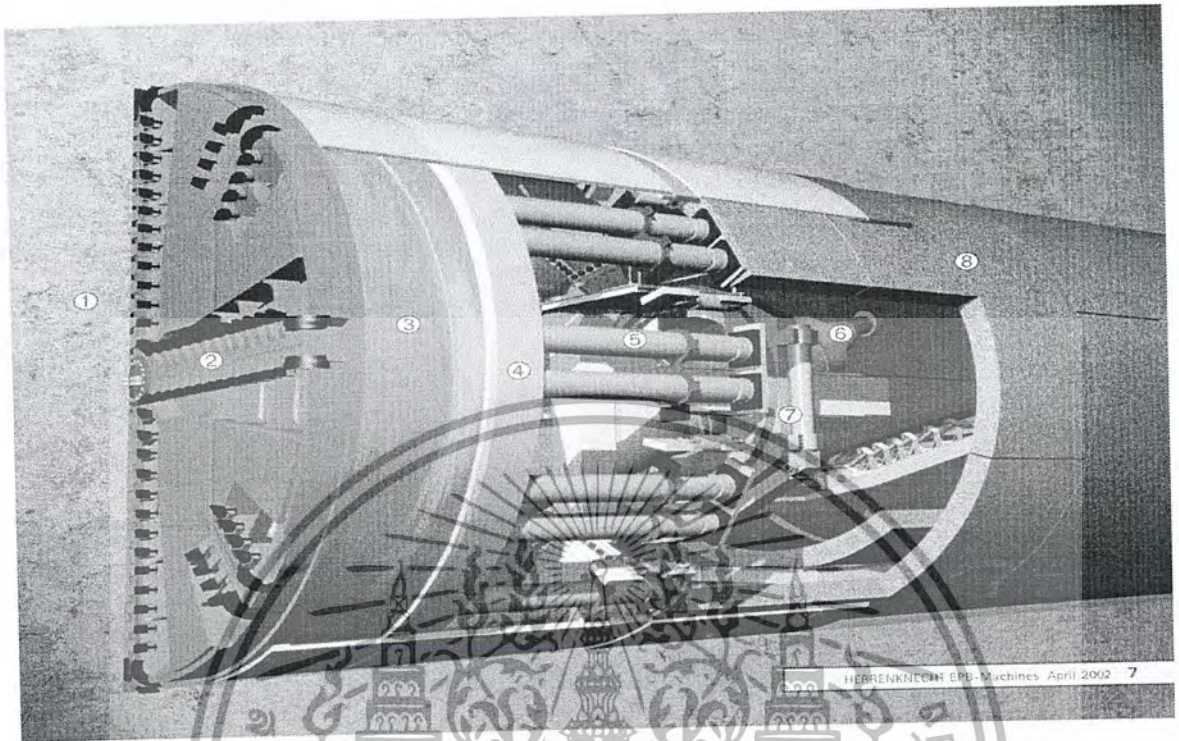
1. ชนิดของดิน
2. ค่า SPT
3. ระดับน้ำใต้ดิน
4. ระดับของการขุดเจาะ
5. ระดับของสถานี

#### 2.2 การขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้เครื่องเจาะ

การขุดเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพมหานครด้วยระบบหัวขุดเจาะ ได้เริ่มเข้ามาดำเนินการก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ในโครงการอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง ซึ่งกลุ่มบริษัท I.O.N. เป็นกลุ่มแรกที่เข้ามาดำเนินการก่อสร้าง โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภท Semi Mechanical Shield จากประสบการณ์ก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพฯ ที่ผ่านมาทำให้ได้ทราบปัญหาในการใช้หัวขุดเจาะประเภท Semi Mechanical (Open Type Shield) ที่มีขีดจำกัดไม่เหมาะสมกับการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับโครงการรถไฟฟ้ามหานคร ซึ่งมีสภาพของชั้นดินหลายประเภท ดังนั้น จึงได้มีการพิจารณาเลือกใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภทสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance Shield) (EPBS) ซึ่งเป็นหัวขุดเจาะที่เหมาะสมสำหรับการขุดเจาะในทุกสภาพของชั้นดินในกรุงเทพฯ

โครงการที่ได้ดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวขุดเจาะอุโมงค์ชนิด E.P.B. ซึ่งได้ดำเนินการแล้วเสร็จรวมระยะทาง 12 ก.ม. ในชั้นดินอ่อนและดินแข็งของโครงการบำบัดน้ำเสียระยะที่ 1 กรุงเทพมหานคร สามารถยืนยันได้ว่าหัวขุดเจาะชนิด EPB เหมาะสมกับการก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพฯ

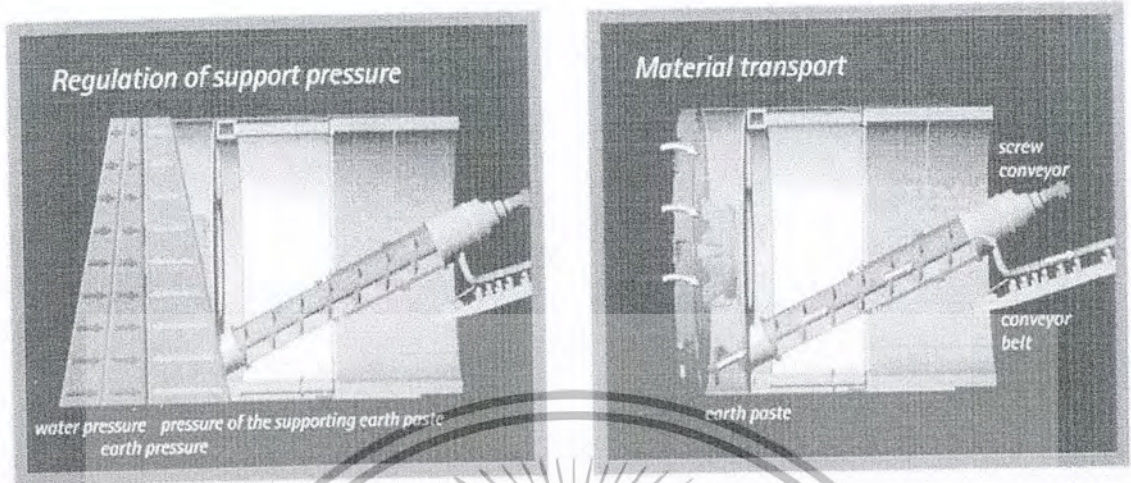
## 2.2.1 ส่วนประกอบของหัวเจาะ



รูปที่ 2.1. หัวเจาะ Tunneling Boring Machine (TBM)

1. Working Face - ผิวหน้าดินที่จะทำการขุดเจาะ
2. Cutting Wheel - ชุดของใบมีดตัดดิน
3. Excavation Chamber - ฝักันเครื่อง
4. Pressure Wall - ผนังปรับแรงดันดิน
5. Tunneling Jack - Jack ที่ทำหน้าที่ค้ำ Pressure Wall
6. Screw Conveyor - ทางลำเลียงดินออกจากหัวเจาะ
7. Lining Segment Erector - ทำหน้าที่ค้ำยัน Jack
8. Tunnel Lining With Lining Segment - ผนังอุโมงค์ที่ทำการติดตั้งแล้ว

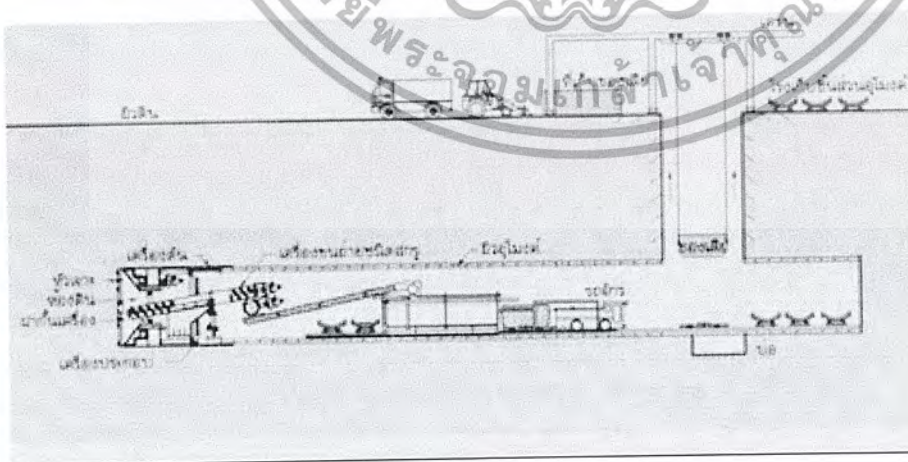
## 2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องเจาะ



รูปที่ 2.2. แสดงสมดุลแรงดันและการลำเลียงดิน  
 รูปซ้าย ตัวหัวเจาะจะปรับแรงดันให้เท่ากับแรงดันของน้ำและดินที่ดันเข้ามา  
 รูปขวา การลำเลียงดิน ดินจะเข้ามาทางด้านหน้าและไปยังท่อลำเลียงดิน

## 2.2.3 การขุดเจาะอุโมงค์

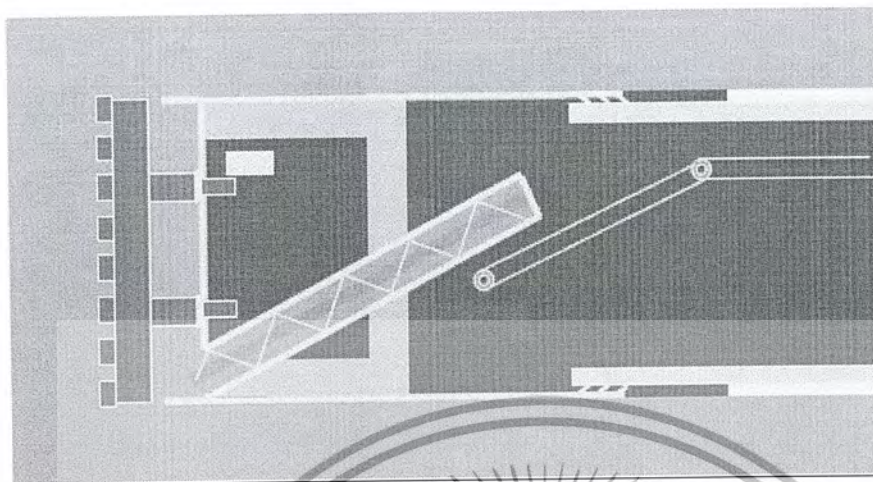
โครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ใช้การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance Shield ดังรูป



รูปที่ 2.3 การขุดเจาะอุโมงค์วิธี Earth Pressure Balance Shield

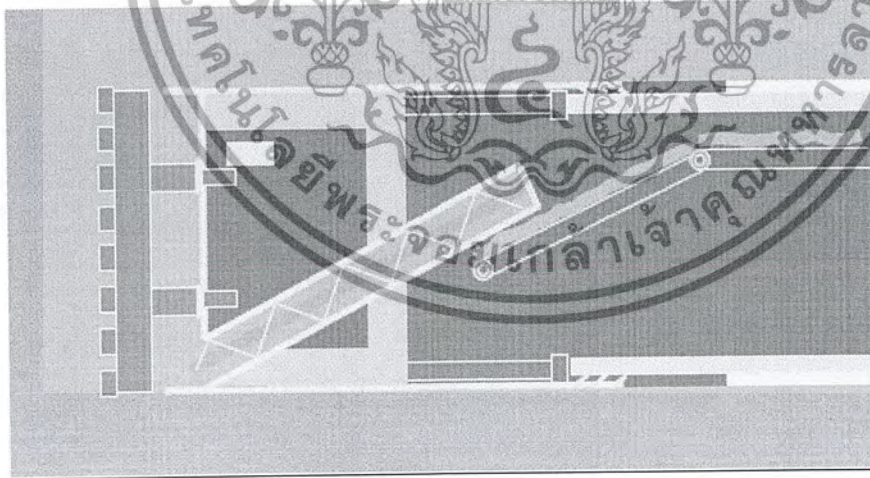
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และ 5 อังอ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์



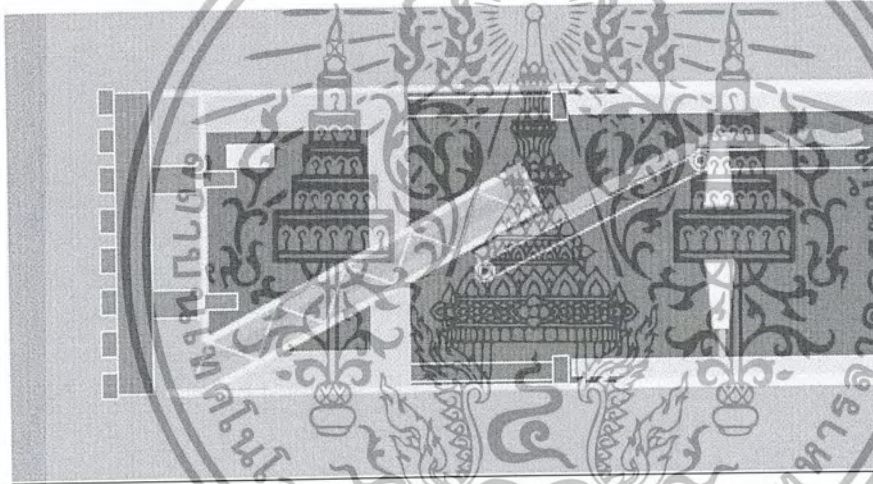
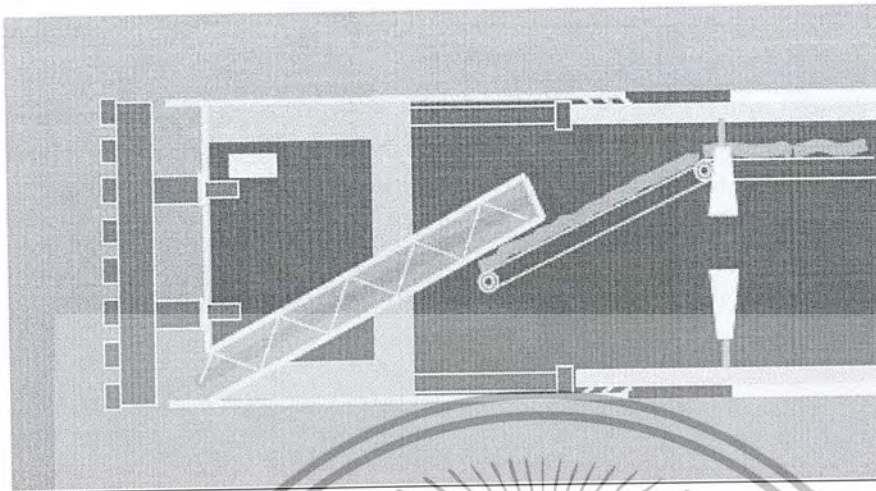
รูปที่ 2.4 รูปก่อนการทำงาน

1. ขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)



รูปที่ 2.5 แสดงการขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)

2. อัดฉีดน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting) เพื่อป้องกันการทรุดตัวของผิวดินด้านบน

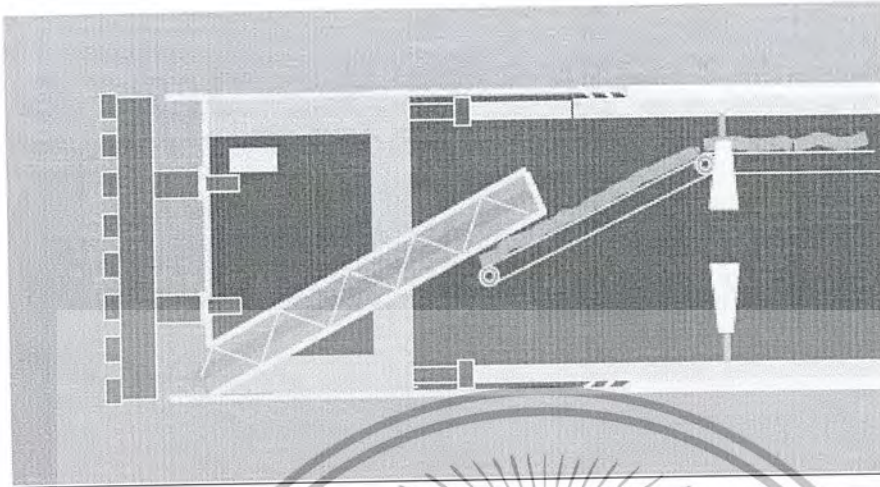


รูปที่ 2.6 แสดงการอัดฉีดน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting)

(ก) ก่อนการอัดฉีด

(ข) หลังการอัดฉีด

### 3. ประกอบขึ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)



รูปที่ 2.7 แสดงการประกอบขึ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)

หมายเหตุ

1. ในการขุดเจาะแต่ละครั้งจะ ได้ระยะประมาณ 1.2 เมตร (1 รอบ หรือ 1 Ring )
2. ได้ปริมาณดินต่อ 1 รอบ ประมาณ 40 ลบ.ม.
3. อัตราการทำงานประมาณ 10 เมตร/วัน

#### 2.2.5 เทคนิคการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance (EPB)

ลักษณะของหัวขุดแบบ Earth Pressure Balance เป็นหัวขุดแบบปิดหน้า เพื่อป้องกันการพังทลายของหน้าดิน การขนถ่ายดินอาศัยดินที่อยู่ใน Soil Chamber ถูกดูดผ่าน Screw Conveyor เป็นตัวขนถ่ายดินผ่านระบบสายพานอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งทางออกของ Screw Conveyor มีประตูปิด-เปิด ด้วยระบบไฮดรอลิกอีกชั้นหนึ่ง ความเร็วของการขนถ่ายดินด้วยระบบ Screw Conveyor ขึ้นอยู่กับแรงดันดินใน Soil Chamber กล่าวคือ ถ้าสภาพดินดีจะมีแรงดันดิน ถ้าสภาพดินเหลวจะทะลักเข้ามาใน Soil Chamber ทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งแรงดันนี้จะไปกำหนดความเร็วรอบของ Screw Conveyor ให้ช้าลง เพื่อต้านดินให้ทะลักเข้ามาน้อยลงหรือปิด Slide Gate ถ้าสภาพดินเหลวและสามารถทะลักผ่าน Screw conveyor ได้

### 2.2.5.1 การควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนตัวของหัวขุดประกอบด้วย

1. Shield Jack เป็นแม่แรงขนาดตั้งแต่ 80 ตัน จำนวนขึ้นอยู่กับขนาดของหัวขุดติดตั้งด้านหลังหัวขุดเพื่อใช้ในการถีบตัวไปข้างหน้า โดยอาศัยเปลือกอุโมงค์เป็นตัวรับแรงการบังคับแนวซ้าย-ขวา หรือขึ้นบนและลงข้างล่าง ให้พิจารณาเลือกตำแหน่งของ Shield Jack เช่น ต้องการให้หัวขุดเลี้ยวซ้ายให้เลือก Shield Jack ในตำแหน่งขวามือโดยยึดถือการหันหน้าเข้าหัวขุด
2. Copy cutter คือ ฟันสามารถยึดตัวออกทางด้านรัศมี เพื่อเพิ่มการกัดหน้าดินให้เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เพื่อช่วยให้หัวขุดสามารถเลี้ยวตัวได้มากขึ้น
3. Articulated Steering Jack คือ ส่วนของหัวขุดที่สามารถหักงอเพื่อลดรัศมีความโค้งของอุโมงค์
4. ระบบควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์ (TBM Driving control System) ใช้อุปกรณ์ Gyro-Compass & Computerize Level Control System

### 2.2.5.2 การคำนวณออกแบบความดันที่หัวเจาะ

เพื่อดำเนินงานแรงดันดินในขณะที่ขุดเจาะ ซึ่งในการคำนวณ โครงสร้างของหัวขุดจะต้องพิจารณาแรงดันดิน แรงต้านทานขณะขุดเจาะ ความหนาของ skin plate ความแข็งแรงของ ring girder และความสามารถในการดันและบิดของ cutter head เป็นต้น

### 2.2.5.3 วิธีเลือกตำแหน่ง Construction shaft

การเลือก Construction shaft หรือ ตำแหน่งที่จะนำเครื่องมือขุดเจาะอุโมงค์ลงไป และนำดินที่ขุดเจาะออกไปทิ้ง จะต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่รวมทั้งทางเข้าออก เพื่อขนถ่ายวัสดุและอุปกรณ์ในการก่อสร้างที่เพียงพอและสะดวก ระยะทางระหว่าง Construction Shaft และ Reception Shaft จะต้องสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของหัวขุดและระยะเวลาการก่อสร้าง

### 2.2.5.4 การวางแผนและลำดับขั้นตอนการนำดินที่ขุดเจาะอุโมงค์ไปทิ้ง

เพื่อให้ส่งผลกระทบต่อการจราจรน้อยที่สุด เนื่องจากจราจรในกรุงเทพฯมีผลต่อการก่อสร้างอุโมงค์มาก ไม่เพียงแต่การขนถ่ายดินเพียงอย่างเดียว การขนถ่ายชิ้นส่วนอุโมงค์ก็มีผลกระทบมาก การวางแผนจะต้องพิจารณาส่วนประกอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาดของพื้นที่ทำงานต้องมีขนาดที่เหมาะสมและการจัดการที่ดี เช่น พื้นที่ที่เก็บดิน ต้องเพียงพอต่อการขุดเจาะอุโมงค์ในตอนกลางวันและจะต้องมีการจัดการขนย้ายดินให้หมดในเวลากลางคืน ซึ่งจะไม่กระทบกับการจราจร
2. การขนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์จากโรงงานผลิต จะต้องขนย้ายในเวลากลางคืนและไม่ส่งผลกระทบต่อ การขนย้ายดิน
3. ระยะทางจากสถานที่ทิ้งดินและหน่วยงาน ต้องสัมพันธ์กับปริมาณรถในการขนถ่าย จะต้องมีที่ทิ้งดิน สำรองเพื่อป้องกันผลกระทบต่อ การขุดเจาะอุโมงค์

### 2.3 ปัญหาอุปสรรคและวิธีการแก้ไขในขณะดำเนินงานขุดเจาะอุโมงค์

#### 2.3.1 เมื่อหัวเจาะเคลื่อนออกไปจากแนวที่กำหนด สาเหตุที่หัวเจาะผิดไปจากแนวที่กำหนดมีดังนี้

1. ขาดความรู้และความเข้าใจของวิศวกรและผู้ควบคุมในการควบคุมหัวเจาะ
2. ความผิดพลาดในการสำรวจและการคำนวณ
3. ขาดความชำนาญและประสบการณ์ ในการควบคุมและประกอบชิ้นส่วนอุโมงค์ การแก้ไขโดยใช้ เทคนิคการควบคุมหัวเจาะ

#### 2.3.2 เมื่อพบชั้นทราย, ชั้นดินปนทรายหรือน้ำใต้ดิน ในขณะขุดเจาะลักษณะของหัวขุดแบบ Earth Pressure Balance นั้น สามารถขุดได้ในทุกสภาพชั้นดิน ยกเว้นชั้นที่เป็นหิน (วิธีการแก้ไขปัญหานี้ที่พบชั้นดินแต่ละประเภท ทำดังนี้

1. ชั้นดินแข็ง(Stiff Clay) ความจริงหัวขุดประเภทนี้เหมาะสำหรับขุดในชั้นดินอ่อน หากเจอสภาพดินแข็ง จำเป็นต้องฉีดน้ำเข้าไปเพื่อย่อยสลายดินให้อ่อนตัว มิฉะนั้นดินก้อนใหญ่จะก่อปัญหาให้ Screw Conveyor อุดตันได้
2. ชั้นดินเหนียว(Medium Clay) เป็นชั้นดินที่เหมาะสมกับหัวขุดประเภทนี้ปัญหามีน้อย ดินที่ออกมาจะเป็นแท่งอย่างต่อเนื่อง จะต้องตัดดินให้ขาด
3. ชั้นทราย (Sandy Clay) หากเป็นทรายนุ่มจะต้องฉีด Bentonite เข้าไปผสมเพื่อกันไม่ให้หน้าดินบริเวณหน้าหัวขุดพัง การขุดจะต้องมีแรงดันดินหน้าหัวขุดเพื่อป้องกันดินพัง
4. ชั้นดินปนทราย ทำเช่นเดียวกับข้อ 3
5. น้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินโดยเฉพาะในระดับ 20 ม. มีน้อยหากพบก็จะพบในลักษณะที่ซึมเข้ามาตามสภาพชั้นดินยังคงปกติ ถ้าเป็นกรณีที่สภาพดินอ่อนตัวมากวิธีแก้ปัญหาคือ การฉีดน้ำยาประเภท Quick setting compound หรือการทำ Ground treatment

### 2.3.3 เมื่อพบอุปสรรคขวางหน้า(Obstruction)

ในกรณีที่พบอุปสรรคขวางแนวขุดเจาะอุโมงค์ หากทราบล่วงหน้า(Known obstruction) เช่น เสาเข็มเขื่อน ถ้ารู้ว่าจำเป็นจะต้องตัดเสาเข็มจะต้องทำ Ground Treatment ไม่ว่ากรณีที่อยู่ในชั้นดินอ่อนหรือดินแข็ง จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงของเสาเข็มโดยเพิ่ม Bearing load แทน Friction load ของเข็มในส่วนที่ถูกตัดออก เมื่อหัวขุดฯ ไปถึงตำแหน่งเสาเข็มก็จะเปิดประตู Soil chamber เพื่อให้คนเข้าไปสกัดนำเอาเสาเข็มออก

### 2.3.4 วิธีการตรวจสอบการทรุดตัวของชั้นดิน (Ground Settlement)

การดำเนินการและป้องกันการทรุดตัวของชั้นดินขณะดำเนินการก่อสร้าง มีวิธีการตรวจสอบ ดังนี้

#### 2.3.4.1 ตรวจสอบการทรุดตัวของบ่อก่อสร้าง (Working Shaft)

ขณะดำเนินการก่อสร้างบ่อสร้าง (Working Shaft) ไม่ว่าจะด้วยวิธีการก่อสร้างแบบการจมบ่อ (Sinking Shaft) หรือการสร้างผนังบ่อนก่อนการขุดดินภายในบ่อออก การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินสามารถตรวจสอบด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ ดังนี้

1. Inclinometer สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินในแนวราบ
2. Extensometer สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินในแนวตั้ง

#### 2.3.4.2 ตรวจสอบการทรุดตัวของสิ่งก่อสร้างข้างแนวขุดเจาะอุโมงค์

โดยปกติก่อนการดำเนินการขุดเจาะอุโมงค์ จะมีการสำรวจระดับของผิวดิน หรือผิวจราจรล่วงหน้าก่อนหัวขุดเจาะอุโมงค์จะขุดไปถึง และมีการสำรวจระดับของผิวดิน หรือผิวจราจรหลังจากที่หัวขุดเจาะอุโมงค์ได้ขุดผ่าน โดยแบ่งระยะเวลาในการตรวจสอบ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับการตรวจสอบโดยทั่วไปใช้กล้องระดับ

ในกรณีที่สิ่งก่อสร้างอาคารอยู่ด้านข้างการขุดเจาะอุโมงค์ จะต้องมีการบันทึกสภาพอาคาร และสิ่งก่อสร้างดังกล่าว ก่อนการดำเนินการก่อสร้าง รวมถึงค่าระดับตัวอาคารและสิ่งก่อสร้าง

### 2.3.4.3 การดำเนินการและป้องกัน (Operation Method & Prevention)

การขุดเจาะอุโมงค์จำเป็นต้องเกิดช่องว่างขณะที่ปลอกเหล็ก (Tail Shield) ของหัวขุดเลื่อนตัวไปข้างหน้า ช่องว่างที่เกิดจากความหนาของปลอกเหล็กและการขุดในกรณีที่ใช้ Over Cutter จำเป็นต้องได้รับการเติมให้เต็มด้วยวิธีการเกร้าท์ (Grouting) สารที่ใช้ในการเกร้าท์ ถ้าใช้วัสดุที่แข็งตัวเร็วจะช่วยลดการทรุดตัวได้มาก โดยปกติจะใช้น้ำยาโซเดียมซิลิเกต (Sodiumsilicate) เข้มข้น 10% เจือจางกับน้ำฉีดพร้อมกับน้ำปูนเข้าไปในช่องว่างผ่านรูเกร้าท์ (Grout Hole) สารทั้งสองจะฟอร์มตัวในทันทีในกรณีที่จะมีการบรรจบท่อเข้ากับอุโมงค์ โดยเฉพาะอุโมงค์ที่อยู่ในชั้นดินอ่อน จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงของดิน ในบริเวณที่จะบรรจบด้วยวิธีการฉีดน้ำปูนด้วยแรงดันสูง (Jet Grouting) หรือแม้กระทั่งการเริ่มต้นหัวขุดเจาะอุโมงค์ จากบ่อก่อสร้างในกรณีเตรียมช่องเปิด (Bulkhead) ด้วยเหล็กซึ่งจะต้องตัดเหล็กเพื่อเปิดช่องเงื่อนไขและข้อกำหนดสำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์ จำนวนของหัวขุดเจาะที่ใช้ทั้งหมด 8 หัว สำหรับ โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน มีดังต่อไปนี้

1. สภาพดินบริเวณที่จะทำการขุดเจาะ (Ground condition)
2. ชั้นดิน (Earth profile)
3. ความลึกของดินบริเวณขุดเจาะอุโมงค์ 15-20 m
4. ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Level) 0.5-3 m
5. ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity of Soil) 1.45-2.3
6. ค่าความเหนียวของดิน (Soil Cohesion) 0.2-32 ton/m<sup>2</sup>
7. ค่า N (N Value) 0-50
8. ค่าสัมประสิทธิ์มุมเสียดทานภายในของดิน (Internal Friction Angle of Soil) 0
9. ค่าน้ำหนักกดทับ (Surcharge Load) 2.0 ton/m<sup>2</sup>

## 2.4 ข้อมูลต่างๆในการขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Parameter)

1. Face Pressure (kPa) - ค่าแรงดันที่ตำแหน่งด้านหน้าของเครื่องขุดเจาะ
2. Thrust Force (Ton) - ค่าแรงทั้งหมดของ Hydraulic Jack บน Lining ในระหว่างการขุดเจาะ
3. Penetration Rate (mm/min) - ค่าความเร็วของหัวเจาะที่เคลื่อนที่
4. Grouting Pressure (kPa) - แรงดันที่ปลายของท่อที่ฉีดน้ำปูนระหว่างที่มีการฉีดน้ำปูนไปในช่องว่าง
5. Grout Filling Percent (%) - เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำปูนที่ใช้กับช่องว่าง
6. Discharged Soil Volume (m<sup>3</sup>) - ปริมาณดินที่วัดได้ในการขุดเจาะแต่ละ Ring
7. Discharged Soil Percent (%) - เปอร์เซ็นต์ของปริมาณดินที่ขุดได้เทียบกับเทียบกับปริมาตรของดินในอุโมงค์
8. Additive Volume (m<sup>3</sup>) - ปริมาณของ Bentonite หรือ โฟมที่ฉีดเข้าไปในหัวเจาะ
9. Cutter Torque (Ton-m) - ค่าแรงบิดของหัวเจาะ
10. Cutter Head Speed (rpm) - ความเร็วในการหมุนของหัวเจาะ
11. Screw Torque (Ton-m) - ค่าแรงบิดของสกรูลำเลียงดิน
12. Screw Conveyor Speed (rpm) - ความเร็วของการลำเลียงดิน
13. Pitching Angle (Degree) - องศาของมุมที่เทียบระหว่างหัวเจาะกับแนวระดับ

## บทที่ 3

# เครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค

### 3.1 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1

#### 3.1.1 การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมที่ทำการติดตั้งการวัดค่า G1 มีขนาด 30\*30 cm มีความลึก 80 cm ในหลุมจะปกคลุมด้วยคอนกรีตที่ผิวหน้า คอนกรีตที่ปกคลุมที่ผิวหน้าจะถูกทำลายด้วย Jack Hammer ก่อนที่จะทำการขุดพื้นผิวถนนด้วยเครื่องขุดเจาะตามขนาดที่ต้องการ

#### 3.1.2 รายละเอียดของการติดตั้ง

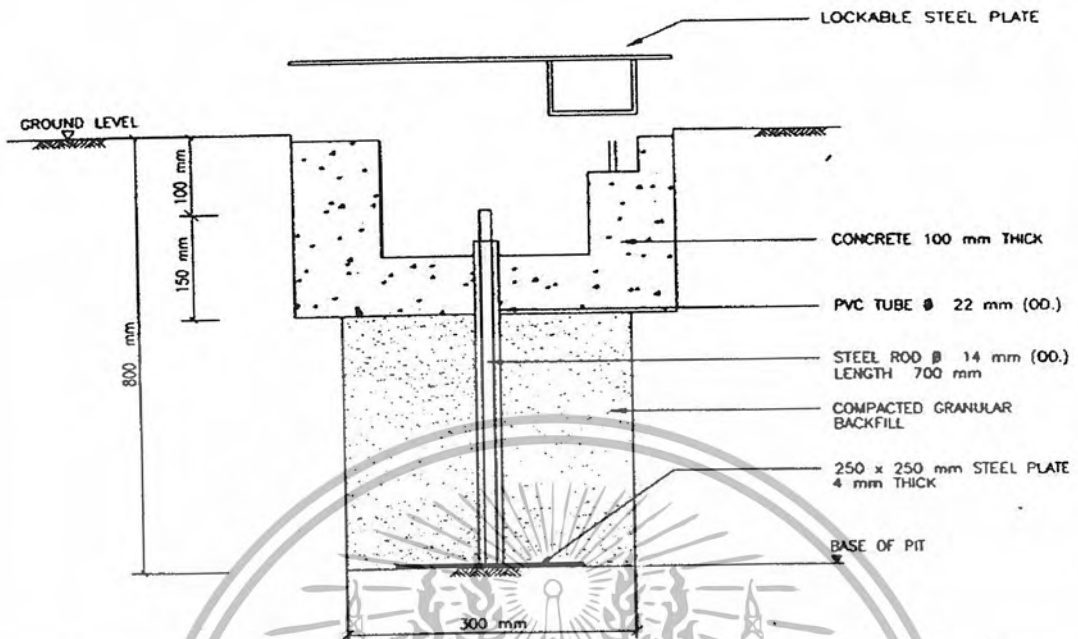
การติดตั้ง G1 ความลึกของหลุมจะเท่ากับความหนาของคอนกรีตที่จะกลบหลุมที่จะทำการวัดค่า ความยาวของเหล็กจะเท่ากับความสูงของหลุมที่ทำการวัดค่า

#### 3.1.3 วิธีการเตรียมการ

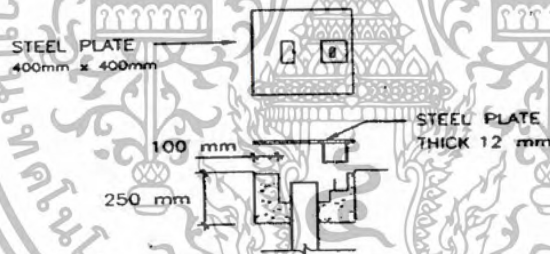
1. การเชื่อมกันระหว่าง Foot plate และ ความยาวของเหล็กจะถูกตรวจสอบจากการเตรียมตัวก่อนที่จะทำการติดตั้ง
2. ความยาวของเหล็กเส้นจะมีขนาดสูงสุด 0.5 m

#### 3.1.4 การติดตั้ง

หลังการก่อสร้างหลุม แผ่นเหล็กซึ่งเชื่อมติดกับเหล็กเส้นจะถูกติดตั้งที่ก้นหลุมที่ได้มีการเตรียมไว้ก่อน เหล็กเส้นจะถูกหุ้มด้วย PVC หลุมที่ขุดจะถูกกลบทับด้วยทรายหยาบ(โดยมีการบดทับบริเวณที่กลบ) ด้วยความหนา 60 cm ที่ก้นหลุม ก่อนที่จะจะใช้บล็อกคอนกรีตและใช้แผ่นเหล็กปิดทับด้านบน(ตามแบบที่แสดงในรูป 3.1)



TYPICAL DETAILS OF GROUND SETTLEMENT MARKER: SUBSURFACE TYPE 1



DETAIL OF LOCKABLE STEEL PLATE

รูปที่ 3.1 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1

### 3.1.5 การจดบันทึกค่า

การจดบันทึกค่าจะถูกอ้างอิงจากระดับความลึกที่กำหนดและจะจดบันทึกหลังการติดตั้ง

#### อุปกรณ์ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2

#### 3.2.1 การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

G2 จะถูกติดตั้งบริเวณถนน การติดตั้ง G2 จำเป็นจะต้องขุดลงผ่านพื้นผิวถนนซึ่งจะมีการกลบทับ(พื้นทาง ,รองพื้นทาง) และบริเวณพื้นทางเดิม

#### 3.2.2 รายละเอียดของการติดตั้ง

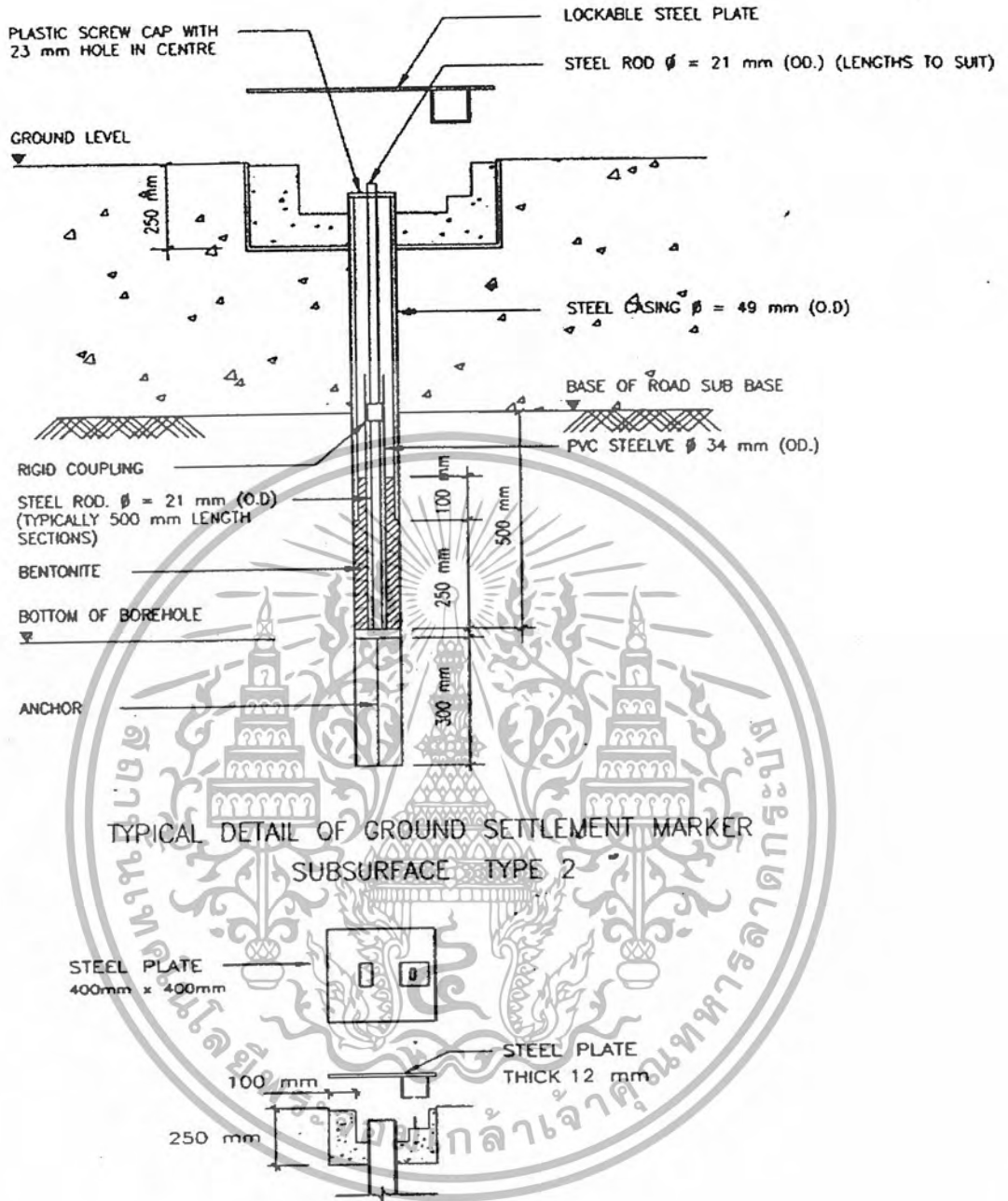
ในกรณีของพื้นผิวถนน ความยาวของเหล็กเส้นจะมีความยาวเพียงพอที่สามารถเชื่อมแซมได้ ในบริเวณพื้นเดิมจะมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 cm

#### 3.2.3 วิธีการเตรียมการ

1. การจะบอกจำนวน จะใช้ตัวเลขเป็นตัวบอกจำนวน
2. ถนนและการกลบทับจะเปลี่ยนไปตามความหนาของพื้นที่และการติดตั้ง G2 ต้องการความ ยาวของเหล็กเส้นที่เจาะลงไปบริเวณพื้นเดิมไม่น้อยกว่า 50cm ความยาวของเหล็กเส้นจะเตรียมให้มีความยาวตามความหนาของพื้นผิวถนน

#### 3.2.4 การติดตั้ง

หลังจากการเตรียมหลุม การยึดเหล็กจะทำการเชื่อมเหล็กเส้น โดยดึงเหล็กเส้นไว้ที่กันหลุมชั้นดินเดิม หลุมจะถูกกลบทับด้วย Bentonite ที่มีความหนา 350 mm ก่อนการหุ้มด้วย plastic screw cap และ และที่จุดสิ้นสุดการหุ้ม plastic screw cap 100mm จะถูกฝังตรึงด้วย Bentonite ที่ผิวบนของถนนจะปิดด้วยแผ่นเหล็ก



DETAIL OF LOCKABLE STEEL PLATE

รูปที่ 3.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2

### 3.2.5 การจดบันทึกค่า

1. การจดบันทึกค่าจะทำการบันทึกที่จุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์
2. การจดบันทึกค่าจะทำการบันทึกหลังจากการติดตั้งอุปกรณ์ 1 วัน

### 3.3 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3

#### 3.3.1 การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมที่ทำการติดตั้ง G3 จะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และมีความลึก 50 mm จะมีการใช้ Jack Hammer เป็นตัวเจาะหลุมที่พื้นคอนกรีตก่อนที่จะใช้เหล็กเส้นแทนที่

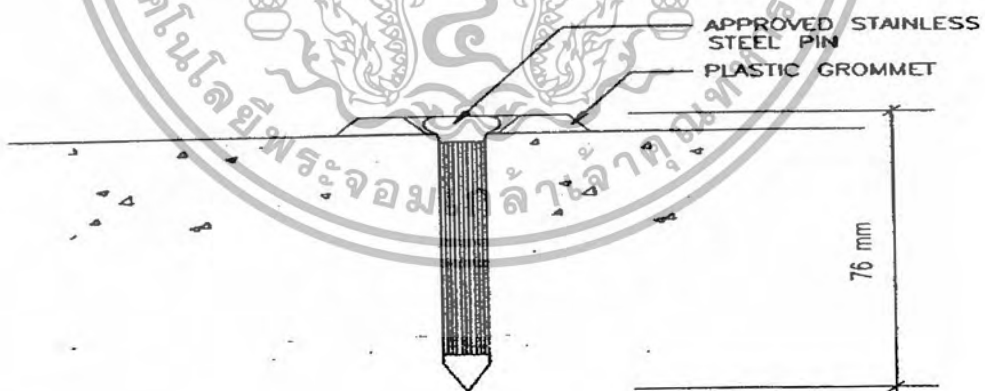
#### 3.3.2 รายละเอียดของการติดตั้ง

เหล็กเส้นซึ่งถูกปิดด้านบนด้วย Plastic Grommet จะถูกยึดตรึงบนพื้นคอนกรีตด้วยการตอกลงไปหลุมที่ขุดเตรียมไว้

#### 3.3.3 วิธีการเตรียมการ

1. ในการติดตั้งอุปกรณ์ การจะบอกจำนวน จะใช้ตัวเลขเป็นตัวบอกจำนวน
2. เหล็กเส้น มีความยาว 50 mm และ Plastic Grommet เป็นวัสดุสำคัญในการติดตั้ง G3

#### 3.3.4 การติดตั้ง



### TYPICAL DETAILS OF GROUND SETTLEMENT MARKER: SUBSURFACE TYPE 3

#### รูปที่ 3.3 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การจดบันทึกค่า

การบันทึกค่าจะทำการบันทึกค่าหลังการติดตั้งอุปกรณ์ 1 วันด้วยช่างสำรวจระดับ

## 3.4 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ Combined Inclinometer และ การติดตั้ง Magnetic Extensometer

### 3.4.1 การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมที่ทำการวัดค่า combined inclinometer และ extensometer จะมีขนาดเล็กที่สุด 150 mm การขุดจะใช้เทคนิคและการปรับเปลี่ยนตามสภาพของบริเวณที่ก่อสร้าง

### 3.4.2 รายละเอียดของการติดตั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งเสร็จภายในหลุม มีเป้าหมายที่จะสำรวจระดับโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งตามความยาวของอุปกรณ์ ผู้ที่ทำการขุดเจาะจะทำการบันทึกค่าความยาวทั้งหมดของท่อเหล็กและบันทึกตามลำดับอุปกรณ์ที่ติดตั้งตามความยาวของท่อเหล็กที่ใช้

### 3.4.3 วิธีการเตรียมการ

1. เตรียมความยาวของ Inclinometer ให้มีความยาวเพียงพอต่อการติดตั้งอุปกรณ์ โดยให้วางอุปกรณ์ เอนลงและตรวจสอบความเสียหาย หากอุปกรณ์มีความเสียหายให้ติดตั้งอุปกรณ์ตัวใหม่เข้าไป อุปกรณ์ ที่ต่อพ่วงจะถูกติดตามความยาวของท่อและติดตั้งโดยการทาบวงเรซินชนิดหนึ่งเพื่อให้ อุปกรณ์ติดกับตัวท่อ ตำแหน่งที่ติดตั้งติดตั้งเป็นครึ่งหนึ่งของอุปกรณ์ การติดอุปกรณ์จะใช้วัสดุที่กัน น้ำปิดทับด้วย
2. ใช้กาวน้ำและหมุดยึดติดตั้งอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตำแหน่งที่ต้องการ มีตำแหน่งอย่างน้อยที่สุด 0.5 m เหนือฐานของอุปกรณ์ ตรวจสอบที่ติดตั้งตามความยาวท่อก่อนที่จะนำไปติดตั้งจริงๆ
3. ที่ปลายของ Inclinometer ถูกตรึงที่ปลายความยาวท่อหลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามตำแหน่งต่างๆ ที่ปลายท่อทาด้วยยางเรซินชนิดหนึ่งและถูกทาภายในท่อด้วย ทำการปิดปลายท่อ ด้วยหมุดยึดและปิดผนึกด้วยวัสดุกันน้ำ

4. แม่เหล็กคือในลอนที่มีตรวมกัน โดยมีการปรับความยาวให้เท่ากับ 1m ต่อ 1ขา มัดเชือกในลอนรอบ 3 ขาและมัดเชือกที่ตะขอข้อต่อหุมน คึงเชือกที่ผูกที่ขาให้แน่นตรึงแต่ที่ขาต้องมีพื้นที่เพียงพอให้ Inclinometer ผ่านลงไปในหลุมเจาะได้ ให้เชือกสามารถข้ามผ่านหลังอุปกรณ์แม่เหล็กและผ่านตะขอข้อต่อหุมน ทำอย่างนี้อีก 6 ครั้ง ทำตามขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมากับการติดตั้งแม่เหล็กทุกตัว
5. ขนาดของระยะห่างของพื้นที่จะมีลักษณะเฉพาะ แม่เหล็กสามารถทำการวัดค่าและจะติดตั้งกับ Inclinometer และจะไม่ทำการติดตั้งที่เหนือหรือต่ำกว่าจุดที่กำหนดเพราะจะมีผลต่อการทรุดตัว พื้นที่ตำแหน่งต่ำสุดของเทป จะไม่มีการย้ายตำแหน่งของแม่เหล็กระหว่างการติดตั้ง
6. การผูกมัดเครื่องมือวัดอากาศ มีความยุ่งยากที่การกำหนดความลึกที่จะติดตั้ง จึงกำหนดให้มีความลึกประมาณ 5-3 m สำหรับการทำงานที่ผิวหน้า การทำสัญลักษณ์ให้เป็นสีจะทำให้ง่ายต่อการบันทึกค่า เพื่อไม่ให้เกิดความซับซ้อนในการบันทึกระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดอากาศจะติดตั้งที่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่มีการขันน็อตหรือแหวนกันหลวมและไม่มีปลอกวางเครื่องวัดอากาศระหว่างขาแม่เหล็กและ Inclinometer มัดเชือกในลอนตามยาวและเลื่อนปลอกลงมาปิดที่เครื่องมือวัดอากาศระวังไม่ให้มีอะไรมาขวางเชือก
7. วาง Inclinometer ลงไปในหลุมตามคำแนะนำและวางลงไปตามทิศทางเดียวกันความลึกของหลุมเจาะเป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งของแม่เหล็ก ตัวอย่าง ถ้าหลุมเจาะมีความลึก 30 m มีแม่เหล็กทุกๆ 3 m จะมี 10 จุดที่ต้องติดตั้งความยาวที่ฐานมีความยาว 0.5 m จากฐาน

การวัดค่าความยาวจากฐาน 2.5) m (บวก 0.5 m เป็นความยาวที่แนะนำจากหลุมเจาะตำแหน่งแรกของแม่เหล็กจะถูกติดตั้งที่ตำแหน่งนี้ การวัดค่าและการติดตั้งจะทำตามที่กล่าวมาขั้นต้นจนสุดความยาว

### 3.4.4 การติดตั้ง

1. ถ้าหากหลุมเจาะถูกสร้างด้วยที่เจาะชั่วคราว โดยที่ที่เจาะสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่มีการหมุนหัวเจาะ การหมุนหัวเจาะสามารถทำให้เกิดการบิดขึ้นในการติดตั้ง ส่วนความเหมาะสมของการฉีดน้ำปูนจะทำที่ผิวหน้าจนถึงกันหลุม ความแข็งแรงขึ้นอยู่กับความระมัดระวังของวิศวกร
2. การฉีดน้ำปูนจะทำให้เสร็จก่อนการติดตั้งอุปกรณ์
3. ความยาวของเทปที่ติดแม่เหล็กในหลุมเจาะตรวจสอบให้หลุมอยู่ในแนวเดียวกันยึดเชือกตามวิธีเดียวกันการผูกติดกัน

4. การติดตั้งท่อจะต้องทำให้ท่อสามารถลอยน้ำได้และจะต้องระบายน้ำเข้าไปใน Inclinator ด้วย ภายในท่อจะติดตั้งแผ่นทองเหลืองในชั้นพื้นแล้วต้องทำการตรวจสอบเช็ทให้มีความปลอดภัย จนกระทั่งน้ำปูนแข็งตัว
5. เมื่อชั้นพื้นของหลุมขุดเจาะถูกเจาะโดยเครื่องขุดเจาะชั่วคราวที่สามารถเคลื่อนย้ายได้เราจะเคลื่อนย้าย แทนขุดเจาะให้ได้ความลึกที่สุด
6. การถอนแทนขุดเจาะจะถอนอย่างช้าๆ และให้แน่ใจว่าท่อที่ใช้เป็นตัวตัดผ่านเข้าไปในแทนที่ใช้ขุดเจาะ จะไม่มีการเคลื่อนไหวแทนขุดเจาะมากเกินไป เคลื่อนแทนขุดเจาะให้มากเพียงพอกับการตีแม่เหล็กไฟฟ้า แม่เหล็กไฟฟ้าดึงออกก่อนที่ทำการบันทึกเป็นรหัสแถบสี
7. หลังการติดตั้งเสร็จทำความสะอาดเครื่องตัดที่อัดอากาศและชั้นน็อคให้แน่นอีกครั้ง ดึงลูกสูบออก และ แทนที่ด้วยน็อค เครื่องตัดก็พร้อมที่จะใช้งาน
8. Inclinator จะต้องตรวจสอบความยาวที่ใช้ในการติดตั้งและขณะที่ถอนแทนขุดเจาะทั้งหมดออก
9. ด้านบนของท่อต้องทำความสะอาดด้วยน้ำและปิดด้วย
10. วันหลังการติดตั้ง บริเวณด้านบนของหลุมขุดเจาะจะฉีดน้ำปูนตามที่กำหนด ท่อจะถูกทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าและปิดด้านบนด้วย Counterweight จะถูกเคลื่อนย้ายเพื่อที่จะใช้ในการติดตั้งครั้งต่อไป

### 3.4.5 การจดบันทึกค่า

การบันทึกจะถูกบันทึกตามลักษณะเฉพาะ ประกอบด้วยลักษณะของหลุมขุดเจาะ ชั้นพื้นดินที่อ่านได้ ซึ่งบันทึกช้าสุด 2 วันหลังการติดตั้ง

การอ่านค่า Extensometer

1. หลังการติดตั้งเครื่องมืออ่านค่าระดับนั้น สามารถใช้เครื่องมือตรวจสอบได้โดยผ่านเข้าไปในท่อที่ทำการติดตั้งเพื่อวัดและบันทึกค่าระดับความลึก
2. ยกเครื่องมือตรวจสอบที่ติดตั้งในท่อจนได้ยินเสียง ดึงเครื่องมือช้าๆจนกระทั่งไม่ได้ยินเสียง อ่านค่าที่ tape ดึงเครื่องมือตรวจสอบออก ดึงเครื่องมือตรวจสอบอีกครั้งจนได้ยินเสียง อ่านค่าและคำนวณความแตกต่าง
3. ระหว่างการอ่านค่าทั้ง 2 ค่า ระหว่าง 15-10 mm. จะได้ยินเสียง 2 เสียงจากอุปกรณ์จลกลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถบันทึกค่าที่อ่านได้จากเสียงแรก คือ ที่ “จุดปลาย” และค่าที่อ่านค่าที่ได้ยินครั้งที่สองคือ “จุดเริ่มต้น”

4. เริ่มต้นดึงเครื่องมือตรวจสอบในท่อ อ่านค่าอีกครั้งจากอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
5. พิจารณาพื้นที่จากค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การอ่านค่า Inclinometer สามารถดูได้จากคู่มือการใช้

### 3.5 วิธีการติดตั้ง Vibrating Wire Piezometer

#### 3.5.1 การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมเจาะสำหรับ Vibrating Wire Piezometer มีขนาด 75 mm. ใช้การเจาะจะใช้การวัดอย่างคร่าวๆ สำหรับการขุดหลุมเจาะที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ สำหรับการขุดหลุมเจาะที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการขุดเจาะจะไม่มีกั้นระหว่างกรตอนออก

#### 3.5.2 รายละเอียดของการติดตั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งในหลุมเจาะที่ได้เตรียมไว้ ระดับความลึกของหลุมเจาะจะถูกตรวจสอบและบันทึกเมื่อเริ่มทำการติดตั้งอุปกรณ์ ผู้ที่ทำการขุดเจาะสามารถนำการบันทึกความยาวทั้งหมดของแท่นขุดเจาะในหลุมขุดเจาะ

#### 3.5.3 วิธีการเตรียมการ

วัสดุเซรามิกจะถูกเอาออกจาก Piezometer และจะถูกก่อน 24 ชม .ก่อนการติดตั้ง

#### 3.5.4 การติดตั้ง

ตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะอีกครั้ง และบันทึกค่าระดับความลึกของน้ำในหลุมเจาะ ทั้งหมดนั้นอยู่กับโครงการ การฉีดน้ำปูน , bentonite หรือ ทราย,ที่บริเวณนั้นของหลุมเจาะจะถูกกลบด้วยทราย หลังจากนั้นจะติดตั้งด้วย the Vibrating Wire Piezometer เซรามิกจะถูกติดตั้งที่ตัว Piezometer ในส่วนนี้นั้นจะอยู่ใต้น้ำ หลังจากกลบด้วยทรายแล้วเราจะใส่ bentonite ด้วย และเราจะใส่วัสดุแบบพิเศษลงไปอีกด้วย

### 3.5.5 การจดบันทึกค่า

การบันทึกค่าจะบันทึกค่าตามลักษณะการใช้งานของผู้ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

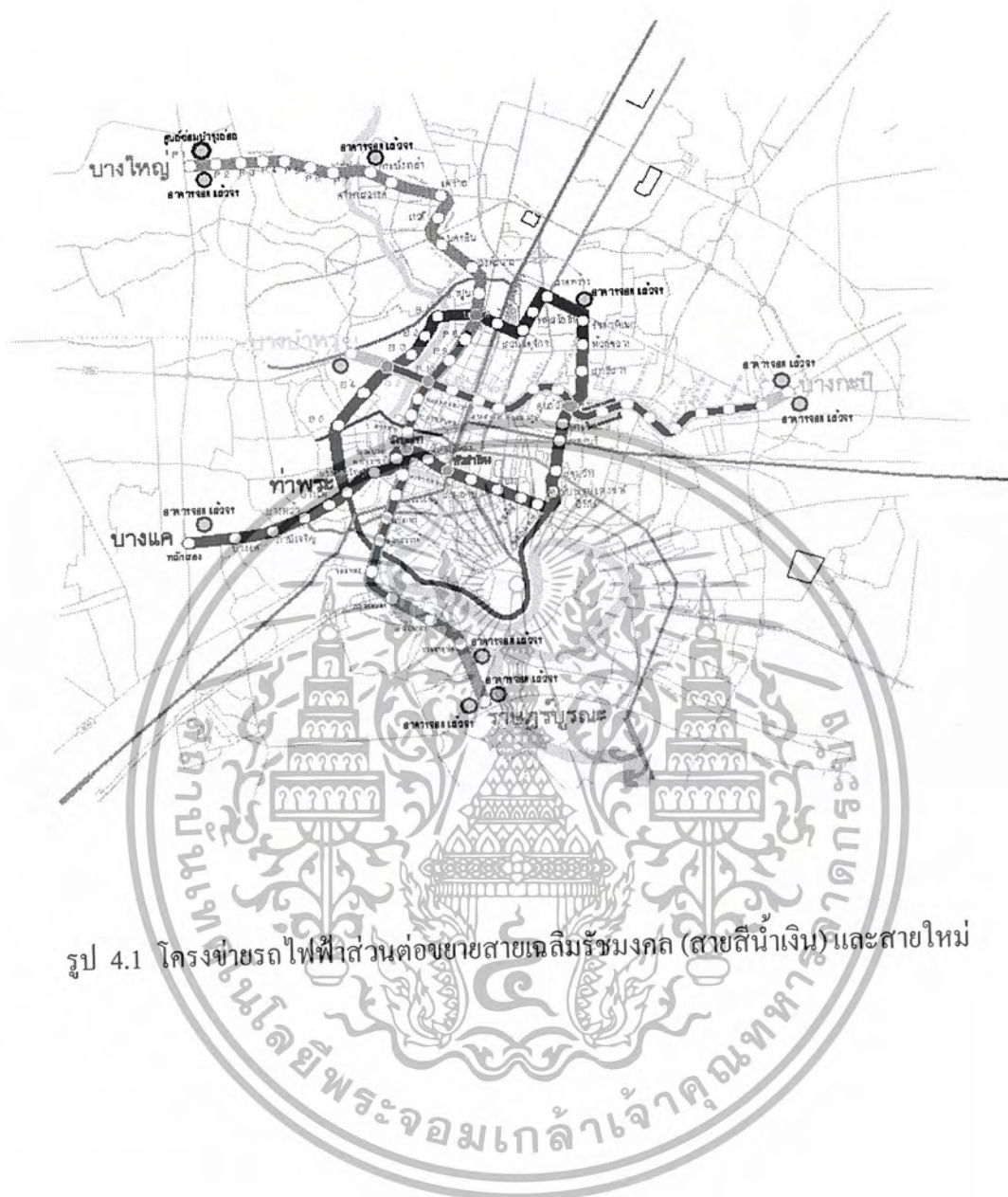
# โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่

### 4.1 โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่

ปัจจุบันโครงข่ายหลักของการขนส่งมวลชนในเขตกรุงเทพฯ คือโครงการรถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคลและโครงการรถไฟฟ้าธนายง (BTS) มีระยะทางรวมทั้งสิ้นเพียงประมาณ 44 กม. ทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาการเดินทางของประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรัฐบาลก็ได้ตระหนักถึงปัญหาความไม่เพียงพอดังกล่าวและได้กำหนดให้มีนโยบายเร่งรัดการต่อขยายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบก (คจร.) ในคราวประชุมเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2547 ซึ่งมีฯ พล.ต. นายกรัฐมนตรีเป็นประธาน ได้มีมติอนุมัติให้ดำเนินงานโครงข่ายระบบขนส่งมวลชนระบบรางที่เสนอโดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) รวมระยะทาง 291 กม. (โครงข่ายใหม่ 247.3 กม. และโครงข่ายที่สร้างแล้ว 43.7 กม.) โดย รฟม.ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบดำเนินงานโครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายและสายใหม่ ระยะทางรวม 91 กม. รวมทั้งสิ้น 3 เส้นทาง คือ

1. โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน
  - ช่วงบางซื่อ – ท่าพระ 13.0 กิโลเมตร
  - ช่วงหัวลำโพง – บางแค 14.0 กิโลเมตร
2. โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม
  - ช่วงบางกะปิ – บางบำหรุ 24.0 กิโลเมตร
3. โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง
  - ช่วงบางใหญ่ – ราษฎร์บูรณะ 40.0 กิโลเมตร
  - รวม 91.0 กิโลเมตร

โครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายและสายใหม่นี้จะใช้เวลาในการก่อสร้างเป็นระยะเวลาเพียงประมาณ 6 ปี เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายเร่งรัดของรัฐบาล โดยคาดว่าจะสามารถเริ่มก่อสร้างได้ในปี พ.ศ. 2548 และเริ่มเปิดให้บริการได้บางส่วนในช่วงปลายปี พ.ศ. 2551



รูป 4.1 โครงข่ายรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่

## 4.2 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน ( ส่วนต่อขยาย )

ช่วง สถานี บางซื่อ ถึง ท่าพระ

ช่วง สถานี หัวลำโพง ถึง บางแค

### 4.2.1 แนวเส้นทาง

ส่วนต่อขยายช่วง บางซื่อ ถึง ท่าพระ หรือเรียกว่า “ Circle Line “ หรือ สายวงแหวน เริ่มต้นสายจากสถานี บางซื่อ ผ่านถนนประชาราษฎร์สาย 2 ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา แล้วเลี้ยวซ้ายไปสู่ถนน จรัญสนิทวงศ์ จนถึงสถานีท่าพระซึ่งอยู่ระหว่างทางแยกของถนน เพชรเกษมและจรัญสนิทวงศ์

ส่วนต่อขยายช่วง หัวลำโพง ถึง บางแค ไปตามถนนเจริญกรุง ผ่านเขาวราช , วังบูรพา และเลี้ยวซ้ายที่วัดโพธิ์ ก่อนลอดผ่านแม่น้ำเจ้าพระยาที่ปากคลองตลาด ผ่านเขตบางกอกใหญ่ เข้าสู่ถนนเพชรเกษมและสิ้นสุดที่บางแค

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินทั้ง 4 สถานีไปสิ้นสุดที่สถานีท่าพระ ก่อนจะเปลี่ยนเป็นสถานียกระดับ 6 สถานี ระยะทางทั้งหมดรวม 13.9 กิโลเมตร เป็นสถานียกระดับ 8.9 กิโลเมตร และ เป็นสถานีใต้ดิน 4.8 กิโลเมตร

### 4.2.2 โครงสร้าง

ในส่วนของสถานีใต้ดินในทางด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ได้ทำการปรับปรุงความหนาแน่นของดินให้สูงขึ้นและในเส้นทางที่จำกัด จะใช้อูโมงค์เดี่ยวรางคู่ ส่วนสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดไม่จำกัด จะก่อสร้างเป็นอูโมงค์คู่รางเดี่ยว

สำหรับส่วนของสถานียกระดับจะใช้ระบบรางคู่บนคานาค่อก ที่มีฐานรองรับเป็นเสาเดี่ยวอยู่ในเกาะกลางถนน ส่วนในคานเฟรมจะก่อสร้างเมื่อไม่มีเกาะกลางถนนหรือที่ที่การก่อสร้างเสาเดี่ยวมาสามารถก่อสร้างได้ เนื่องจากข้อจำกัดที่มากมายทางการจราจร

#### 4.2.3 สถานี

มี 17 สถานี โดย 4 สถานีอยู่ใต้ดิน ( ช่วง หัวลำโพง – บางแค ) และที่จุดพักรถจะยกระดับ ชานชาลาจะก่อสร้างแบบผนังกันดิน หรือ หลักของลักษณะทางกายภาพ โดยสถานีจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ อาทิ บันไดเลื่อน , ลิฟต์ , ห้องน้ำ สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ไว้คอยให้บริการ

#### 4.2.4 ศูนย์ซ่อมบำรุง

ศูนย์ซ่อมบำรุงเหมือนกับสายเฉลิมรัชมงคลที่หัวขวาง

#### 4.2.5 ที่จอดรถ

ที่จอดรถอยู่ที่หัวลำโพงและบางแค เข้าได้ทางโดยถนนวงแหวนรอบนอก

#### 4.2.6 ระบบรถ

ระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 3.2 เมตร ยาว 20 - 24 เมตร สูงประมาณ 3.7 เมตร ความจุ 320 คน/คัน วิ่ง 3 - 6 คันต่อขบวน ใช้ไฟฟ้า 750 โวลต์ กระแสตรง ป้อนระบบขับเคลื่อนรถ รองรับผู้โดยสารได้ 50,000 คน/ชม./ทิศทาง

#### 4.2.7 ระบบราง

รางวิ่งขนาดมาตรฐาน (Standard gauge) กว้าง 1.435 เมตร โดยมีรางที่ 3 วางขนานกันไปกับรางวิ่ง สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้ตัวรถ

#### 4.2.8 ระบบเก็บค่าโดยสาร

ระบบอัตโนมัติสัญญาณเดินรถที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนตัวรถด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม และระบบเก็บและตรวจตั๋วเป็นระบบอัตโนมัติเช่นกัน โดยจะเป็นระบบ

เดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

#### 4.2.9 มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินในส่วนต่อขยายช่วง สถานี บางซื่อ – ท่าพระ และ ช่วง สถานี หัวลำโพง – บางแค มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างรวมทั้งสิ้นประมาณ 61,296 ล้านบาทโดยแบ่งออกเป็น

	ช่วง หัวลำโพง – บางแค	ช่วงบางซื่อ – ท่าพระ	รวม (ล้านบาท)
ค่าจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน	3,332	372	3,704
ค่าก่อสร้างงานโยธา	25,904	10,788	36,712
ค่างานระบบรถไฟฟ้า	7,328	7,440	14,784
ค่าที่ปรึกษา	1,516	328	1,840
รวม	38,080	18,928	57,040

#### 4.3 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีม่วง ช่วง บางใหญ่ ถึง ราษฎร์บูรณะ

##### 4.3.1 ความเป็นมาของโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วงมีแนวเส้นทางส่วนใหญ่เป็นการรวมเส้นทางจากแผนแม่บทเดิม ( เส้นทางสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยายด้านเหนือ ช่วงบางซื่อ ถึง สะพานพระนั่งเกล้า และสายสีส้ม ด้านใต้ ช่วงสามเสน ถึง ราษฎร์บูรณะ ) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสำหรับผู้โดยสารที่เดินทางจากบริเวณชานเมืองทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและด้านทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร โดยมีเส้นทางหลักผ่านย่านใจกลางเมืองในเขตเกาะกรุงรัตนโกสินทร์ ทั้งนี้ระบบรถไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นทางวิ่งยกระดับในส่วนเส้นทางที่เป็นชานเมือง และเป็นทางวิ่งใต้ดินในส่วนเส้นทางที่วิ่งผ่านใจกลางเมือง โดยมีระยะทางรวมประมาณ 40.0 กม.

##### 4.3.2 ลักษณะโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง บางใหญ่-ราษฎร์บูรณะ เป็นรถไฟฟ้าขนาดใหญ่ ( heavy rail ) มีทางวิ่งทั้งแบบอุโมงค์ใต้ดินและทางยกระดับ โดยมีคุณลักษณะด้านต่างๆ สรุปได้ ดังนี้

#### 4.3.2.1 แนวเส้นทาง

เริ่มจากบริเวณบางใหญ่-ข้ามสะพานพระนั่งเกล้า-รัตนนิเวศร์-สี่แยกถนนทูลกระหม่อม-วงศ์สว่าง-เตาปูน-เกียกกาย-สามเสน-หอสุมดแห่งชาติ-บางลำพู-พระบรมหาราชวัง-วงเวียนใหญ่-มไหศวรรย์-สิ้นสุดที่ราษฎร์บูรณะบริเวณใกล้กับทางด่วนบางนา-ดาวคะนอง

#### 4.3.2.2 ระยะทาง

ระยะทางรวมทั้งหมด 40.0 กิโลเมตร

#### 4.3.2.3 โครงสร้างทางวิ่ง

โครงสร้างได้ดิน 14.4 กม. มีทั้งแบบอุโมงค์คู่รางเดี่ยวและอุโมงค์เดี่ยวรางคู่ และโครงสร้างยกระดับ 25.6 กม. เป็นโครงสร้างคานกล่องคอนกรีตเสริมเหล็กใช้เสาเข็มเจาะและตอม่อหล่อในสนาม มีระยะห่างระหว่างเสาประมาณ 30 เมตร

#### 4.3.2.4 สถานี

30 สถานี เป็นสถานียกระดับ 19 สถานี มีความยาวประมาณ 250 เมตร กว้าง 18 เมตร และสถานีได้ดิน 11 สถานี มีทั้งแบบชานชาลากลาง และชานชาลาด้านข้าง สถานีได้ดินมีความยาวประมาณ 250 เมตร กว้าง 20 เมตร มีประตูชานชาลา(platform screen door) โดยในสถานีจะจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ อาทิ ลิฟต์ บันไดเลื่อน ห้องน้ำ สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ไว้คอยให้บริการ

#### 4.3.2.5 ศูนย์ซ่อมบำรุง

ศูนย์ซ่อมบำรุงย่อยที่บางใหญ่ และศูนย์ซ่อมบำรุงห้วยขวาง (สำหรับงานซ่อมใหญ่)

#### 4.3.2.6 ที่จอดรถสำหรับผู้โดยสาร

มีจำนวน 2 แห่ง ที่บริเวณบางใหญ่และราษฎร์บูรณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.7 ระบบราง

รางวิ่งขนาดมาตรฐาน (Standard gauge) กว้าง 1.435 เมตร โดยมีรางที่ 3 วางขนานกัน  
ไปกับรางวิ่ง สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้ตัวรถ

#### 4.3.2.8 ระบบรถ

ระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 3.2 เมตร ยาว 20 - 24  
เมตร สูงประมาณ 3.7 เมตร ความจุ 320 คน/คัน วิ่ง 3 - 6 คันต่อขบวน ใช้ไฟฟ้า 750 โวลต์ กระแสตรง  
ป้อนระบบขับเคลื่อนรถ รองรับผู้โดยสารได้ 50,000 คน/ชม./ทิศทาง

#### 4.3.2.9 ระบบเก็บค่าโดยสาร

ระบบอัตโนมัติสัญญาณเดินรถที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนตัวรถด้วยระบบ  
อัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม และระบบเก็บและตรวจตั๋วเป็นระบบอัตโนมัติเช่นกัน โดยจะเป็นระบบ  
เดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

#### 4.3.2.10 มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง บางใหญ่-ราษฎร์บูรณะ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างรวมทั้ง  
สิ้น 94,584.9 ล้านบาท โดยแบ่งออกเป็น

	(ล้านบาท)
ค่าจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน	4,490.8
ค่าก่อสร้างงานโยธา	61,703.4
ค่างานระบบรถไฟฟ้า	26,607.7
ค่าที่ปรึกษา	1,783.0
รวม	94,584.9

## 4.4 โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม ช่วง บางกะปิ ถึง บางบำหรุ

### 4.4.1 ความเป็นมาโครงการ

เส้นทางสายสีส้ม เป็นเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินสายหนึ่งใน โครงการข่าระบบขนส่งมวลชน ซึ่งเป็นเส้นทางระหว่าง บางกะปิ (ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ) ถึง บางบำหรุ (ฝั่งตะวันตก) หลังจากสายสีม่วงที่ใช้เชื่อมโยงกับโครงการอื่นๆ วางแผนแล้วเสร็จ เส้นทางสายสีส้มที่วางแผนไว้มีเพียง บางกะปิ ถึง สามเสน แต่ปัจจุบันมีการวางแผนขยายเส้นทางไปจนถึงบางบำหรุ

เส้นทางสายสีส้มมีจุดประสงค์เพื่อให้บริการ ทางฝั่งตะวันตก (ฝั่งธนบุรี) และฝั่งตะวันออกของกรุงเทพฯ มีเส้นทางผ่านมหาวิทยาลัย (เช่น รามคำแหง สถาบันราชภัฏ) และสถานที่สำคัญอื่นๆ (เช่น สวนสัตว์ดุสิต อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ โรงเก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน และอื่นๆ)

### 4.4.2 ลักษณะโครงการ

#### 4.4.2.1 แนวเส้นทาง

เส้นทางสายสีส้ม บางกะปิ ถึง บางบำหรุ เริ่มจาก วัดสี่บุญเรือง มีเส้นทางไปตามถนนสุขาภิบาล 3 ซึ่งเป็นเส้นทางแบบตอขฟ้า เข้าสู่สถานีเส้นทางจะลงไปได้ดิน และไปต่อตามถนนรามคำแหง ผ่านสนามกีฬาห้วยหมาก และมหาวิทยาลัยรามคำแหง แล้วเลี้ยวขวาผ่าน โรงเก็บรถไฟฟ้าห้วยขวาง ที่สถานีศูนย์วัฒนธรรม (สถานีเปลี่ยนเส้นทางกับสายเฉลิมรัชมงคล) เชื่อมต่อไปยัง อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถึงถนนราชวิถี ผ่านพระราชวัง และสวนสัตว์ดุสิต มุ่งหน้าไปยังตะวันตก ตามถนนสามเสน ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา ที่สะพานกรุงธนบุรี ไปยังฝั่งธนบุรี และสิ้นสุดที่ ถนนปิ่นเกล้า-นครชัยศรี ระยะทางรวม 24 กิโลเมตร

#### 4.4.2.2 การก่อสร้าง

สำหรับส่วนใต้ดิน เป็นแบบอุโมงค์คู่ และส่วนบนดิน เป็นสะพานทางยาว รองรับด้วยเสาเดี่ยวช่วงยาว 30 เมตร แต่ถ้าไม่สามารถใช้เสาเดี่ยวได้ จะนำโครงสร้าง portal frames มาใช้แทน

#### 4.4.2.3 สถานี

มีสถานี ทั้งสาย 17 สถานี 14 สถานีใต้ดิน ชานชาลาสถานี เป็นแบบกลาง หรือ ข้าง ขึ้นอยู่กับสภาพข้อมูลดิน แน่นอนว่าสถานีต้อง เชื่อมต่อกับ เส้นทางสายอื่น บันไดเลื่อน ลิฟท์ ห้องน้ำ ป้ายประชาสัมพันธ์ ที่ตั้งสถานที่สำคัญ และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ก็ต้องถูกคิดตั้งรวมอยู่ด้วย

#### 4.4.2.4 โรงเก็บและซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า

โรงเก็บและซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า สายสีส้ม ตั้งอยู่ร่วมกับสายสีน้ำเงิน คือที่ห้วยขวาง

#### 4.4.2.5 ที่จอดรถ

มีที่จอดรถ 2 แห่งอยู่ที่สถานีปลายทาง คือบางกะปิ และบางบำหรุ

#### 4.4.2.6 ระบบราง

เหมือนกับทางเดินรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน คือ รางวิ่งขนาดมาตรฐาน (Standard gauge) กว้าง 1.435 เมตร โดยมีรางที่ 3 วางขนานกันไปกับรางวิ่ง สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้ตัวรถ

#### 4.4.2.7 ระบบรถ

ระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 3.2 เมตร ยาว 20 - 24 เมตร สูงประมาณ 3.7 เมตร ความจุ 320 คน/คัน วิ่ง 3 - 6 คันต่อขบวน ใช้ไฟฟ้า 750 โวลต์ กระแสตรง ป้อนระบบขับเคลื่อนรถ รองรับผู้โดยสาร ได้ 50,000 คน/ชม./ทิศทาง

#### 4.4.2.8 ระบบเก็บค่าโดยสาร

ระบบอาณัติสัญญาณเดินรถที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนตัวรถด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม และระบบเก็บและตรวจตั๋วเป็นระบบอัตโนมัติเช่นกัน โดยจะเป็นระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

#### 4.4.2.9 มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มมีการประมาณราคา มูลค่าโครงการ ประมาณ 68,156 ล้านบาท ซึ่งประกอบด้วย

ค่าจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน	4,216	ล้านบาท
ค่าก่อสร้างงานโยธา	44,068	ล้านบาท
ค่างานระบบรถไฟ	13,856	ล้านบาท
ค่าที่ปรึกษา	1,260	ล้านบาท
รวม	63,400	ล้านบาท

#### 4.5 ข้อมูลรถไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ

##### 4.5.1 ชนิดของรถไฟฟ้า

เป็นรถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Heavy rail) ชนิดล้อเหล็ก ตัวรถจะมีน้ำหนักเบา ทำด้วย Aluminum Alloy หรือ Stainless Steel ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยรับไฟฟ้ากระแสตรงจากรางที่ 3 (third Rail) รถไฟฟ้านำมาประกอบเป็นรถไฟฟ้า 1 ขบวนจะประกอบด้วยรถลากจูง (Motor car) และรถพ่วง (Trailer Car) รถไฟฟ้าแต่ละคันจะมีประตูข้างละ 4 ประตู สำหรับรถที่มีความยาว 20 เมตร และ 5 ประตู สำหรับรถที่มีความยาวมากกว่า 20 เมตร โดยประตูแต่ละบานจะมีความกว้างประมาณ 1.6 เมตร การเปิดปิดประตูควบคุมโดยคนขับ

##### 4.5.2 ขนาดของตัวรถ

1. ความยาวประมาณ 19-23 เมตร
2. ความกว้าง 3.2 เมตร
3. ความสูงจากสันรางถึงหลังคา 3.8 เมตร
4. ความจุประมาณ 320 คน



รูป 4.2 ภาพตัวรถไฟฟ้าตัวอย่าง

### 4.5.3 การจัดรูปแบบขบวนรถ

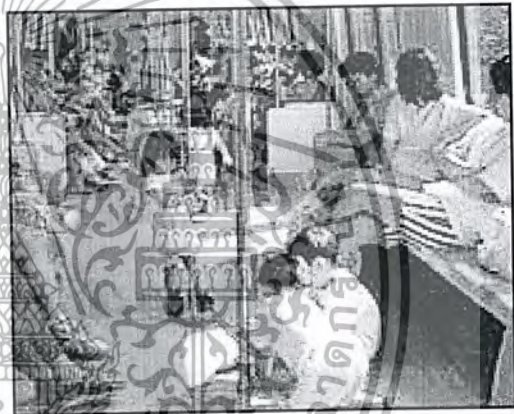
สามารถจัดได้ 2 แบบ คือ แบบขบวนละ 3 คัน และแบบขบวนละ 6 คัน

1. แบบขบวนละ 3 คัน จะจัดโดยประกอบด้วยรถลากจูง (Motor Car : M) 2 คัน และรถพ่วง (Trailer Car : T) 1 คัน จัดขบวนแบบ M - T - M
2. แบบขบวนละ 6 คัน จะประกอบด้วย รถลากจูง (Motor Car : M) 4 คัน และรถพ่วง (Trailer Car : T) 2 คัน จัดรูปแบบขบวนได้ดังนี้ M - T - M - M - T - M

การจัดขบวนทั้ง 2 แบบ รถลากจูงที่หัวและท้ายขบวนจะเป็นแบบมีห้องคนขับ

### 4.5.4 ภายในตัวรถ

มีเก้าอี้วางตามแนวยาวตลอด 2 ข้างตัวรถรวม 56 ที่นั่ง/คัน แต่ถ้าเป็นรถลากจูงแบบมีห้องขับด้วย จะมี 46 ที่นั่ง มีบานหน้าต่างกระจกนิรภัย (Clear Safety Glass) ตลอด 2 ข้างความยาวตัวรถ กระจกหน้าต่างของห้องขับจะเป็นชนิดต้านแรงกระแทก (Impact Resistance) พื้นรถปูด้วยแผ่น Polymer หรือวัสดุอื่นที่มีคุณภาพทัดเทียมกัน



รูป 4.3 การวางเก้าอี้ภายในตัวรถไฟฟ้า

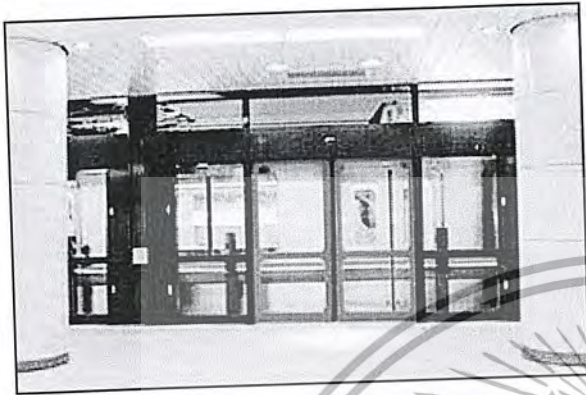
รถไฟฟ้าจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 2 ชุด บนหลังคาด้านหัวและท้ายของตัวรถ เพื่อว่า หากมีชุดใดชุดหนึ่งเสีย ชุดที่เหลือจะยังคงทำงานได้ โดยจะปรับอุณหภูมิไว้ที่ 26 C และหากเครื่องปรับอากาศเสียทั้ง 2 ชุด จะมีพัดลมระบายอากาศฉุกเฉินทำหน้าที่ระบายอากาศภายในตัวรถ

### 4.5.5 ประตูกันชนชานชาลา (Platform Screen Door)

ประตูชานชาลา จะกั้นระหว่างชานชาลากับทางวิ่งของรถไฟฟ้า มีหน้าที่คือ

1. ป้องกันไม่ให้อากาศเย็นภายในสถานีรถไฟฟ้า รั่วออกไปยังอุโมงค์ทางวิ่งของรถไฟฟ้า เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน
2. ป้องกันผู้โดยสารตกไปยังรางรถไฟฟ้า

ประตูชานชาลา จะเปิดออกเมื่อรถไฟไฟฟ้าเข้ามาจอด โดยจะเปิดพร้อมๆ กับประตูรถไฟ และจะปิดก่อนที่ประตูรถไฟจะปิด เพื่อป้องกันมิให้ผู้โดยสารติดอยู่ที่ประตูรถไฟ ทั้งนี้ ประตูรถไฟจะไม่เปิด หากรถไฟยังไม่จอดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด



รูป 4.4 ภาพตัวอย่างประตูชานชาลา

#### 4.5.6 การขับเคลื่อนและห้ามล้อ

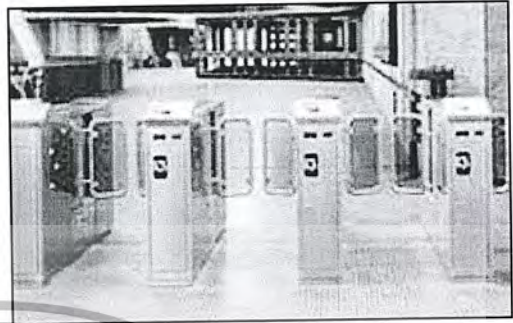
รถไฟไฟฟ้าจะขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 750 โวลต์ จากรางที่ 3 (Third rail) โดยผ่านอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้า (Shoe Gear) และอุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อนขบวนรถไฟไปยังมอเตอร์กระแสสลับ

การห้ามล้อขบวนรถมี 2 ชนิด คือ ห้ามล้อลม (Pneumatic Brake) และห้ามล้อไฟฟ้า (Electric Brake) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่แคร่ (Bogie) ของตัวรถ ปกติจะใช้งานร่วมกัน ยกเว้นในกรณีที่ห้ามล้อไฟฟ้าเสีย ห้ามล้อลมยังคงใช้งานได้โดยเอกเทศ จะทำให้รถหยุดได้โดยปลอดภัยเช่นกัน

#### 4.5.7 ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ

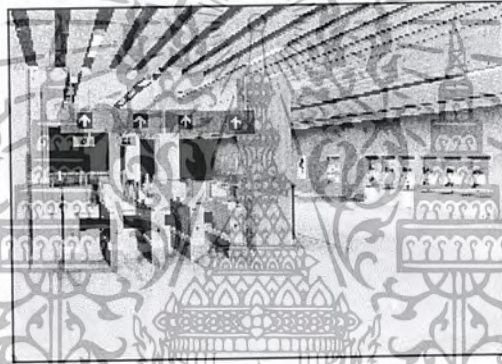
1. ผู้โดยสารสามารถซื้อตั๋วได้จากเครื่องขายตั๋ว (Ticket Vending Machine) หรือจากพนักงาน เจ้าหน้าที่ตั๋วในบริเวณห้องขายตั๋วโดยสาร
2. ผู้โดยสารจะต้องสอดตั๋วในช่องรับตั๋วของประตูทางเข้าอัตโนมัติ (Automatic Gate) ซึ่งประตูก็จะเปิดให้ผู้โดยสารผ่านได้

3. ข้อมูลการจำหน่ายตั๋วหรือการใช้บริการรถไฟฟ้าจะถูกเก็บไว้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ประจำสถานี และส่งต่อไปยังศูนย์ควบคุมกลาง"



รูป 4.5 ภาพตัวอย่างเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ

รูป 4.6 ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ



รูป 4.7 ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ

#### 4.5.8 ระบบความปลอดภัย

ความปลอดภัยที่กำหนดไว้ทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบควบคุมรถไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Train Control, ATC) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ ที่นำมาใช้ควบคุมการเดินรถอัตโนมัติ เพื่อให้การบริหารมีประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยสูงสุด
2. ระบบความปลอดภัยในการขับขี่ (Driver Safety Device, DSD/Vigilance System) จะมีอุปกรณ์ Vigilance Device ติดตั้งอยู่ที่รถทุกคัน อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานเมื่อรถอยู่ใน Shunt หรือ Manual mode ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจว่าคนขับรถไฟฟ้าจะตื่นตัวอยู่ตลอดเวลา โดยคนขับจะต้องเหยียบคัน Vigilance เป็นระยะ หากไม่ปฏิบัติรถไฟฟ้าจะลงห้ามล้อหยุดขบวนรถและส่งสัญญาณไปยังศูนย์ควบคุมทันที

3. ระบบสัญญาณเตือนภัยจากผู้โดยสาร (Passenger Alarm System) ในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินขึ้นบนขบวนรถ เมื่อผู้โดยสารแจ้งเหตุโดยใช้เครื่องสัญญาณเตือนภัย สัญญาณจะปรากฏไฟที่ห้อง คนขับและคนขับจะต้องกดปุ่มตอบรับ เพื่อให้สามารถพูดติดต่อกับผู้ที่แจ้งเหตุ

#### 4.5.9 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า

##### 4.5.9.1 ระบบรับไฟฟ้าที่ศูนย์ซ่อมบำรุง

1. รับไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 69 KV จากการไฟฟ้านครหลวง จำนวน 2 แหล่งจ่าย เพื่อสำรองกรณีแหล่งจ่ายแห่งใดแห่งหนึ่งขัดข้อง
2. รฟม. มีสถานีย่อย แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จาก 69 KV เป็น 24 KV แล้วส่งผ่านสาย Cable ไปตามอุโมงค์ในแนวเส้นทางรถไฟฟ้า ซึ่งในสถานีจะมีอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า จาก ไฟฟ้ากระแสสลับ 24 KV เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 750 V เพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า และมีหม้อแปลงแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 24 KV เป็น 380/220 KV สำหรับอุปกรณ์ในสถานี



รูป 4.8 รางรถไฟฟ้า

##### 4.5.9.2 ระบบจ่ายไฟฟ้า ที่สถานีและทางวิ่ง

1. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 750 V จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้รถไฟฟ้าผ่านทางรางที่สาม (Third Rail) ซึ่งแปลงมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 24 KV
2. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารสถานี จะรับไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 24 KV จากสถานีย่อย แปลงเป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ (380/220 V ac) จากหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของแต่ละสถานี

โดยแบ่ง load ในระบบออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. Non Essential Load
2. Essential Load
3. Very Essential Load

1. Non Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญไม่มาก หากระบบจ่ายไฟฟ้าขัดข้อง จะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์เหล่านี้ เช่น

1. ระบบแสงสว่างทั่วไป
2. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน
3. ระบบปรับอากาศ
4. ระบบสูบน้ำขึ้นถึงบนหลังคา

2. Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบรดไฟฟ้าและความปลอดภัยของผู้โดยสาร หากระบบจ่ายไฟฟ้าในสถานีจุดใดจุดหนึ่งขัดข้อง จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายอีกจุดหนึ่งให้อุปกรณ์เหล่านี้ เช่น

1. ระบบระบายอากาศ ทั้งในสถานีและอุโมงค์ทางวิ่ง
2. ระบบระบายน้ำ ทั้งในสถานีและอุโมงค์ทางวิ่ง
3. ระบบปรับอากาศในห้องคอมพิวเตอร์
4. เครื่องจำหน่ายตั๋ว
5. UPS (Uninterrupted Power Supply)

3. Very Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อระบบรดไฟฟ้า และความปลอดภัยของผู้โดยสาร หากระบบจ่ายไฟฟ้าในสถานีทั้ง 2 จุดขัดข้อง จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจาก UPS (Uninterruptible Power Supply) ซึ่งจะจ่ายกระแสได้ประมาณ 3 ชั่วโมงให้อุปกรณ์เหล่านี้ เช่น

1. ระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย
2. ระบบอาณัติสัญญาณและสื่อสาร
3. ระบบแสงสว่างฉุกเฉิน
4. ป้ายเปล่งแสงฉุกเฉิน (Emergency Illuminated Sign)

5. ทางหนีภัย (Escape way)
6. Ticket Office Machine
7. Station Operation Computer

#### 4.5.10 รูปแบบสถานี

สถานีมี 18 สถานี แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. แบบชานชาลากลาง
2. แบบชานชาลาข้าง
3. แบบชานชาลาซ้อนกัน

โดยรูปแบบของสถานี ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางด้านกายภาพเป็นหลัก ซึ่งสถานีโดยทั่วไป ประกอบไปด้วย ชั้นร้านค้า ชั้นขายตั๋ว และชั้นชานชาลา โดยมีขนาดของสถานีดังนี้

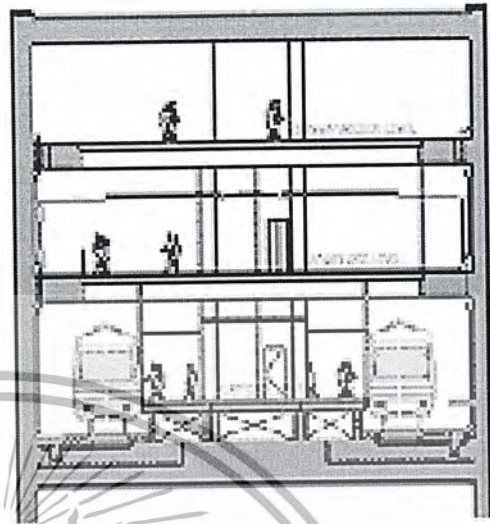
1. ความยาวโดยทั่วไปประมาณ 200-220 เมตร
2. ความกว้างโดยทั่วไปประมาณ 23 เมตร
3. หลังคาสถานีลึกจากผิวดินประมาณ 1.5-3 เมตร
4. ชานชาลาลึกจากผิวดินประมาณ 18 เมตร

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบสถานีและสภาพภูมิประเทศโดยรอบ โดยมี ประตูชานชาลา (Platform Screen Door) ลิฟต์และบันไดเลื่อน

#### 4.5.10.1 รูปแบบที่มีชานชาลากลาง (CENTRAL PLATFORM)

เป็นรูปแบบที่ใช้โดยส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้โดยสารใช้ชานชาลาาร่วมกันทั้งขาไปและ ขากลับ

สถานีที่มีลักษณะแบบนี้ ได้แก่ สถานีหัวลำโพง สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ สถานีสุขุมวิท สถานีเพชรบุรี สถานีพระราม 9 สถานีเทียมร่วมมิตร สถานีประชากรศาสตร์ สถานีสุทธิสาร สถานีรัชดา สถานีลาดพร้าว สถานีพหลโยธิน สถานีหมอชิต และ สถานีกำแพงเพชร

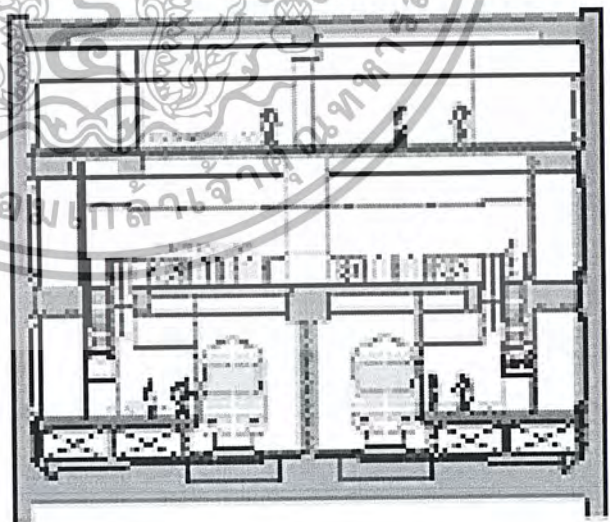


รูป 4.9 รูปแบบที่มีชานชาลากลาง(CENTRAL PLATFORM)

#### 4.5.10.2 รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (SIDE PLATFORM)

รูปแบบสถานีนี้จะใช้ในกรณีพื้นที่ในการก่อสร้างอุโมงค์ทางวิ่ง บริเวณก่อนเข้าหรือออกจากสถานีมีจำกัด

สถานีที่มีลักษณะแบบนี้ ได้แก่ สถานีบ่อนไก่ และ สถานีบางซื่อ

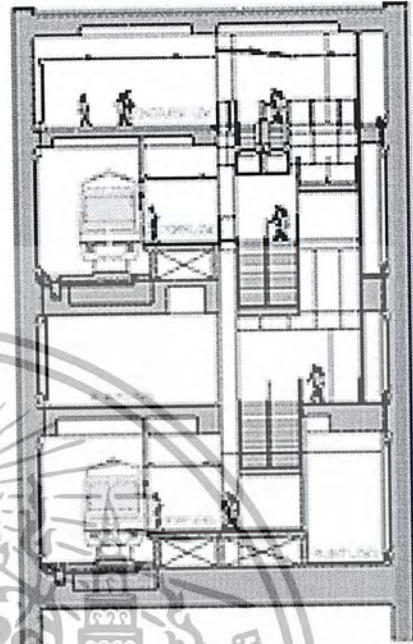


รูป 4.10 รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (SIDE PLATFORM)

### 4.5.10.3 รูปแบบที่ขนานขาลาซ้อนกัน (STACK PLATFORM)

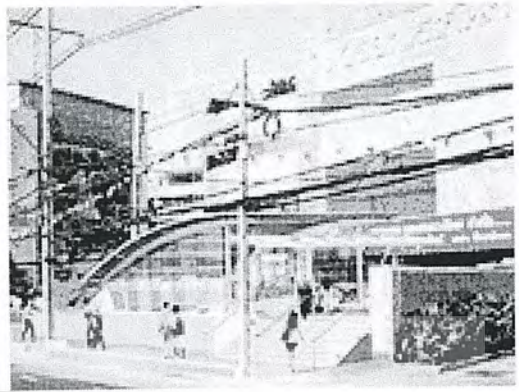
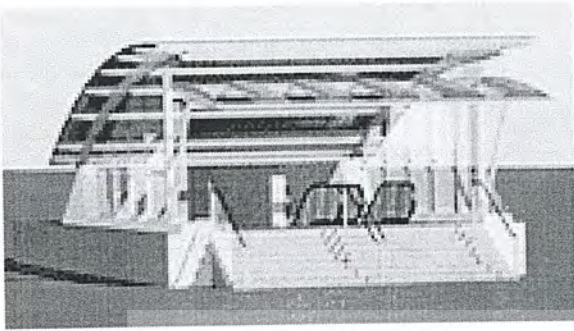
รูปแบบนี้จะใช้ก่อสร้างในกรณีที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างแคบ เพราะมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ท่ออุโมงค์ส่งน้ำ เสาเข็มยาวของสะพานลอย และอาคารสูง เป็นต้น

สถานีที่มีลักษณะแบบนี้มี 3 สถานี ได้แก่ สถานีสามย่าน สถานีสีลม สถานีลุมพินี

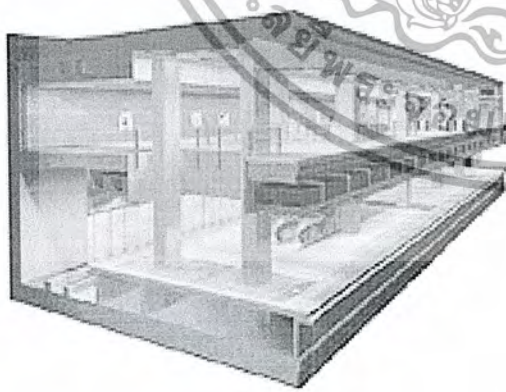


รูป 4.11 รูปแบบที่ขนานขาลาซ้อนกัน (STACK PLATFORM)

#### 4.6 รูปแบบทางขึ้น-ลง และสถานีรถไฟฟ้ามหานคร



รูป 4.12 ภาพจำลอง ทางขึ้น-ลง



รูป 4.13 ภาพจำลองภายในสถานี



รูป 4.14 ภาพจำลองบริเวณชานชาลา

## บทที่ 5

# การจัดเก็บฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์

### 5.1 การจัดการเก็บฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ (Computerized Database Management)

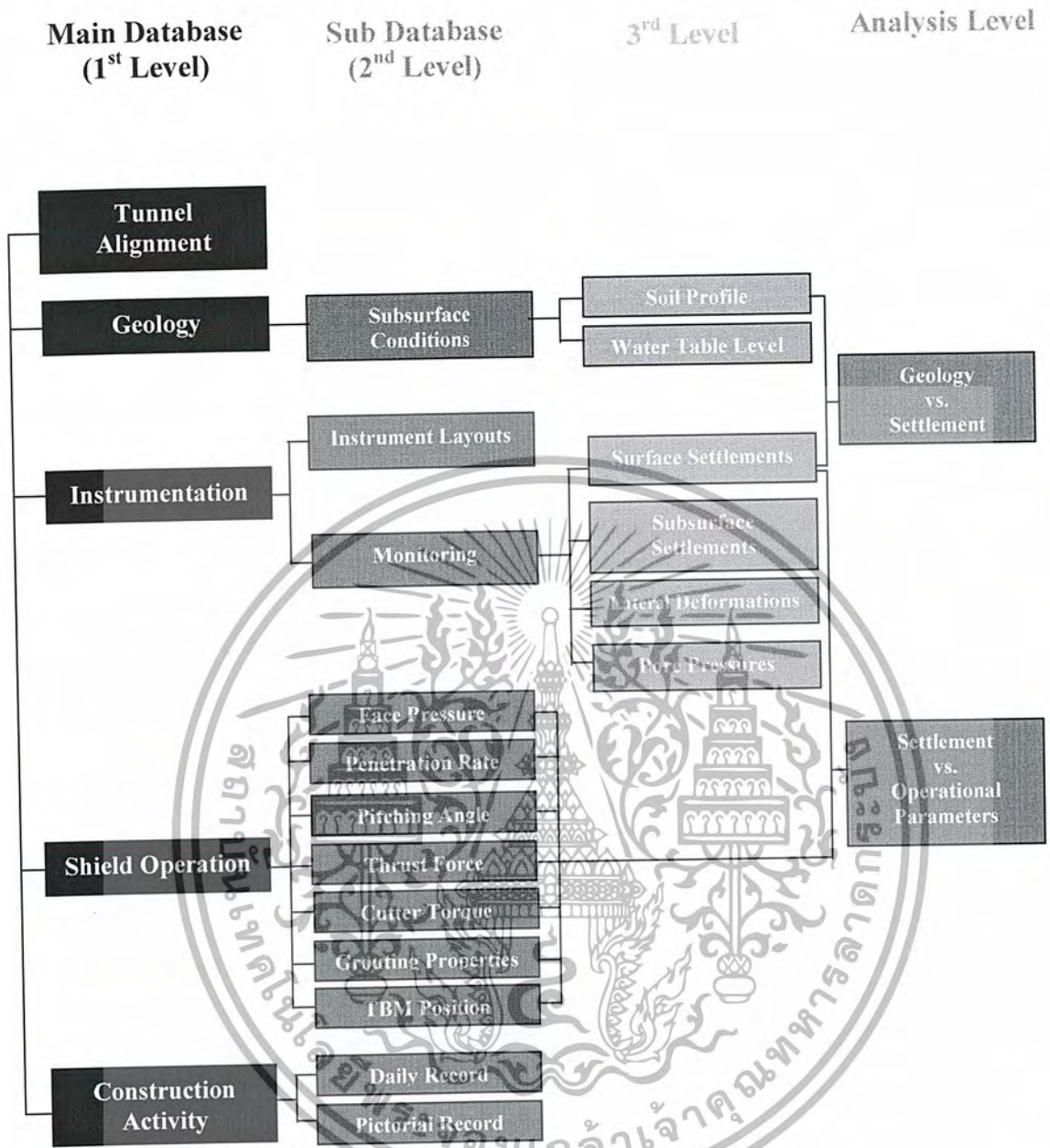
การก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินในสภาพแวดล้อมในประเทศไทย เป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมาก และการเกิดแผ่นดินเคลื่อนตัวโดยอุโมงค์ใต้ดิน เป็นสิ่งหลักที่เกี่ยวข้องในระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์ ข้อเท็จจริงอย่างหนึ่งที่ว่าแพคเตอร์มากมาย เช่น Geological Condition, Shield Operation, Tunnel Geometry เป็นผลให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน ดังนั้นควรจะเข้าใจถึงพฤติกรรมที่ซับซ้อนของ Ground-Shield ที่มีผลกระทบทั้ง ข้อมูลทางธรณีวิทยา, การบันทึกข้อมูลของเครื่องมือวัด, ข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์, การบันทึกการสำรวจ และ การทำงานในแต่ละวัน ควรจะเก็บรวบรวมจัดการให้เป็นระเบียบ

ในระหว่างช่วงที่ทำการวิจัย การสังเกตและการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นการควบคุมโดยโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ในการขุดเจาะอุโมงค์ ในเรื่องนี้ ระบบการเก็บฐานข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เป็นกลุ่มโดยใช้ในทุกๆการจัดเก็บของข้อมูลจากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ฐานข้อมูลที่บรรจุอยู่ในคอมพิวเตอร์ผลลัพธ์จะแสดงทุกๆครั้งในการบันทึกค่าที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์และการอ่านค่าของเครื่องมือวัดในสนาม ระบบฐานข้อมูลประกอบด้วยความแตกต่างของระดับข้อมูลซึ่งแสดงในรูป

ข้อมูลหลักได้จัดการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลย่อย (เช่น ระดับที่ 2 และ 3) และอยู่ภายในข้อมูลหลัก การป้อนข้อมูลมีความสัมพันธ์กับ lining ring number ตามเส้นทางของอุโมงค์

ประโยชน์หลักของฐานข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์ ไม่ใช่แค่เป็นเครื่องมือช่วยจัดเก็บข้อมูลอย่างเดียวแต่ยังสามารถใช้ในการศึกษาของground-shieldที่มีผลกระทบ โดยเตรียมการดังนี้

1. การบันทึกของ พารามิเตอร์ ที่เกี่ยวข้องตามแนวของอุโมงค์
2. การอ่านค่า เครื่องมือวัด
3. พิกัดหรือตำแหน่งของแนวอุโมงค์
4. ชุดเครื่องมือวัด
5. สภาพทางธรณีวิทยา



รูป 5.1 แสดงระดับของการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ลงในคอมพิวเตอร์

ดังนั้น ฐานข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์นี้ มีประโยชน์สำหรับการศึกษาของ การขุดอุโมงค์วิธี EPB และการเปลี่ยนรูปของดินอย่างยิ่ง

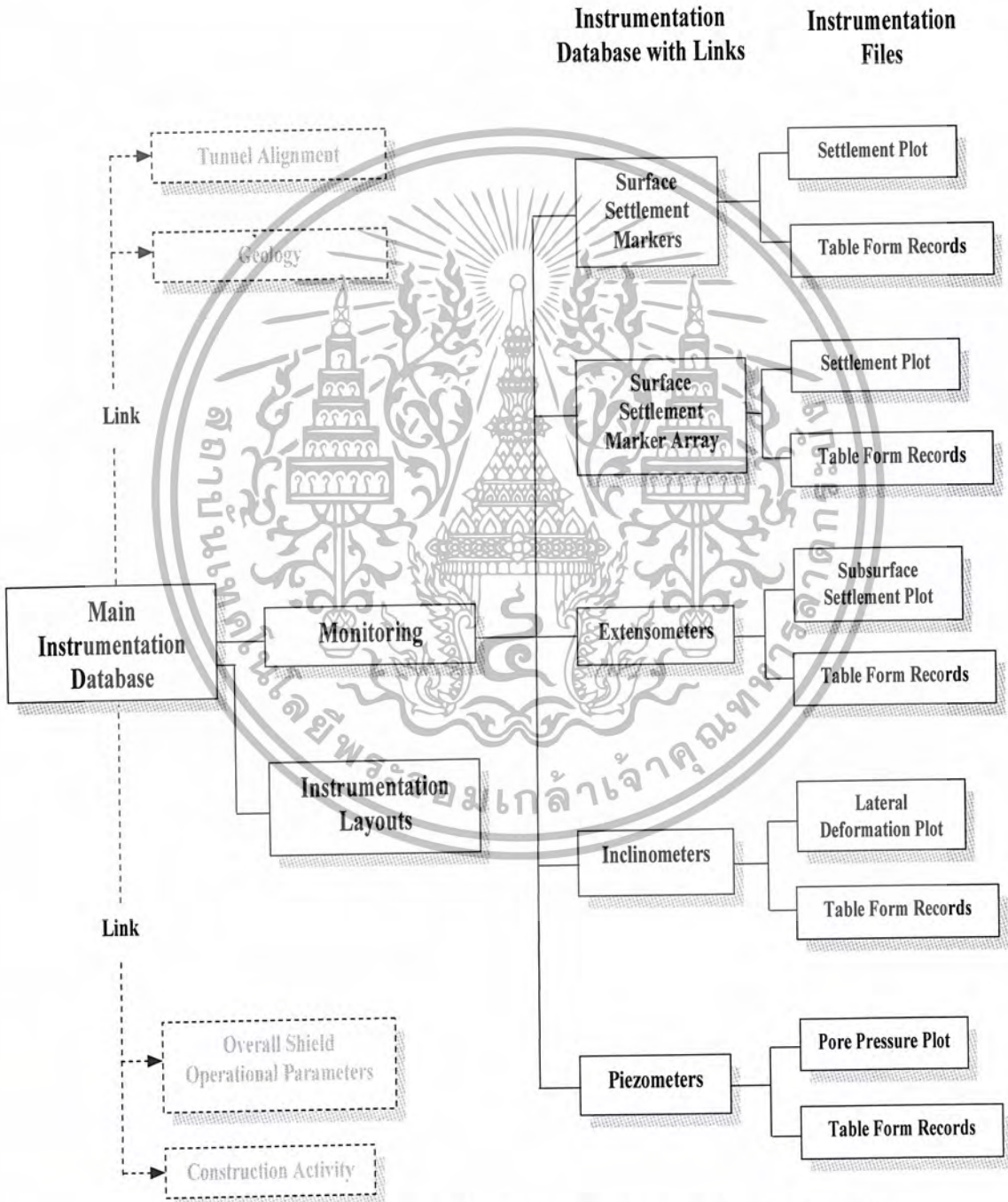
### 5.1.1 Geology database

การเก็บข้อมูลของ Geology เป็นการทำการขุดเจาะดินตามแนวของการก่อสร้างอุโมงค์ และจัดทำเป็น Boring Log เพื่อนำมาเขียนเป็น Soil profile แล้วทำการหาระดับของน้ำใต้ดินด้วยเพื่อนำข้อมูลมาเขียนร่วมกับ Boring Log ให้ได้ Soil profile ที่สมบูรณ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาแนวทางในการขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดินและ หาความลึกของอุโมงค์ใต้ดินที่เหมาะสมที่จะทำการขุดเจาะ ข้อมูลที่จัดเก็บจะแสดงออกมาเป็นรูป Soil profile โดยในแต่ละรูปของ Soil profile จะแสดงตามระยะทางของสถานีถึงอีกสถานี เพื่อที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลกับพารามิเตอร์อื่นๆ ทั้ง Instrumentation database และ Shield operation ให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่าย



### 5.1.2 Instrumentation database

ในแต่ละ section1 ของอุโมงค์ งานข้อมูลInstrumentation ประกอบด้วยข้อมูลหลัก อนุญาตให้เชื่อมโยงกับทุกๆข้อมูลของInstrumentation ตามรูป



รูป 5.2 ข้อมูลที่จัดเก็บจากเครื่องมือวัดและการแสดงผลในคอมพิวเตอร์

เพิ่มฐานข้อมูลได้แบ่งออกเป็น 5 อย่างตามแต่ละชนิดฐานข้อมูล ตามนี้

1. Surface settlement markers
2. Array of surface settlement markers
3. Extensometers
4. Inclinometers
5. Piezometers



### 5.1.2.1 Surface settlement

#### Surface Settlement Marker Database

Zone 23 Thiam Ruam Mit (ST12)- Pracharat Bumphen (ST-13)

[Click Here to Link to the Overall Shield Operational Records and Instrumentation Layout](#)

[Tunneling Section](#)

[Shield Records](#)

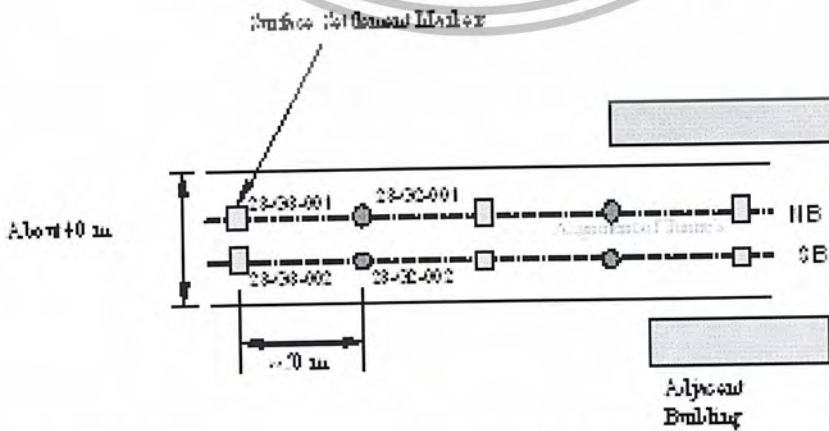
[Layout](#)

[Click Here to Link to the Tunneling Data in the location](#)

Settlement Markers						
Type	Ring Number	Shield Passing Date	Max. Settlement (mm)	Average Face Pressure (kPa)	Depth(m)	
23-G3-001-002 Settlement	23-G3-001	28II	14-May-99	-44.4	70	18.269
	23-G3-002	28C	3-May-99	-60.5	40	18.269
23-G2-001-002 Settlement	23-G2-001	49II	22-May-99	-31.3	60	18.631
	23-G3-002	49C	7-May-99	-51.4	30	18.631

[Click Here to Link to the Settlement Data and Plot](#)

รูป 5.3 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Surface settlement



รูป 5.4 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Surface settlement

Shield passing date : วันที่เมื่อตัวขุดเจาะผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล  
 Max.Settlement(mm.) : ระดับการทรุดตัวสูงสุดเมื่อตัวขุดเจาะผ่าน  
 Average Face Pressure : ค่าความดันผิวหน้าหัวเจาะเฉลี่ยเมื่อตัวขุดเจาะผ่าน  
 Depth (m) : ความลึกของแกนอุโมงค์

### 5.1.2.2 Surface settlement array

**Surface Settlement Marker Array Database** [Click Here to Link to the Overall Shield Operational Record and Instrumentation Log](#)

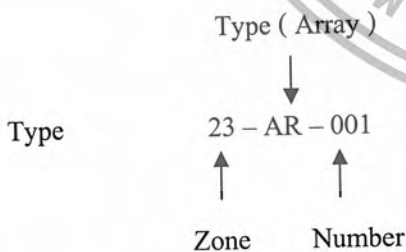
Zone 23 ThiamRuumMit (ST12) - Prachant Bumphen (ST-13) [Shield Records](#) [Layout](#)

[Click Here to Link to the Tunneling Data in the location](#)

Type	Ring Number	Distance	Shield Passing Date	Max. Sett. (mm)	Depth (m)
23-AR-001	23-G1-016	-24.5			
	23-G1-017	-18.5			
Layout	23-G2-026	-7.8			
	23-G2-027	-4.5	19-Aug-99		
Settlement Trough	23-G2-028	-1.2			
	23-G2-029	3.3			
	23-G2-030	7.8	28-Jul-99	-53.88	22
	23-G2-031	15.5			
	23-G2-032	22.5			
	23-G1-018	32			
	23-G1-019				

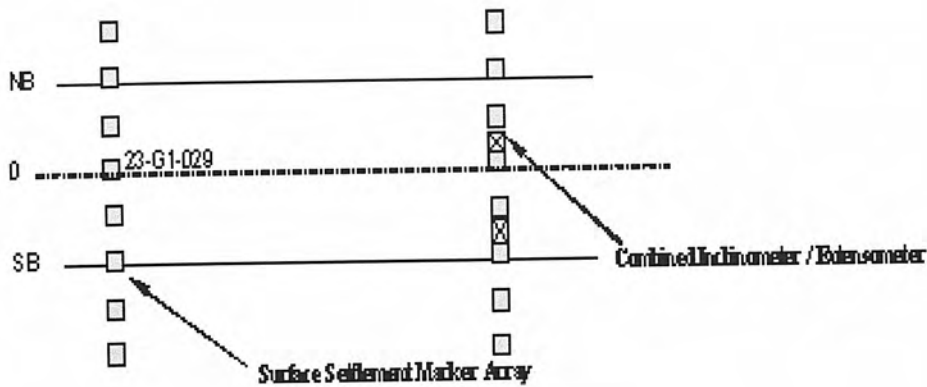
[Click Here to Link to the Settlement Data and Plot](#)

รูป 5.5 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Surface settlement array



Ring number : หมายเลขของวงรอบชั้นส่วนผนังอุโมงค์ที่ระบุในตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด

Distance : ระยะทางที่ห่างจาก Centerline



รูป 5.6 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Surface settlement array

Shield passing date : วันที่เมื่อตัวชุดเจาะผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล

Max.Settlement(mm.) : ระดับการทรุดตัวสูงสุดเมื่อตัวชุดเจาะผ่าน

Depth (m) : ความลึกของแกนอุโมงค์

### 5.1.2.3 Extensometers

#### Extensometer Database

[Click Here to Link to the Overall Shield Operational Records and Instrumentation Layout](#)

Zone23 ThiamRuamMit (ST12)- Pracharat Bunphen (ST-13)

[Shield Records](#)   [Layout](#)

#### Extensometers

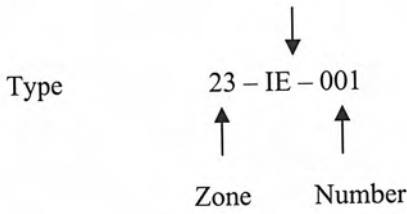
[Click Here to Link to the Tunneling Data in the location](#)

Type	Ring Number	Shield Passing Date	Sensing Ring	Elevation (m)	Mx.D eformation (mm)	Dist. from C.L.(m)
23-E-00F Deformation	83N	16-Jun-99	23-DATUM01	72.261	3.9	3.5
			23-ME01.01	73.191	0.4	
			23-ME01.02	76.218	1.4	
			23-ME01.03	79.319	0.9	
			23-ME01.04	82.408	-12.1	
			23-ME01.05	85.507	-19.1	
			23-ME01.06	88.597	-18.6	
			23-ME01.07	91.672	-19.1	
			23-ME01.08	94.779	-18.6	

[Click Here to Link to the Deformation Data and Plot](#)

รูป 5.7 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Extensometers

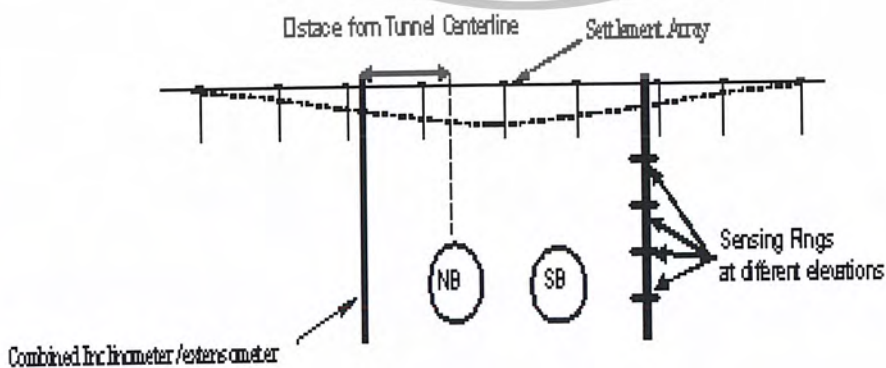
Combined Inclinometer and Extensometer



Ring number : หมายเลขของวงรอบชั้นส่วนผนังอุโมงค์ที่ระบุในตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด.



- Shield passing date : วันที่เมื่อตัวชุดเจาะผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล
- Sensing Ring : ห่วงแหวนแม่เหล็กที่ติดตั้งในระดับความลึกที่แตกต่างกันแสดงการเคลื่อนตัวหรือเปลี่ยนรูปใต้พื้นดิน
- Elevation(m) : ระดับของแต่ละบริเวณของ ring sensing



รูป 5.9 แสดงตำแหน่งระยะการติดตั้ง Extensometers

Max.Deformation(mm) : การวัดการเคลื่อนตัวสูงสุดของใต้พื้นดินจากแต่ละ Sensing Ring หลังจากตัวชุดเจาะผ่าน

Dist.From C.L. (m) : ระยะทางจาก Centerline ของอุโมงค์

### 5.1.2.4 Inclinometers

**Inclinometer Database**

Zone 23 ThiamRuamMit (ST12) - PracharatBumphen (ST-13)

[Click Here to Link to the Overall Shield Operational Record and Instrumentation Layout](#)

[Click Here to Link to the Tunneling Data in the location](#)

Type	Ring Number	Shield Passing Date	Max. Deformation (mm)	Dist. from C.L. (m)	Depth (m)
23-IE(incl-0024) Deformation	835	29-May-99	8.65	3.5	19.4

[Click Here to Link to the Deformation Data and Plot](#)

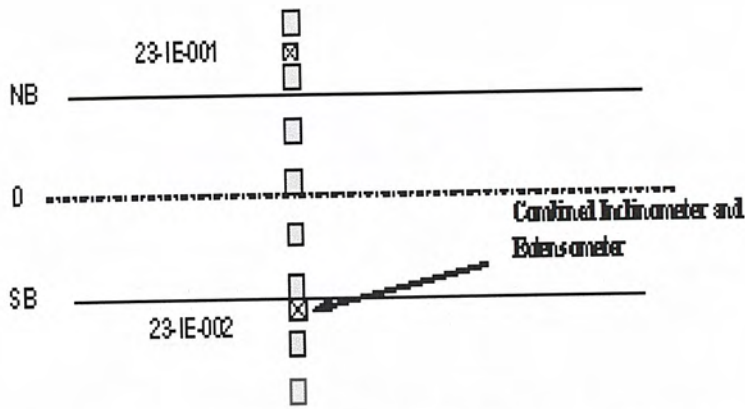
**Combined Inclinometer and Extensometer**

Type: 23 - IE - 001

Zone: 23      Number: IE - 001

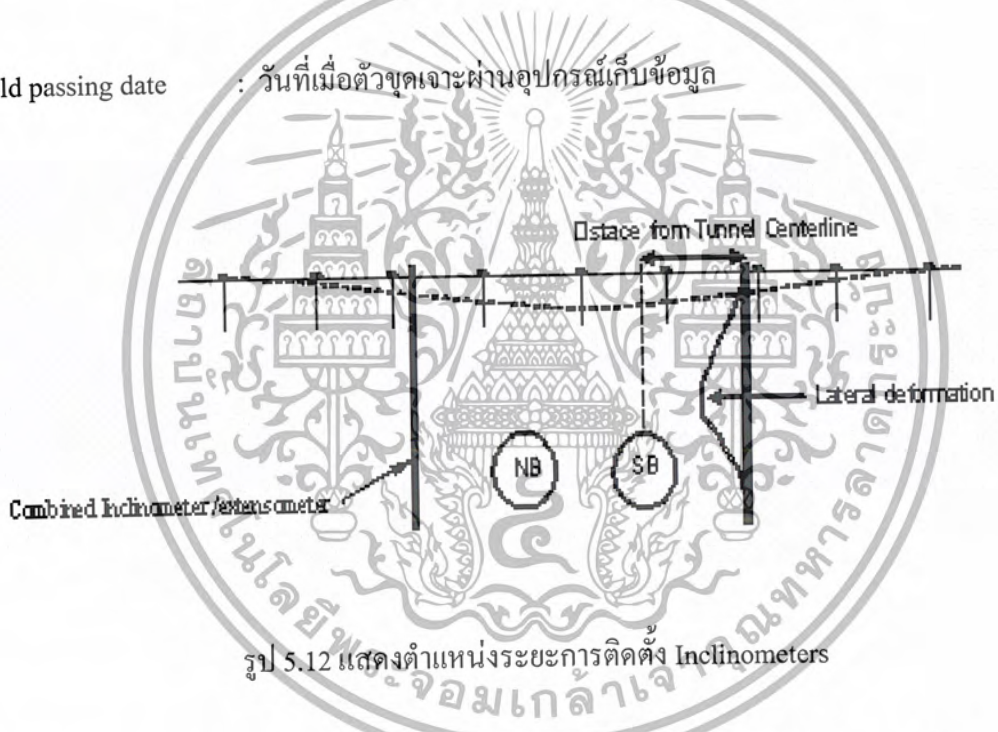
รูป 5.10 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Inclinometers

Ring number : หมายเลขของวงรอบชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ที่ระบุในตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด



รูป 5.11 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Inclinometers

Shield passing date : วันที่เมื่อตัวชุดเจาะผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล



รูป 5.12 แสดงตำแหน่งระยะการติดตั้ง Inclinometers

- Max.Deformation(mm) : การวัดการเคลื่อนตัวสูงสุดของใต้พื้นดินจากแต่ละ Sensing Ring หลังจากตัวชุดเจาะผ่าน
- Dist.From C.L. (m) : ระยะทางจาก Centerline ของอุโมงค์
- Depth (m) : ความลึกของแกนอุโมงค์

### 5.1.2.5 Piezometers

#### Piezometer Database

[Click Here to Go to the Overall Tunneling Operation Record](#)  
 ↓  
[Shield Records](#)

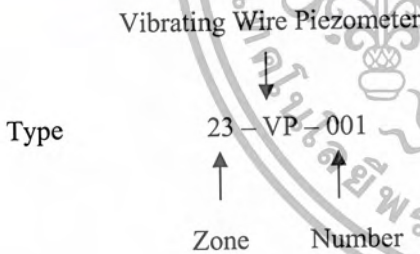
Zone 23 Thiam Ruam Mt (ST12) - Pracharat Bumphen (ST-13)

[Click Here to Link to the Tunneling Data in the location](#)

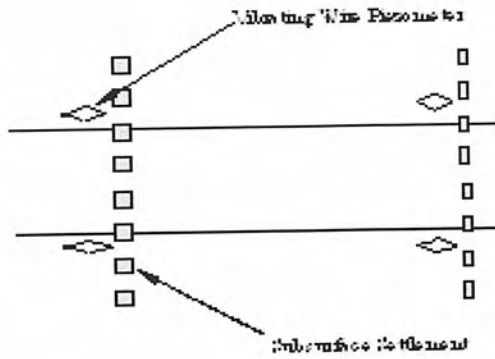
Piezometers							
Type		Ring Number	Shield Passing Date	Max. Pore Pressure (kPa)	Average Face Pressure (kPa)	Grouting Pressure (bar)	Dist. From C.L.(m)
23-VP-001-002	23-VP-001	T411	15-Jun-99	23	90		↓
Pore Pressure	23-VP-002	T45	27-May-99	4.51	80		↓

[Click Here to Link to the Deformation Data and Plot](#)

รูป 5.13 ตารางการจัดเก็บข้อมูล Piezometers



Ring number : หมายเลขของวงรอบชั้นส่วนผนังอุโมงค์ที่ระบุในตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด.



รูป 5.14 แสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด Piezometers

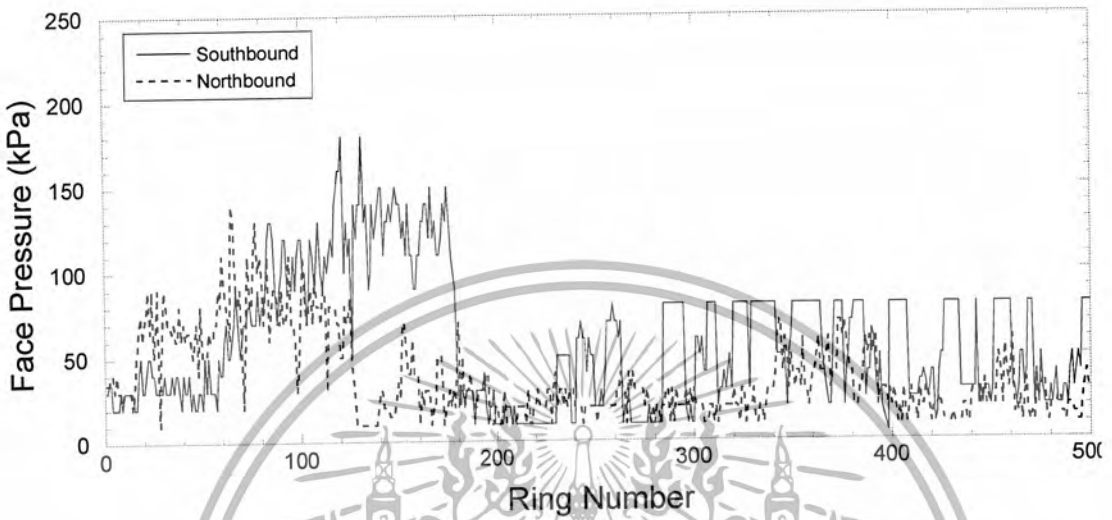
- Shield passing date : วันที่เมื่อตัวขุดเจาะผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล
- Max.Pore Pressure(kPa) : ค่า pore pressure มากที่สุดหลังจากตัวขุดเจาะผ่าน
- Average Face Pressure : ค่าความดันผิวหน้าหัวเจาะเฉลี่ยเมื่อตัวขุดเจาะผ่าน  
(kPa)
- Dist.From C.L. (m) : ระยะทางจาก Centerline ของอุโมงค์

### 5.1.3 Operational Parameter Database

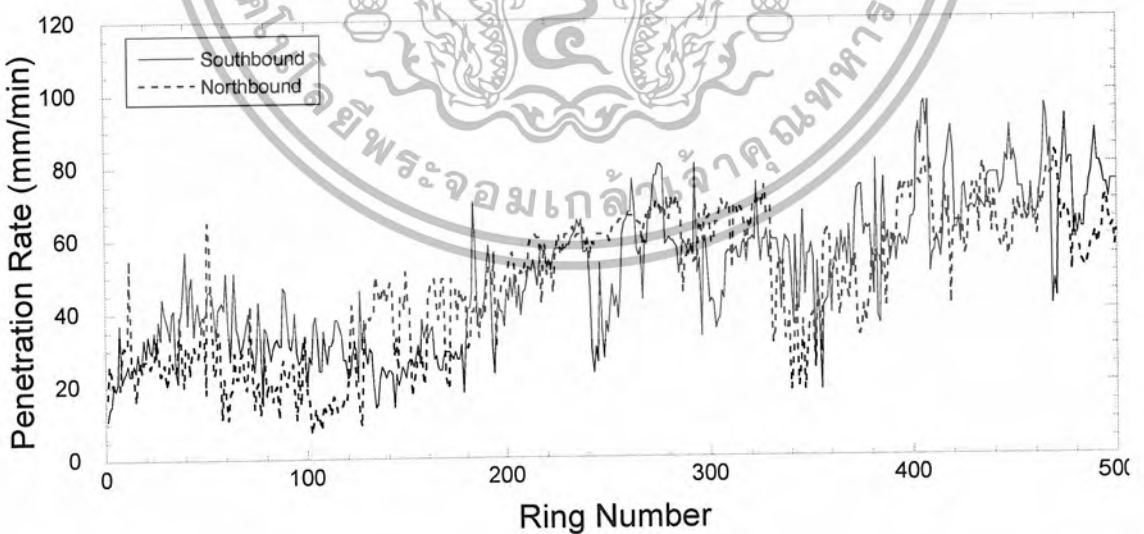
การบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ในขณะที่ทำการขุดเจาะนั้นในแต่ละวงรอบของชั้นส่วนผนังอุโมงค์ ข้อมูลที่ได้ทำการจัดเก็บมีดังนี้

1. Face Pressure
2. Penetration Rate
3. Pitching Angle
4. Trust Force
5. Cutter Speed
6. Grouting Pressure
7. Grout Filling
8. Time-position

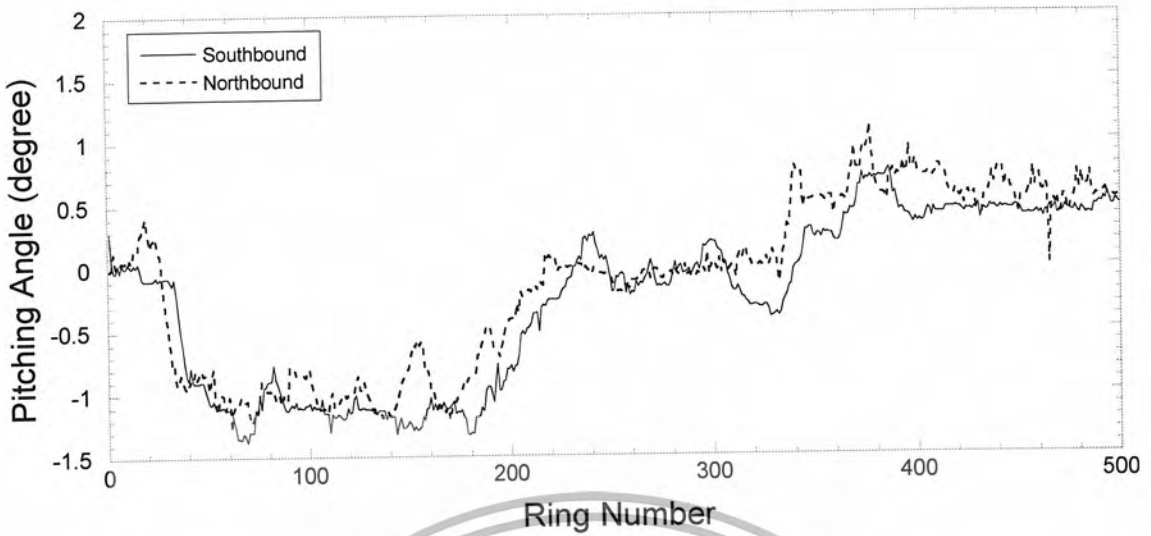
การแสดงผลของข้อมูลที่เก็บได้ จะแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับหมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



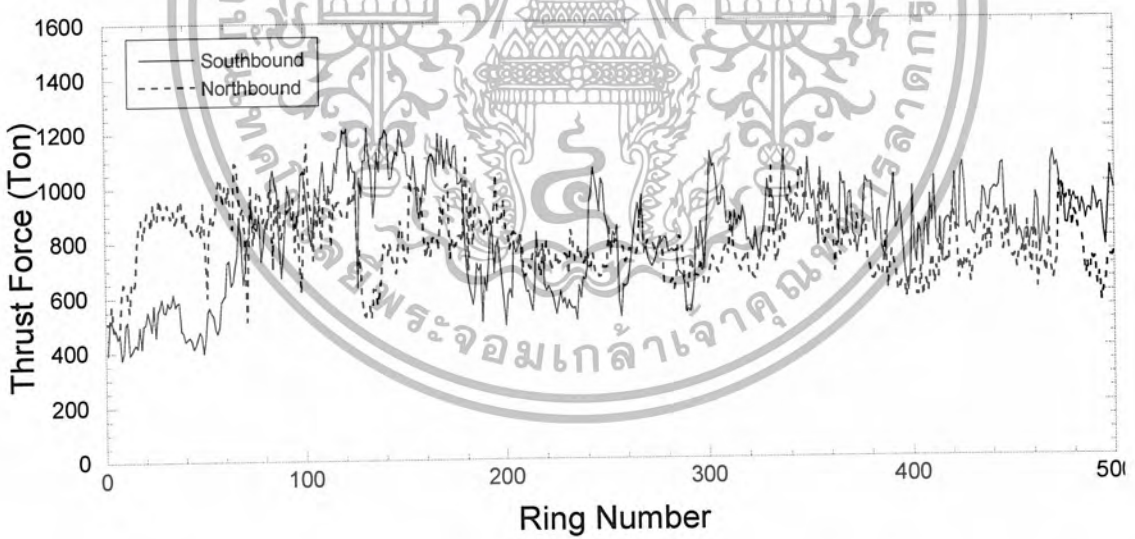
รูป 5.15 ตัวอย่างกราฟของ Face Pressure กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



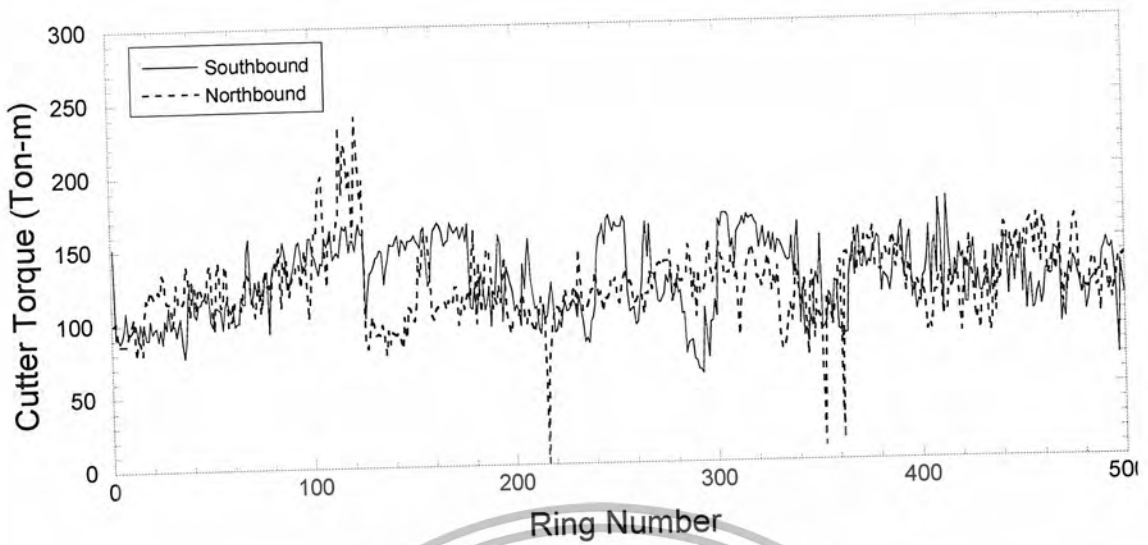
รูป 5.16 ตัวอย่างกราฟของ Penetration Rate กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



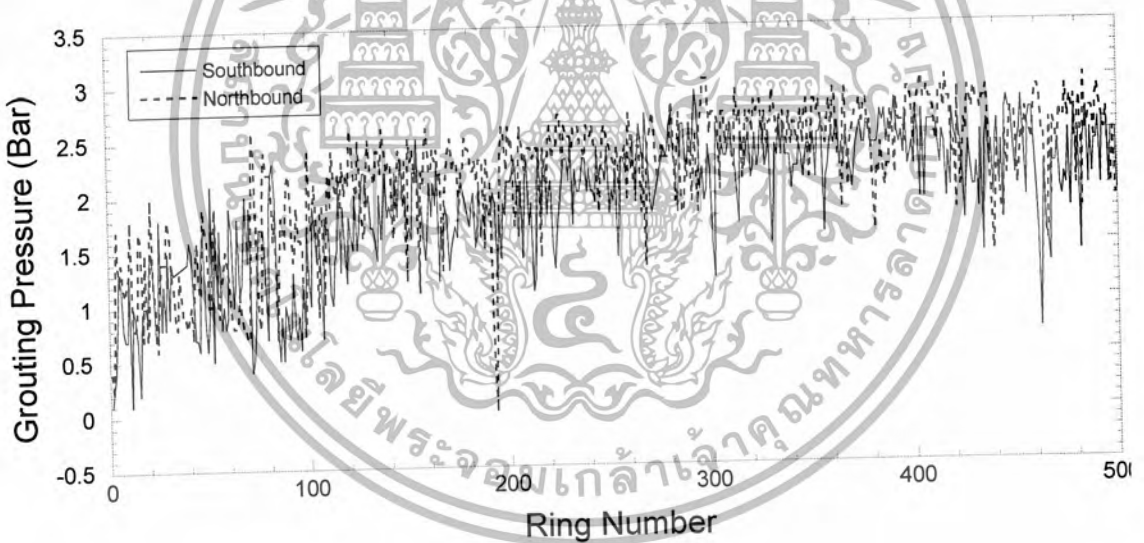
รูป 5.17 ตัวอย่างกราฟของ Pitching Angle กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



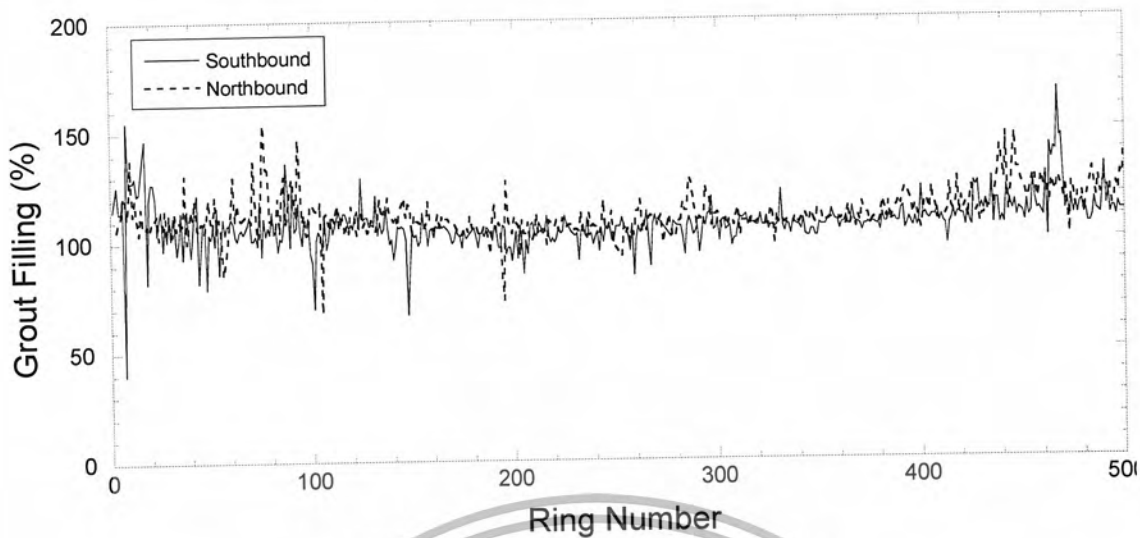
รูป 5.18 ตัวอย่างกราฟของ Thrust Force กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



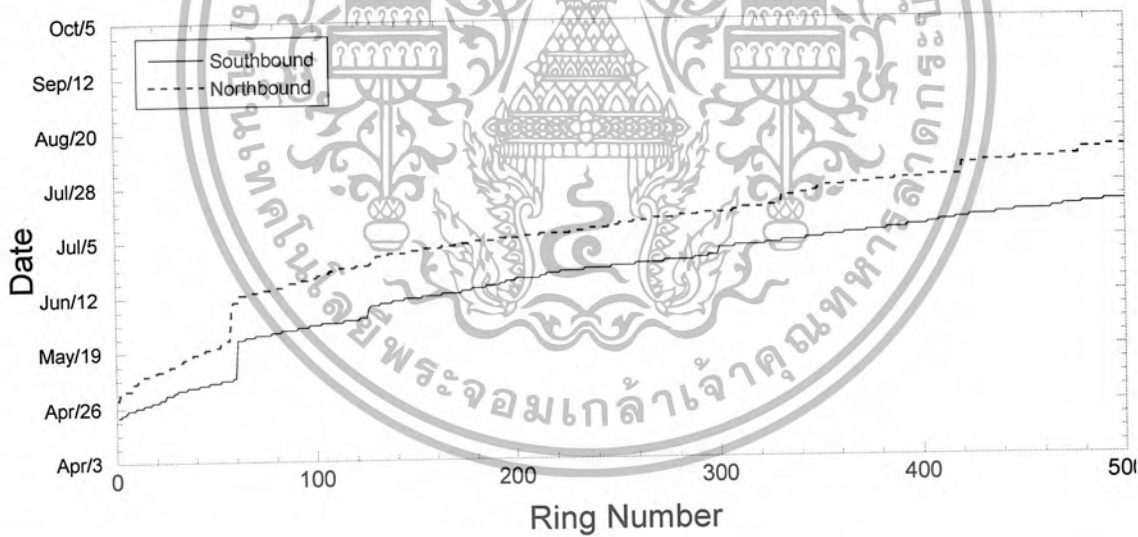
รูป 5.19 ตัวอย่างกราฟของ Cutter Speed กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



รูป 5.20 ตัวอย่างกราฟของ Grouting Pressure กับ หมายเลขของวงรอบขึ้นส่วนผนังอุโมงค์



รูป 5.21 ตัวอย่างกราฟของ Grout Filling กับ หมายเลขของวงรอบชั้นส่วนผนังอุโมงค์



รูป 5.22 ตัวอย่างกราฟของ Time-position กับ หมายเลขของวงรอบชั้นส่วนผนังอุโมงค์

## 5.2 การจัดเรียงข้อมูลในคอมพิวเตอร์

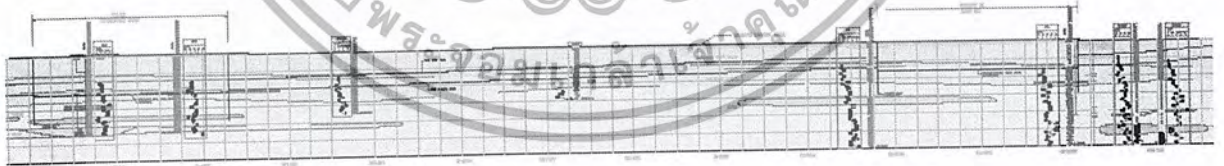
การจัดเรียงข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เป็นการจัดเรียงในโปรแกรม Microsoft Access ในการจัดเรียงข้อมูลที่ใช้โปรแกรม Microsoft Access เพื่อที่จะสามารถให้โปรแกรมแสดงผลออกมาได้สะดวกโดยใช้โปรแกรม Visual Basic ในการแสดงผล เนื่องจากข้อมูลนั้นมีจำนวนมากจึงใช้เวลาในการจัดเก็บนานพอสมควรและบางสถานี ทางผู้รับเหมาไม่ได้เก็บข้อมูล จึงทำให้การแสดงผลบางครั้งขาดหายไป การแสดงผลจึงไม่มี สำหรับการเก็บข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบที่โปรแกรม Visual Basic อ่านได้ง่ายและผู้ที่เข้ามาใช้สามารถเข้าใจง่ายเช่นกัน โดยการเรียงข้อมูล Geological condition จะอยู่ในไฟล์ Geology Instrumentation database อยู่ในไฟล์ของ Instrument และ Operation parameter database อยู่ในไฟล์ของ Tunnel

แบ่งการจัดเรียงข้อมูลและการแสดงผลเป็น 3 หมวด คือ

1. Geology
2. Instrument
3. Tunnel

### 5.2.1 Geology

จัดเก็บเป็นรูปภาพ



#### LEGEND

WARE GROUND	MEDIUM CLAY, CLAY	MEDIUM DENSE CLAYEY SAND	2ND HARD CLAY	BOREHOLE WITH PIEZOMETER	D = DEPTH OF BOREHOLE
SOFT CLAY	1ST STIFF CLAY	VERY STIFF CLAY	DENSE SAND	BOREHOLE WITHOUT PIEZOMETER	d = DEPTH OF PIEZOMETER
				PIEZOMETER TIP	WL = WATERLEVEL FROM G.L.

รูปที่ 5.23 แสดงรูป Geology

### 5.2.2 Instrument

Microsoft Access - [tblInstrumentSP : ตาราง]

เครื่องมือ แก้ไข ข้อมูล: แปรค่า รูปแบบ ฐานข้อมูล เครื่องมือ ฐานข้อมูล ฐานข้อมูล

InstrumentSPID	InstrumentSPDate	Settlement	Ring_NO	Distance	Direction	type	InstrumentTypeID
1	3/23/1999	0	0	0		1 23-G2-001	4
2	3/29/1999	-1.2	0	0		1 23-G2-001	4
3	4/8/1999	-1.7	0	0		1 23-G2-001	4
4	4/10/1999	-2.7	0	0		1 23-G2-001	4
5	4/10/1999	-2.7	0	0		1 23-G2-001	4
6	4/19/1999	3	0	0		1 23-G2-001	4
7	4/23/1999	-8	0	0		1 23-G2-001	4
8	4/25/1999	3	0	0		1 23-G2-001	4
9	4/27/1999	-4	0	0		1 23-G2-001	4
10	4/29/1999	-1	0	0		1 23-G2-001	4
11	4/30/1999	8	0	0		1 23-G2-001	4
12	5/2/1999	1.1	0	0		1 23-G2-001	4
13	5/3/1999	1.8	0	0		1 23-G2-001	4
14	5/4/1999	1.6	0	0		1 23-G2-001	4
15	5/6/1999	2.6	0	0		1 23-G2-001	4
16	5/7/1999	2.5	0	0		1 23-G2-001	4
17	5/8/1999	-2	0	0		1 23-G2-001	4
18	5/9/1999	-5.4	0	0		1 23-G2-001	4
19	5/10/1999	-7.8	14	42		1 23-G2-001	4
20	5/11/1999	-9.9	17	38.4		1 23-G2-001	4
21	5/12/1999	-7.2	21	33.6		1 23-G2-001	4
22	5/13/1999	-6.5	24	30		1 23-G2-001	4
23	5/14/1999	-12.4	27	26.4		1 23-G2-001	4
24	5/15/1999	-8.2	30	22.8		1 23-G2-001	4
25	5/16/1999	-9.6	33	19.2		1 23-G2-001	4
26	5/17/1999	-7.1	34	18		1 23-G2-001	4
27	5/18/1999	-7.3	36	15.6		1 23-G2-001	4
28	5/19/1999	-9.3	39	12		1 23-G2-001	4
29	5/20/1999	-11.6	43	7.2		1 23-G2-001	4
30	5/21/1999	-10.3	45	4.8		1 23-G2-001	4
31	5/22/1999	-14.8	49	0		1 23-G2-001	4
32	5/23/1999	-17.9	50	-1.2		1 23-G2-001	4
33	5/24/1999	-21.4	57	-9.6		1 23-G2-001	4
34	5/25/1999	-23.6	57	-9.6		1 23-G2-001	4
35	5/26/1999	-24.7	57	-9.6		1 23-G2-001	4

เรียง: 14 | 1 | จาก 7399

มุมมองแผนข้อมูล

รูปที่ 5.24 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Settlement Point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microsoft Access - [Array\_01 : ตาราง]

มุมมอง: แยกใบ | มุมมอง: แยก | รูปแบบ: ธรรมดา | ฐานข้อมูล: เครื่องมือ | หน้าต่าง: 1:16

Point_Measure	Distance	22_พย_42	15_ธค_42	16_ธค_42	15_มค_43	16_มค_43	17_มค_43	19_มค_43	20_มค_43	23_มค_43
31-G1-012	-30.00	0.00			4.57	1.74	3.35	6.98		
31-G1-011	-20.00	0.00			4.11	1.79	3.00	5.86		
31-G2-004	-12.40	0.00			2.25		3.22		3.22	
31-G2-003	-5.00	0.00	1.33	3.52	2.28				2.28	
31-G2-002	5.00	0.00			2.03				2.03	
31-G2-001	12.00	0.00			1.86				1.86	
31-G1-010	19.60	0.00			2.07	0.56	3.69	5.51		
31-G1-009	29.60	0.00			1.04	0.29	3.07	4.92		
*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

สถานะ: 1 | จาก 8 | มุมมอง: แยกข้อมูล | NJM

รูปที่ 5.25 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Array)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microsoft Access - [tblInstrumentExN : ตาราง]

มุมมอง: ตาราง

InstrumentExtensometerID	InstrumentExtensid	Level_datum	Level_1	Level_2	Level_3	Level_4	Level_5	Level_6	Level
1	6/19/1999	-0.10	-0.60	0.00	-1.00	-14.00	-17.60	-17.10	
2	7/22/1999	-0.10	-0.60	2.40	1.40	-10.60	-17.60	-17.10	
3	8/23/1999	3.90	0.40	1.40	0.90	-12.10	-19.10	-18.60	
4	6/19/1999	0.00	2.00	3.00	2.00	-8.00	-15.00	-17.00	
5	7/22/1999	-0.10	-0.10	2.40	-0.10	-11.10	-18.60	-27.60	
6	8/23/1999	0.90	1.90	4.40	3.40	-8.60	-17.10	-26.60	
7	8/9/1999	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	-1.50	-1.00	
8	8/16/1999	0.00	-0.50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.50	-1.00	
9	8/21/1999	0.50	0.50	-0.50	-2.50	-24.00	-24.00	-25.50	
10	8/22/1999	0.00	0.00	-1.50	-2.00	-24.50	-25.50	-27.00	
11	8/23/1999	0.50	-0.50	-0.50	-2.50	-11.00	-25.00	-26.50	
12	8/24/1999	0.50	1.00	-0.50	-3.00	-11.50	-25.50	-27.00	
13	8/26/1999	0.00	-1.50	-2.50	-4.00	-12.50	-27.00	-29.00	
14	11/15/1998	0.20	0.70	0.70	1.20	0.20	-1.30	-0.80	
15	11/23/1998	0.20	0.70	0.20	1.20	1.20	-0.80	1.20	
16	11/27/1998	0.20	0.70	0.20	1.20	-0.30	-0.80	0.20	
17	1/22/1999	-2.30	-0.30	0.20	1.70	-0.80	-2.30	-4.30	
18	1/24/1999	-2.30	-0.80	-0.30	0.70	-2.30	-1.80	-6.30	
19	1/26/1999	-0.80	-0.30	-0.30	1.20	-1.80	-2.30	-5.30	
20	1/28/1999	-2.60	-0.80	-1.30	0.20	-2.30	-2.80	-4.80	
21	2/7/1999	-2.30	0.20	1.20	0.70	-1.80	-2.30	-5.30	
22	2/8/1999	-2.30	-0.30	1.20	1.20	-1.30	-2.80	-5.80	
23	2/9/1999	-1.30	-0.30	0.20	0.20	-2.80	-3.30	-6.30	
24	2/10/1999	0.20	1.20	2.20	2.70	0.20	-1.80	-3.30	
25	2/11/1999	0.20	0.20	1.70	2.70	0.20	-0.80	-3.80	
26	2/14/1999	0.20	0.70	2.20	2.70	0.20	-0.80	-3.80	
27	2/18/1999	0.20	0.70	2.70	4.20	1.70	-0.80	-4.30	
28	2/23/1999	0.20	1.70	1.20	2.70	-0.30	-2.30	-4.80	
29	2/24/1999	0.20	0.70	1.20	2.20	-0.30	-2.30	-4.80	
30	2/26/1999	0.20	0.70	2.20	3.70	0.70	-2.30	-4.30	
31	3/8/1999	0.20	-1.20	1.70	2.70	0.70	-1.80	-4.30	
32	3/9/1999	0.20	0.70	2.70	4.20	0.70	-2.30	-4.30	
33	3/10/1999	0.20	0.70	2.20	3.20	1.20	-1.80	-4.30	
34	3/11/1999	0.70	1.70	0.20	2.70	1.20	-0.30	-3.80	
35	3/13/1999	-1.30	1.70	0.70	3.20	1.20	-0.80	-4.30	

ระดับ: 1 | 204

รูปที่ 5.26 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Extensometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microsoft Access - [tblInstrumentIN : ตาราง]

มุมมอง: ตารางแบบ ระบุเงื่อนไข เครื่องมือ หน้าตา 31:50

InstrumentInclinometerID	InstrumentInclinometerDate	depth-0	depth-0*5	depth-1	depth-1*5	depth-2	depth-2*5	depth-3
1	2/1/2000	-4.75	-5.00	-4.90	-4.85	-4.60	-4.80	-4.50
2	1/31/2000	-2.70	-2.95	-2.80	-2.65	-2.45	-2.65	-2.35
3	1/28/2000	1.50	1.20	1.35	1.50	1.70	1.55	1.85
4	1/27/2000	1.70	1.45	1.55	1.65	1.80	1.55	1.80
5	1/26/2000	-2.35	-2.55	-2.40	-2.25	-2.05	-2.05	-2.15
6	1/25/2000	-3.30	-3.45	-3.25	-3.05	-2.80	-2.80	-2.45
7	2/3/2000	0.70	0.50	0.35	0.25	0.15	-0.05	-0.15
8	2/2/2000	2.30	2.15	2.05	1.85	0.00	-0.10	-0.20
9	2/1/2000	3.70	3.45	3.30	3.20	3.15	3.05	2.90
10	1/31/2000	3.15	2.90	2.95	2.95	2.80	2.60	2.35
11	1/28/2000	4.15	3.80	3.80	3.70	3.50	3.30	2.95
12	1/27/2000	4.45	4.30	4.30	4.15	3.85	3.60	3.30
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								

รูปที่ 5.27 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Inclinometer)

รูปที่ 5.27 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Inclinometer)

Microsoft Access - [tblInstrumentVP : ตาราง]

InstrumentVPID	InstrumentVPDate	InstrumentVP	InstrumentTypeID	Type	TunnelDirect	TunnelZone
1	4/22/1999	-2.2 5		23-VP-001	1	8
2	5/2/1999	-34 5		23-VP-001	1	8
3	5/3/1999	17 5		23-VP-001	1	8
4	5/5/1999	1.19 5		23-VP-001	1	8
5	5/6/1999	1.86 5		23-VP-001	1	8
6	5/7/1999	2.71 5		23-VP-001	1	8
7	5/8/1999	3.05 5		23-VP-001	1	8
8	5/9/1999	2.37 5		23-VP-001	1	8
9	5/11/1999	1.86 5		23-VP-001	1	8
10	5/12/1999	1.69 5		23-VP-001	1	8
11	5/13/1999	1.69 5		23-VP-001	1	8
12	5/14/1999	2.37 5		23-VP-001	1	8
13	5/15/1999	2.2 5		23-VP-001	1	8
14	5/16/1999	1.86 5		23-VP-001	1	8
15	5/17/1999	2.37 5		23-VP-001	1	8
16	5/18/1999	3.05 5		23-VP-001	1	8
17	5/19/1999	2.71 5		23-VP-001	1	8
18	5/20/1999	2.37 5		23-VP-001	1	8
19	5/21/1999	5.08 5		23-VP-001	1	8
20	5/22/1999	4.74 5		23-VP-001	1	8
21	5/23/1999	2.71 5		23-VP-001	1	8
22	5/24/1999	4.74 5		23-VP-001	1	8
23	5/25/1999	6.1 5		23-VP-001	1	8
24	5/26/1999	6.27 5		23-VP-001	1	8
25	5/27/1999	7.11 5		23-VP-001	1	8
26	5/29/1999	8.25 5		23-VP-001	1	8
27	5/30/1999	8.08 5		23-VP-001	1	8
28	6/2/1999	2.37 5		23-VP-001	1	8
29	6/12/1999	3.22 5		23-VP-001	1	8
30	6/14/1999	23.03 5		23-VP-001	1	8
31	6/15/1999	16.42 5		23-VP-001	1	8
32	6/19/1999	5.93 5		23-VP-001	1	8
33	7/19/1999	2.71 5		23-VP-001	1	8
34	4/22/1999	-2.09 5		23-VP-002	2	8
35	5/2/1999	19 5		23-VP-002	2	8

รูปที่ 5.28 แสดงการเก็บข้อมูล Instrument (Vibrating Wire Piezometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 Tunnel

Ring_ID	Ring_No	Ex_Start Date	Time	Face_Pressure	Face_Percent_Percent	Cutter_Torque	Penetration Rate
1	1	12/1/2543	5.37	105		84	24
2	2	12/1/2543	6.59	120		89	24
3	3	13/1/2543	14.51	130		89	30
4	4	13/1/2543	16.25	130		94	33
5	5	13/1/2543	17.35	130		99	33
6	6	13/1/2543	18.42	130		98	31
7	7	13/1/2543	20.15	125		98	32
8	8	13/1/2543	23.12	125		101	29
9	9	14/1/2543	4.28	125		97	34
10	10	14/1/2543	5.37	120		97	34
11	11	14/1/2543	6.57	130		96	30
12	12	14/1/2543	9.58	130		93	26
13	13	14/1/2543	11.30	125		88	28
14	14	14/1/2543	12.42	125		95	28
15	15	14/1/2543	13.55	125		101	29
16	16	14/1/2543	15.04	125		96	29
17	17	14/1/2543	16.33	120		98	31
18	18	14/1/2543	17.38	130		96	31
19	19	14/1/2543	18.39	125		97	29
20	20	14/1/2543	19.58	130		91	25
21	21	14/1/2543	21.43	125		99	29
22	22	14/1/2543	22.53	125		101	29
23	23	15/1/2543	0.07	125		103	28
24	24	15/1/2543	1.38	125		97	20
25	25	15/1/2543	3.15	130		85	27
26	26	15/1/2543	4.59	130		95	27
27	27	15/1/2543	6.09	130		94	28
28	28	15/1/2543	7.27	125		91	25
29	29	15/1/2543	8.53	130		87	29
30	30	15/1/2543	9.59	125		84	26
31	31	15/1/2543	11.10	125		87	28
32	32	15/1/2543	12.31	120		87	28
33	33	15/1/2543	13.53	125		88	30
34	34	15/1/2543	15.00	130		87	29
35	35	15/1/2543	16.25	130		86	31

รูปที่ 5.29 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Face Pressure, Cutter Torque, Penetration Rate)



Microsoft Access - [tunnel : ตาราง]

มุมมอง: ตาราง

Ring_ID	Ring_No	Total Grout Volume	Grouting Filling Percent	Screw Torque	Pitching Angle	Screw Rev Speed	Cutter
1	1			2.84	-0.61		4.9
2	2		345	3.73	-0.55		4.9
3	3		214	3.26	-0.40		4.1
4	4		115	3.47	-0.32		4.8
5	5		123	3.48	-0.30		4.4
6	6		125	3.60	-0.27		4.8
7	7		119	3.70	-0.31		4.9
8	8		130	3.81	-0.36		5.1
9	9		125	3.52	-0.42		4.8
10	10		123	3.68	-0.47		4.9
11	11		125	3.59	-0.51		4.9
12	12		126	3.84	-0.48		4.5
13	13		125	3.56	-0.50		4.3
14	14		123	3.69	-0.52		4.1
15	15		122	3.41	-0.48		4.3
16	16		124	4.30	-0.47		4.3
17	17		122	3.63	-0.45		4.3
18	18		122	4.11	-0.42		4.3
19	19		123	3.99	-0.39		4.2
20	20		119	4.65	-0.41		3.7
21	21		124	4.93	-0.44		3.8
22	22		122	4.81	-0.46		4.0
23	23		123	4.65	-0.56		3.8
24	24		128	4.85	-0.58		2.8
25	25		123	3.51	-0.45		3.3
26	26		123	4.09	-0.40		3.7
27	27		123	4.02	-0.36		3.7
28	28		124	3.94	-0.34		3.5
29	29		118	3.84	-0.33		3.8
30	30		122	4.47	-0.35		3.5
31	31		128	4.56	-0.36		3.5
32	32		128	4.19	-0.38		3.4
33	33		122	4.02	-0.40		3.6
34	34		122	3.67	-0.45		3.5
35	35		122	3.61	-0.45		3.6

สถานะ: 1 จาก 16573

NUM

รูปที่ 5.31 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Percent Grout Filling, Screw Torque, Pitching Angle, Screw Conveyer Speed)

Microsoft Access - [tunnel : ตาราง]

Ring\_ID Ring\_No Cutter\_Head\_Speed Cutter\_Head\_Press Adv\_Speed TunnelDirectID

Ring_ID	Ring_No	Cutter_Head_Speed	Cutter_Head_Press	Adv_Speed	TunnelDirectID
12934	327	2	205	42	13
12935	328	2	218	40	13
12936	329	2	201	42	13
12937	330	1	190	42	13
12938	331	1	187	41	13
12939	332	1	195	41	13
12940	333	1	198	42	13
12941	334	1	221	42	13
12942	335	2	190	36	13
12943	336	2	183	36	13
12944	337	1	190	38	13
12945	338	1	180	36	13
12946	339	2	170	34	13
12947	340	2	183	36	13
12948	341	2	196	36	13
12949	342	2	193	36	13
12950	343	2	183	36	13
12951	344	2		36	13
12952	345	2	190	36	13
12953	346	1	199	41	13
12954	347	1	166	40	13
12955	348	2	177	40	13
12956	349	1	201	44	13
12957	350	1	180	40	13
12958	351	1	189	42	13
12959	352	1	192	42	13
12960	353	1	195	40	13
12961	354	2	170	40	13
12962	355	1	218	36	13
12963	356	1	200	36	13
12964	357	2	190	36	13
12965	358	2	190	34	13
12966	359	2	190	36	13
12967	360	2	190	36	13
12968	361	2	195	24	13

ระยะเริ่ม: 14 : จาก 16573

NUM

รูปที่ 5.32 แสดงการเก็บข้อมูล Tunnel (Cutter Head Speed, Cutter Head Pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# การวิเคราะห์ค่า พารามิเตอร์ ที่มีอิทธิพลต่อ การทรุดตัวของผิวดิน

### 6.1 การวิเคราะห์ค่า พารามิเตอร์ ที่มีอิทธิพลต่อการทรุดตัวของผิวดิน (Analysis of Parameter Influencing Surface Settlement)

พฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของผิวดินมีความสัมพันธ์กับการชูดเจาะอุโมงค์โดยวิธี Earth Pressure Balance Shield (การชูดเจาะอุโมงค์โดยแรงดันดินสัมบูรณ์) ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน สายเฉลิมรัชมงคลพบว่าข้อมูลมากมายที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของผิวดินซึ่งประกอบด้วย Operation Factors, Tunneling geometry and geological condition.

ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ตั้งแต่ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เมื่อบันทึกผ่านการเก็บฐานข้อมูลลงคอมพิวเตอร์ จะนำพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์มาใช้ ดังนั้น ผลกระทบของพารามิเตอร์เหล่านั้นในการทรุดตัวของผิวดินสามารถสำรวจได้ โดยพล็อตแต่ละพารามิเตอร์ กับ ค่าการทรุดตัวที่สำคัญ เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สามารถพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพารามิเตอร์ และ ค่าการทรุดตัวของผิวดิน หรือสิ่งที่มีแนวโน้มจะกระทบเมื่อมีการชูดเจาะ

### 6.2 Face Pressure ( ความดันผิวน้ำของหัวเจาะ )

Earth Pressure Balance Shield (การชูดเจาะอุโมงค์โดยแรงดันดินสัมบูรณ์) คือ ความสัมพันธ์กับการควบคุมปริมาณรวม ของการชูดดินออกทั้งหมดจากผิวน้ำหัวเจาะโดยสายพาน ผลคือ ผิวน้ำหัวเจาะสามารถต้านการชูดดินในผิวน้ำ chamber ที่ควบคุมความดัน ในการปฏิบัติ Face Pressure คือข้อมูลปกติที่ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในระหว่างการชูดเจาะ ดังนั้น Face Pressure ใน Chamber เป็นตัวชี้ขาดในการรักษาเสถียรภาพของการชูดเจาะและการทรุดตัวต่ำสุด Face Pressure สามารถแสดงผลโดยใช้การติดตั้ง Pressure cell ภายใน Earth Chamber

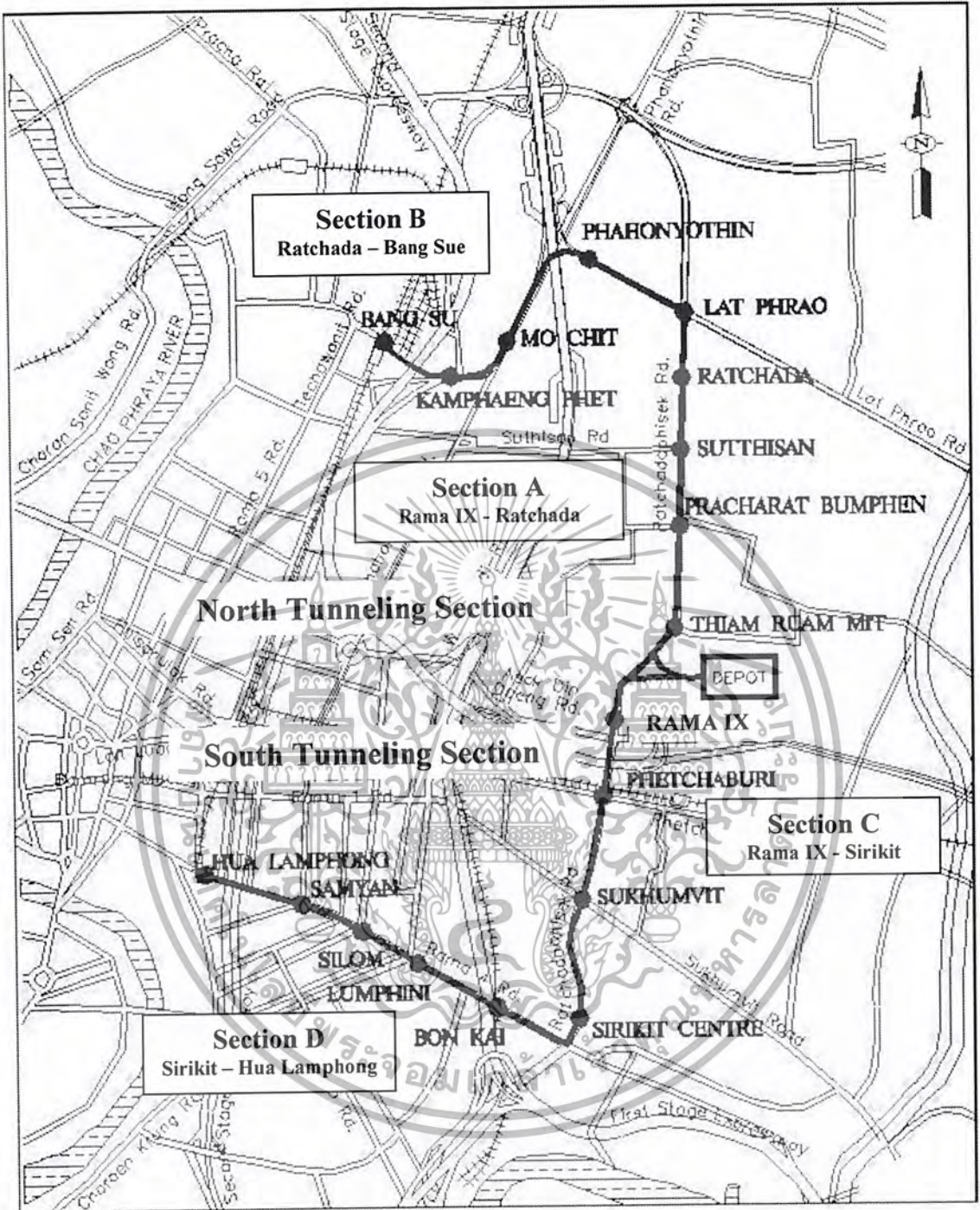
พื้นฐานของความรู้เบื้องต้นของลักษณะของการชูดเจาะอุโมงค์โดยแรงดันดินสัมบูรณ์

Face Pressure คือสิ่งหนึ่งของแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดที่มีผลกระทบโดยตรงในการทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

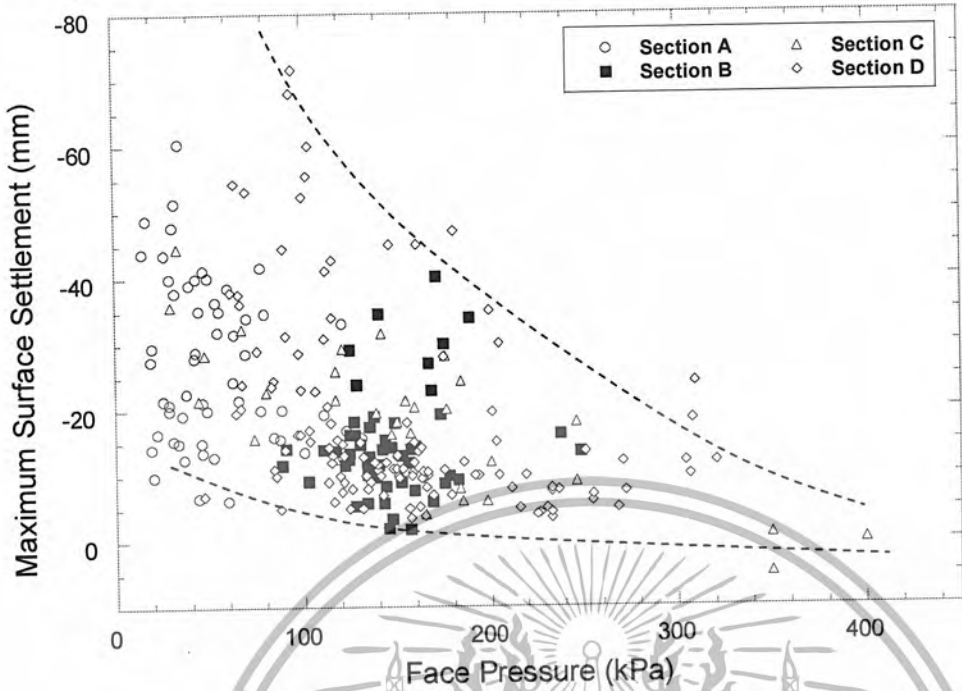
ของผิวดิน อย่างหนึ่งที่จะควรเข้าใจว่าในการใช้ Face Pressure ต่ำ จะเกิด การทรุดตัวมาก แต่ถ้าใช้ Face Pressure สูง ก็จะเกิดการทรุดตัวของผิวดินน้อย ในกรณีที่ใช้ Face Pressure สูงมากๆ ผิวดินจะเกิดการยกตัวขึ้น ในการเปรียบเทียบ ถ้าหัวเจาะได้ให้แรงของ Face Pressure ต่ำมากๆ (น้อยกว่า 60 kPa หรือ Face Pressure ratio น้อยกว่า 4 ตามรูป 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ) จะมีผลต่อเนื่องถึงความแตกต่างในการคาดเดาเมื่อข้อมูลมีกำลังหรือความแข็งแรงที่กระจาย นี่คือความเป็นไปได้ของพฤติกรรมที่ซับซ้อนของ Ground Shield ที่กระทำในการรวมกันของสิ่งเหล่านี้ของแฟคเตอร์หลายๆตัวที่มีผลต่อการทรุดตัวของผิวดินที่เวลาเดียวกัน ในรูป 6.4 คือการพล็อตของ Face Pressure กับ Maximum Settlement โดยแบ่งออกตามสภาพทางธรณีวิทยา พบว่า ตามสภาพทางธรณีวิทยา เมื่อ Face Pressure มากสุด การทรุดตัวน้อยสุด ดังนั้น ไม่มีแนวโน้มที่จะพบทั้ง Face Pressure และ Surface Settlement เมื่อขุดเจาะอุโมงค์ผ่านชั้นทราย



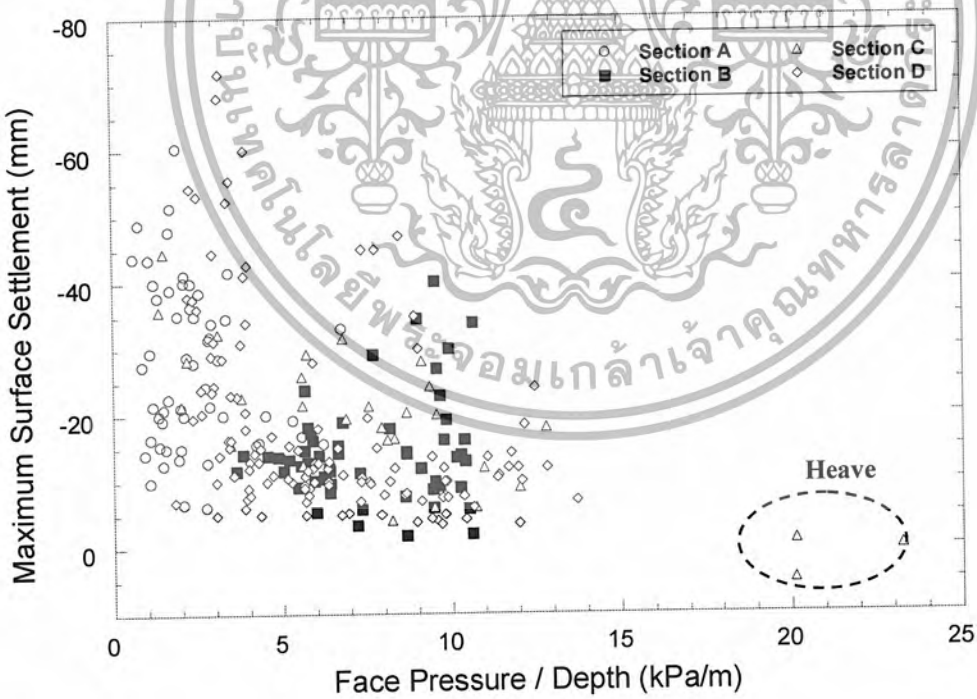


รูป 6.1 เส้นทางโครงการรถไฟใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

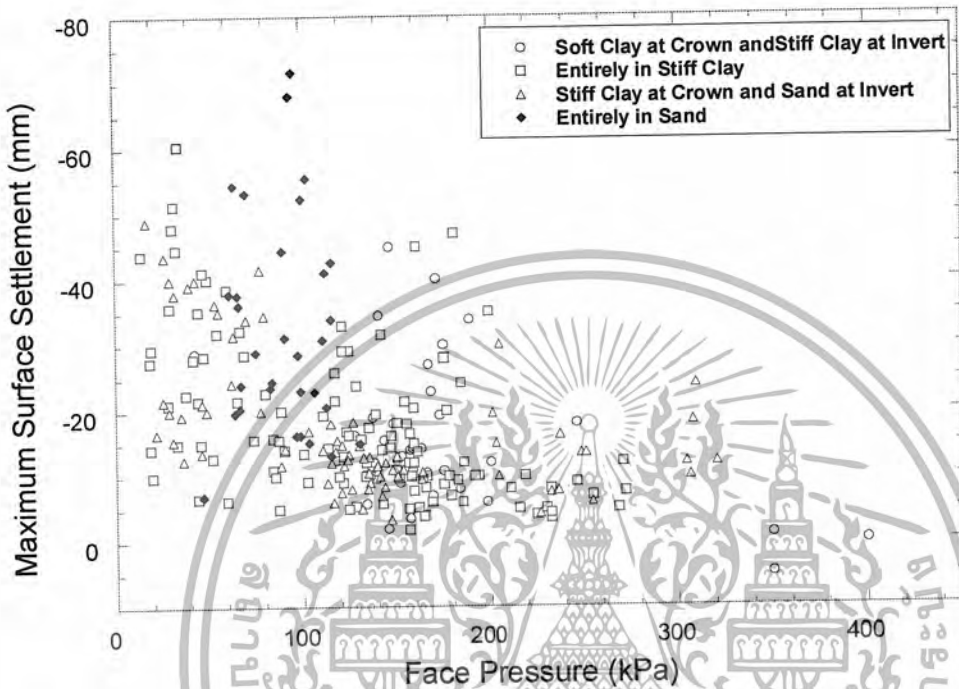


รูป 6.2 Face Pressure versus the maximum surface settlement after shield passing

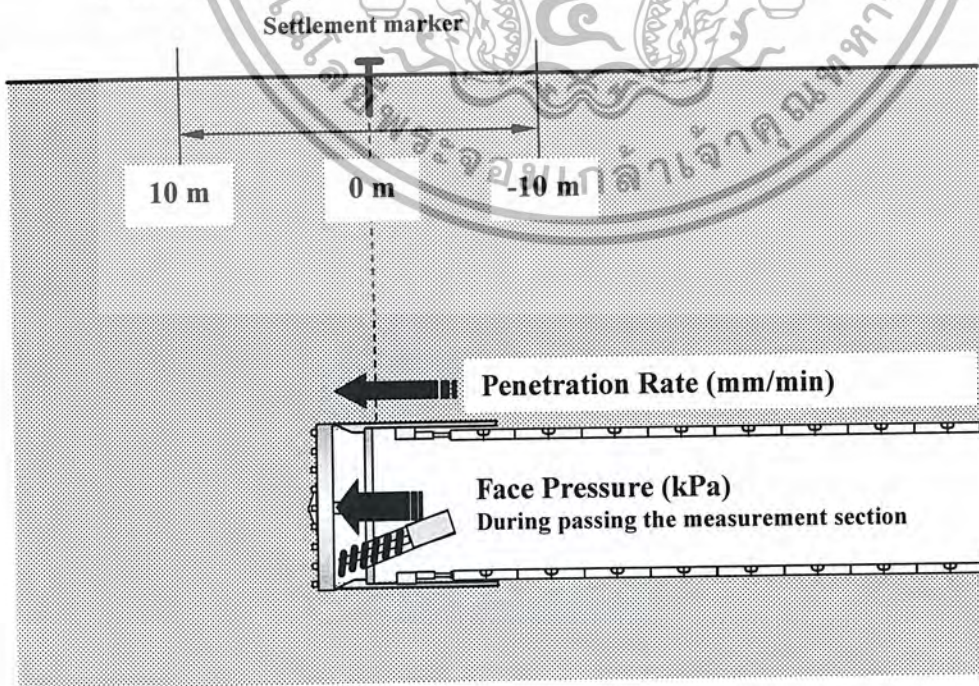


รูป 6.3 Face Pressure ratio versus the maximum surface settlement after shield passing

แต่กระนั้น ก็ยังไม่มีผลอย่างเด่นชัดถึง Face Pressure ที่มีผลต่อความสำคัญ  
 ของ Surface Settlement คือว่า Face Pressure ที่อ้างอิงในส่วนนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการเก็บบันทึกใน  
 ระหว่างตัวชุดเจาะผ่าน (10 ม. ก่อนที่หัวเจาะมาถึง และ 10 ม. หลังจากมีหัวเจาะผ่าน) ตามรูป 6.5



รูป 6.4 Face Pressure classified by geological conditions versus the maximum surface settlement after shield passing



รูป 6.5 Average face pressure and average penetration rate

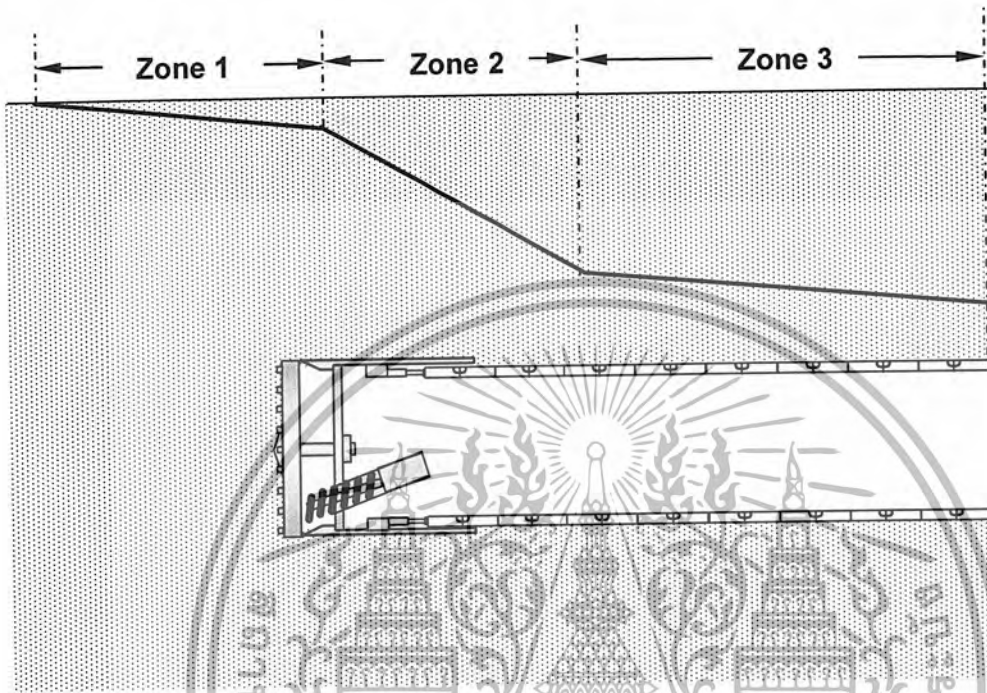
นอกจากนี้ ถ้าดูรายละเอียดที่แต่ละ section จะพบว่าข้อมูลที่บรรจุอยู่ภายในส่วนของ ข้อมูลจำนวนมากเป็นไปตามแนวโน้ม (Face Pressure สูง และ Surface Settlement ต่ำ) ยกเว้นข้อมูลที่ จัดเก็บใน section B ในส่วนที่ Surface Settlement เกิดสูงถึงแม้ว่าจะให้ Face Pressure สูงก็ตาม เป็นไป ได้ที่จะอธิบายว่าแตกต่างจาก tunnel section อื่นๆ ผู้รับเหมาของ section B ใช้วิธีขนส่งโดยท่อ แทนการ ใช้สายพาน ดังนั้น หัวเจาะจึงมี penetration rate ต่ำ ดังนั้น Penetration rate อาจจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อ Surface Settlement เท่ากับ Face Pressure

Surface settlement ที่เกิดขึ้นการขุดเจาะอุโมงค์โดยแรงดันดินสมบูรณ์ สามารถแยกได้ 3 zone คือ zone 1 , zone 2, zone3 ดังรูป 6.6 zone แรกเกิดขึ้นที่ประมาณ 30 เมตรเหนือหัวเจาะ ที่ซึ่งผิวดินเริ่มมีการเปลี่ยนรูป surface settlement จะเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อหัวเจาะใกล้เข้าไปในส่วนของ เครื่องมือวัด ซึ่งประมาณ 10 เมตรด้านหน้าของหัวเจาะ surface settlement จึงกลายมามีความสำคัญ และเกิดเร็วขึ้นเหนือหัวเจาะ ในส่วนนี้ของ surface settlement ไม่มีการโค้งงอซึ่งแบ่งออกเป็น Zone 1 และ Zone 2 มันทำให้พบว่าความสำคัญของ surface settlement เกิดขึ้นใน Zone 1 ปรากฏเกี่ยวข้องกับ Face pressure เมื่อให้แรง ในการสำรวจผลกระทบของ Face pressure ในการทรุดตัวที่ Zone1 Face pressure ที่พล็อตตรงข้ามกับ surface settlement ที่สิ้นสุดใน Zone 1 (ที่จุดโค้งตัวใน ระหว่างZone 1 และ Zone 2) แสดงในรูป 6.7 แม้กระนั้น ความสัมพันธ์ที่กระจ่างก็ยังไม่ชัดเจน แต่สามารถชี้แนะได้ว่า surface settlement ปรากฏขึ้นใน Zone 1 มีความสัมพันธ์กับ Face pressure

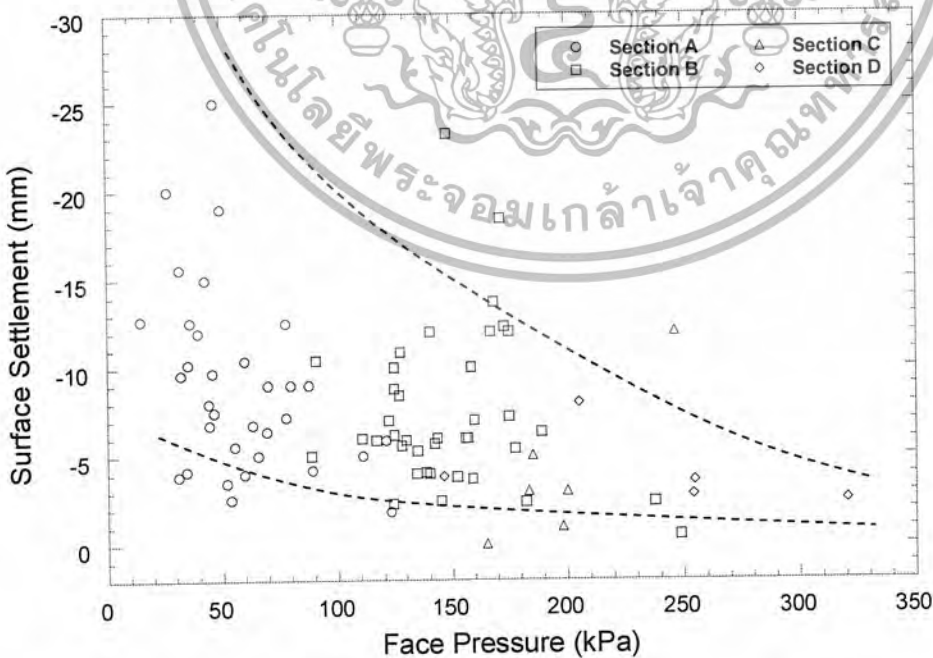
ที่ Face pressure สูง surface settlement ใน Zone 1 จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ในอีกกรณี หนึ่ง ถ้าให้ Face pressure ระดับที่ต่ำ จะเกิด surface settlement มาก แนวโน้มที่คล้ายกันนี้พบที่รูป 6.8 ในที่ที่ความลึกของอุโมงค์ทำให้ Face pressure เป็นปกติ

surface settlement ใน Zone 2 พบว่า มีสัดส่วนที่มากที่สุดของการทรุดตัวทั้งหมดซึ่ง เกิดขึ้น โดยการขุดเจาะอุโมงค์โดยแรงดันดินสมบูรณ์ในการทำ Centrifuge test ผลการปฏิบัติโดย Kimura และ Mair ในปี 1981 และ Namoto ปี 1999 พื้นที่ใน zone ที่สูญเสียดิน จะขยายพื้นที่มาก บนตัว ของหัวเจาะ ดังนั้น การให้แรงเพิ่มบนผิวของหัวเจาะอาจเป็นอิทธิพลทำให้เกิดการทรุดตัวบนผิวของหัว เจาะได้ (zone 2) เพื่อที่จะทำความเข้าใจกับข้อสันนิษฐานนี้ Face pressure และ อัตราของ Face pressure จึงถูกพล็อตลงไปในกราฟ เพื่อเปรียบเทียบ surface settlement ที่เกิดขึ้นบนหัวเจาะ ใน zone ที่ 2 ทั้งหมดนี้ถูกแสดงในรูป 6.9 และ 6.10 ตามลำดับ

ตามรูป Face pressure จะปรากฏขึ้นเมื่อมีอิทธิพลจาก surface settlement ภายใน zone ที่ 2 Face pressure ที่ลดลงเกิดขึ้นจาก surface settlement มากขึ้นและเกิดขึ้นตรงข้ามกัน การบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่เกิดตามแนวโน้มนี้นี้ยกเว้นข้อมูลที่อยู่ใน Section B

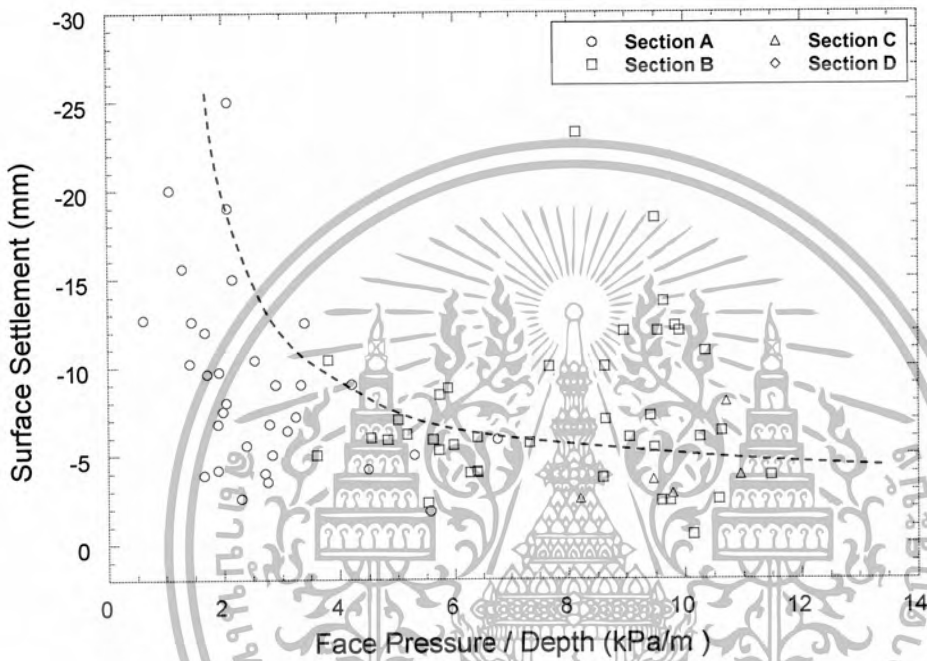


รูป 6.6 Schematic diagram of a typical longitudinal surface settlement profile

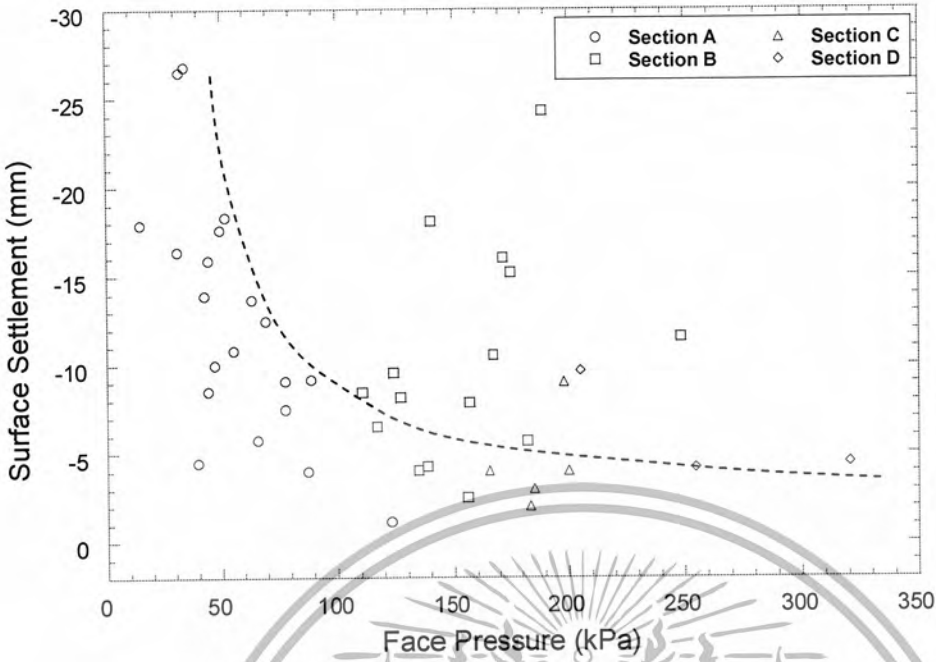


รูป 6.7 Face Pressure versus surface settlement measured at the end of Zone 1

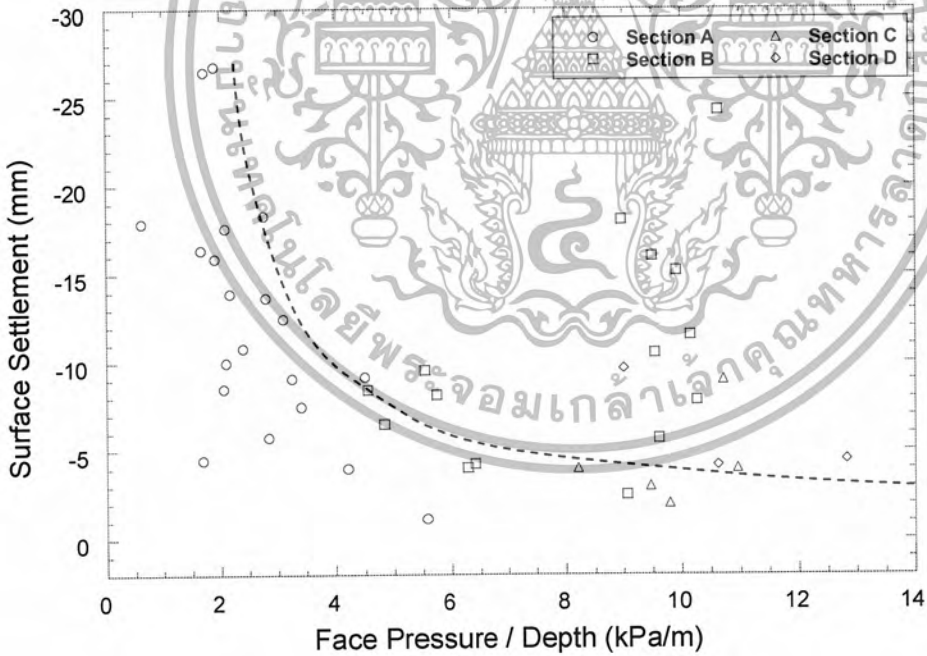
หลังจากที่ส่วนหางของตัวขุดเจาะผ่านเครื่องมือวัด (ประมาณ 15 ม. จากผิวหน้าหัวเจาะ) การทรุดตัวจะเริ่มเกิดขึ้นช้าลง นี่เป็นการเริ่มต้นของ Zone 3 Surface settlement ใน Zone สุดท้ายนี้จะหยุดที่ประมาณ 30ม. หลังจากหัวเจาะผ่าน Face pressure ไม่มีอิทธิพลในการทรุดตัวของ Zone สุดท้าย ดังรูป 6.11 และ 6.12 จากรูป การทรุดตัวภายใน Zone 3 จะตกลงที่ค่าประมาณ 1 – 7 มม. ซึ่งเป็นไปอย่างอิสระจากการให้ Face pressure ระหว่างที่หัวเจาะผ่านเครื่องมือวัด.



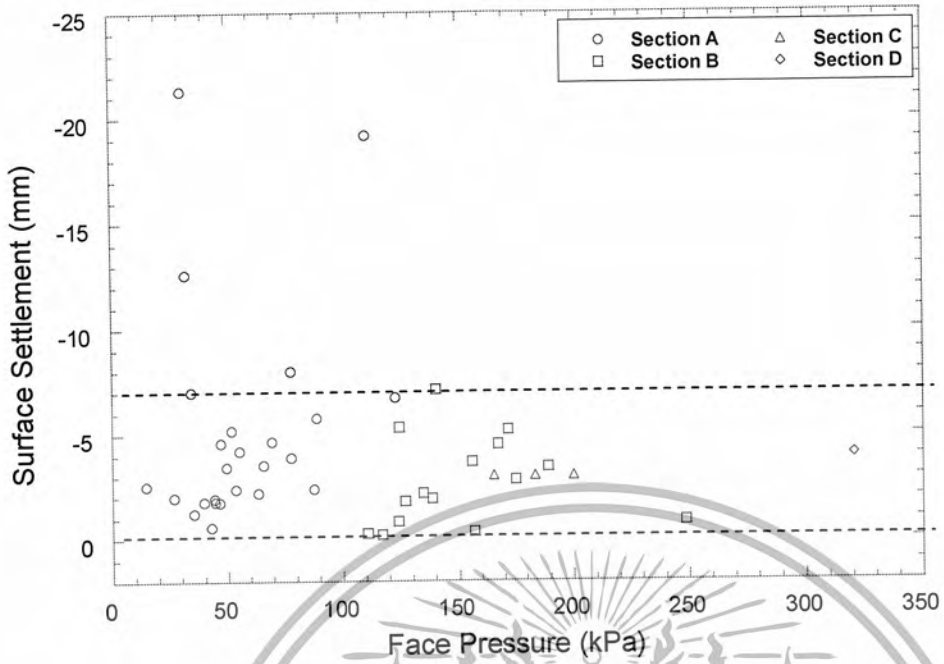
รูป 6.8 Face Pressure ratio versus surface settlement measured at the end of Zone 1



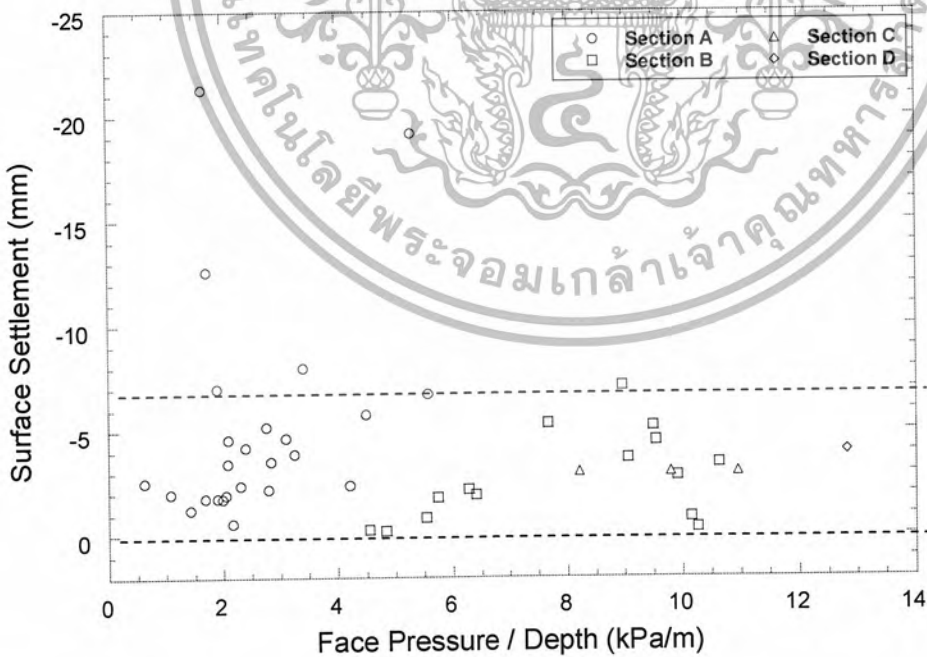
รูป 6.9 Face Pressure versus surface settlement developing in Zone 2



รูป 6.10 Face Pressure ratio versus surface settlement developing in Zone 2



รูป 6.11 Face Pressure versus surface settlement developing in Zone 3

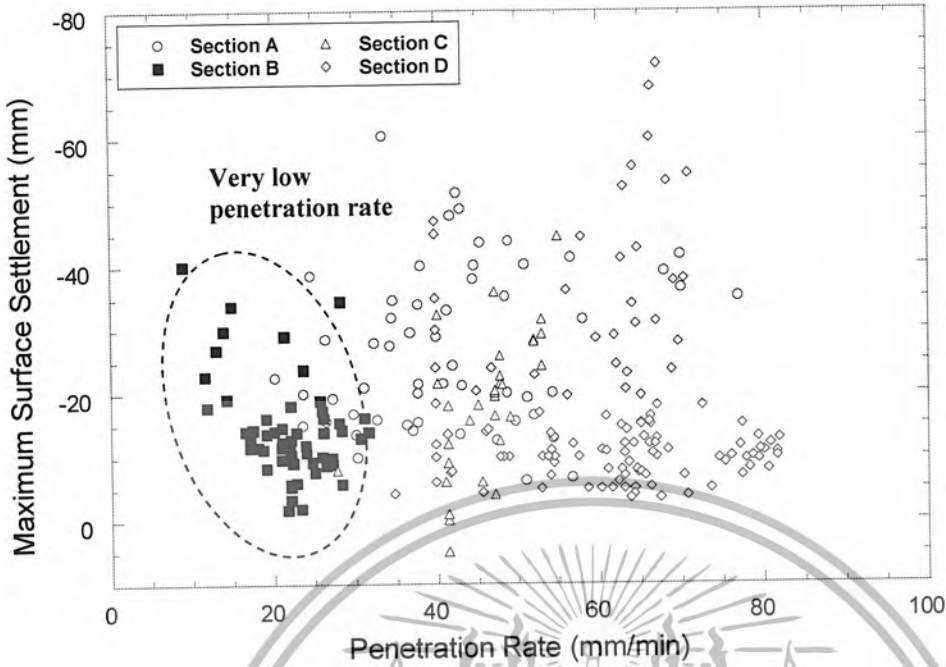


รูป 6.12 Face Pressure ratio versus surface settlement developing in Zone 3

### 6.3 Penetration Rate

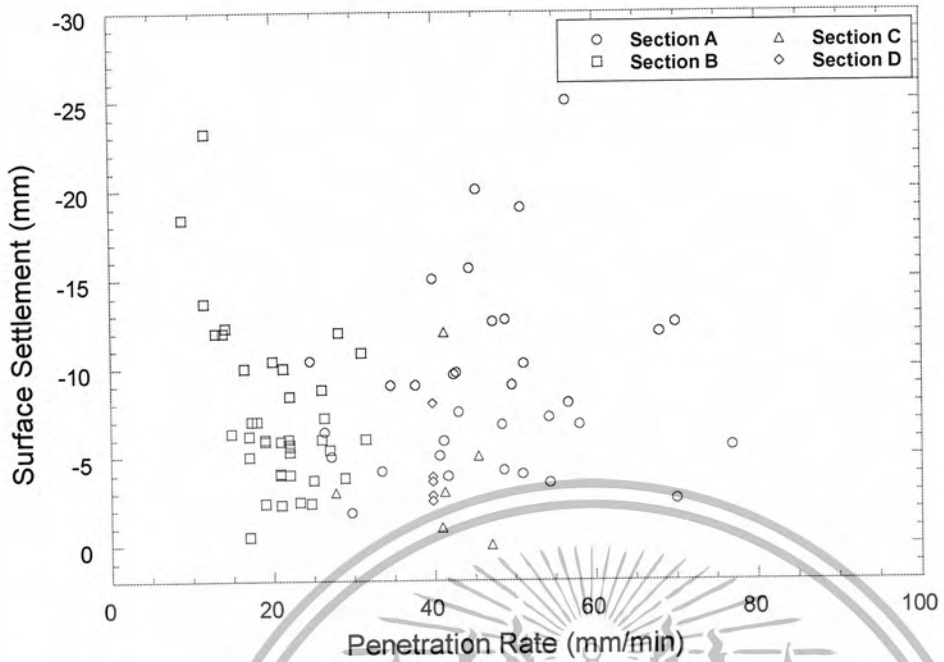
ถ้ากล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้นี้ ได้กล่าวว่า Penetration Rate ที่ปรากฏมีอิทธิพลต่อ surface settlement , Penetration Rate จะใช้วัดความเร็วของหัวเจาะต่อการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า (มม./นาทึ) และวัดในทุกๆวงรอบของการขุดเจาะ ในทางปฏิบัติ เพื่อที่จะทำให้เกิดการสมดุลของแรงดันของหัวเจาะ หัวเจาะจะต้องควบคุมอัตราของการสูญเสียแรงดึงให้เท่ากับ Penetration Rate ถ้าอัตราของแรงดึงสูงกว่าค่า Penetration Rate จะหมายความว่า การขุดเจาะเอาดินออกมีปริมาณมากกว่าที่ตัวขุดเจาะเข้าไปแทนที่ ผลคือ ปริมาตรของดินที่ขุดออกไม่สมดุลกับปริมาตรของดินที่เข้าไปในหัวเจาะ ดังนั้นการสูญเสียพื้นดินเป็นจำนวนมากอาจจะเกิดขึ้น นอกเหนือจากนี้ ถ้าอัตราการนำดินออก (Extraction Rate) มีน้อยเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับ Penetration Rate นั้นหมายความว่า ปริมาณการขุดเจาะมีน้อยกว่าปริมาณการแทนที่จากตัวขุดเจาะ ผลลัพธ์ดังกล่าวอาจทำให้หัวเจาะเกิด Face pressure สูงขึ้น

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อ Penetration Rate คือ ความจุหรือความเร็วของระบบการเคลื่อนย้ายดิน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราแรงดันของหัวเจาะเพิ่มขึ้นอัตราการเคลื่อนตัวของดินก็จะเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะรักษา Face pressure ซึ่งตามข้อมูลของ โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล Penetration Rate มีค่าประมาณ 40-70 มม./นาทึ ตามรูป 6.13 มีเพียงหัวเจาะของ Kawasaki ที่ให้ใน section B ที่เกิด Penetration Rate ต่ำมาก (10 – 30 มม./นาทึ) ตั้งแต่ผู้รับเหมาของ section B ได้ใช้เทคนิค Pumping Pipe Transportation ในการเคลื่อนย้ายดินจาก Chamber แทนการรวมกันของ Screw conveyor และ การใช้สายพานลำเลียง แม้ว่าการลำเลียงโดยท่อมีข้อดีแต่มันก็สามารถก่อให้เกิดปัญหาได้ หนึ่งในปัญหาเหล่านั้น การลำเลียงโดยท่อทำให้ดินมีการเคลื่อนตัวมากและช้ามากกว่าการใช้ Screw conveyor และ การใช้สายพานลำเลียง ดังนั้น เมื่อหัวเจาะมี Penetration Rate ที่ต่ำมากจะต้องปรับอัตราการเคลื่อนย้ายดินให้ต่ำเช่นกันเพื่อรักษา Face pressure ในการสังเกตที่ โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล พบว่า Penetration Rate ต่ำ เป็นสาเหตุของ Surface settlement ต่ำ แม้ว่าหัวเจาะ EPB จะทำการเจาะ โดยมี Face pressure สูงก็ตาม

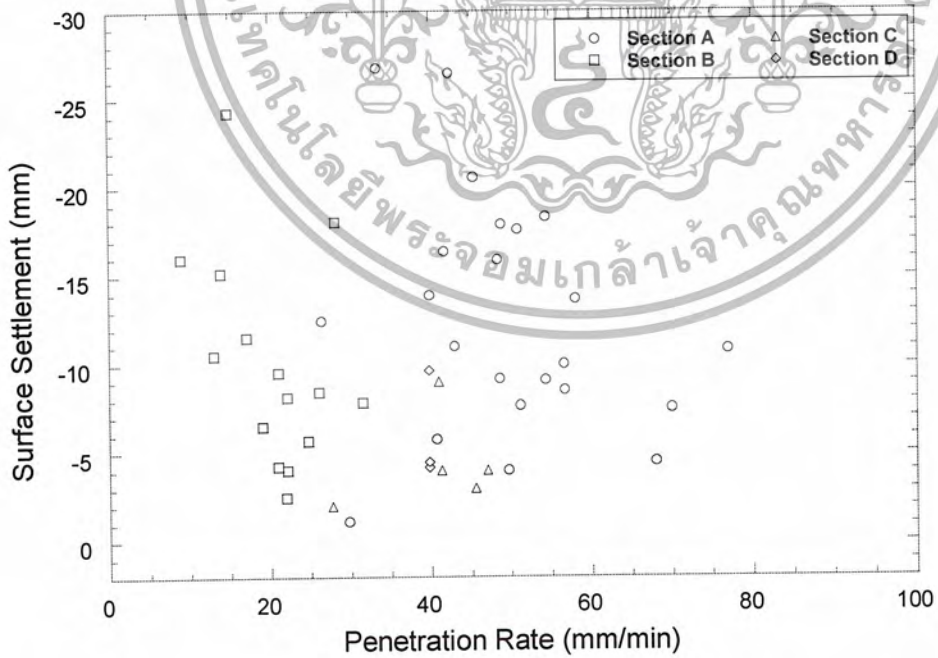


รูป 6.13 Penetration rate versus surface settlement

Penetration Rate ที่ต่ำจะถูกพบร่วมกับการวัดค่า Surface settlement ที่มีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน section B อย่างไรก็ตามสามารถดูได้ตามรูป 6.13 มันยังคงเป็นการยากที่จะทำให้เกิดความกระจ่างระหว่าง Penetration Rate กับ Surface settlement นอกจากนี้ยังไม่มี ความกระจ่างของการค้นพบระหว่าง Penetration Rate กับ Surface settlement ใน Zone 1 และ Zone 2 ซึ่งแสดงในรูป 6.14 และ 6.15 ตามลำดับ



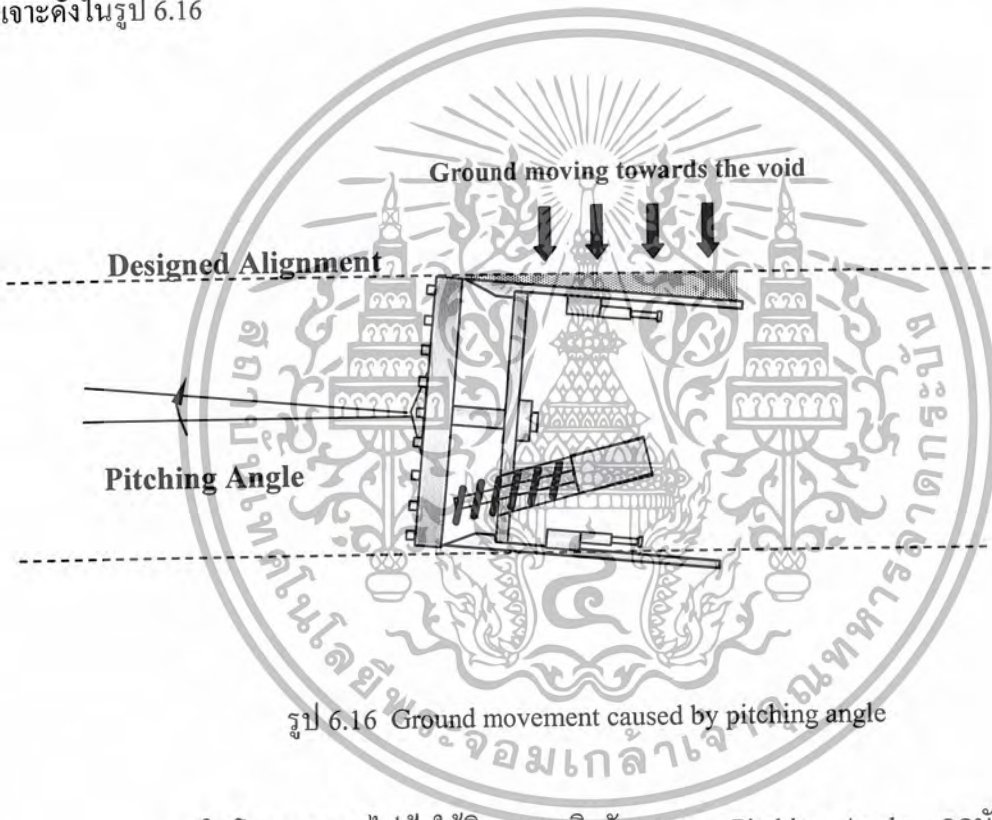
รูป 6.14 Penetration rate versus surface settlement measured at the end of Zone 1



รูป 6.15 Penetration rate versus surface settlement developing within Zone 2

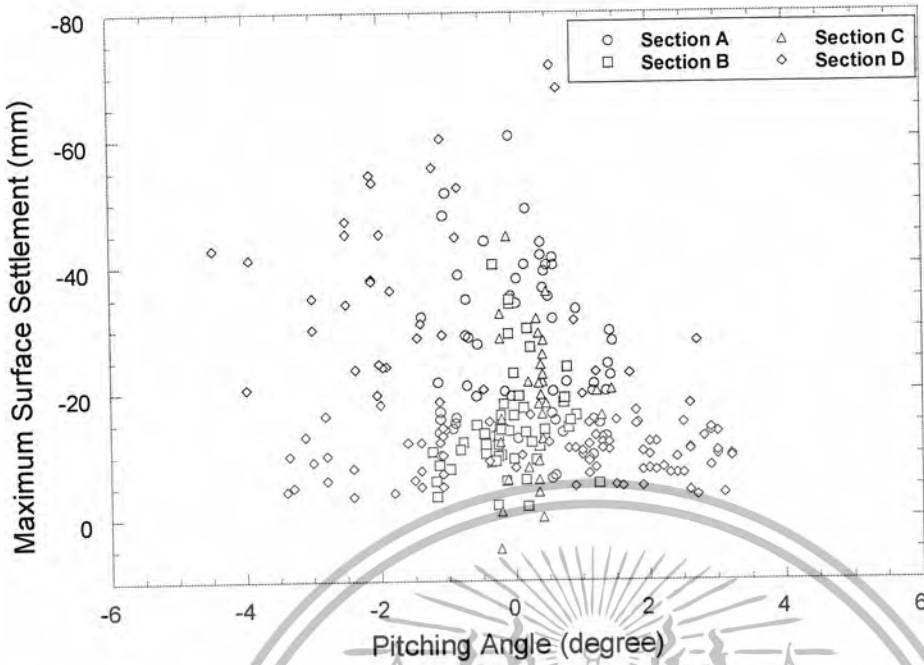
## 6.4 Pitching Angle

ตำแหน่งของหัวเจาะแทนที่โดย Pitching Angle ที่ซึ่งจะแสดงตำแหน่งที่แท้จริงของหัวเจาะระหว่างการขุดเจาะ ในทางทฤษฎีเป็นไปได้ว่าการขุดเจาะจะต้องรักษา Pitching Angle ให้มากเท่าที่เป็นไปได้ภายใต้การออกแบบทั้งแนวตั้งและแนวนอน อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ไม่สามารถคงตำแหน่งถูกต้องได้เสมอ เมื่อหัวเจาะถูกปัดลงไปจะทำให้การทรุดตัวของผิวดินหรือแรงยกของดินอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังที่ถูกรพบในโครงการรถไฟใต้ดินเมืองฟูกูโอกะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ Pitching Angle ที่มาก อาจจะทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ สาเหตุนี้พื้นดินบริเวณรอบๆ เคลื่อนตัวไปข้างหน้าหัวเจาะดังในรูป 6.16



รูป 6.16 Ground movement caused by pitching angle

ในโครงการรถไฟใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล Pitching Angle ถูกบันทึกไว้ทุกๆ ในวงรอบการขุดเจาะ ดังแสดงในรูป 6.17 ค่าเฉลี่ยของ Pitching Angle เมื่อหัวเจาะผ่านตัววัดการเคลื่อนตัว ถูกพล็อตเพื่อเปรียบเทียบกับค่า Surface settlement อย่างไรก็ตาม ไม่มีความชัดเจนต่อความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแม้ว่า Pitching Angle ตามทฤษฎีจะมีอิทธิพลต่อ Surface settlement



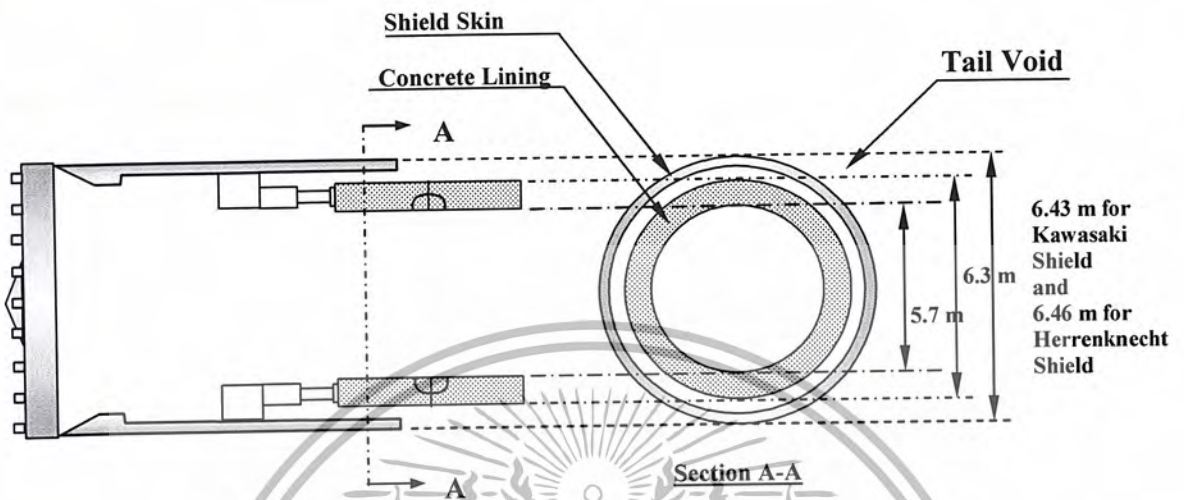
รูป 6.17 Pitching Angle versus the maximum surface settlement

### 6.5 Grouting Quality

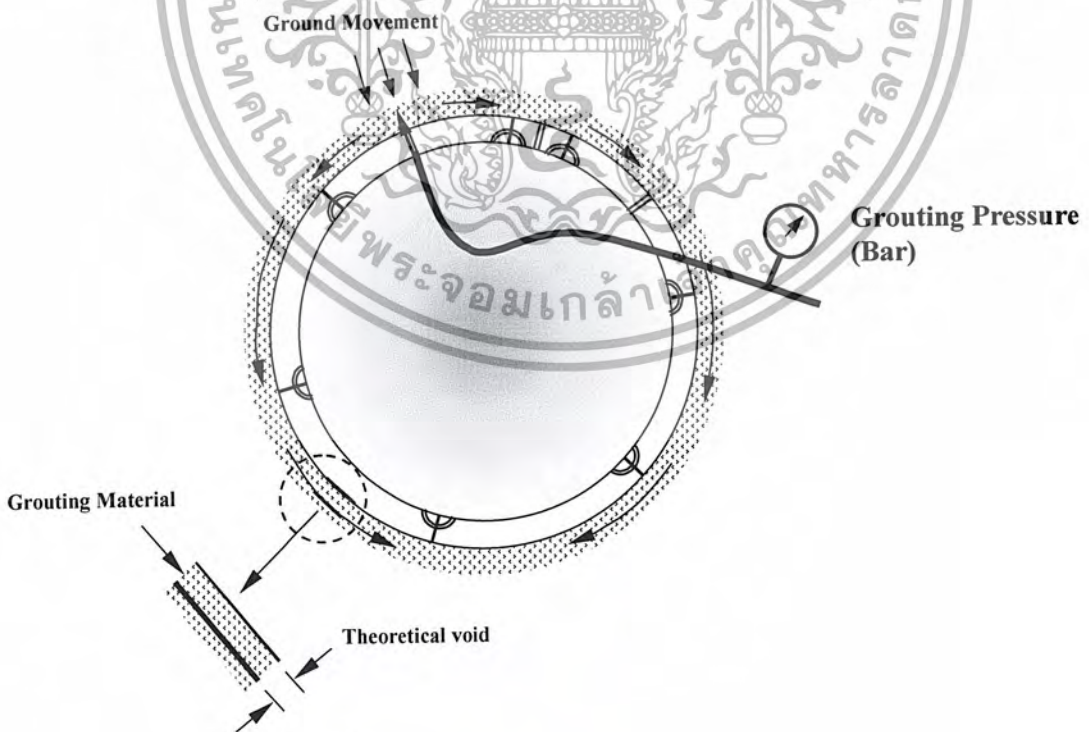
Grouting Quality มีความผันผวนไปตามการขยายของพื้นผิวเมื่อเกิดการทรุดตัวเมื่อหัวเจาะทำให้เกิดเคลื่อนตัวโดย Jack ไปข้างหน้า ส่วนท้ายของช่องว่าง (tail void) รอบๆ ด้านนอกของผิวคอนกรีตจะเกิดขึ้น ดังรูป 6.18 tail void Grouting เป็นส่วนที่สำคัญเนื่องจากใช้ป้องกันการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของช่องว่างพื้นผิว ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป Penetration Rate ควรจะมีค่าสูงมากพอเพื่อที่จะรองรับการไหลของคอนกรีตที่ใช้และเพื่อที่จะต้านการเคลื่อนตัวของช่องว่างพื้นผิว ตามรูป 6.19 ในภาวะอื่น เพื่อที่จะตรวจสอบการทำงานของ Grouting จะทำโดยเปอร์เซ็นต์การใช้คอนกรีต Grout (Grout filling) เพื่อที่จะคงระดับเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าค่าช่องว่างตามทฤษฎี ดังรูป 6.19 การขุดเจาะอุโมงค์ด้วย Grouting Pressure ที่สูง และ Percent Grout filling ที่สูง สามารถเกิดการทรุดตัวที่ลดลงหลังจากที่หัวเจาะผ่าน โดยส่วนมากการควบคุม Grouting เป็นไปอย่างอัตโนมัติในส่วนของ Grouting Pressure และ Percent Grout filling ซึ่งในทั้งสองส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กันระหว่างการขุดเจาะ ดังรูป 6.20 แม้ว่า Grouting Pressure จะมีความคงที่แต่ Surface settlement ก็ยังถูกพบอยู่บ่อยๆ ดังนั้นความสัมพันธ์ที่กระฉ่างไม่สามารถจะยอมรับได้จากการพล็อตกราฟ นี้อาจเป็นเหตุผลตามความเป็นจริงที่ว่า Surface settlement จะมีค่าไปตามอิทธิพลตาม พารามิเตอร์อื่นๆ ร่วมด้วย ในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

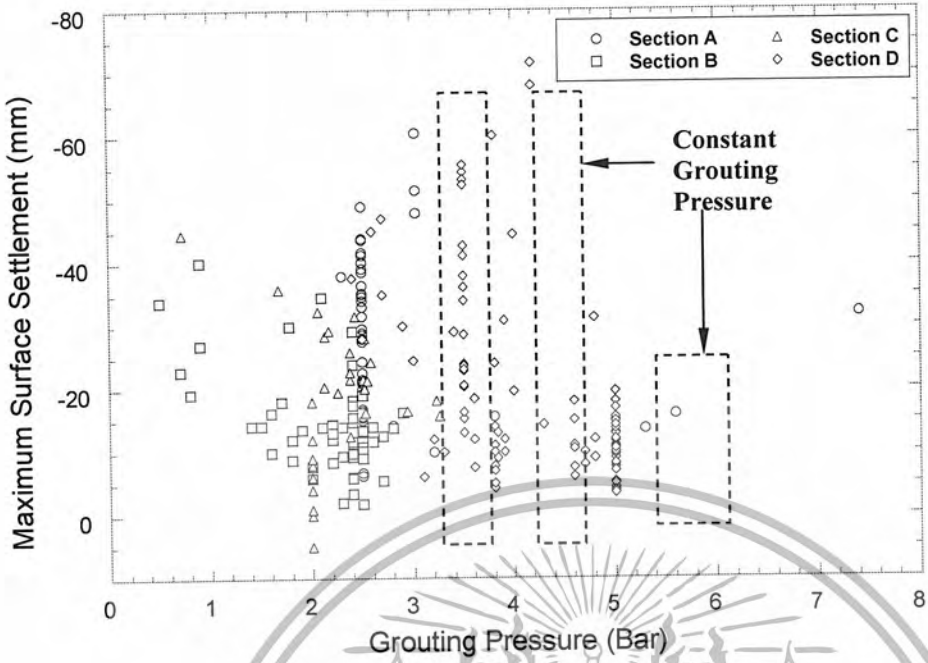
แม้ว่า Percent Grout filling จะคงที่ ตามรูป 6.21 จะพบว่า Surface settlement ยังคงมีความแตกต่างกันออกไป



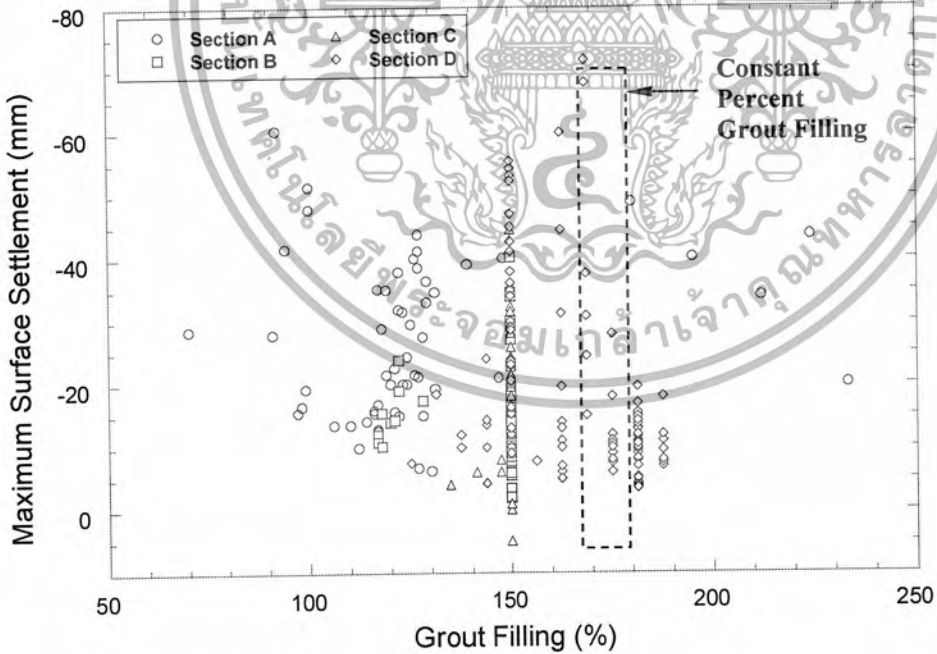
รูป 6.18 Schematic diagram showing a tail void between tunnel lining and the liner



รูป 6.19 Grouting pressure and grout filling

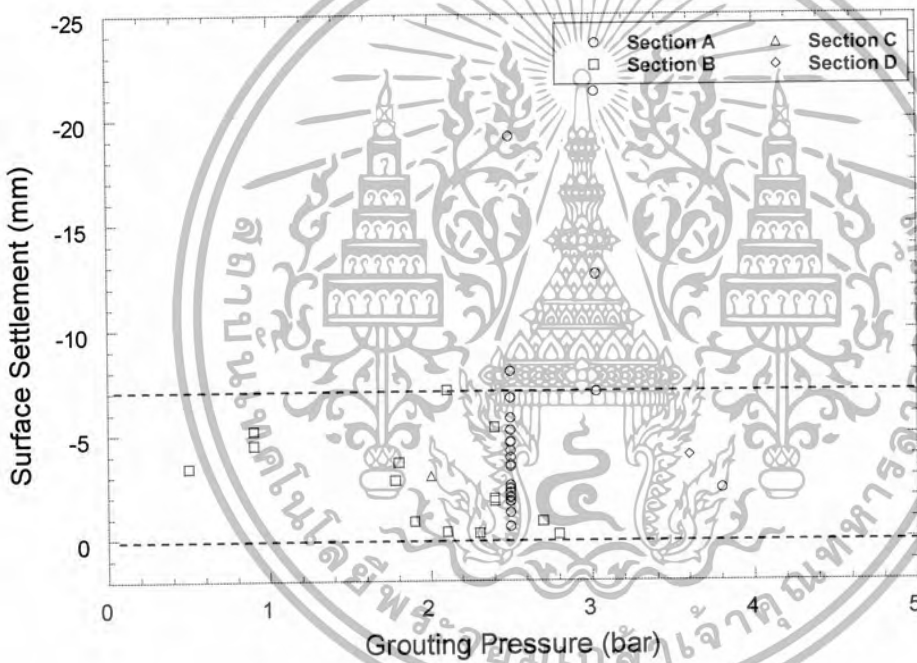


รูป 6.20 Grouting pressure versus the maximum surface settlement after shield passing

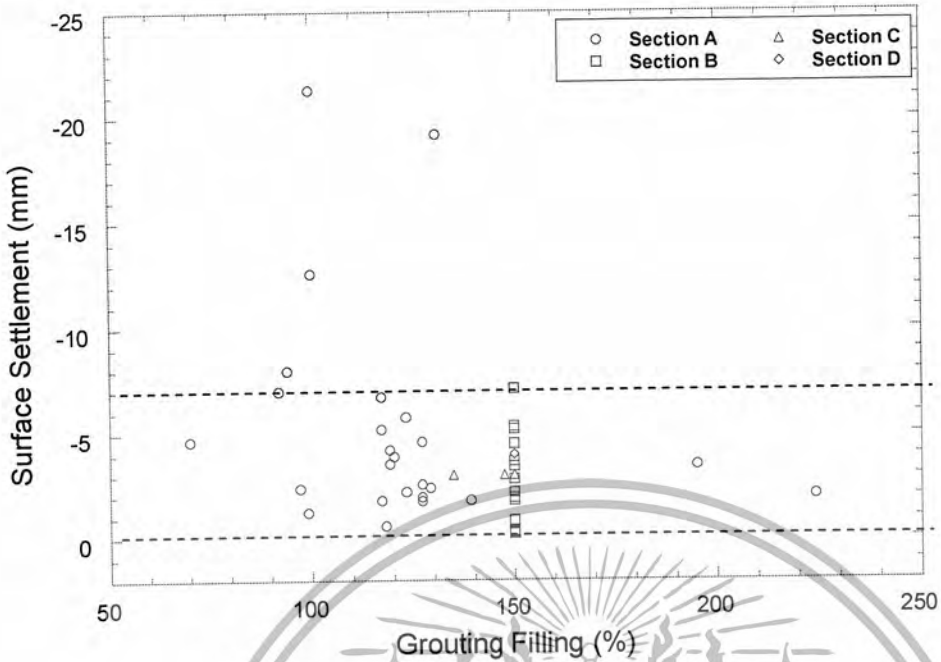


รูป 6.21 Grout filling (%) versus the maximum surface settlement after shield passing

อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบทั้งหมดระหว่าง Surface settlement และ Grouting Quality อาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจาก Grouting Quality จะส่งผลกระทบเฉพาะการทรุดตัวภายหลังส่วนปลายของหัวเจาะเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความหมายเพิ่มมากขึ้น จึงวัดค่า Surface settlement ใน Zone 3 แล้วพล็อตลงในกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับค่า Grouting Pressure และ Percent Grout filling ตามรูป 6.22 และ 6.23 ตามลำดับ จากรูป การทรุดตัวทั้งหมดใน Zone 3 จะน้อยกว่า 7 มม. ในทุก Section การสำรวจนี้ไม่ได้ถูกพบในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล แต่ถูกพบในกรณีของโครงการ WMATA และโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินเมืองฟูกูโอกะ ที่ซึ่งการทรุดตัวเป็นผลมาจากความใกล้ชิดกันของช่องว่างส่วนปลาย โดยจะลดลงโดย Grouting ในกรณีอื่นก็ไม่พบความสัมพันธ์ที่กระฉ่างชัดระหว่าง Grouting Pressure และ Percent Grout filling ต่อการทรุดตัวของดินใน Zone 3



รูป 6.22 Grouting pressure versus surface settlement developing in Zone 3

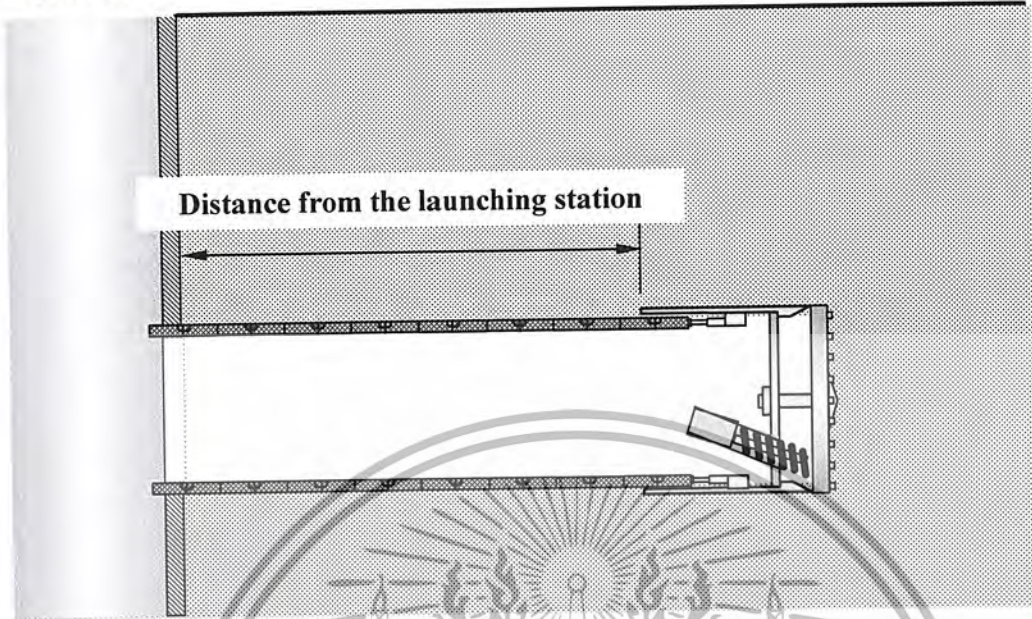


รูป 6.23 Grout filling (%) versus surface settlement developing in Zone 3

## 6.6 Distance from Launching Station

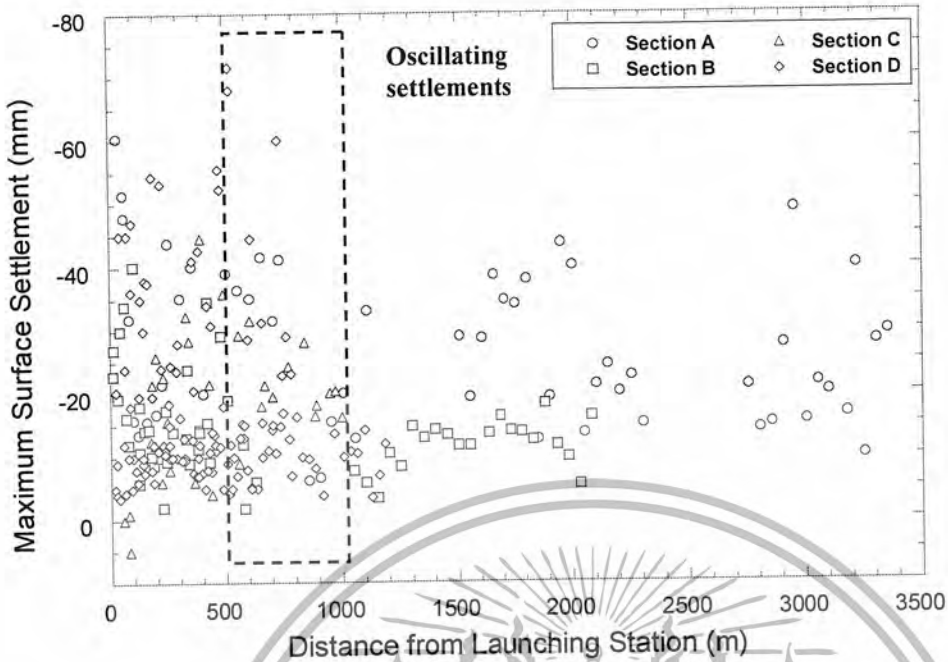
ระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มของหัวเจาะมีผลกระทบต่อ Surface settlement ผลจากการวัดถูกแสดงให้เห็นถึงการรวมกันถึงผลกระทบต่างๆ ไป รวมถึงไปถึงทักษะการเรียนรู้ของบุคคลที่ทำการเจาะ อุโมงค์และการทำงานของหัวเจาะ ในส่วนเริ่มต้นของการขับเคลื่อน คนที่ทำการขุดเจาะบ่อยครั้งจะตัดสินใจโดยการคาดเดาและความผิดพลาดในระดับที่เหมาะสมของความดันสมดุล นั้นเป็นสาเหตุของการทรุดตัวที่เล็กน้อยที่สุดจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Face pressure , Penetration Rate และพารามิเตอร์อื่นๆ เมื่อเพิ่มขึ้น ผู้ทำการก่อสร้างอาจจะไม่สามารถทำการปฏิบัติงานได้ (เช่น การสำรวจ, การติดตั้งแนว, และการปฏิบัติงานอื่นๆ) ผลกระทบเกิดขึ้นเนื่องจากการไม่มีประสบการณ์ในการเริ่มต้น ทุกๆสิ่งนี้เกิดบ่อยๆเป็นเหตุให้เกิดการทรุดตัวที่มากหรือการรอกตัวของผิวดินอย่างใดอย่างหนึ่ง

## Launching Station



รูป 6.24 Geometry parameter : distance from launching station

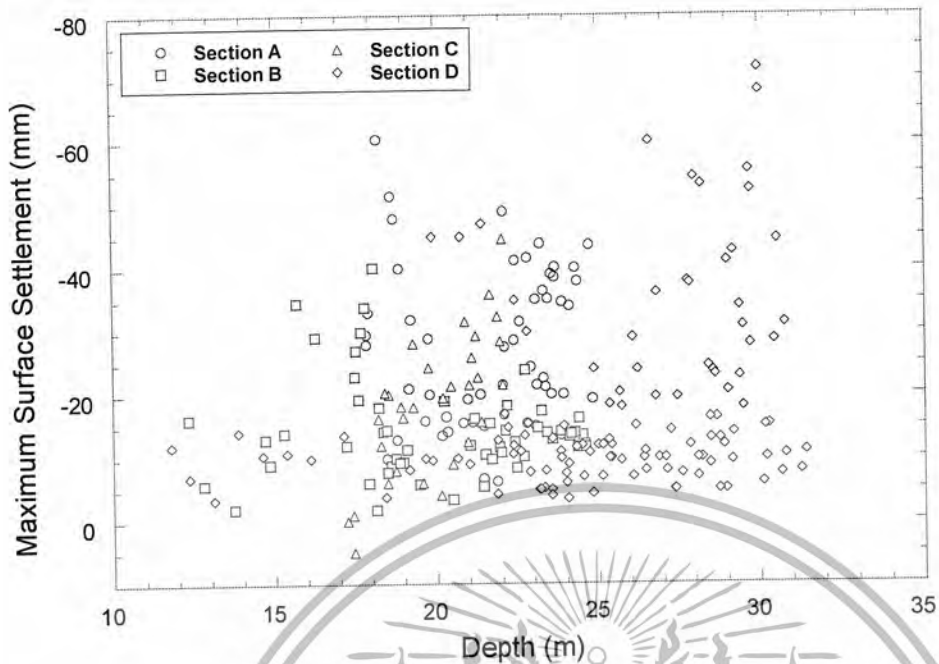
หลังจากความสัมพันธ์ของหัวเจาะได้รับผลของการปฏิบัติ(หลังจากหัวเจาะขับเคลื่อน สำหรับระยะทางจากตำแหน่งเริ่ม) และผู้ปฏิบัติการได้มีการปรับปรุงการทำงาน การทรุดตัวน้อยมากคือ สิ่งปกติที่สังเกตได้ การทำความคุ้นเคยของผู้ทำงานในอุโมงค์กับการทำงานของหัวเจาะและกับระบบ เป็นข้ออ้างอิงทั่วไปในส่วนของการศึกษา ความสามารถการสำรวจมีผลกระทบต่อการศึกษาของ Surface settlement, ระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้นได้พล็อตในทางตรงข้ามกับ Surface settlement ดังรูป 6.25 จากรูป การทรุดตัวที่มากหรือมีการเปลี่ยนแปลงมากวัดได้ในระยะที่ใกล้ๆกับจุดเริ่มทำการขุดเจาะ อุโมงค์ Surface settlement ที่มากมีแนวโน้มจะปรากฏในช่วงเริ่มทำการขับเคลื่อน นอกจากนี้ การถล่ม ที่เกิดขึ้นบ่อยๆพบในช่วงเริ่มต้นของการขุดเจาะ แม้กระนั้น Surface settlement ไม่สามารถคาดเดา ในช่วงเริ่มของการขับเคลื่อนได้ดีกว่าเมื่อหลังจากการขุดเจาะเสร็จสมบูรณ์ตามจำนวนของการความยาว การขุดเจาะ



รูป 6.25 Distance from launching station versus the maximum surface settlement after shield passing

### 6.7 Tunnel Depth

ความลึกของอุโมงค์เป็นปัจจัยทางเรขาคณิตที่สำคัญดังรูป 6.26 ที่พล็อตระหว่าง ความลึกของอุโมงค์กับ Surface settlement ตามบันทึกของการศึกษา ความลึกของอุโมงค์ หรือ Tunnel Depth หมายถึง ความลึกของอุโมงค์ที่แนวแกนกลางตามทฤษฎีแล้ว ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางที่คงที่ นั่นคือ ความลึกของอุโมงค์ดูเหมือนว่าจะทำให้เกิด Surface settlement น้อยกว่าอุโมงค์ที่มีความตื้น อย่างไรก็ตาม ตามรูป เราไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของ Tunnel Depth และ Surface settlement ได้ ยกตัวอย่าง ในกรณีนี้ที่แม้ว่าอุโมงค์จะถูกเจาะลงไปในความลึกที่เหมาะสม Surface settlement ขนาดใหญ่ก็เกิดขึ้น ใน section C ซึ่งเป็นที่ที่หลายๆส่วนของอุโมงค์ตั้งอยู่ในชั้นของทราย (sand layer) ในอีกกรณี ถ้าอุโมงค์มีความตื้นความสัมพันธ์ของ Surface settlement ก็มีน้อยมาก การเกิด Surface settlement ที่เล็กน้อยในอุโมงค์ที่มีความตื้นนี้ สาเหตุอาจเกิดจากการใช้หัวเจาะ EPB มีความดันเท่ากับ ความดันดินสมดุล (earth pressure balance) ดังนั้นการเกิดแผ่นดินทรุดตัวจึงเป็นเรื่องที่ต้องควบคุม ตามมา ผลพิสูจน์นั้นเพียงแต่บอกว่า แม้ว่าความลึกของอุโมงค์(Tunnel Depth)จะเป็นส่วนที่มีอิทธิพลสำคัญต่อ Surface settlement ก็ตาม แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องด้วย เช่นปัจจัยด้านพารามิเตอร์อื่นๆ และภาวะทางด้านธรณีวิทยา สิ่งเหล่านี้ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกของอุโมงค์ (Tunnel Depth) และ Surface settlement ไม่ชัดเจนนัก



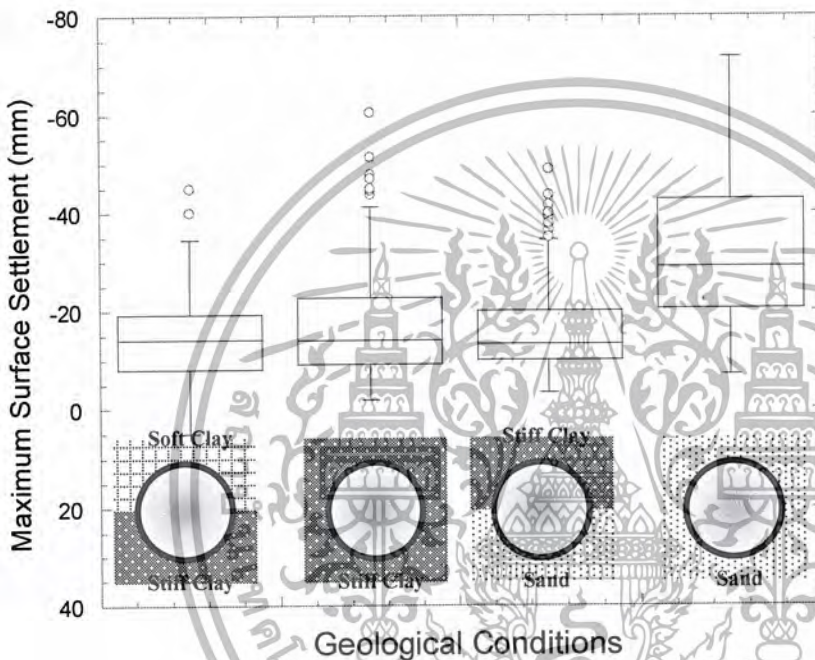
รูป 6.26 Tunnel depth versus the maximum surface settlement after shield passing

## 6.8 Geological Condition

Geological Condition หรือ สภาพทางธรณีวิทยา เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในทุกๆ ขั้นตอนของการทำอุโมงค์ ชนิดของดินที่หัวเจาะ EPB จะเข้าไปเป็นส่วนที่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนในเรื่อง การวัดการทำงานว่า หัวเจาะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้อย่างไร และการเกิดการทรุดตัว (settlement) จะเกิดขึ้นได้มากแค่ไหน โดยทั่วไปดินที่เหนียวมาก ไม่มีความยืดหยุ่น จะช่วยเอื้อประโยชน์ต่อการขุดอุโมงค์ พิจารณาได้จากประวัติในอดีตหลายๆกรณี และในส่วนของโครงการโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ก็แสดงไว้ในรูป 6.27 ดินที่มีความเหนียวมากจะช่วยรักษาความคงตัวของพื้นผิวระหว่างทำการขุดเจาะอุโมงค์ ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายของเสีย โดยทางเครื่องมือสำหรับขนย้ายสิ่งของ (Screw conveyor) และการเดินสายพาน (Belt transport) สามารถปฏิบัติได้อย่างราบรื่นทั้งๆที่วัตถุดิบนั้นเป็นดินเหนียว มากไปกว่านั้น คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือดินที่มีความเหนียวจะทำให้เกิดค่า การเคลื่อนตัวของของเหลวตามแรงกดดัน (Hydraulic) ที่ต่ำซึ่งจะช่วยป้องกันการซึมของน้ำขึ้นมา หากเป็นเช่นนั้นจะเป็นการยากต่อการคงไว้ซึ่ง แรงดันผิวหน้าดิน (face pressure) ในช่องว่างของดินระหว่างการขุดเจาะ สาเหตุเหล่านี้จะทำให้เกิดการสูญเสียดินทางด้านพื้นผิวอุโมงค์

ปริมาณมากซึ่งจะนำไปสู่การเกิดการทรุดตัวของผิวดิน (Surface settlement) อย่างมากเช่นกัน ตามที่ได้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

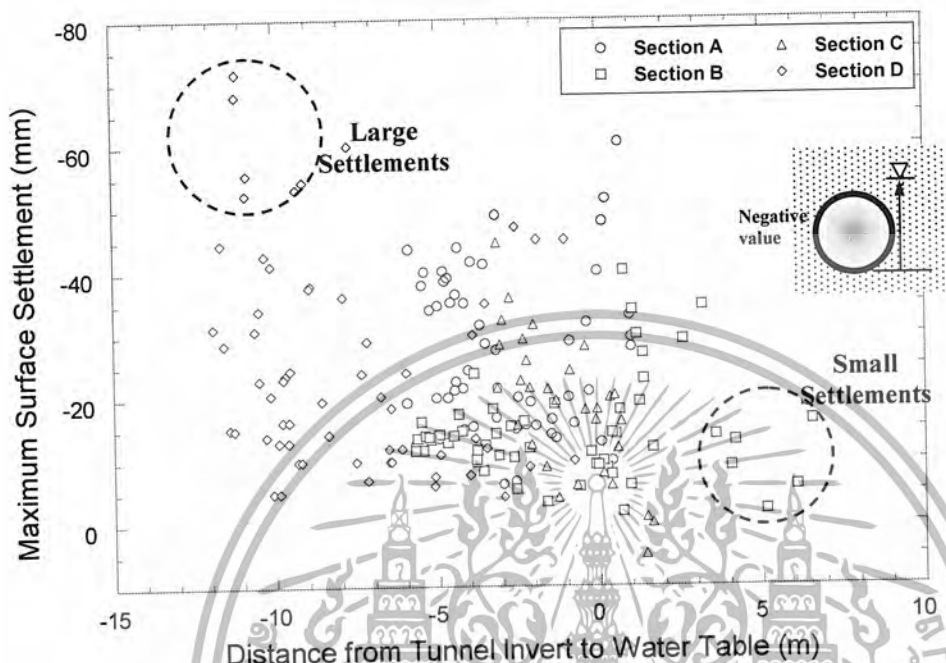
กล่าวมาแล้วในเรื่องก่อนหน้านี้ การสร้างอุโมงค์ภายใต้ชั้นทราย (sand layer) จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงในการควบคุมหัวเจาะและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องเจาะอุโมงค์ผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือ การสูญเสียผิวดินด้านหน้าปริมาณมากจนอาจเกิดการถล่มเกิดขึ้นได้ การค้นพบว่าเมื่อใช้ face pressure ด้านหน้าของหัวเจาะ ทำให้ความสำคัญลดลงเมื่อหัวเจาะเผชิญกับชั้นทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การทรุดตัว (settlement) อย่างมากจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีชั้นทราย (sand layer) ที่บริเวณส่วนบนของอุโมงค์ และชั้นดินเหนียว (clay layer) เกิดขึ้นในส่วนล่างของผิวอุโมงค์



รูป 6.27 Geological condition versus the maximum surface settlement after shield passing

ระดับน้ำในดิน (Ground water level) มีผลต่อการเกิดการทรุดตัว โดยเรื่องของระดับน้ำจะต้องได้รับการพิจารณาอยู่เสมอในทุกๆขั้นตอนของการขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งสามารถชี้แนะได้ว่าระดับน้ำปริมาณมากที่อยู่เหนืออุโมงค์ (tunnel invert) จะทำให้น้ำสามารถไหลไปยังผิวของอุโมงค์จนเป็นสาเหตุที่ขาดการควบคุมความดันพื้นผิว (face pressure) และการลำเลียงของเสีย และทำให้เกิดการทรุดตัวและการถล่มตามมา นอกจากนี้การไหลของน้ำในดินยังนำไปสู่การรวมกำลังทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเหนียวอุโมงค์ รูป 6.28 ได้แสดงการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของ tunnel invert และระดับน้ำใต้ดิน (water table) ในส่วนของ section D ที่ซึ่งมีอุโมงค์ซ้อนทับกันอยู่ อาจเกิดการทรุดตัวของผิวดิน (Surface settlement) เมื่อมีการติดตั้งเครื่องมือได้ ในอีกกรณีเมื่อระดับน้ำใต้ดินมีค่าต่ำ

มากกว่า tunnel invert จะทำให้เกิดการทรุดตัวน้อยกว่า ดังรูป 6.28 อย่างไรก็ตามแนวโน้มที่ชัดเจนดังกล่าวก็ยังไม่สามารถยอมรับและตั้งเป็นข้อเท็จจริงได้



รูป 6.28 Distance from tunnel invert to water table versus the maximum surface settlement after shield passing

### 6.9 Summary

ข้อมูลทั้งหมดรวมทั้งปัจจัยต่างๆที่มีความสำคัญ เช่น รูปทรงของอุโมงค์ และสภาพทางธรณีวิทยา ได้ถูกบันทึกไว้ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล แต่ละปัจจัยได้ถูกพล็อตเปรียบเทียบกับทรุดตัวของผิวดิน (Surface settlement) เพื่อที่จะนำมาพัฒนาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากปัจจัยที่จะทำให้เกิดการทรุดตัวของผิวดิน (Surface settlement) บทสรุปที่เกิดขึ้นทำให้แปลกใจว่า ไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัดอันใดในความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละพารามิเตอร์ต่อการเกิด Surface settlement มีเพียงรูป การพล็อตของ Face Pressure และ Surface settlement ที่จะเกิดแนวโน้มน้อย ข้อบ่งชี้ว่ามีค่าพารามิเตอร์มากกว่าหนึ่งตัวที่มีอิทธิพลต่อการเกิด Surface settlement ในทางปฏิบัติแล้วเป็นไปได้ที่ควบคุมพารามิเตอร์อื่นๆ ให้คงที่ ในขณะที่การใช้ พารามิเตอร์ต่างๆก็ยังมีผลกระทบที่ทำให้เกิด Surface settlement ได้

นอกเหนือจากนั้น แม้ว่าจะมีข้อมูลมากมายที่เก็บบันทึกไว้ว่าการ

วิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด ทำให้เกิดข้อจำกัดของผลลัพธ์เนื่องจากการทำงานของหัวเจาะที่ค่อนข้างซับซ้อน ต่อมาจึงมีแนวทางใหม่นั้นก็คือ Artificial Neural Network (ANN) ซึ่งจะได้ถูกแนะนำขึ้นเพื่อเชื่อมโยงพารามิเตอร์ต่างๆไปกับการเกิด Surface settlement วิธีการที่ยอมรับนี้ได้รวมเอาพื้นฐานทางด้านทฤษฎี , การสำรวจ และการเรียนรู้ เข้าด้วยกัน ดังนั้น จึงได้กำหนดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเกิด Surface settlement ไปได้



# บทที่ 7

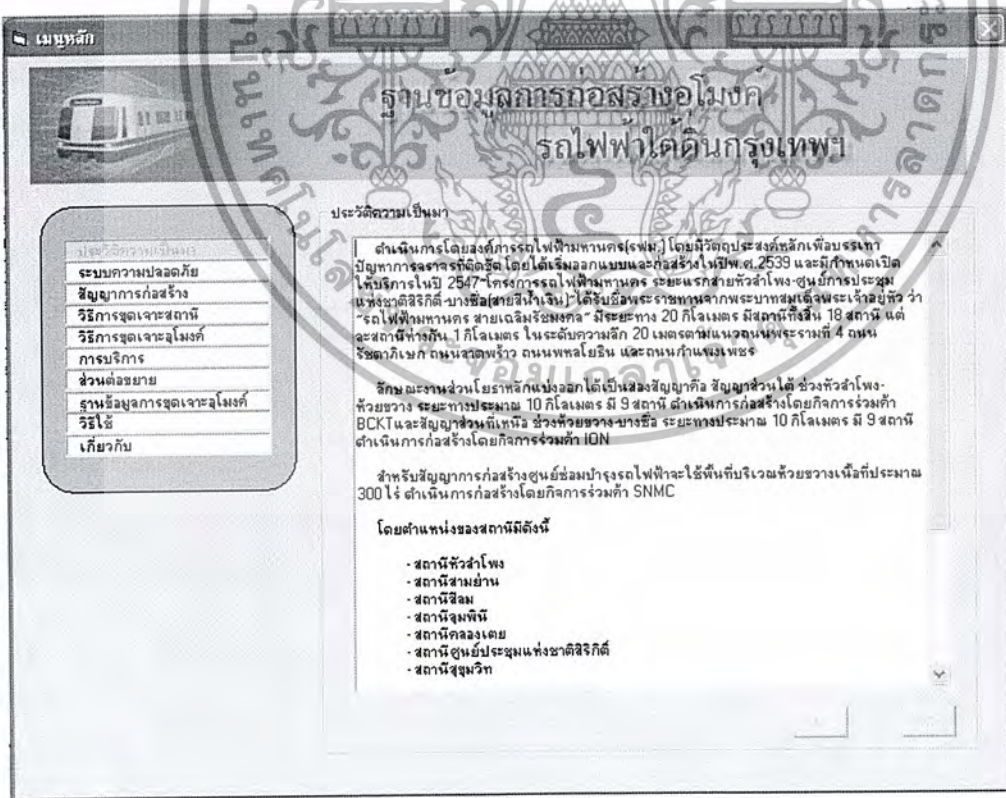
## วิธีการใช้โปรแกรม

ตัวโปรแกรมใหม่ถูกพัฒนาด้วยโปรแกรม Visual Basic โปรแกรมพื้นฐานที่จำเป็นในการใช้โปรแกรมฐานข้อมูลคือ Adobe Acrobat Reader Version 7.0 หรือมากกว่า วิธีการใช้โปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลทั่วไป และ ส่วนข้อมูลดิน

### 7.1 การเลือกและการแสดงข้อมูล

#### 7.1.1 ส่วนข้อมูลทั่วไป

การใช้โปรแกรมส่วนข้อมูลทั่วไปเป็นส่วนที่อยู่หน้าหลักของ โปรแกรมเลือกข้อมูลที่ต้องการทราบตามรายชื่อที่ต้องการด้านซ้าย ดังรูปที่ 7.1 ข้อมูลที่ต้องการจะแสดงผลทางด้านขวา



รูป 7.1 แสดงเมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในหน้าโปรแกรมที่แสดงข้อมูลหลักนี้ ประกอบด้วย

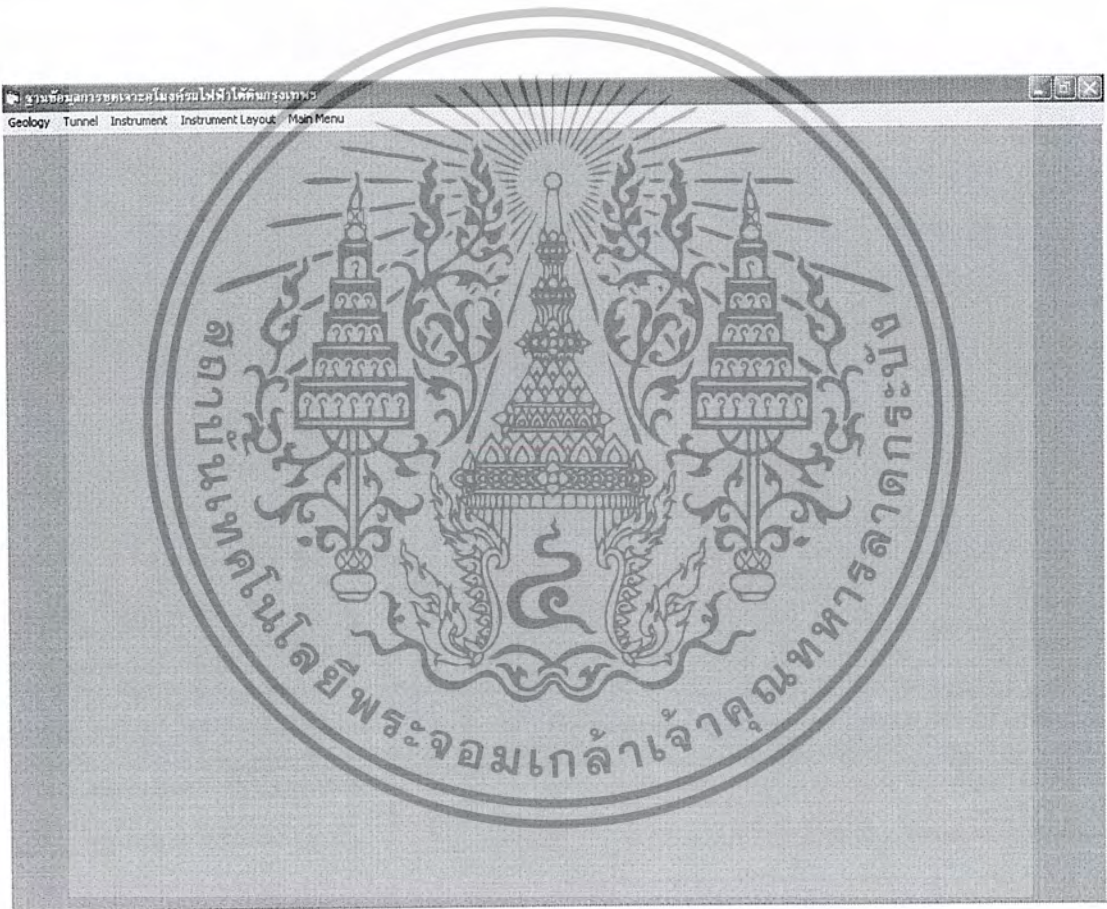
1. ประวัติความเป็นมา
2. ระบบความปลอดภัย
3. สัญญาการก่อสร้าง
4. วิธีการขุดเจาะสถานี
5. วิธีการขุดเจาะอุโมงค์
6. การบริการ
7. ส่วนต่อขยาย
8. ฐานข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์
9. เกี่ยวกับ



## 7.1.2 ส่วนข้อมูลดิน

จากหน้าหลักของโปรแกรม เลือกฐานข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์ จะเข้ามายังหน้าเลือกข้อมูลดินประกอบด้วย 4 ส่วน

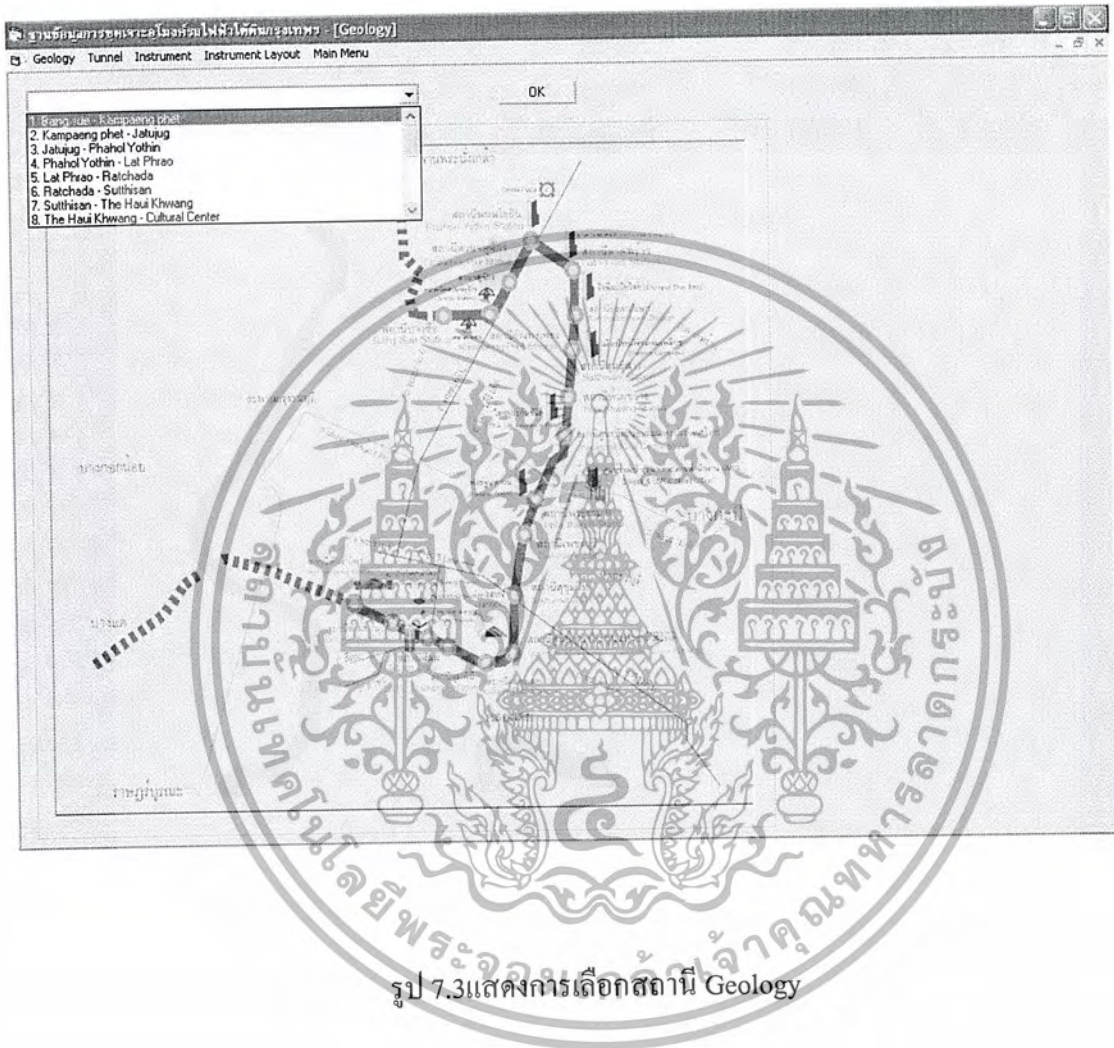
1. Geology
2. Tunnel
3. Instrument
4. Instrument Layout



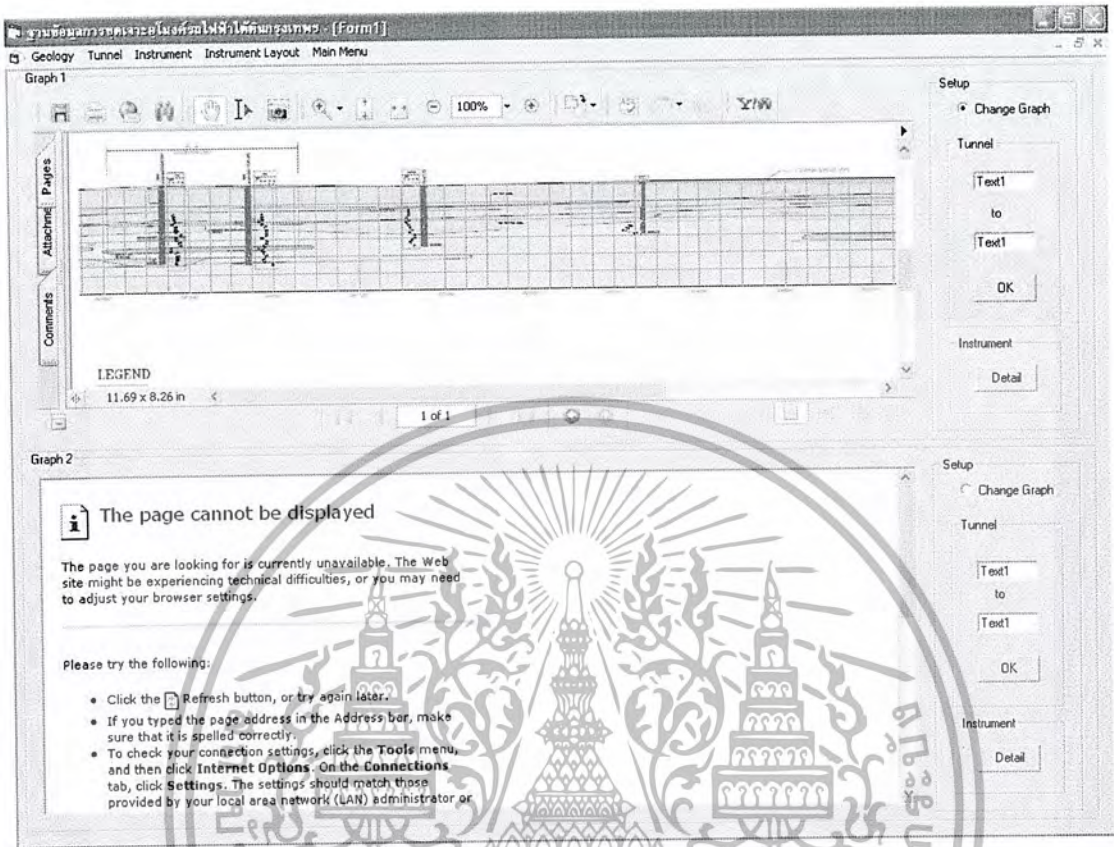
รูปที่ 7.2 แสดงหน้าฐานข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์

### 7.1.2.1 ส่วนที่ 1 Geology หรือ ส่วนข้อมูลชั้นดิน

การเรียกข้อมูลส่วนนี้ เรียกใช้จากปุ่มด้านบนหน้าแสดงผลจะปรากฏขึ้น เลือกสถานที่ที่ต้องการข้อมูลชั้นดิน



## ผลข้อมูลดินจะแสดง ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงผลข้อมูลการเลือก Geology

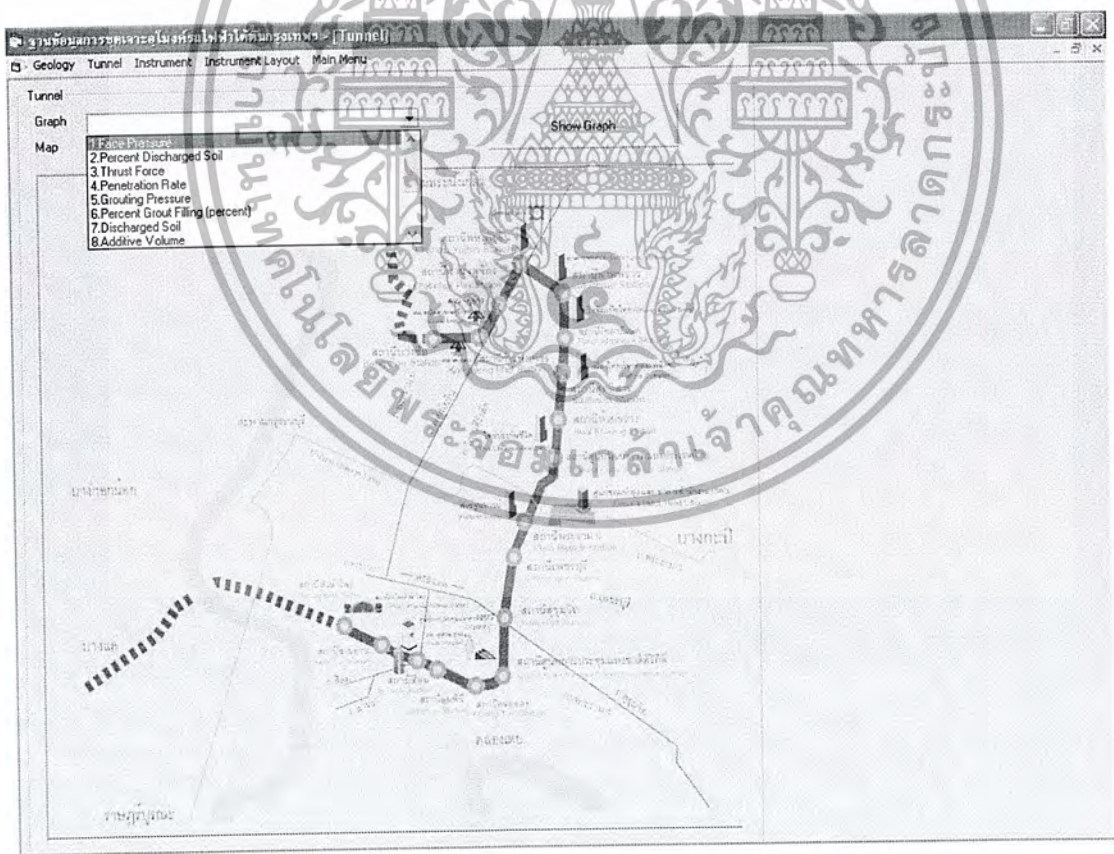
โดยที่ข้อมูลที่บรรจุอยู่ภายในเป็นรูปภาพแสดงของ Borig log ซึ่งแสดงออกมาตามระยะทางระหว่างแต่ละสถานี ซึ่งข้อมูลที่จะให้เลือกสถานีนี้จะประกอบด้วย

1. Bang Sue – Kampaeng Phat
2. Kampaeng phat – Jatujug
3. Jatujug – Phahol Yothin
4. Phahol Yothin – Lat Phrao
5. Lat Phrao – Ratchada
6. Ratchada – Sutthisan
7. Sutthisan – The Hauikhwang
8. The Hauikhwang – Thailand Cultural Centre
9. - Thailand Cultural Centre – Pharam9 : Picture 1
- Thailand Cultural Centre – Pharam9 : Picture 2

10. Pharam9 - Phetchaburi
11. Phetchaburi – Sukhumwit
12. Sukhumwit - Queen Sirikit National Convention Center
13. Queen Sirikit National Convention Center – Khlong Turg
14. Khlong Turg – Lumphini
15. Lumphini – Silom
16. Silom – Samyan
17. Samyan – Hua Lampong

### 7.1.2.2 ส่วนที่ 2 Tunnel หรือส่วนของข้อมูลดินในอุโมงค์ระหว่างการขุดเจาะ

การเรียกข้อมูลส่วนนี้ เรียกใช้จากปุ่มด้านบนหน้าเลือกข้อมูลจะปรากฏขึ้น ดังรูปที่ 7.5  
เลือกกราฟข้อมูลที่ต้องการ



รูป 7.5 แสดงหน้าฐานข้อมูล tunnel การเลือกกราฟข้อมูล

ข้อมูลที่สามารถเลือกได้ขณะที่กำลังใช้งานในส่วนนี้ คือ

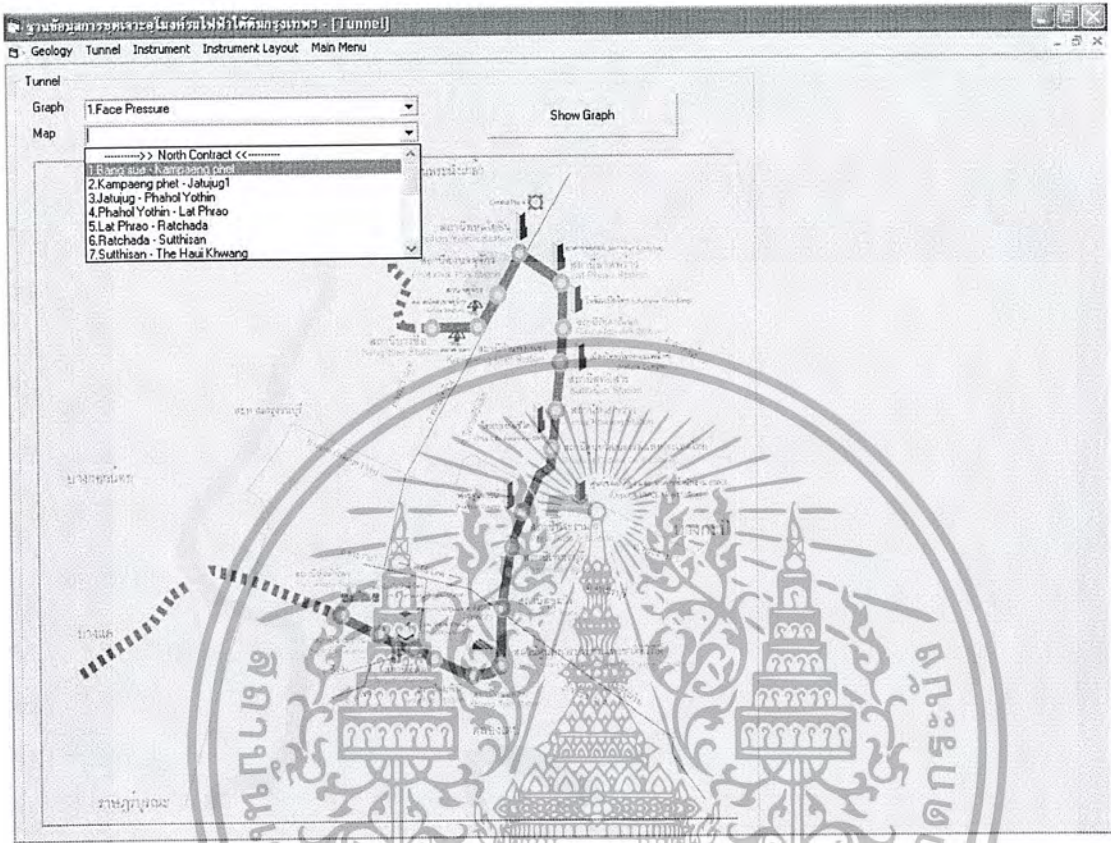
1. Face Pressure (kPa)
2. Thrust Force (Ton)
3. Penetration Rate (mm/min)
4. Grouting Pressure (kPa)
5. Grout Filling Percent (%)
6. Discharged Soil Volume ( $m^3$ )
7. Discharged Soil Percent (%)
8. Additive Volume ( $m^3$ )
9. Cutter Torque (Ton-m)
10. Cutter Head Speed (rpm)
11. Screw Torque(Ton-m)
12. Screw Conveyor Speed(rpm)
13. Pitching Angle(Degree)

โดยข้อมูลที่แสดงออกมาเป็นรูปของกราฟ ซึ่งจะแสดงเป็นแต่ละสถานี โดยเรียงลำดับตามหมายเลขของวงรอบพ่นจุ่ม โมงค์(Ring number)



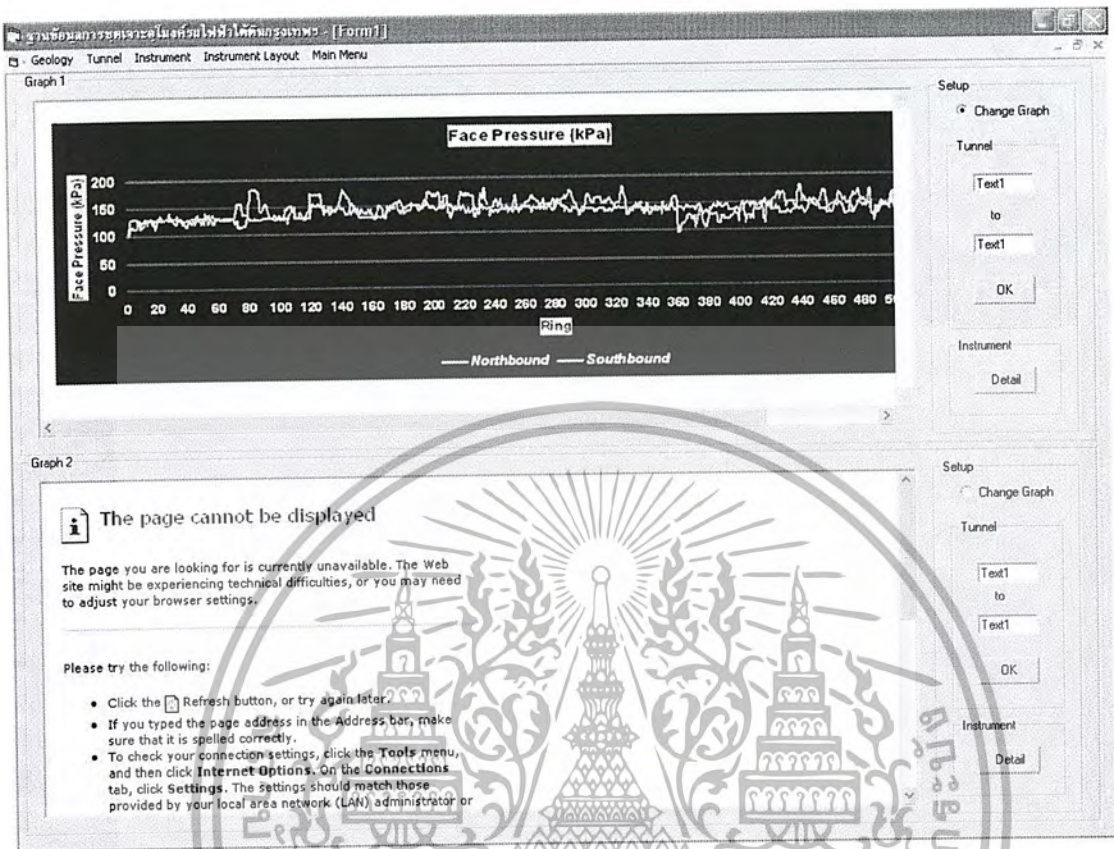
เมื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการแล้วเลือก เส้นทางระหว่างสถานีที่ต้องการ ที่ต้องการ ดังรูปที่

7.6



รูป 7.6 แสดงการเลือกเส้นทางระหว่างสถานี

## กด Show Graph หน้าแสดงผลจะแสดงผลดังรูปที่ 7.7



รูป 7.7 แสดงกราฟข้อมูล Tunnel

## การค้นหาข้อมูลแต่ละ Ring Number

1. ใส่ช่วง Ring Number ที่ต้องการ ในช่อง Tunnel ด้านข้าง
2. กด OK
3. หน้าจอแสดงผลดังรูปที่ 7.8

North Bound

Ring No	Ex Start Date	Face Pressure
20	1/14/2000	130
21	1/14/2000	125
22	1/14/2000	125
23	1/15/2000	125
24	1/15/2000	125
25	1/15/2000	130
26	1/15/2000	130
27	1/15/2000	130
28	1/15/2000	125
29	1/15/2000	130
30	1/15/2000	125
31	1/15/2000	125
32	1/15/2000	120
33	1/15/2000	125
34	1/15/2000	130
35	1/15/2000	130
36	1/15/2000	125
37	1/15/2000	120
38	1/15/2000	125
39	1/15/2000	125
40	1/16/2000	130
41	1/16/2000	125
42	1/16/2000	125

North Bound

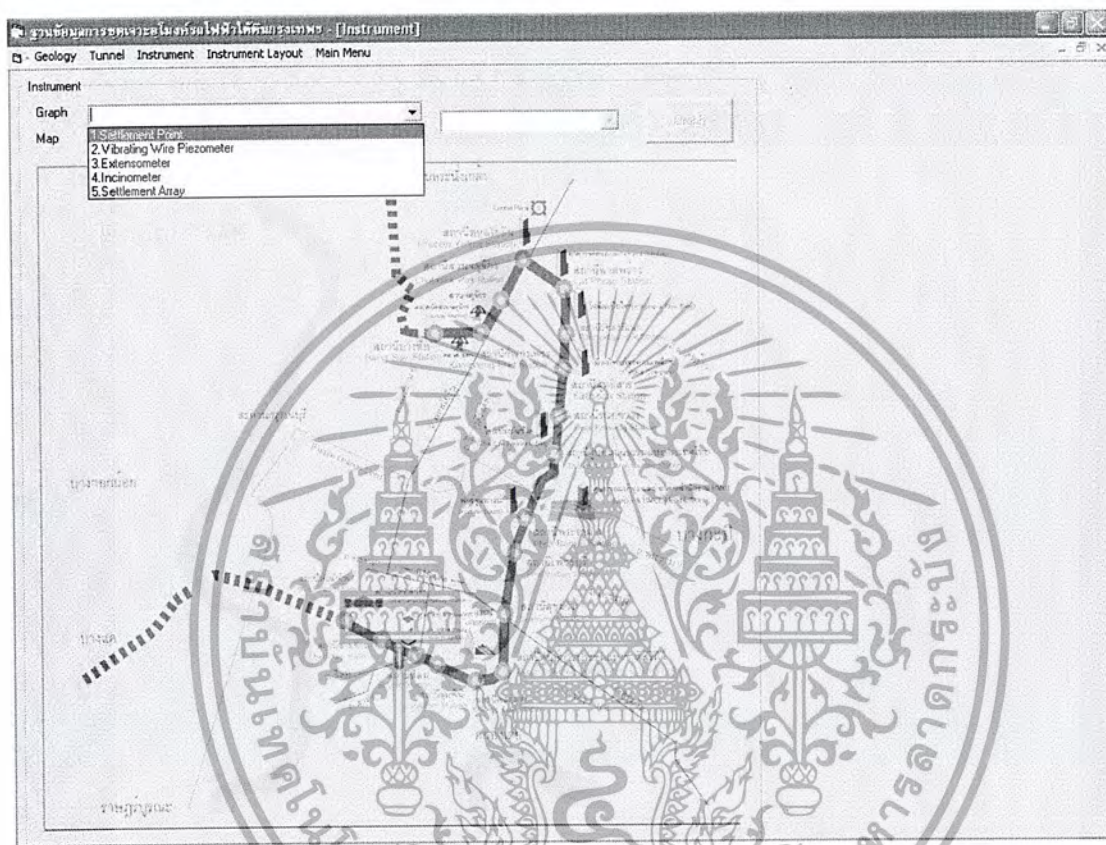
Ring No	Ex Start Date	Face Pressure
20	1/10/2000	130
21	1/10/2000	125
22	1/10/2000	135
23	1/10/2000	130
24	1/10/2000	125
25	1/10/2000	130
26	1/10/2000	130
27	1/10/2000	130
28	1/10/2000	140
29	1/11/2000	130
30	1/11/2000	130
31	1/11/2000	130
32	1/11/2000	130
33	1/11/2000	135
34	1/11/2000	125
35	1/11/2000	130
36	1/11/2000	130
37	1/11/2000	125
38	1/11/2000	120
39	1/11/2000	115
40	1/11/2000	120
41	1/11/2000	120
42	1/11/2000	120

รูป 7.8 แสดงการค้นหาข้อมูลแต่ละ Ring Number

เมื่อไม่ต้องการกดปุ่มปิดที่มุมขวาบน จะกลับไปหน้าแสดงผล

### 7.1.2.3 ส่วนที่ 3 Instrument หรือส่วนของเครื่องมือวัด

การเรียกข้อมูลส่วนนี้ เรียกใช้จากปุ่มด้านบน หน้าเลือกข้อมูลจะปรากฏขึ้นดังรูปที่ 7.9 เลือกกราฟที่ต้องการ

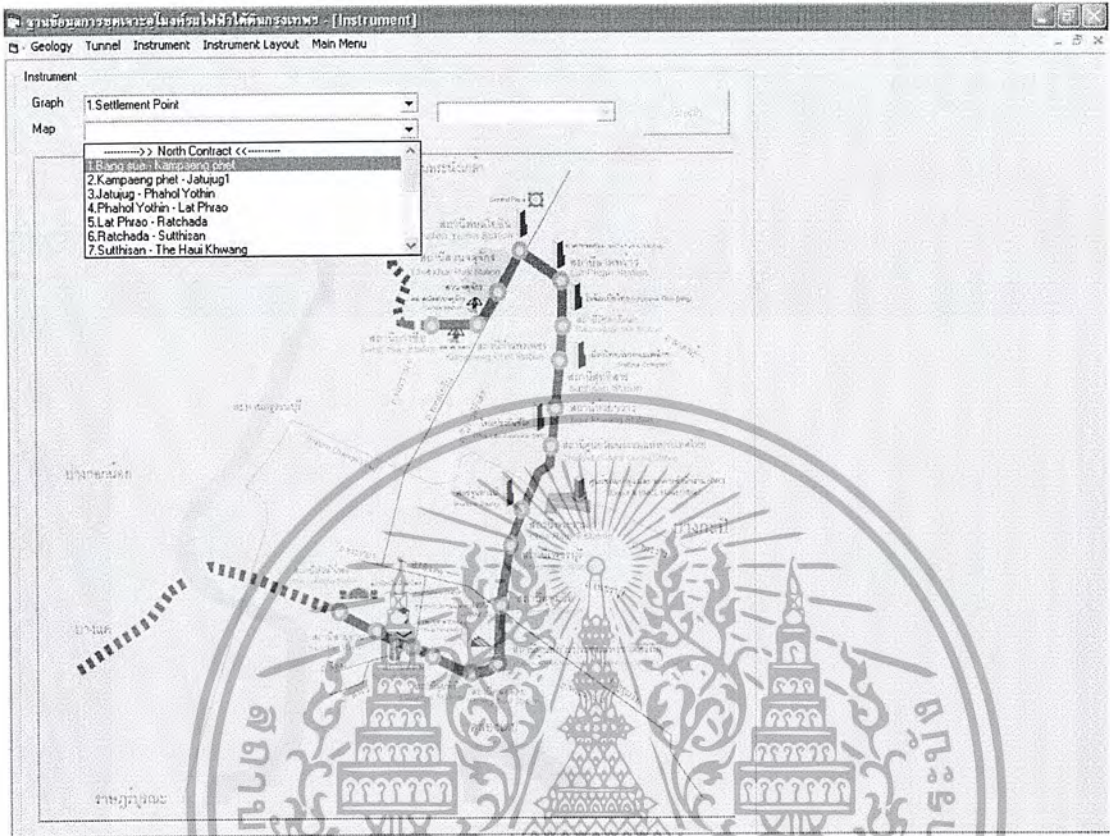


รูป 7.9 แสดงการเลือกฐานข้อมูล Instrument

ข้อมูลที่สามารถเลือกได้ในขณะใช้งานในส่วนนี้ คือ

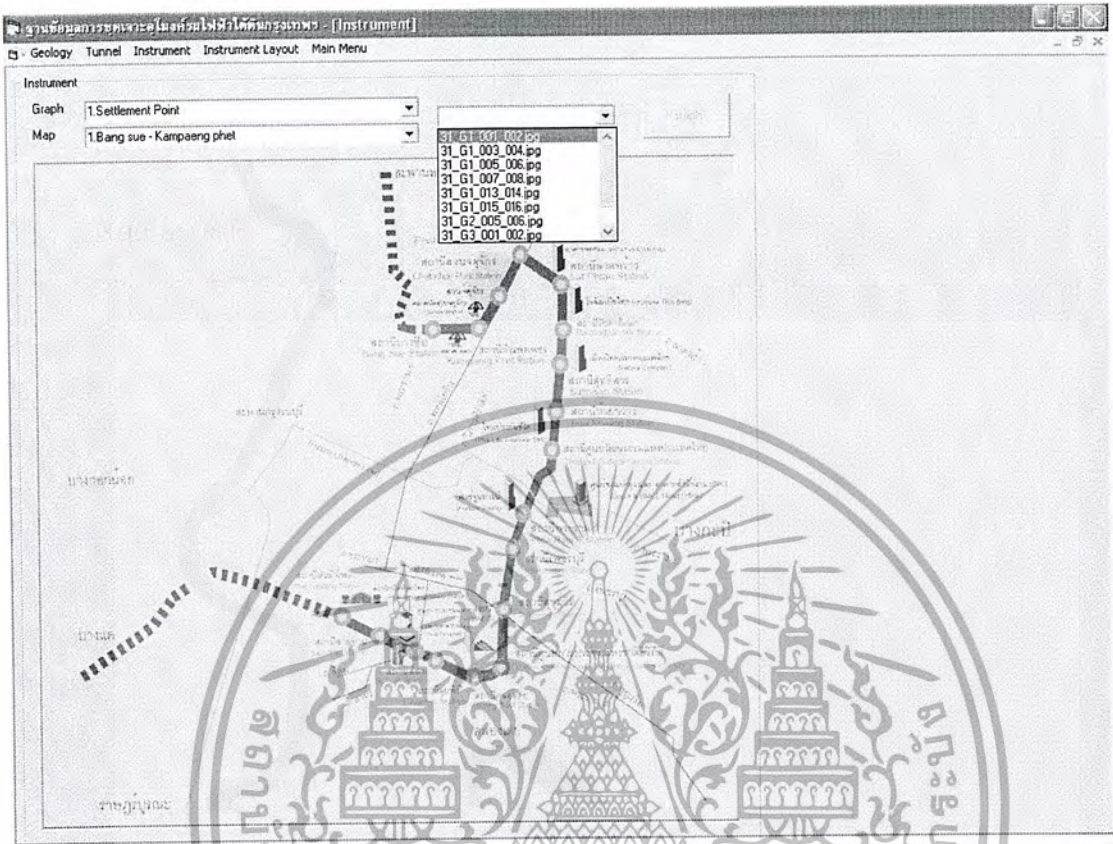
1. Settlement Point
2. Vibrating Wire Piezometers
3. Extensometers
4. Inclinator
5. Settlement array

เมื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการแล้วเลือกสถานีที่ต้องการ ดังรูปที่ 7.10



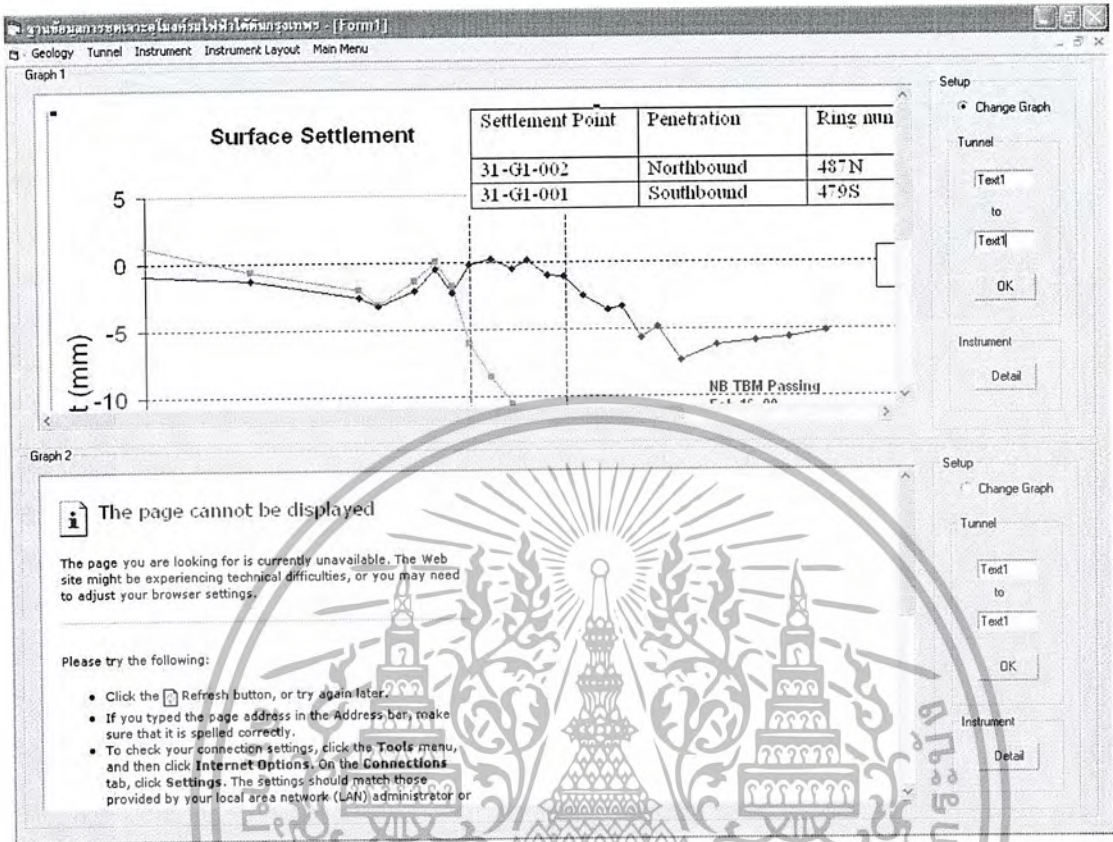
รูป 7.10 แสดงการเลือกสถานี

# เลือก station ที่ต้องการดังรูปที่ 7.11



รูป 7.11 แสดงการเลือก station

## หน้าแสดงผลจะแสดงผลดังรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 แสดงผลข้อมูล Instrument

กค Detail เพื่อค้นข้อมูลเป็นตัวเลข แสดงผลดังรูปที่ 7.13

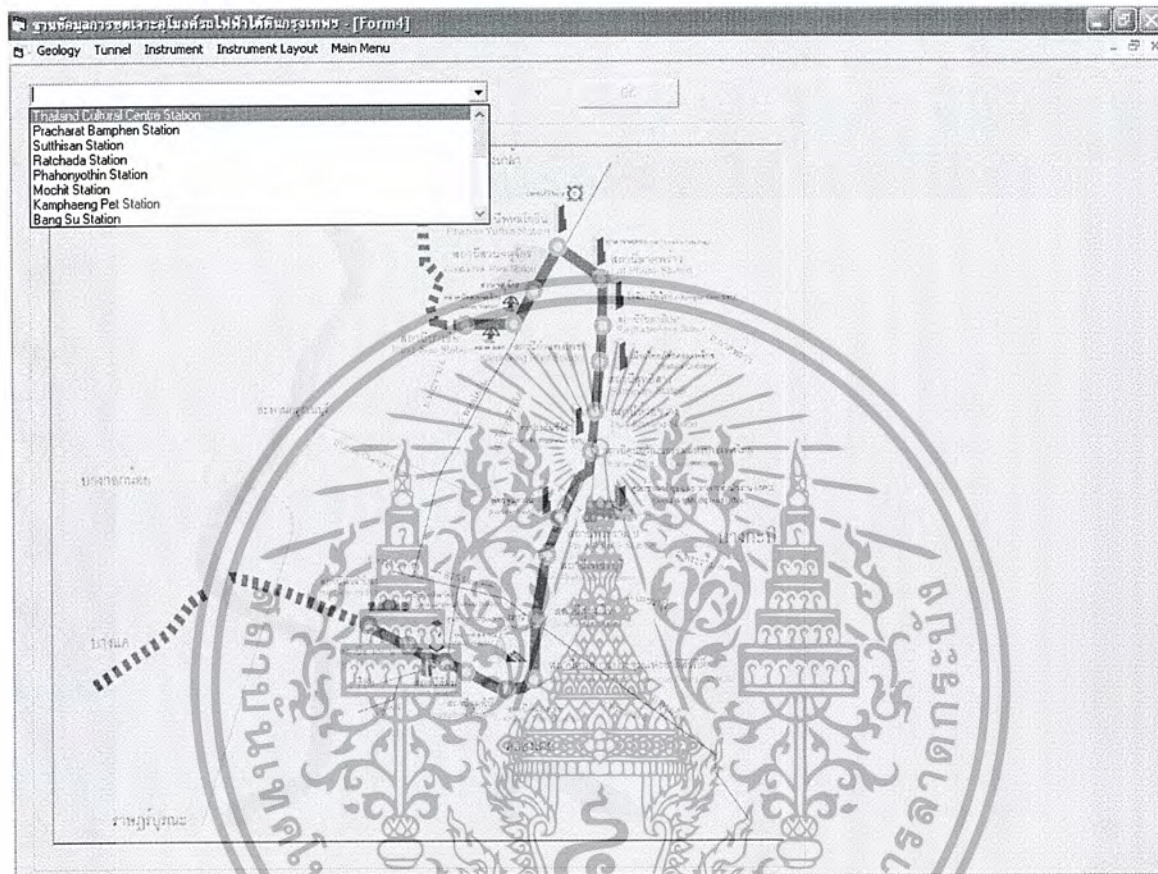
Instrument SPID	Instrument SP Date	Settlement	Bird NO	Distance	Direction	type	Instrument Type ID
4968	11/24/1999	0	0	0	2	31-G-1-001	4
4971	11/25/1999	0	0	0	2	31-G-1-001	4
4972	11/25/1999	0	0	0	2	31-G-1-001	4
4973	11/27/1999	-0.47	0	0	2	31-G-1-001	4
4974	12/19/1999	-1.25	0	0	2	31-G-1-001	4
4975	1/15/2000	-0.24	0	0	2	31-G-1-001	4
4976	1/23/2000	1.66	0	0	2	31-G-1-001	4
4977	1/30/2000	-0.67	0	0	2	31-G-1-001	4
4978	2/5/2000	-1.97	0	0	2	31-G-1-001	4
4979	2/6/2000	-3.14	0	0	2	31-G-1-001	4
4980	2/8/2000	-1.38	0	0	2	31-G-1-001	4
4981	2/9/2000	0.06	0	0	2	31-G-1-001	4
4982	2/10/2000	-1.76	0	0	2	31-G-1-001	4
4983	2/11/2000	-6.01	0	0	2	31-G-1-001	4
4984	2/12/2000	-8.5	0	0	2	31-G-1-001	4
4985	2/13/2000	-10.5	0	0	2	31-G-1-001	4
4986	2/14/2000	-12.16	0	0	2	31-G-1-001	4
4987	2/15/2000	-11.37	0	0	2	31-G-1-001	4
4988	2/16/2000	-13.47	0	0	2	31-G-1-001	4
4989	2/17/2000	-14.71	0	0	2	31-G-1-001	4
4990	2/18/2000	-15.77	0	0	2	31-G-1-001	4
4991	2/19/2000	-14.83	0	0	2	31-G-1-001	4
4992	2/20/2000	-16.29	0	0	2	31-G-1-001	4
4993	2/21/2000	-16.74	0	0	2	31-G-1-001	4
4994	2/22/2000	-18.34	0	0	2	31-G-1-001	4
4995	2/24/2000	-16.7	0	0	2	31-G-1-001	4
4996	2/26/2000	-16.55	0	0	2	31-G-1-001	4
4997	2/26/2000	-18.05	0	0	2	31-G-1-001	4
4998	3/1/2000	-17.63	0	0	2	31-G-1-001	4
4999	4/26/2000	0	-56	-21	2	31-G-1-001	4
5000	11/24/1999	0	0	0	1	31-G-1-002	4
5001	11/25/1999	0	0	0	-1	31-G-1-002	4
5002	11/25/1999	0	0	0	1	31-G-1-002	4
5003	11/27/1999	-2.44	0	0	1	31-G-1-002	4
5004	12/19/1999	-1.78	0	0	1	31-G-1-002	4
5005	1/15/2000	-2.52	0	0	1	31-G-1-002	4
5006	1/23/2000	กค	ก	ก	1	31-G-1-002	4

รูป 7.13 แสดงการค้นข้อมูลเป็นตัวเลข Instrument

เมื่อไม่ต้องการ ปิดจากปุ่มขวาบน จะกลับไปยังหน้าแสดงผล

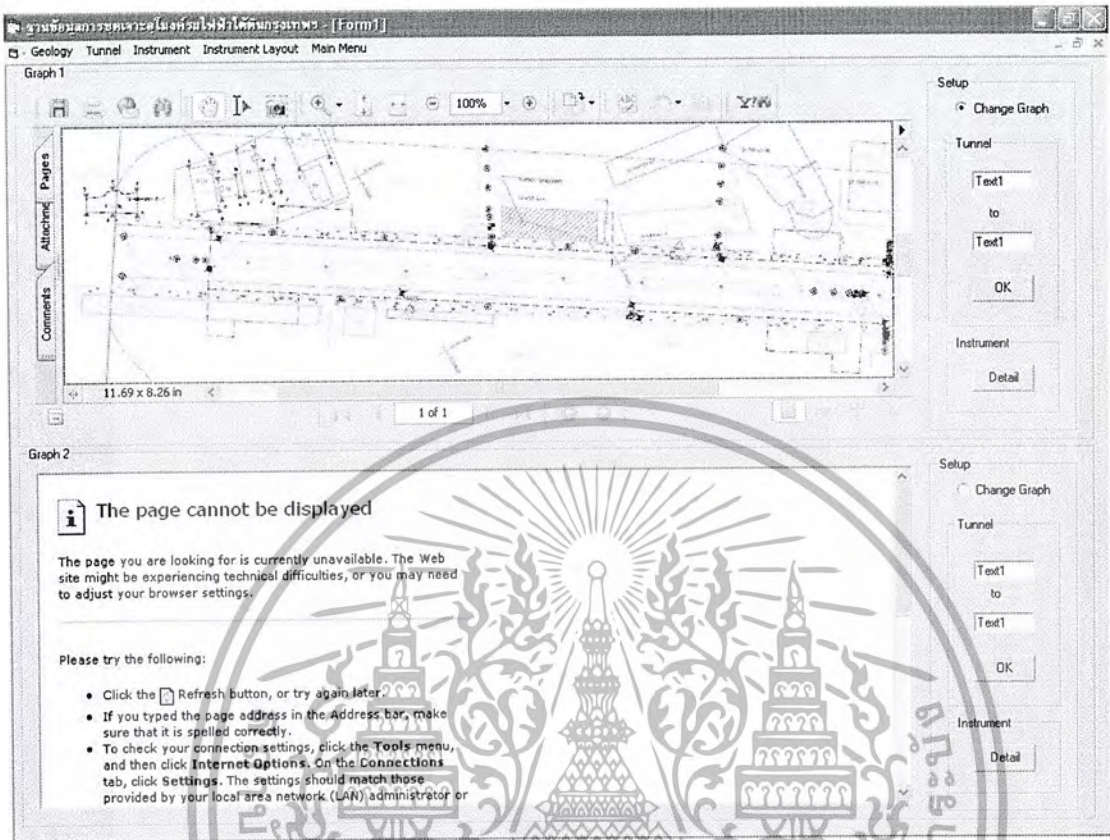
### 7.1.2.4 ส่วนที่ 4 Instrument Layout หรือส่วนของแผนที่แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Instrument

เลือกตำแหน่งที่ต้องการ และกดปุ่ม OK



รูป 7.14 แสดงการเลือกบริเวณที่ต้องการทราบ Instrument Layout

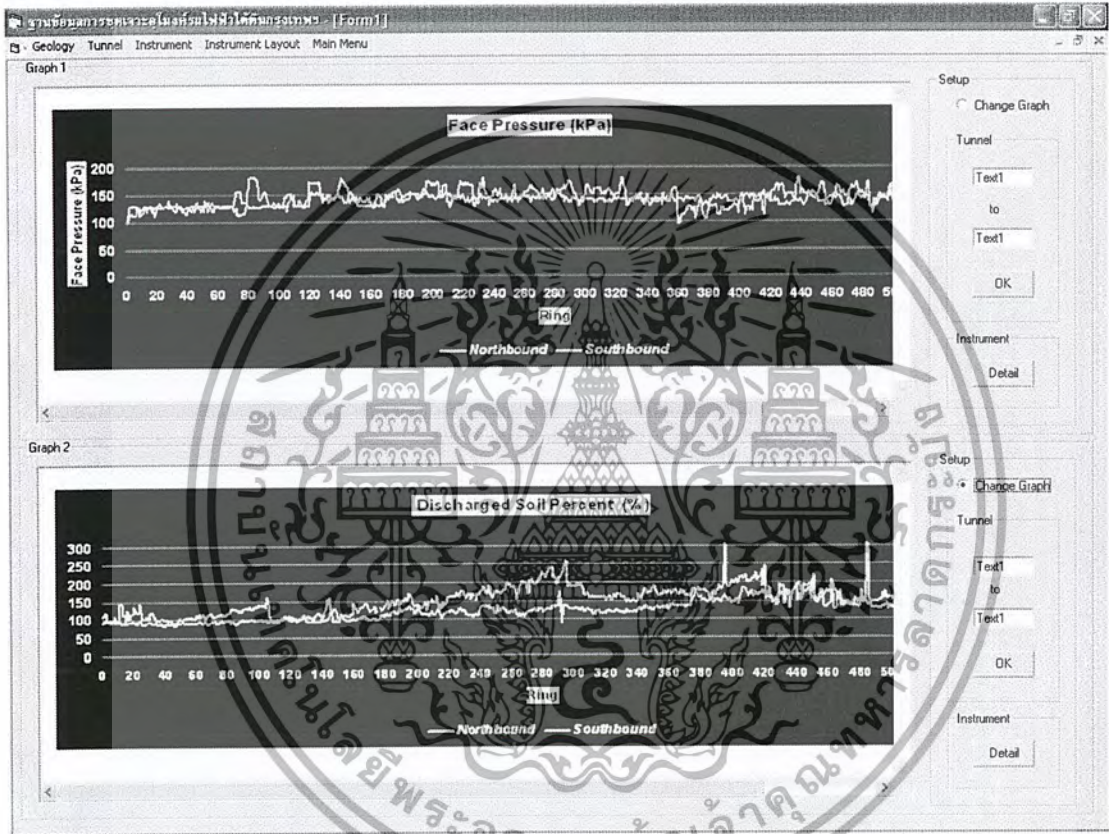
## โปรแกรมจะแสดงข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง Instrument บริเวณที่ต้องการ



รูปที่ 7.15 การแสดงข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง Instrument

## 7.2 การเลือกข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบข้อมูลเนื่องจากความจำกัดทางหน้าจอแสดงผลและความเหมาะสมในการแสดงผลจึงกำหนดให้หน้าแรกแสดงผลเพียง 2 หน้า สำหรับวิธีการเลือกข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบ จะเลือกข้อมูลที่ต้องการตามวิธีเลือกและแสดงผลข้อ 7.1 และเมื่อต้องการเลือกข้อมูลที่ 2 คลิกที่ปุ่ม Change Graph ทำการเลือกข้อมูลที่ต้องการตามขั้นตอนเดิม



รูป 7.16 แสดงรูปการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปิดข้อมูล 2 พารามิเตอร์

## บทที่ 8

### บทวิจารณ์และสรุป

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล(สายสีน้ำเงิน) เป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพมหานคร เนื่องจากเป็นสายแรกในประเทศ ดังนั้น การทำงาน การเก็บรวบรวมข้อมูล และประสบการณ์ของวิศวกรอาจจะยังมีน้อย และแต่ละบริษัทยังมีวิธีการก่อสร้างที่ต่างกันออกไป จึงทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละพารามิเตอร์ของแต่ละบริษัทไม่เหมือนกันแล้ว บางบริษัทไม่ได้มีการเก็บข้อมูลที่ครบถ้วนทำให้ข้อมูลบางช่วงขาดหายไป ดังนั้นจึงควรที่จะต้องมีการจัดเก็บฐานข้อมูลต่างๆให้เป็นระเบียบและง่ายต่อการใช้งานจึงได้มีการเขียนโปรแกรมจัดเก็บฐานข้อมูลขึ้นมา เพื่อที่จะได้แสดงผลของข้อมูลให้เข้าใจได้สะดวก โดยผ่านคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาก่อนหน้านี้มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบได้ ซึ่งในการใช้งานในการวิเคราะห์ข้อมูลมีความจำเป็น ดังนั้น จึงได้มีการจัดทำโปรแกรมใหม่ขึ้นมาเพื่อที่จะทำให้สามารถเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลรวมกันได้ในแต่ละค่าพารามิเตอร์ ซึ่งโปรแกรมใหม่นี้ได้จัดฐานข้อมูลที่ได้อาศัยอยู่ในรูปของโปรแกรม Microsoft Access เพื่อที่จะสะดวกในการที่จะใช้เป็นฐานข้อมูลในการอ่านของโปรแกรมอื่นๆ แล้วสำหรับโปรแกรมที่ใช้แสดงผลคือ โปรแกรม Visual Basic ซึ่งจุดเด่นของโปรแกรมที่เขียนจากโปรแกรม Visual Basic ที่ได้เขียนขึ้นมาใหม่นี้คือ สามารถเปิดข้อมูลได้ 2 พารามิเตอร์ จึงเป็นผลให้สามารถที่จะเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างพารามิเตอร์ได้สะดวกและโปรแกรมยังสามารถใช้ได้สะดวก ไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการค้นหา วิเคราะห์ เปรียบเทียบ สะดวกต่อผู้ที่ใช้งาน ถึงแม้ว่าจะไม่เคยใช้ก็ตาม และยังสามารถพัฒนาตัวโปรแกรมเพิ่มเติมได้ง่าย เพื่อข้อมูลทำให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน และใหม่อยู่เสมอ

ทางผู้จัดทำหวังว่าการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้จะสามารถทำประโยชน์แก่ผู้ที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี สำหรับการวิเคราะห์ร่วมกับการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินในส่วนต่อขยายและสายใหม่ และหวังว่าผู้ที่ได้ใช้งานไปแล้วจะเห็นคุณค่าของโปรแกรมใหม่นี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้จัดทำขออภัยมา ณ. ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

## บรรณานุกรม

1. Suchatvee Suwansawat , June 2002. Earth Pressure Balance ( EPB ) Shield Tunneling in Bangkok Ground Response and Prediction of Surface Settlements Using Artificial Neural Networks. School of Engineering Massachusetts Institute of Technology.
2. กิตติ ภัคคีวัฒนะกุล และ จำลอง ทรูอุตสาหะ,2543.Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์.พิมพ์ครั้งที่ 8.บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด
3. ภัทวุทธ พีชผล และ พิชิต สันติกุลานนท์,2543.คู่มือเรียน Visual Basic 6.0.พิมพ์ครั้งที่ 3.บริษัท เฮทเอ็น กรุป จำกัด
4. ธนพล ฉันทจรัสวิชัย,2542.เรียนรู้เทคนิค การทำรายงานบนเครื่องพิมพ์ด้วย Visual Basic.พิมพ์เพิ่มครั้งที่ 2.บริษัท เอศ.พี.ซพ พรินติ้ง จำกัด
5. ชานิน สิทธิธรรมขารี , 2521. คู่มือการใช้ Microsoft Access 97. บริษัท รุ่งศิลป์การพิมพ์ จำกัด
6. ศุภชัย สมพานิช, 2543.Database Programming ด้วย Visual Basic ฉบับมืออาชีพ.พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส
7. สัจจะ จรัสรุ่งเรือง,2544.คู่มือการเขียน โปรแกรมและการใช้งาน Visual Basic 6.พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส