

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการจัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร
KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM
FOR THE CONSTRUCTION OF MASS RAPID TRANSIT PROJECT



วพ.
๑๕/๑๑/๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62597
วัน,เดือน,ปี... 21 ส.ค. 2549

b. 11626884
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM
FOR THE CONSTRUCTION OF MASS RAPID TRANSIT PROJECT**



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

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองโครงการพิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบการจัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร
KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CONSTRUCTION OF
MASS RAPID TRANSIT PROJECT

นักศึกษา นายสรวิศ แสงกาญจนวนิช รหัสประจำตัว 45010806
นายสาธิต นะคะพงษ์ศิลป์ รหัสประจำตัว 45010820

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ	
2. ผศ.ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง	
3. อ.วิบูลย์ วุฒินาม	
4. อ.สมชาย สำลีรงค์กุล	

ความเห็นของกรรมการสอบ

ความเห็นของหัวหน้าภาควิชา

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ระบบการจัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร	
	KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CONSTRUCTION OF MASS RAPID TRANSIT PROJECT	
นักศึกษา	นายสรวิศ	แสงกาญจนวนิช
	นายสาริต	นระตะพงษ์ศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุรัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

โครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล เป็นโครงการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบใต้ดินสายแรกของกรุงเทพมหานครฯ ซึ่งเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนทางด้านเทคนิคอย่างมาก ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมากที่ยังไม่ได้มีการจัดการความรู้อย่างมีระเบียบ โดยทางโครงการรถไฟฟ้ามหานครได้ว่าจ้างบริษัทจัดเก็บเอกสาร แต่เมื่อนำข้อมูลเอกสารต่างๆมาใช้งานจะมีความล่าช้า และบริษัทที่จัดเก็บนั้นไม่ได้จัดเก็บไว้เป็นหมวดหมู่ ซึ่งขาดต่อการค้นหา อีกทั้งการดำเนินการก่อสร้างโครงการ เป็นโครงการขนาดใหญ่ จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ และอาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญจากต่างชาติเป็นอย่างมาก แต่เมื่อโครงการแล้วเสร็จชาวต่างชาติอาจไม่อยู่ทำงานต่อหรืออยู่ทำงานบางสาขา อีกทั้งความรู้ต่างๆ ร้อยละ 80 อยู่ในตัวบุคคลซึ่งจัดเป็นความรู้ที่ไม่เป็นทางการ ส่วนอีกร้อยละ 20 เป็นความรู้ที่เป็นทางการ แต่เมื่อมีการจัดการความรู้ขึ้นจะทำให้ความรู้ที่ไม่เป็นทางการลดน้อยลง ความรู้ที่เป็นทางการเพิ่มขึ้น และสามารถค้นหาข้อมูลด้านต่างๆอย่างรวดเร็ว

โครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล มีการว่าจ้างบริษัทเอกชนมาทำการขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน โดยในแต่ละบริษัทที่ทำกรขุดเจาะจะมีการจัดเก็บข้อมูลซึ่งการจัดเก็บข้อมูลนั้นไม่ได้มีมาตรฐานเดียวกันในการจัดเก็บ ทำให้ข้อมูลที่ได้มานั้นไม่ได้รับการรวบรวมเป็นหมวดเป็นหมู่ และอีกทั้งข้อมูลในการขุดเจาะตัวอุโมงค์มีปริมาณของข้อมูลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นควรจะมีการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับจากการขุดเจาะอุโมงค์ของทุกบริษัทมารวมกันแล้วนำเผยแพร่ต่อสาธารณะชนเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาค้นคว้าและยังใช้เป็นตัวของฐานข้อมูล ของรถไฟฟ้าใต้ดินสายต่อไปที่จะทำการก่อสร้างอีกในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR
THE CONSTRUCTION OF MASS RAPID TRANSIT PROJECT
Name : MR.SORAVIS SANGKANJANAVANICH
MR. SATHIT NATAPHONGSIN
Field : CIVIL ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Adviser : ASST.PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT

ABSTRACT

The initial system project, The M.R.T. Chaloe Ratchamongkhon Line, is Bangkok's first underground line. This big and technically complicated project has so much data that lack a good management. The MRTA has employed a company to manage the documents but the company is without systematization which causes the difficulty in searching. Plus, the construction process relies on modern technologies and foreign expert's experiences. However, when the project has finished, the foreigners may or maynot stay to continue their works. Also, 80% of knowledges lies in individual which is categorized as informal knowledge. Another 20% is formal knowledge. But when there is a knowledge management, informal knowledge will be decreased while formal knowledge will be increased and the information can be searched more rapidly.

The M.R.T. Chaloe Ratchamongkhon Line hired private corporations to excavate underground tunnels. Each corporation has different norm in information management so the informations are not categorized. And the information about excavating the tunnels has large amount so it is important to assemble all the informations from each company and publicize them for the facility in studying and can be used as a data base of the next underground line in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณแก่บุคคลดังต่อไปนี้

ผศ.ดร. สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ให้คำแนะนำ,ช่วยเหลือในการทำงาน และให้ข้อมูล กำลังใจกับทางคณะผู้จัดทำ

ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ , ผศ.ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง, อาจารย์วิบูลย์ วุฒินาถ และ อาจารย์สมชาย สำสรวงศ์กุล ที่ให้คำแนะนำและติชม ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

นายสโรช บุญศิริพันธ์ และนายสุทธิกร แสงรุ่งเรืองศรี ที่เป็นคนคอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับตัวโปรแกรมที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

เพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการประจำอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา รวมทั้งผู้ที่มีส่วนร่วมและช่วยเหลือจนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

บุคลากร ที่คอยอนุเคราะห์เรื่องค่าใช้จ่ายและเป็นกำลังใจที่ดีในเวลาที่ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีอุปสรรค

ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านไม่มากก็น้อย คุณความดีของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอนมาตลอดของภาคเรียน

นายสรวิศ แสงกาญจนวนิช

นายสาธิต นะตะพงษ์ศิลป์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	ก
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
ใบรับรองโครงการพิเศษ	ค
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ด
1 บทนำ	
1.1. บทนำ	1
1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.4. ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5. วิธีการศึกษา	3
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 บรรณกรรมปริทัศน์	
2.1. นิยามของการจัดการความรู้	5
2.2. ประเภทของความรู้	7
2.3. ระดับของความรู้	8
2.4. ความหมายของการจัดการความรู้	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.5. วัตถุประสงค์และประโยชน์ของการจัดการความรู้	10
2.6. องค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้	11
2.7. สรุปองค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้	16
2.7.1. การแสวงหาความรู้ (Knowledge Acquisition)	17
2.7.2. การสร้างความรู้ (Knowledge Creation)	17
2.7.3. การจัดเก็บและค้นคืนความรู้ (Knowledge Storage and Retrieval)	18
2.7.4. การถ่ายทอดความรู้และการใช้ประโยชน์ (Knowledge Transfer and Utilization)	19
3. รายละเอียดของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพฯ	
3.1. ประวัติความเป็นมาของรถไฟฟ้ามหานคร	20
3.2. สัญญาการก่อสร้าง	20
3.3. การบริการ	22
3.3.1. ชนิดของบัตรโดยสาร	22
3.3.2. ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร	24
3.3.3. เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติ	24
3.3.4. อัตราค่าบริการและเปรียบเทียบค่าบริการระหว่าง รถไฟฟ้าใต้ดิน กับรถไฟฟ้าลอยฟ้า(BTS)	25
3.3.5. สมาร์ทการ์ดบัตรโดยสารรถไฟฟ้ายุคไฮเทค	26
3.3.6. ระบบขนส่งมวลชน	28
3.4. ระบบรักษาความปลอดภัย	35
3.4.1. มาตรการป้องกันไฟไหม้	35
3.4.2. มาตรการป้องกันน้ำท่วม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
4 โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่	
4.1. โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่	41
4.2. โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน (ส่วนต่อขยาย)	42
4.3. โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีม่วง ช่วง บางใหญ่ ถึง ราษฎร์บูรณะ	45
4.3.1. ความเป็นมาของโครงการ	45
4.3.2. ลักษณะโครงการ	45
4.4. โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม ช่วง บางกะปิ ถึง บางบำหรุ	47
4.4.1. ความเป็นมาโครงการ	47
4.4.2. ลักษณะโครงการ	48
4.5. ข้อมูลรถไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ	50
4.5.1. ชนิดของรถไฟฟ้า	50
4.5.2. ขนาดของตัวรถ	50
4.5.3. การจัดรูปแบบขบวนรถ	50
4.5.4. ภายในตัวรถ	51
4.5.5. ประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door)	51
4.5.6. การขับเคลื่อนและห้ามล้อ	52
4.5.7. ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ	52
4.5.8. ระบบความปลอดภัย	53
4.5.9. ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า	54
4.5.10. รูปแบบสถานี	56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
5 มาตรฐานการก่อสร้างและออกแบบผนังอุโมงค์ใต้ดิน	
5.1. กล่าวนำ	59
5.2. ข้อกำหนดทั่วไปของการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน	59
5.2.1. ขอบเขตของการประยุกต์ใช้	59
5.2.2. คำนิยาม	66
5.2.3. กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	68
5.3. การสำรวจ	73
5.3.1. วัตถุประสงค์ของการสำรวจ	73
5.3.2. การสำรวจสถานะของสถานที่ตั้ง	74
5.3.3. การสำรวจที่มีอุปสรรค	76
5.3.4. การสำรวจเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดิน	79
5.3.5. การสำรวจเพื่อมาตรการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	87
5.4. การวางแผน	90
5.4.1. ขนาดและรูปร่างของหน้าตัดภายในอุโมงค์	90
5.4.2. การวางแผนเส้นทางอุโมงค์	98
5.4.3. ภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์	100
5.4.4. ระดับของอุโมงค์	101
5.4.5. การเลือกวิธีการเกี่ยวกับหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield	102
5.4.6. ผนังอุโมงค์	111
5.4.7. แผนงานเฉพาะสำหรับการอำนวยความสะดวกในอุโมงค์	113
5.4.8. มาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุน	114
5.4.9. ปล่องแนวตั้ง (Shaft) และสถานที่ก่อสร้าง	116
5.4.10. มาตรการการรักษาสิ่งแวดล้อม	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
5.4.11. หมายกำหนดการของงาน	118
5.4.12. การตรวจสอบ การวัด และบันทึกงาน	118
5.5. ข้อกำหนดทั่วไปของการออกแบบผนังอุโมงค์ใต้ดิน	120
5.5.1. ขอบเขตของการประยุกต์ใช้	120
5.5.2. คำจำกัดความ	120
5.5.3. การเลือกโครงสร้างและประเภทของผนังอุโมงค์	123
5.5.4. พื้นฐานของการออกแบบ	124
5.5.5. ขั้นตอนการออกแบบ	125
5.5.6. แบบก่อสร้าง	125
5.6. น้ำหนักบรรทุก	126
5.6.1. น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ	126
5.6.2. แรงดันในแนวตั้งและแนวราบ	127
5.6.3. แรงดันน้ำ	130
5.6.4. น้ำหนักบรรทุกคงที่	131
5.6.5. ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน	131
5.6.6. แรงต้านทานของดิน	132
5.6.7. น้ำหนักจากการก่อสร้าง	133
5.6.8. น้ำหนักภายใน	134
5.6.9. ผลกระทบจากแผ่นดินไหว	134
5.6.10. ผลกระทบของการก่อสร้างอุโมงค์ข้างเคียง	136
5.6.11. ผลกระทบจากการทำงานบริเวณใกล้เคียง	137
5.6.12. ผลกระทบจากการทรุดตัวของดิน	137
5.6.13. น้ำหนักอื่นๆ	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
5.7. รูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)	138
5.7.1. มุมของรอยต่อและมุมของการประกอบ	143
5.7.2. วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring)	144
5.8. การคำนวณโครงสร้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)	146
5.8.1. พื้นฐานของการคำนวณโครงสร้าง	146
5.8.2. การคำนวณองค์ประกอบของแรง	147
6 การขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน	
6.1. ข้อมูลทางธรณีวิทยา (Geology)	156
6.1.1. ลักษณะชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร	156
6.1.2. น้ำใต้ดิน (Ground Water) และความดันน้ำ (Water Pressure) ใต้ดิน	156
6.1.3. รายละเอียดการเจาะสำรวจดิน	158
6.1.4. Standard Penetration Test (SPT)	159
6.2. การขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้เครื่องเจาะ	160
6.2.1. ส่วนประกอบของหัวเจาะ	161
6.2.2. หลักการทำงานของเครื่องเจาะ	162
6.2.3. การขุดเจาะอุโมงค์	162
6.2.4. ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์	163
6.2.5. เทคนิคการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance (EPB)	165
6.3. ปัญหาอุปสรรคและวิธีการแก้ไขในขณะดำเนินงานขุดเจาะอุโมงค์	167
6.4. ข้อมูลต่างๆ ในการขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Parameter)	168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
7 การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	
7.1. ข้อมูลสถานี	170
7.2. รูปแบบของสถานีและการก่อสร้างสถานี	174
7.3 ขั้นตอนการก่อสร้างสถานี	175
8 Diaphragm Wall	
8.1. บทนำ	180
8.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	182
8.3. ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน	182
8.3.1. ระบบ กำแพงเข็มพืด (Sheet-pile Wall)	182
8.3.2. ระบบ Jet-Grouted Wall	183
8.3.3. ระบบกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)	183
8.4. ระบบค้ำยันของกำแพงกันดิน (Braced Cofferdams)	184
8.5. ความมั่นคงในการขุด-ตัด ดินเหนียว (Stability of Surry Trench Cut in Saturated Clay)	185
8.5.1. การวิเคราะห์การอูด (Heave) ในระบบ Diaphragm Wall	186
8.5.2. การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน	187
8.5.2.1. ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้าง และการทรุดตัวแนวตั้ง	187
8.5.2.2. การประมาณค่าการทรุดตัวรอบบริเวณขุดหลุมลึก (Estimate of Ground Loss Around Excavation)	188
8.5.2.3. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน (Lateral Deformation in Soil)	190

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
8.6. ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน	191
8.7. ผลกระทบของ Wall Stiffness ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินเหนียว	194
9 เครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค	
9.1. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1	196
9.1.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	196
9.1.2. รายละเอียดของการติดตั้ง	196
9.1.3. วิธีการเตรียมการ	196
9.1.4. การติดตั้ง	196
9.1.5. การจดบันทึกค่า	197
9.2. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2	198
9.2.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	198
9.2.2. รายละเอียดของการติดตั้ง	198
9.2.3. วิธีการเตรียมการ	198
9.2.4. การติดตั้ง	198
9.2.5. การจดบันทึกค่า	200
9.3. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3	200
9.3.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	200
9.3.2. รายละเอียดของการติดตั้ง	200
9.3.3. วิธีการเตรียมการ	200
9.3.4. การติดตั้ง	201
9.3.5. การจดบันทึกค่า	201

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
9.4. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ Combined Inclinator และการติดตั้ง Magnetic Extensometer	201
9.4.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	201
9.4.2. รายละเอียดของการติดตั้ง	202
9.4.3. วิธีการเตรียมการ	202
9.4.4. การติดตั้ง	203
9.4.5. การจดบันทึกค่า	204
9.5. วิธีการติดตั้ง Vibrating Wire Piezometer	204
9.5.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า	204
9.5.2. รายละเอียดของการติดตั้ง	205
9.5.3. วิธีการเตรียมการ	205
9.5.4. การติดตั้ง	205
9.5.5. การจดบันทึกค่า	205
10 Knowledge	
10.1. ปัญหาในการก่อสร้างสถานี	206
10.2. ปัญหาในการก่อสร้างเข้าสถานี	207
10.3. ปัญหาในการขุดเจาะอุโมงค์	208
10.4. ปัญหาอื่นๆ	209
11 สรุปและข้อเสนอแนะ	216
บรรณานุกรม	217
ภาคผนวก	220

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ตารางสรุปองค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้	16
5.1	ตารางแสดงการประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์	61
5.2	ตารางแสดงกฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่สามารถประยุกต์ได้	69
5.3	ตารางแสดงรายการการสำรวจเกี่ยวกับการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดินสำหรับโครงการขุดเจาะอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield Tunnel)	80
5.4	ตารางแสดงแผนภาพในการเลือกประเภทหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เหมาะสม	107
5.5	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง	129
5.6	ตารางแสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์คอนกรีต	141
5.7	ตารางแสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เหล็ก	142
5.8	ตารางแสดงขนาดเรือวและองศาของความเรือว	146
6.1	ตารางแสดงการจำแนกลักษณะของดินจากผลการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) (Peck, Hanson and Thombum, 1974)	160

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษา	4
2.1	แสดงช่องว่างความรู้	6
3.1	แสดงบัตรเติมเงินและเหรียญโดยสาร	23
3.2	แสดงห้องจำหน่ายตั๋ว (Ticket Office)	24
3.3	แสดงภายในห้องจำหน่ายตั๋ว (Inside Ticket Office)	24
3.4	แสดงเครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติ (Ticket Vending Machine)	25
3.5	แสดงอัตราค่าบริการรถไฟฟ้าใต้ดิน	25
3.6	แสดงอัตราค่าบริการและเปรียบเทียบค่าบริการระหว่าง รถไฟฟ้าใต้ดินกับรถไฟฟ้าBTS	26
3.7	แสดงบัตรสมาร์ทการ์ด	26
4.1	แสดงโครงข่ายรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่	42
4.2	แสดงภาพตัวรถไฟฟ้าตัวอย่าง	50
4.3	แสดงการวางเก้าอี้ภายในรถไฟฟ้า	51
4.4	แสดงภาพตัวอย่างประตูชานชาลา	52
4.5	แสดงภาพตัวอย่างเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ	53
4.6	แสดงภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ	53
4.7	แสดงภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ	53
4.8	แสดงวางรถไฟ	54
4.9	แสดงรูปแบบที่มีชานชาลากลาง (CENTRAL PLATFORM)	56
4.10	แสดงรูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (SIDE PLATFORM)	57
4.11	แสดงรูปแบบที่มีชานชาลาซ้อนกัน (STACK PLATFORM)	57
4.12	แสดงภาพจำลอง ทางขึ้น-ลง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.13	แสดงภาพจำลองภายในสถานี	58
4.14	แสดงภาพจำลองบริเวณชานชาลา	58
5.1	แสดงแรงดันจาก Compressed Air หรือ Slurry รั่วไปในช่องว่างในหลุมเจาะขนาดใหญ่ขณะเจาะอุโมงค์	83
5.2	แสดงการพังทลายของหน้าดินส่วนหน้าหัวเจาะ ซึ่งทำให้เกิด Sink Hole	85
5.3	แสดงระดับความดันน้ำในดินที่ตรวจวัดใน โครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคล	86
5.4	แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้า	91
5.5	แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้เป็นถนน	93
5.6	แสดงรูปตัดของอุโมงค์ระบายน้ำเสีย	93
5.7	แสดงรูปตัดของอุโมงค์ส่งน้ำ	94
5.8	แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้วางสายเคเบิลพลังงาน	95
5.9	แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้วางสายเคเบิลสื่อสาร	95
5.10	แสดงรูปตัดอุโมงค์วางท่อก๊าซ	96
5.11	แสดงรูปตัดของอุโมงค์เอนกประสงค์	97
5.12	แสดงภาชนะน้ำหนักเหนืออุโมงค์น้อยที่สุดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเจาะ Shield	101
5.13	แสดงประเภทของหัวเจาะ Shield	102
5.14	แสดงถึงแผนภาพของการเลือกของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield	106
5.15	แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานกล่อ่ง	121
5.16	แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานคอนกรีต	121
5.17	แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทแผ่นราบ	121
5.18	แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.19 แสดงลักษณะด้านข้างของวงแหวนผนังอุโมงค์	123
5.20 แสดงแบบจำลองสปริง	133
5.21 แสดงขั้นตอนการศึกษาความมั่นคงของอุโมงค์และดิน โดยรอบ	136
5.22 แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เคแบบใส่ภายในอุโมงค์ตามรัศมี	143
5.23 แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เคแบบใส่ตามแนวยาวของอุโมงค์	144
5.24 แสดงแบบแผนของแบบจำลองในการออกแบบ	150
5.25 แสดงการกระจายของน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบตามจุดประสงค์ต่างๆ	150
5.26 แสดงการถ่ายโมเมนต์คัตสู่วงแหวนที่อยู่ติดกัน	152
6.1 แสดงหัวเจาะ Tunneling Boring Machine (TBM)	161
6.2 แสดงสมดุลแรงดันและการลำเลียงดิน	162
6.3 แสดงการขุดเจาะอุโมงค์วิธี Earth Pressure Balance Shield	162
6.4 แสดงรูปก่อนการทำงาน	163
6.5 แสดงการขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)	163
6.6 แสดงการอัดฉีดน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting)	164
6.7 แสดงการประกอบชิ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)	165
7.1 แสดงลักษณะต่างๆของชานชาลา	175
7.2 แสดงการก่อผนังกำแพงสถานีและเสาเข็มกลางสถานี (Diaphragm Wall & Barrette Pile)	176
7.3 แสดงการติดตั้งผิวจราจรชั่วคราว (Temporary Decking)	176
7.4 แสดงการขุดดินและก่อสร้างหลังคาสถานี (Roof Slab)	177
7.5 แสดงการขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นรองรับผู้โดยสาร (Subway Access)	177
7.6 แสดงการขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นห้อง โถงผู้โดยสาร (Concourse Slab)	178
7.7 แสดงการขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นล่าง (Base Slab)	178

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
7.8	แสดงการกินผิวถนน	179
7.9	แสดงสถานีที่ทำการก่อสร้างเสร็จแล้ว	179
8.1	แสดงกำแพงกันดินระบบจมปล่องอุโมงค์	180
8.2	แสดงกำแพงกันดินแบบเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง	181
8.3	แสดงการค้ำยันเบื้องต้น	184
8.4	แสดงการเคลื่อนตัวด้านข้าง	191
8.5	แสดงการติดตั้งค้ำยันแบบครีป	192
8.6	แสดงระบบกำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีการค้ำยันแน่นอน	193
8.7	แสดงการค้ำยันในกำแพงระบบ Diaphragm Wall	193
8.8	แสดงการนำกองดิน (Berm) ช่วยในการค้ำยัน	194
9.1	แสดงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1	197
9.2	แสดงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2	199
9.3	แสดงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3	201
10.1	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ตำแหน่ง Pump Sump	211
10.2	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting บริเวณทางขึ้นลูกเดินหรือทางหนีไฟ และปล่องระบายอากาศ	212
10.3	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะเข้าภายในตัวสถานี	213
10.4	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะออกจากตัวสถานี	213
10.5	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting บริเวณที่ทำการตัดเสาเข็มสะพานออก	214
10.6	แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากการขุดดินออก	215

คำอธิบายสัญลักษณ์

q_u	Unconfined Compressive Strength
C_u	ค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ
λ	ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง
α_r	มุมของรอยต่อ
ω	มุมอยู่ในขอบเขตการประกอบชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์
θ_k	มุมของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค
D_o	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนอุโมงค์ใต้ดิน
η	สัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนผลกระทบของความแข็งแรงเกร็งของการตัด
ξ	อัตราส่วนการโยกย้ายของโมเมนต์ตัด
D	ความลึกของ Diaphragm Wall จากผิวดิน
B	ความกว้างของ Panel ที่ขุด
K	สัมประสิทธิ์ของ MEYERHOF
C_u	Undrained Shear Strength
S	Surcharge ข้างหลังหลุมที่ขุด
N	Stability Factor หาได้จาก MEYERHOF
S_u	ค่ากำลังรับแรงเฉือน
F	ค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety)
H	ความลึกของการขุด (Depth of Excavation)
γ	ความหนาแน่นของดิน (Soil Density)
S_u	ค่า Undrained Shear Strength ของดินด้านล่างและบริเวณก่อสร้าง
Q	น้ำหนัก (Surcharge Load) ที่ผิวดิน
N_c	Stability Number เมื่อ $D = H + h$
h	ระยะฝังของกำแพงใต้ระดับดินขุด (Wall Embedment Below Excavation Level)
α	Adhesion Factor สำหรับดินเหนียวอ่อน = 1
B	ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)
H_w	ความสูงของกำแพง

อธิบายศัพท์

Base Slab	พื้นชั้นล่าง
Bracing	ค้ำยัน
Bottom Heave	การูดของดินด้านล่าง
Concourse Slab	พื้นชั้นห้องโถงผู้โดยสาร
Cut & Cover Method	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถมกลับ
Ground Surface	ระดับผิวดิน
Intermediate Layer	ชั้นดินส่วนกลาง
Intervention Shaft	ปล่องระบายอากาศและทางออกฉุกเฉิน
Lateral Pressure	แรงดันด้านข้าง
Opening	ช่องเปิด
Screw Conveyor	ทางลำเลียงดินออกจากหัวเจาะ
Shield	หัวเจาะอุโมงค์
Shield Method	วิธีการที่ใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์
Shotcrete	คอนกรีตพ่น
Slope Stability	ความมั่นคงของลาดดิน
Slurry	น้ำยาปรับสภาพดิน
SPT	Standard Penetration Test
Stop Log	สนั๊กกันน้ำ
Subway Access	พื้นชั้นรองรับผู้โดยสาร
Sump	บ่อพักน้ำ
TBM	หัวเจาะ Tunneling Boring Machine
Temporary Decking	ผิวจราจรชั่วคราว
Top Layer	ชั้นดินส่วนบน
Underpinning	เสาเข็มทดแทน
Ventilation Shaft	ปล่องระบายอากาศ
Weathered Bedrock	ชั้นหินดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. บทนำ

การเดินทางภายในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลรวมทั้งเมืองขนาดใหญ่อื่นๆ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของประชาชน และการเจริญเติบโตของประเทศ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาติดตามขึ้นมาเรื่อยๆ เช่น ปัญหาการจราจรบนถนนติดขัด ปัญหาประชาชนใช้เวลาเดินทางในแต่ละวันมากเกินไป ปัญหาความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ปัญหาอากาศเป็นพิษเนื่องจากไอเสียของรถยนต์ ความมาด้วยปัญหาสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคภูมิแพ้ ปัญหาความสิ้นเปลืองเครื่องมือและยารักษาโรคที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศอีกเช่นกัน ล้วนเป็นปัญหาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงขึ้นทุกวัน เมืองขนาดใหญ่หลายเมือง ได้มีการพิจารณาหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว และได้มีการตัดสินใจที่จะใช้ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนภายในเมือง เป็นระบบขนส่งหลัก ซึ่งก็ได้ประสบความสำเร็จอย่างดียิ่ง ดังจะเห็นได้จากการที่มีโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใหม่ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น ในเมืองปารีส โตเกียว หรือเมืองใหญ่ๆ ทั่วโลก เป็นต้น

การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นโครงการที่มีการก่อสร้างเพื่อบรรเทาการจราจรที่ติดขัดและเพื่อความอำนวยความสะดวกในการขนส่ง ซึ่งการทำงานทั้งหมดอยู่ภายใต้การควบคุมขององค์การรถไฟฟ้ามหานคร ทั้งโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลและส่วนต่อขยายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะสามารถบรรเทาการจราจรติดขัดครอบคลุมกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเกือบทั้งหมด

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากทุกวันนี้กรุงเทพมหานครได้เกิดปัญหาการจราจร เป็นเหตุมาจากความแออัดของขบวนพาหนะที่เพิ่มมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ทำให้ทางรัฐบาลได้แก้ปัญหาโดยการสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อให้ประชาชนได้เดินทางอย่างสะดวกรวดเร็วขึ้น และในปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงปรับตัวสูงขึ้น การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัวสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ทำให้ประชาชนมีทางเลือกสามารถหันมาใช้ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย ตามนโยบายรัฐบาลอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินนั้น เป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนทางด้านเทคนิคอย่างมาก ซึ่งข้อมูลที่เก็บนั้นมีจำนวนมากที่ยังไม่ได้มีการจัดการความรู้อย่างมีระเบียบ โดยทางการรถไฟฟ้ามหานครได้ว่าจ้างบริษัทจัดเก็บเอกสาร แต่เมื่อจะนำข้อมูลเอกสารต่างๆมาใช้งาน จะมีความล่าช้าในการทำเรื่องขอเบิก และบริษัทที่จัดเก็บนั้นไม่ได้จัดเก็บไว้เป็นหมวดหมู่ ซึ่งยากต่อการค้นหา อีกทั้งการดำเนินการก่อสร้างโครงการ เป็นโครงการขนาดใหญ่ จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ และอาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญจากต่างชาติเป็นอย่างมาก แต่เมื่อโครงการแล้วเสร็จชาวต่างชาติ อาจไม่อยู่ทำงานต่อหรืออยู่ทำงานบางสาขาหรือบางเรื่อง ซึ่งหากเกิดปัญหาในการก่อสร้างโครงการต่อไปในสาขาที่ชาวต่างชาติกลับไปแล้ว ก็จะทำให้งานล่าช้าขึ้น แต่เมื่อมีการจัดการความรู้ขึ้นมาจะทำให้ค้นหาข้อมูลด้านต่างๆ ที่เคยทำมาแล้วอย่างสะดวกสบาย ซึ่งไม่จำเป็นต้องว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญชาวต่างชาติอีกเลยก็เป็นได้

ในปัจจุบันยังจำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีหรือ Know-How และประสบการณ์ของบุคลากรต่างชาติ และเห็นความจำเป็นและความสำคัญในเรื่องการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ด้านวิศวกรรมให้แก่บุคลากรชาวไทย เพื่อให้มีความรู้ความสามารถดำเนินงานก่อสร้างโครงการในลักษณะเช่นนี้ได้เองในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลที่ส่งเสริมให้มีการลดการพึ่งพาต่างชาติ แต่เนื่องจากไม่สามารถรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือความรู้ต่างๆได้เต็มที่ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการความรู้ต่างๆ เหล่าขึ้นมาเพื่อจะทำให้ลดการพึ่งพาชาวต่างชาติ ตามนโยบายรัฐบาล และประชาชนทั่วไปสามารถค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมได้ แม้กระทั่งประชาชนที่ไม่รู้เรื่องก่อสร้างมาก่อนก็สามารถเข้าใจการก่อสร้างเบื้องต้นได้

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อจัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานครให้เป็นระเบียบ สามารถค้นคว้าอย่างสะดวกแก่ผู้สนใจ
2. เพื่อจัดเก็บข้อมูลใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงในการสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายต่อไปในอนาคต

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

พัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ให้สามารถใช้งานได้กับโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในอนาคต และสามารถแสดงผลที่ต้องการให้เชื่อมโยงเพื่อเปรียบเทียบกันในส่วน of ฐานข้อมูล โดยการรวบรวมข้อมูลและศึกษาจากโปรแกรมฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล

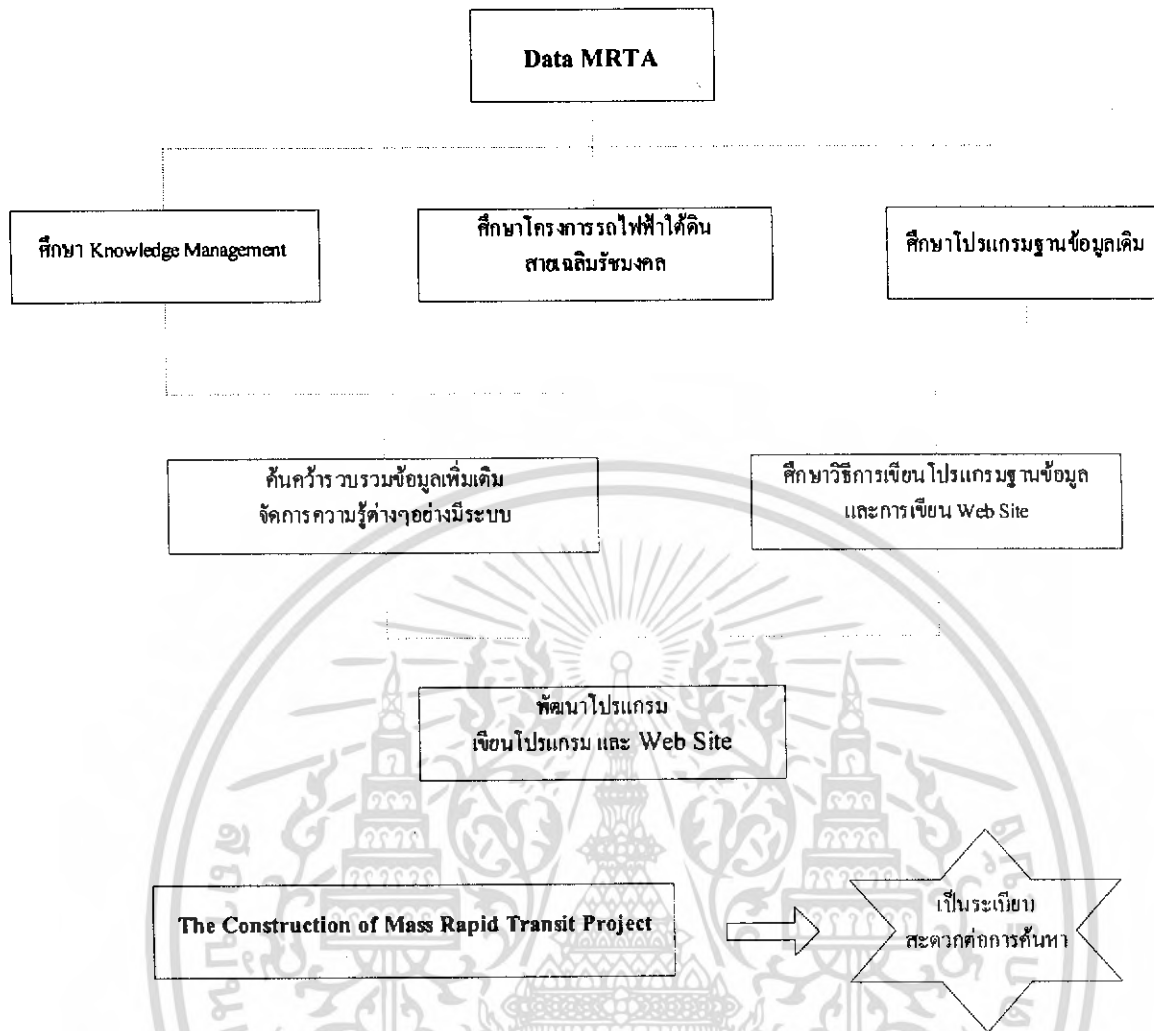
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา² และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดการความรู้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานครให้เป็นระเบียบ สะดวกต่อการค้นหา เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าแก่ผู้สนใจ

1.5. วิธีการศึกษา

1. ศึกษาการจัดการความรู้ Knowledge Management
2. ศึกษาข้อมูลในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล
3. ศึกษาโปรแกรมฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ว่าจะต้องแสดงข้อมูลใด และสามารถเชื่อมโยงข้อมูลใดได้บ้าง
4. ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมฐานข้อมูล
5. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลการดำเนินงานออกแบบและก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร เพิ่มเติมแล้วจัดการความรู้ให้เป็นระเบียบสะดวกต่อการค้นหา
6. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถแสดงผลและเชื่อมโยงข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็น เพื่อเป็นต้นแบบในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ในอนาคต และจัดทำเว็บไซต์ให้แก่ผู้สนใจสามารถศึกษาได้ง่ายและสะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนดำเนินงานของการศึกษา

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นต้นแบบของ โปรแกรมฐานข้อมูลรถไฟฟ้ามหานครในอนาคต
2. เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้อย่างมีระเบียบและแสดงผลออกมาให้สามารถศึกษาได้ง่าย
3. สามารถนำกลับไปศึกษาเมื่อมีโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานครส่วนต่อขยายในอนาคตได้
4. สามารถลดการพึ่งพาชาวต่างชาติ ตามนโยบายรัฐบาลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 4 ๔๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

Knowledge

10.1 ปัญหาในการก่อสร้างสถานี

10.1.1 ปัญหาน้ำท่วม

เพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วมเข้าภายในสถานีขณะทำการก่อสร้าง ได้ทำการติดตั้งปั๊มน้ำพร้อมปฏิบัติการไว้ตลอดเวลา เพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่ใต้ดินที่เมื่อฝนตกเนื่องจากน้ำจะเข้ามาทางช่องเปิด (Opening) ที่ใช้ลำเลียงวัสดุ นอกจากนี้ยังได้ทำการขานแนวรอยต่อ ของแผ่นพื้นจราจรชั่วคราวไว้ด้วย Epoxy แต่เนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของประเทศไทย ทำให้วัสดุชนิดนี้หลุดลอกแตกออกในภายหลัง จึงได้เปลี่ยนวัสดุขานแนวเป็นยางมะตอยซึ่งทนทานต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าและมีราคาถูกกว่ามาก

10.1.2 ปัญหาด้านเสียง

เสียงดังรบกวนที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างโครงการ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความรำคาญแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง ได้แก่ เสียงจากอุปกรณ์หรือเครื่องจักรต่างๆ ที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ที่เกิดจากการตอกกำแพงกันดินเสาเข็ม เสียงที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ในการก่อสร้างได้ดินที่ต้องมีการขุดเปิดหน้าดิน ส่วนการดำเนินการเพื่อลดผลกระทบด้านเสียงในระหว่างการก่อสร้างมีดังนี้

- การกำหนดช่วงเวลาที่จะอนุญาตให้มีกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อให้เกิดเสียงดังผิดปกติ ได้เฉพาะช่วงเวลากิจกรรมใดๆ ก็ตามที่ทำให้เกิดเสียงดังเกินกว่าค่าระดับที่ยอมรับได้ จะต้องมีการประกาศแจ้ง ให้สาธารณชนทราบล่วงหน้า
- จัดให้มีกำแพงกันเสียงชั่วคราวบริเวณพื้นที่ก่อสร้างที่จะเกิดเสียงดังมาก
- จัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันเสียงสำหรับคนงาน
- เลือกเครื่องจักรสำหรับการก่อสร้างที่มีคุณภาพสูง และตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีการตรวจวัดระดับความดังของเสียงในช่วงเวลาต่างๆ ณ พื้นที่ที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่มีความไวต่อเสียงสูง เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล ของแต่ละสถานที่ทำการก่อสร้าง โดยวัดระดับความดังทุก 4 เดือน

10.1.3 ปัญหาการหลอ่เสานในการก่อสร้างแบบบนลงล่าง (Top-down)

เนื่องจากการก่อสร้างแบบบนลงล่าง จะทำการหลอ่พื้นชั้นบนก่อนพื้นชั้นถัดลงมา ดังนั้นเมื่อต้องการหลอ่เสาชั้นล่างจะต้องตั้งแบบจากพื้นชั้นล่างจนถึงเพดาน ทำให้ไม่สามารถเทคอนกรีตได้โดยสะดวก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยฝังท่อ (Steeve) ไว้ก่อนการหลอ่พื้นชั้นบน และเมื่อถึงชั้นตอนหลอ่เสาชั้นล่างก็สามารถเทคอนกรีตลงท่อที่ฝังไว้ได้อย่างสะดวก

10.2 ปัญหาในการก่อสร้างเข้าสร้างสถานี

10.2.1 ปัญหาด้านความปลอดภัยในการทำงาน

พื้นที่ทำงานในระยะดังมีจำกัดเนื่องจาก ดิกระบบสาธารณูปโภคต่างๆ อันได้แก่ สายไฟแรงสูงและสายโทรศัพท์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้เครื่องจักร เช่นรถเครน ซึ่งอาจจะไปเกี่ยวสายไฟขณะปฏิบัติงานได้ และยังทำให้ประชาชนเดือดร้อนอีกด้วย จึงทำการป้องกัน โดยใช้ฉนวนหุ้มสายไฟไว้ตลอดแนวการทำงาน

10.2.2 การป้องกันกรณีน้ำท่วมขังปกติ

การป้องกันกรณีน้ำท่วมขังปกติ ปากทางเข้าสถานีซึ่งเป็นทางเดียวที่น้ำจะไหลเข้าท่วมสถานีและอุโมงค์ ได้ออกแบบให้ระดับพื้นทางขึ้น-ลง อยู่สูงกว่าระดับถนนประมาณ 1.2 เมตร ซึ่งสูงกว่าระดับน้ำท่วมขังฉับพลันที่เคยเกิดขึ้นในกรุงเทพฯ ซึ่งไม่เกิน 0.7 เมตร จากระดับผิวถนน

10.2.3 การป้องกันการกรณีเกิดอุทกภัย

การป้องกันกรณีเกิดอุทกภัย ได้กำหนดให้สามารถที่จะป้องกัน ระดับน้ำท่วมสูงสุด ในรอบ 200 ปีที่ผ่านมา ได้โดยจะทำการติดตั้งประตูเลื่อนลักษณะคล้ายเขื่อนกั้นน้ำสูงขึ้นไปอีก 1 เมตร จากระดับกับพื้นทางขึ้น-ลงสถานี หากเกิดน้ำท่วมเกินกว่าระดับน้ำที่เคยท่วมสูงสุดในรอบ 200 ปีที่ผ่านมา ประตูเลื่อนดังกล่าวจะปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลลงสู่สถานีและอุโมงค์ได้คิน

10.3 ปัญหาในการขุดเจาะอุโมงค์

10.3.1 เมื่อเครื่องเจาะเบี่ยงเบนออกไปจากแนวที่ออกแบบไว้ มีสาเหตุได้ดังนี้

- วิศวกรและผู้ควบคุมเครื่องเจาะขาดความรู้ความเข้าใจ
- ความผิดพลาดในการสำรวจและคำนวณ
- ความผิดพลาดในการใส่ข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ขาดความชำนาญ และประสบการณ์ในการประกอบชิ้นส่วนอุโมงค์

10.3.2 เมื่อพบชั้นทราย ชั้นดินปนทราย หรือน้ำใต้ดินขณะทำการขุดเจาะ

ลักษณะของเครื่องเจาะชนิด Earth Pressure Balance นั้น สามารถขุดได้ในทุกสภาพชั้นดิน (ยกเว้นชั้นที่เป็นหิน) วิธีการแก้ปัญหาที่พบในชั้นดินแต่ละประเภท ทำได้ดังนี้

- ชั้นดินแข็ง (Stiff Clay) ความจริงเครื่องขุดเจาะประเภทนี้เหมาะสำหรับขุดดินในชั้นดินอ่อน หากเจอสภาพดินแข็งจำเป็นต้องฉีดน้ำเข้าไปเพื่อช่วยสลายดินให้อ่อนตัว มิฉะนั้นดินก้อนใหญ่จะก่อปัญหาให้ Screw Conveyor อุดตันได้
- ชั้นดินเหนียว (Medium Clay) เป็นชั้นดินที่เหมาะสมกับเครื่องขุดเจาะประเภทนี้มากที่สุด เนื่องจากปัญหามีน้อยโดยดินที่ออกมา จะเป็นแท่งอย่างต่อเนื่อง
- ชั้นทราย (Sandy Clay) และชั้นดินปนทราย หากเป็นทรายเป็นส่วนใหญ่จะต้องฉีด Bentonite หรือ Polymer หรือ Organic Foam เข้าไปผสมเพื่อกันไม่ให้ดินบริเวณหน้าเครื่องขุดพัง การขุดจะต้องเพิ่มแรงดันใน Chamber เพื่อดันดินไว้ไม่ให้ไหลเข้าไปใน Chamber เร็วเกินไป
- น้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในระดับ 20 ม. มีน้อยหากพบก็จะพบในลักษณะที่ซึมเข้ามาช้าๆ สภาพชั้นดินยังคงปกติ ถ้าเป็นกรณีที่สภาพดินอ่อนตัวมากวิธีแก้ปัญหาคือการฉีดน้ำยาประเภท Quick setting compound หรือการทำ Ground Treatment

10.3.3 เมื่อพบอุปสรรคขวางหน้า (Obstruction)

ในกรณีที่พบอุปสรรคขวางแนวขุดเจาะอุโมงค์ หากทรายเป็นลวงหน้า เช่นเสาเข็มหรือฐานรากอาคารหรือสะพาน ถ้ารู้ว่าจำเป็นจะต้องตัดเสาเข็มจะต้องทำ Ground Treatment ไม่ว่ากรณีที่อยู่ในชั้นดินอ่อนหรือดินแข็ง จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงของเสาเข็มโดยเพิ่ม Bearing Load

แทน Friction Load ในส่วนที่ตัดออกหรือติดตั้งเสาเข็มทดแทน (Underpinning) เมื่อเครื่องขุดต่อไปจนถึงตำแหน่งเสาเข็มก็จะเปิดประตู Soil Chamber เพื่อให้คนเข้าไปสกัดนำเอาเสาเข็มออก

10.3.4 การรั่วซึมของน้ำใต้ดิน (Underground Water Leakage) และการป้องกันน้ำท่วม

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ส่วนของเปลือกอุโมงค์จะเป็นคอนกรีต และมีโครงสร้างแบบกันน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม ด้านล่างสุดของอุโมงค์ทุกระยะประมาณ 500 เมตร ใดออกแบบให้มีบ่อพักน้ำ (Sump) และติดตั้งปั๊มอัด โนมัติเพื่อสูบน้ำจากการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน นอกจากนี้เพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วมเข้าอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ในช่วงปลายอุโมงค์ที่มีความลาดชัน ได้มีการออกแบบให้มีบ่อพักเพื่อดักและเก็บน้ำที่ไหลเข้าสู่อุโมงค์เนื่องจากฝนตกทั่วไป

10.4 ปัญหาอื่นๆ

1. การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าและโครงสร้างอุโมงค์ทางวิ่ง

โครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินกับโครงสร้างอุโมงค์ทางวิ่ง จะทรุดตัวไม่เท่ากัน ไปตลอดช่วงอายุการใช้งาน ของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน อันเนื่องมาจากการที่โครงสร้างทั้งสองส่วนมีฐานรากอยู่ในชั้นดินในระดับที่แตกต่างกัน และเป็นชั้นดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคที่แตกต่างกันด้วย ประกอบกับมีน้ำหนักของโครงสร้างที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก จึงทำให้เกิดการทรุดตัวที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบจากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน ระหว่างโครงสร้างทั้งสองส่วน จึงได้ออกแบบให้มีการติดตั้งรอยต่อประเภทยึดหยุ่นได้รูปแบบ โอเมก้า ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินกับโครงสร้างอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้า โดยรอยต่อดังกล่าวนี้สามารถรองรับการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของ โครงสร้างทั้งสองได้ประมาณ 100 มิลลิเมตร

ในขั้นตอนการออกแบบ มีการศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการทรุดตัว ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของ โครงสร้างอุโมงค์ทางวิ่ง และโครงสร้างสถานีและพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปเป็นเวลา 50 ปี ค่าระดับของอุโมงค์ และสถานีตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง โครงสร้างทั้งสอง จะแตกต่างกันโดยเฉลี่ยประมาณ 15 ถึง 30 มิลลิเมตร ซึ่งรอยต่อประเภทยึดหยุ่นได้รูปแบบ โอเมก้าที่ติดตั้งไว้ นี้ สามารถรองรับค่าระดับที่แตกต่างกันนี้ได้

อนึ่ง แนวระดับรางรถไฟฟ้าตรงบริเวณรอยต่อระหว่างโครงสร้างอุโมงค์และสถานี ได้มีการออกแบบและก่อสร้างให้สามารถปรับระดับ เพื่อให้รองรับค่าการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันระหว่าง โครงสร้างทั้งสองส่วน ได้ เพื่อมิให้เกิดผลกระทบต่อการเดินรถ

2. การออกแบบเพื่อรองรับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

โดยที่ประเทศไทยมิได้อยู่ในเขตที่เกิดแผ่นดินไหว แต่อาจได้รับผลกระทบบ้างจากแรงสั่นสะเทือน ของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น และเพียงแต่อาจทำให้เกิดความรู้สึกถึงการสั่นไหวของโครงสร้างได้บ้างเท่านั้น

อย่างไรก็ตามในการออกแบบอุโมงค์ทางวิ่ง และสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้กำหนดให้นำค่าอัตราเร่งเมื่อเทียบกับแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 0.06 กรัม มาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณค่าแรงกระทำที่เกิดจากความสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ในการออกแบบโครงสร้างสถานีและอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้าด้วย

3. การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของชั้นดิน

ในบางพื้นที่ที่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพของดิน ก่อนทำการก่อสร้าง เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อแรงเฉือนให้ชั้นดินและ/หรือ เพื่อเป็นการลดหรือป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในมวลดินในพื้นที่ที่ทำการขุดแบบไม่มีค้ำยัน วิธีที่ผู้รับจ้างเลือกใช้คือวิธีการปรับปรุงดินแบบ Jet-Grouting

Jet-Grouting ดำเนินการด้วยการอัดฉีดส่วนผสมของน้ำ และซีเมนต์ลงไปชั้นดินโดยใช้หัวเจาะที่มีหัวฉีดแรงดันสูง อัดน้ำปูนไปยังจุดต่างๆ ที่ต้องการให้ชั้นดินมีความมั่นคงและเกิดเสถียรภาพ

4. การขุดเจาะอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้าพาดผ่านแนวอุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวง

งานที่ทำหายที่สุดในการขุดเจาะอุโมงค์ ของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล คือการขุดเจาะอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้าใต้ดินแนวถนนพระรามที่ 4 พาดผ่านแนวอุโมงค์ส่งน้ำประธานของการประปานครหลวง ช่วงระหว่างสถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ไปยังสถานีคลองเตย และช่วงบริเวณด้านทิศตะวันตกของสถานีสามย่าน ซึ่งกำหนดให้แนวอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้า ต้องขุดเจาะพาดผ่านทั้งด้านบนและด้านล่างของอุโมงค์ส่งน้ำประธาน โดยมีระยะห่างระหว่างผิวนอกของอุโมงค์ทั้งสอง เพียงประมาณ 1.4 เมตร และ 2.3 เมตรเท่านั้น

ในการคำนวณวิเคราะห์ ได้กำหนดให้อุโมงค์ส่งน้ำประธานนี้ทรุดตัวได้ไม่เกิน 8 มิลลิเมตร ซึ่งหากการทรุดตัวเกิดขึ้นสูงกว่าค่านี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุโมงค์ส่งน้ำประธานได้ ดังนั้นในการควบคุมการทรุดตัวให้น้อยกว่า 8 มิลลิเมตรนี้ จึงได้มีการนำเทคนิคที่เรียกว่า Horizontal Mini-Piles มาใช้เพื่อเสริมความแข็งแรงของชั้นดิน ระหว่างอุโมงค์ทั้งสองรวมถึงการควบคุมแรงดันของหัวเจาะอย่างระมัดระวัง ซึ่งหลังจากการก่อ

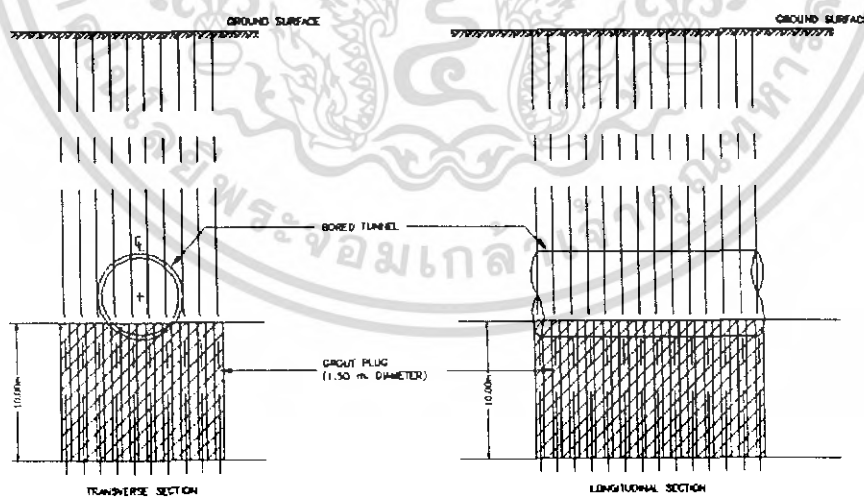
ก่อสร้างอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟแล้วเสร็จ และได้มีการติดตามตรวจสอบ โดยต่อเนื่องไม่พบว่ามีความเสี่ยงเกิดขึ้น ต่ออุโมงค์ส่งน้ำประธานของการประปานครหลวงแต่อย่างใดทั้งสิ้น

5. การรื้อย้ายโครงสร้างที่เป็นอุปสรรคต่อการขุดเจาะอุโมงค์และการค้ำยันสะพาน

ในแนวเส้นทางที่อุโมงค์รถไฟใต้ดินผ่านพบว่า มีเสาเข็มของสะพานข้ามคลองหรือสะพานลอยรถยนต์กีดขวางการก่อสร้างอยู่หลายแห่ง จึงมีความจำเป็นต้องมีการตัดหรือถอนเสาเข็มที่กีดขวางเหล่านั้นออกไปจากแนวก่อสร้างอุโมงค์ โดยก่อสร้างฐานรากและโครงสร้างใหม่รองรับสะพานไว้ เพื่อคงการจราจรทั้งบนสะพานและใต้สะพานในระหว่างการก่อสร้างไว้ตลอดเวลา

6. Ground Plug at Pump Sump Location

หน้าตัดของอุโมงค์ ส่วนที่มีระดับต่ำสุดระหว่างแต่ละสถานี ซึ่งเป็นตำแหน่ง Pump Sump เพื่อระบายน้ำออกจากอุโมงค์ ซึ่งอุโมงค์ส่วนนี้ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการ Jet Grouting บริเวณส่วนล่างของอุโมงค์ลึกประมาณ 10 เมตร ครอบคลุมอุโมงค์ให้ได้ความดันตามที่กำหนดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตรหรือในรูปคือส่วนที่แรงๆ การทำ Jet Grouting เพื่อป้องกันการทรุดตัวและเคลื่อนตัวของอุโมงค์เนื่องจากบริเวณนี้ต้องรับน้ำหนักมากกว่าส่วนของอุโมงค์ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 10.1

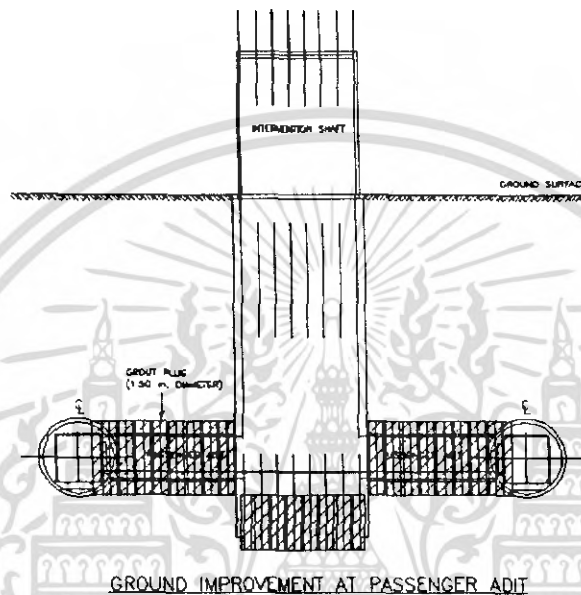


GROUND IMPROVEMENT AT PUMP SUMP LOCATION

รูปที่ 10.1 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ตำแหน่ง Pump Sump

7. Ground Plug at Passenger Adit

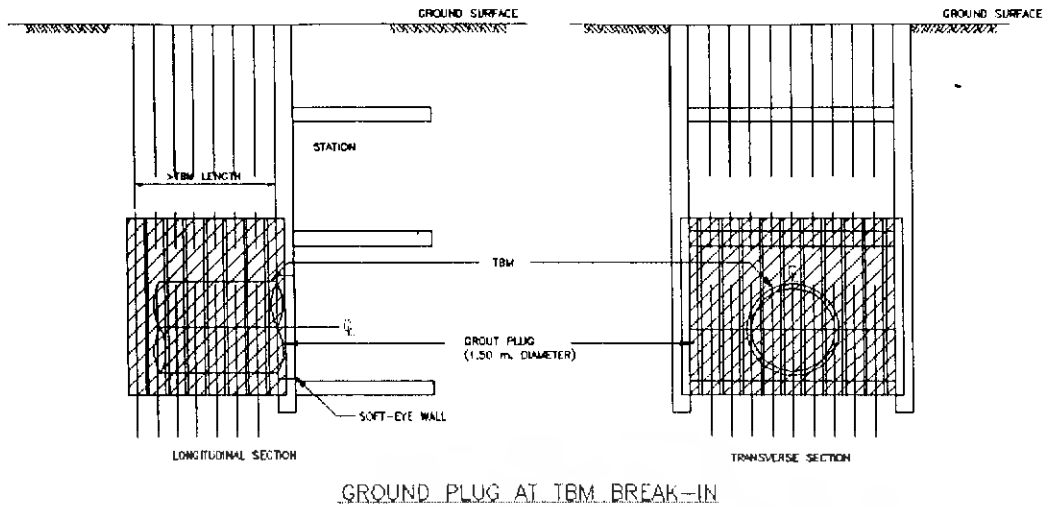
การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการทำ Jet Grouting บริเวณทางขึ้นลูกเดินหรือทางหนีไฟและปล่องระบายอากาศ อยู่ระหว่างแนวอุโมงค์ทั้ง 2 อุโมงค์ เพื่อป้องกันดินเคลื่อนตัวเข้าไปในตัวอุโมงค์และทำให้แรงดันที่กระทำต่ออุโมงค์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงจำเป็นต้อง Jet Grouting ระหว่างทางเชื่อมอุโมงค์และส่วนล่างของปล่องระบายอากาศ ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตรหรือในรูปคือส่วนที่แรเงา ดังแสดงในรูปที่ 10.2



รูปที่ 10.2 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting บริเวณทางขึ้นลูกเดินหรือทางหนีไฟและปล่องระบายอากาศ

8. Ground Plug at TBM Break-In

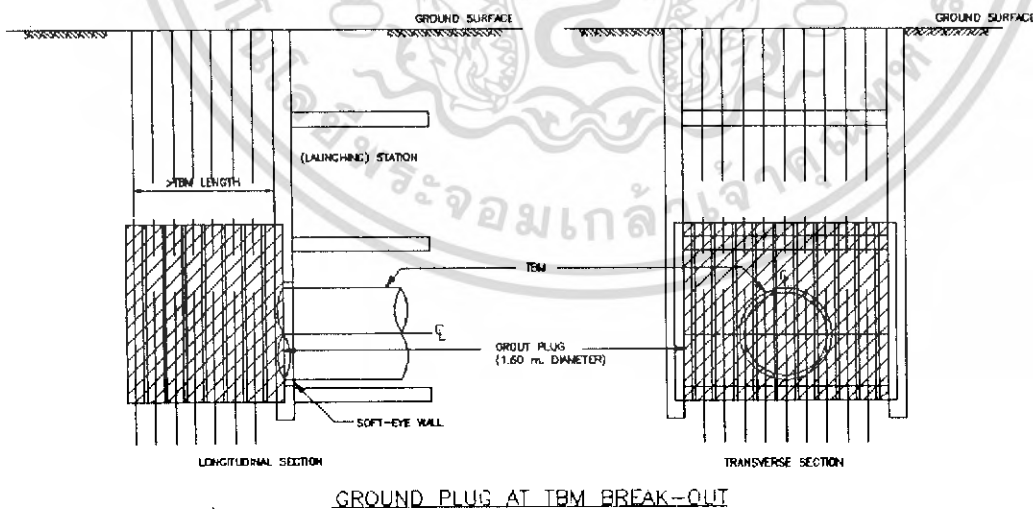
การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการทำ Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะเข้าภายในตัวสถานี โดยผ่าน Diaphragm Wall (Soft-Eye Wall) บริเวณนี้จะเป็นไฟเบอร์เพื่อที่จะสามารถทำการตัดออกได้ง่าย เมื่อจะทำการเจาะเข้ามาภายในตัวสถานี ต้องทำการ Jet Grouting ให้มีความยาวมากกว่าตัวหัวเจาะและครอบคลุมหัวเจาะให้ได้ความดันตามที่กำหนด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตร หรือในรูปคือส่วนที่แรเงา เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ดินทะลักเข้าไปในตัวสถานี ขณะทำการเจาะผ่าน Soft-Eye Wall เข้า ดังแสดงในรูปที่ 10.3



รูปที่ 10.3 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะเข้าภายในตัวสถานี

9. Ground Plug at TBM Break-Out

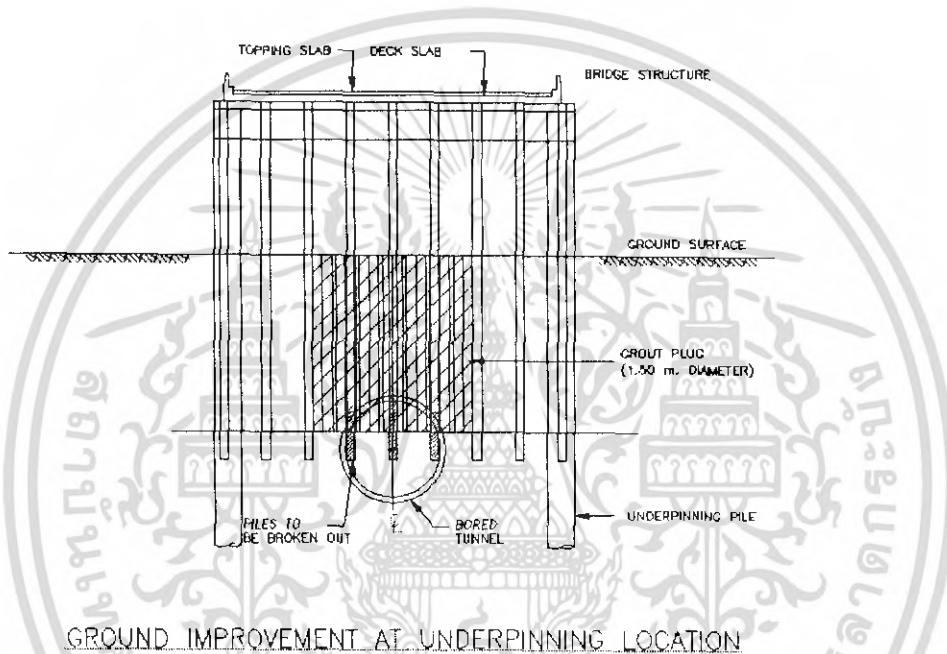
การปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการทำ Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะออกจากตัวสถานี โดยผ่าน Diaphragm Wall (Soft-Eye Wall) บริเวณนี้จะเป็นไฟเบอร์เพื่อที่จะสามารถทำการตัดออกได้ง่าย เมื่อจะทำการเจาะออกจากตัวสถานี ต้องทำการ Jet Grouting ให้มีความยาวมากกว่าตัวหัวเจาะและครอบคลุมหัวเจาะให้ได้ความดันตามที่กำหนด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตร หรือในรูปคือส่วนที่เรเงา เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ดินทะลักเข้ามาในตัวสถานีขณะทำการเจาะผ่าน Soft-Eye Wall ออกไป ดังแสดงในรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ก่อนหัวเจาะ TBM เจาะออกจากตัวสถานี

10. Ground Plug at Underpinning Location

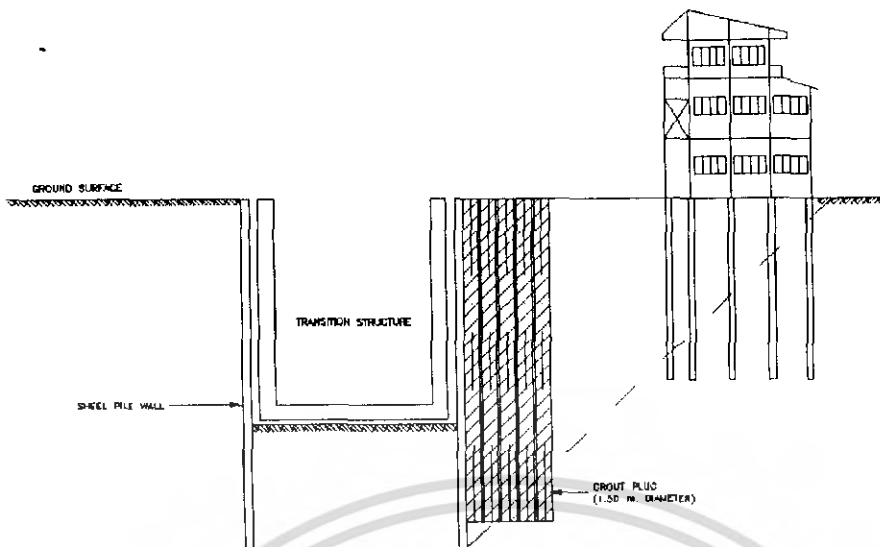
การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการทำ Jet Grouting บริเวณที่ทำการตัดเสาเข็มสะพานออก เนื่องจากเสาเข็มสะพานกีดขวางแนวอุโมงค์ ซึ่งจะทำให้การรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลง และเมื่อทำการเจาะอุโมงค์แล้วจะทำให้ดินส่วนบนของแนวอุโมงค์หลวมตัวมากขึ้น จึงต้องทำการ Jet Grouting ส่วนบนของอุโมงค์จากระดับผิวดิน (Ground Surface) จนถึงระดับส่วนบนของตัวอุโมงค์ ให้มีความกว้างประมาณ 10 เมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตร หรือในรูปคือส่วนที่เรเงา เพื่อให้เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักได้ตามเดิม ดังแสดงในรูปที่ 10.5



รูปที่ 10.5 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting บริเวณที่ทำการตัดเสาเข็มสะพานออก

11. Ground Improvement for Protecting Ground Loss Due to Sheet-Pile Excavation

การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการทำ Jet Grouting ป้องกันการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการขุดดินออก ซึ่งในรูปจะทำให้ตัวอาคารทรุดตัวหรือพังทลายได้ จึงต้อง Jet Grouting จากระดับผิวดิน (Ground Surface) จนถึงระดับเดียวกับ Sheet Pile กว้างประมาณ 10 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เมตร หรือในรูปคือส่วนที่เรเงา ซึ่งบริเวณนี้ได้แก่ส่วนของสถานีและทางขึ้นลงสถานี ที่มีการก่อสร้างแบบขุดและกลบกลับ ดังแสดงในรูปที่ 10.6



GROUND IMPROVEMENT FOR PROTECTING GROUND LOSS DUE TO SHEET PILE EXCAVATION

รูปที่ 10.6 แสดงตำแหน่ง Jet Grouting ป้องกันการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการขุดดินออก



บทที่ 11

สรุปและข้อเสนอแนะ

11.1 สรุป

เนื่องจากข้อมูลรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) มีจำนวนของข้อมูลเป็นจำนวนมากทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการความรู้ ทำให้การรวบรวมข้อมูลในช่วงแรกมีปัญหาอยู่บ้างว่าจะใช้ตัวโปรแกรมใดเป็นตัวแสดงผลอย่างไรเพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนแรกเริ่มจากนำข้อมูลที่ได้รับการจัดเก็บแล้วมาตรวจสอบว่าข้อมูลมีความถูกต้องเพียงใด ต้องทำการตรวจสอบและทำการตรวจค่าที่แสดงออกมาให้เกิดความถูกต้องที่สุด รวบรวมยังทำการค้นหาข้อมูลทั่วไปของรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่น รายละเอียดของค่าบริการ รายละเอียดของการชุกเจาะอุโมงค์ รายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจัดเก็บ รายละเอียดของระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วก็ทำการศึกษาการจัดการความรู้ แล้วทำการจัดการความรู้ให้เป็นหมวดหมู่ และรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากการสัมภาษณ์วิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญ และนำข้อมูลเหล่านี้มาสรุปให้เป็นความรู้ที่เป็นทางการ

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ พบว่า แบบจำลองสำหรับการคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีอยู่นั้น ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเต็มที่ คือ (1) การคำนึงถึงการจัดหมวดหมู่ของความรู้ต่างอย่างเป็นระเบียบ (2) ความสามารถในการเรื่องของการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างง่ายดาย และ (3) การทำงานผ่านการปฏิสัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา (ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต)

เว็บไซต์การจัดการความรู้ของการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเต็มที่ คือ สามารถแสดงค่าได้อย่างถูกต้องที่สุด สามารถทำให้ผู้ที่สนใจในการก่อสร้างเข้าใจในการก่อสร้างนั้นๆ ได้โดยง่าย และยังมีบทความทางวิชาการที่ได้นำมาจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถในเชิงวิชาการเกี่ยวกับสิ่งก่อสร้างใต้ดินนำมาเผยแพร่เพื่อสร้างความรู้ใหม่ให้แก่ผู้ที่สนใจ โดยอาศัยปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานบนอินเทอร์เน็ตได้

11.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยต่อไป

- ควรจะมีการสัมภาษณ์ตัวบุคคลซึ่งเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้างในขณะนั้น เนื่องจากข้อมูลในตัวบุคคลเหล่านี้เป็นประสบการณ์การทำงานที่ไม่สามารถหาได้จากในหนังสือ ทำให้เกิดความรู้ที่มีค่าอย่างยิ่ง
- เนื่องจากข้อมูลในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินนั้นมีข้อมูลจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการจำแนกตัวข้อมูลเป็นเวลานาน ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงยังไม่สามารถที่จะทำตัวค้นหาข้อมูลในตัวเว็บไซต์ได้อย่างสมบูรณ์แบบเท่าที่ควร หากมีการพัฒนาเว็บไซต์นี้ต่อไปควรจะมีการทำตัวค้นหาข้อมูลในเว็บไซต์เพื่อที่จะได้เป็นการจัดการความรู้ที่สมบูรณ์แบบ
- ควรมีการจัดทำแบบฟอร์มเพื่อสอบถามวิศวกร และนักศึกษาผู้ที่สนใจการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อที่จะได้ทราบว่าบุคคลเหล่านั้นสนใจในเรื่องใดมาก เพื่อที่จะได้ดำเนินการ ได้ตามเป้าหมาย

ถ้าเว็บไซต์ www.tunnelplanet.com นี้ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ก็จะเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเป็นมาตรฐานในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทยต่อไป และสามารถนำไปสู่ความสนใจของนักศึกษารุ่นต่อไปที่จะก้าวขึ้นมาเป็นวิศวกรในอนาคต ทางผู้จัดทำหวังว่าการจัดทำปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักแก่ผู้ที่มีความสนใจในตัวข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินและรายละเอียดทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้าใต้ดิน ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นโครงการที่สามารถจะช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดมาก จึงเป็นโครงการที่ควรมีการพัฒนาถึงการก่อสร้างและการเก็บข้อมูลของการก่อสร้าง ให้เป็นระบบระเบียบ ให้สามารถใช้งานง่าย แต่เนื่องจาก โปรแกรมที่ยังไม่สามารถอำนวยความสะดวกในการใช้งาน จึงจะต้องมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ง่าย โดยนำความรู้ต่างๆและตัวโปรแกรมฐานข้อมูลที่มีอยู่ มาจัดการความรู้ โดยใช้ระบบการจัดการความรู้เข้าช่วยให้ความรู้ต่างๆ เป็นระเบียบสะดวกต่อการค้นหาและพัฒนาความรู้ต่างๆให้ดียิ่งขึ้น

การจัดการความรู้ เป็นกลยุทธ์ กระบวนการ และเทคโนโลยีที่ใช้ในองค์กร เพื่อแสวงหา สร้าง จัดการแลกเปลี่ยนและทำให้ความรู้ที่ต้องการสัมฤทธิ์ผล เกิดจากการผสมผสานการทำงานของคน กระบวนการ และเทคโนโลยีที่สอดคล้องกันจึงจะนำไปสู่ความสำเร็จตามที่มุ่งหวัง ดังนั้นการจัดการความรู้จึงเป็นกรอบความคิดในการจัดการ โครงสร้างความรู้ เพื่อให้ผู้ใช้ที่ต้องการความรู้นั้นได้รับประโยชน์ในรูปแบบที่เหมาะสม ตามเวลาที่ต้องการ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีสารสนเทศจะเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในระบบการจัดการความรู้ แต่ความรู้ที่อยู่ในสมองของคนมีความสำคัญยิ่งกว่า ปัจจุบันการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการความรู้มีความจำเป็นในทุกองค์กรที่ต้องการสร้างความ ได้เปรียบทางการแข่งขัน

2.1. นิยามของการจัดการความรู้

การจัดการความรู้คือ กระบวนการที่เป็นเครื่องมือหรือวิธีการเพิ่มมูลค่าหรือคุณค่าของกิจการขององค์กร กลุ่มบุคคล หรือเครือข่ายของกลุ่มบุคคลหรือองค์กร

การจัดการความรู้ ประกอบด้วยกิจกรรมและกระบวนการต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

- การขุดค้นและรวบรวมความรู้ คัดเลือกเอาไว้เฉพาะความรู้ที่จำเป็นสำหรับการใช้ประโยชน์ ทั้งจากภายในองค์กรและจากภายนอกองค์กร นำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือ และความเหมาะสมกับบริบทของสังคมและขององค์กร ถ้าไม่เหมาะสมก็ดำเนินการปรับปรุง

- การจัดหมวดหมู่ความรู้ ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน
- การจัดเก็บ ความรู้ เพื่อให้ค้นหาได้ง่าย
- การสื่อสารเพื่อถ่ายทอดความรู้
- การจัดกิจกรรมและกระบวนการเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้
- การวิเคราะห์ สังเคราะห์ เพื่อยกระดับความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสร้างความรู้ใหม่
- การประยุกต์ใช้ความรู้
- การเรียนรู้จากการใช้ความรู้

การจัดการความรู้เริ่มที่ปณิธานความมุ่งมั่น (Purpose) อันยิ่งใหญ่ร่วมกันของสมาชิกองค์กร กลุ่มบุคคล หรือเครือข่าย ที่จะร่วมกันใช้ความเพียรดำเนินการจัดการความรู้ ด้วยวิธีการและยุทธศาสตร์อันหลากหลาย เพื่อใช้ความรู้เป็นพลังหลักในการบรรลุเป้าหมายตามความมุ่งมั่น เพื่อประโยชน์อันไพศาลให้แก่สังคมในวงกว้างด้วย

ในการจัดการความรู้ จะต้องมีการจัดการครบทั้ง 3 องค์ประกอบของความรู้คือ ความรู้ฝังลึกในคน ความรู้แฝงในองค์กร และความรู้เปิดเผย รวมทั้งจะต้องมีเป้าหมายเพื่อการพัฒนากิจกรรมหลัก (Core activities) ขององค์กร กลุ่มบุคคล หรือเครือข่าย

ความรู้ หมายถึง ส่วนผสมของกรอบประสบการณ์ คุณค่า สารสนเทศ ที่เป็นสภาพแวดล้อมและกรอบการทำงานสำหรับการประเมินและรวมกันของประสบการณ์และสารสนเทศใหม่

ช่องว่างของความรู้ (Knowledge Gaps) หมายถึง ช่องว่างของความรู้ที่แสดงให้เห็นถึง “ตนเองไม่มีความรู้” เป็นหนทางหนึ่งในการพัฒนาบุคคล โดยใช้กระบวนการของการจัดการความรู้เพื่อลดช่องว่างและเติมความรู้

	มี (Have)	(Don't have)
รู้ (Know)	ความรู้ที่เป็นทางการ (Explicit Knowledge) “รู้ว่ามีความรู้”	ช่องว่างของความรู้ (Knowledge Gaps) “รู้ว่าไม่มีความรู้”
ไม่รู้ (Don't Know)	ความรู้ที่เป็นทางการ (Explicit Knowledge) “ไม่รู้ว่ามีความรู้”	ช่องว่างของความรู้ (Unknown Gaps) “ไม่รู้ว่าจะไม่มีความรู้”

รูปที่ 2.1. แสดงช่องว่างความรู้

การจัดการความรู้ จะต้องดำเนินการในลักษณะที่บูรณาการอยู่ในกิจกรรมหรืองานประจำ ไม่ถือเป็นกิจกรรมที่แยกจากงานประจำ ต้องดำเนินการโดยไม่ทำให้สมาชิกขององค์กรรู้สึกว่ามีภาระเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการความรู้เน้นการดำเนินการเกี่ยวกับคนในองค์กร กลุ่มบุคคลหรือเครือข่าย ผลของการจัดการความรู้ วัตถุประสงค์ ผลงาน วัฒนธรรมองค์กร สิทธิทรัพย์สินทางปัญญาขององค์กร และสามารถในการสร้างนวัตกรรมหรือการปรับตัวขององค์กร

พื้นฐานสำคัญต่อความสามารถในการจัดการความรู้ คือ ความเป็นองค์กรเรียนรู้ (Learning organization) หรือ องค์กรเคออร์ติก (Chaordic organization) และการที่สมาชิกขององค์กร เป็นบุคคลเรียนรู้ (Learning person)

ในเรื่องการจัดการความรู้ ไม่มีสิ่งใดหรือหลักการใดสำคัญยิ่งกว่าจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ กลุ่มผู้ดำเนินการจัดการความรู้จะต้องมั่นใจที่จะใช้จินตนาการและความคิดริเริ่มสร้างสรรค์เพื่อจัดการความรู้อย่างเต็มที่ ความเป็นอิสระและมั่นใจที่จะคิด และนำความคิดมาแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันอย่างสร้างสรรค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคิดร่วมกันผ่านการกระทำ เพื่อเป้าหมายบรรลุความมุ่งมั่นที่กำหนดร่วมกัน

2.2. ประเภทของความรู้

2.2.1. ความรู้โดยนัยหรือความรู้ที่มองเห็นไม่ชัดเจน (Tacit Knowledge)

จัดเป็นความรู้อย่างไม่เป็นทางการ ซึ่งเป็นทักษะหรือความรู้เฉพาะตัวของแต่ละบุคคลที่มาจากประสบการณ์ ความเชื่อหรือความคิดสร้างสรรค์ในการปฏิบัติงาน เช่น การถ่ายทอดความรู้ ความคิด ผ่านการสังเกต การสนทนา การฝึกอบรม ความรู้ประเภทนี้เป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้งานประสบความสำเร็จเนื่องจากความรู้ประเภทนี้เกิดจากประสบการณ์ และการนำมาเล่าสู่กันฟัง ดังนั้น จึงไม่สามารถจัดให้เป็นระบบหรือหมวดหมู่ได้ และไม่สามารถเขียนเป็นกฎเกณฑ์หรือตำราได้ แต่สามารถถ่ายทอดและแบ่งปันความรู้ได้โดยการสังเกตและเลียนแบบ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 80 ของความรู้

โดยการจัดการความรู้จะต้องรวบรวม จัดหมวดหมู่ความรู้โดยนัยแล้วทำให้เป็นความรู้ที่เป็นทางการ ซึ่งจะสะดวกในการเผยแพร่

2.2.2. ความรู้ที่ชัดเจนหรือความรู้ที่เป็นทางการ (Explicit Knowledge)

เป็นความรู้ที่มีการบันทึกไว้เป็นลายลักษณ์อักษร และใช้ร่วมกันในรูปแบบต่างๆ เช่น หนังสือ เอกสารสิ่งพิมพ์ เว็บไซต์ ความรู้ประเภทนี้เป็นความรู้ที่แสดงออกมาโดยใช้ระบบสัญลักษณ์ จึงสามารถสื่อสารและเผยแพร่ได้อย่างสะดวก แต่มีน้อยกว่าร้อยละ 20 ของความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. ระดับของความรู้

ระดับความรู้ โดย James Brain Quinn ได้แบ่งระดับของความรู้ไว้เป็น 4 ระดับดังนี้

ระดับที่ 1 : Know-what (รู้ว่าคืออะไร) เป็นความรู้ในเชิงการรับรู้

ระดับที่ 2 : Know-how (รู้วิธีการ) เป็นความสามารถในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน

ระดับที่ 3 : Know-why (รู้เหตุผล) เป็นความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง เชิงเหตุผลที่สลับซับซ้อน อันอยู่ภายใต้เหตุการณ์และสถานการณ์ต่างๆ ความรู้ในระดับนี้สามารถพัฒนาได้บนพื้นฐานของประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาและการอภิปรายเกี่ยวกับประสบการณ์ร่วมกับผู้อื่น

ระดับที่ 4 : Care-why (ใส่ใจกับเหตุผล) เป็นความรู้ในลักษณะการสร้างสรรค์ที่มาจากตัวเอง บุคคลที่มีความรู้ในระดับนี้จะมีเจตจำนง แรงจูงใจ และการปรับตัว เพื่อความสำเร็จ

2.4. ความหมายของการจัดการความรู้

Newman, Brain กล่าวว่า การจัดการความรู้เป็นกลุ่มของกระบวนการต่างๆ ที่ดำเนินการเกี่ยวกับการสร้าง การแพร่กระจาย และการใช้ประโยชน์

Bertels, Thomas กล่าวว่า การจัดการความรู้ หมายถึง การบริหารจัดการองค์การเพื่อมุ่งไปสู่การสร้างความรู้แห่งองค์การใหม่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้แก่ การสร้างโครงสร้างองค์การที่ให้การสนับสนุนการจัดการความรู้ การอำนวยความสะดวกให้กับสมาชิกที่อยู่ในองค์การ หรือแม้กระทั่งการสร้างเครื่องมือทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ทั้งนี้โดยให้ความสำคัญกับการทำงานเป็นทีมและการเผยแพร่ความรู้

Business College of University of Texas ได้ให้ความหมายของการจัดการความรู้ว่า เป็นกระบวนการที่เป็นระบบของการค้นคว้า การเลือก การจัดระบบ การสกัด และการนำเสนอสารสนเทศ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจของพนักงานในเรื่องที่สนใจเป็นพิเศษขึ้น การจัดการความรู้จะทำให้องค์การได้รับความเข้าใจอย่างลึกซึ้งด้วยประสบการณ์ของตนเอง กิจกรรมของการจัดการความรู้ที่เกี่ยวกับการจัดหา จัดเก็บ และใช้ความรู้เป็นไปเพื่อการแก้ปัญหาการเรื้อรังอย่างไม่มีที่สิ้นสุด นอกนั้นยังใช้เพื่อการวางแผนกลยุทธ์และการตัดสินใจอีกด้วย

Trapp กล่าวว่า การจัดการความรู้เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยงานต่างๆ จำนวนมากซึ่งมีการบริหารจัดการในลักษณะบูรณาการเพื่อก่อให้เกิดคุณประโยชน์ที่คาดหวังไว้ การจัดการความรู้จึงเป็นแนวคิดองค์รวมที่จะบริหารจัดการทรัพยากรที่เป็นความรู้ในองค์การ

Kucza กล่าวว่า การจัดการความรู้เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดกระบวนการของการสร้างความรู้ การจัดเก็บ และการแบ่งปันความรู้ กล่าวโดยทั่วไปจะรวมถึง การระบุสภาพปัจจุบัน การกำหนดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการและแก้ไขปรับปรุงกระบวนการที่จะส่งผลกระทบต่อการจัดการความรู้ให้ดีขึ้นเพื่อบรรลุถึงความต้องการ

Henrie & Hedgepeth กล่าวว่า การจัดการความรู้เป็นระบบบริหารจัดการทรัพยากรที่สัมพันธ์กันขององค์การทั้งที่เป็นความรู้โดยนัยและความรู้ที่เห็นได้อย่างชัดเจน ระบบการจัดการความรู้เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกความรู้ การตรวจสอบความรู้ การจัดเก็บความรู้ที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว การเตรียมการกรองความรู้ และเตรียมการเข้าถึงความรู้ให้กับผู้ใช้ ทั้งนี้โดยมีหลักการที่สำคัญคือ ทำให้ความรู้ถูกใช้ ถูกปรับเปลี่ยนและถูกยกระดับให้สูงขึ้น

Tannembaum ได้กล่าวถึงความหมายของการจัดการความรู้ไว้ดังนี้

- การรวม การจัดระเบียบ การจัดเก็บ และการเข้าถึงข้อมูลเพื่อสร้างเป็นความรู้และทำให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม สารสนเทศและเทคโนโลยีเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์จะสามารถสนับสนุนให้การจัดการความรู้มีพลังและอำนาจได้
- การแบ่งปันความรู้ หากปราศจากการแบ่งปัน ความพยายามในการจัดการความรู้จะล้มเหลว ในการแบ่งปันความรู้นี้ต้องอาศัยวัฒนธรรมองค์การเป็นสำคัญ เพราะมีอิทธิพลอย่างสูงต่อความสำเร็จของการจัดการความรู้
- การอาศัยบุคคลที่มีความรู้หรือความเฉลียวฉลาด
- การเพิ่มประสิทธิผลขององค์การ การจัดการความรู้เป็นสิ่งที่สนับสนุนให้องค์การต่างๆ อยู่รอดและประสบความสำเร็จ

กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา สรุปว่า การจัดการความรู้ หมายถึง กระบวนการอย่างเป็นระบบสำหรับการได้รับ การสร้าง การบูรณาการ การแบ่งปัน และการใช้สารสนเทศ รวมทั้งความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและประสบการณ์เพื่อบรรลุเป้าหมายขององค์การ

www.uts.edu.au ให้ความหมายว่า การจัดการความรู้ หมายถึง การสร้างความคิดขององค์การอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ความรู้คือความรู้ความเข้าใจของมนุษย์ และกระบวนการคิดอย่างสร้างสรรค์ ตลอดจนการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่างๆ เพื่อสนับสนุนการรับรู้และการคิดของมนุษย์

ดังนั้น การจัดการความรู้ หมายถึง กระบวนการอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับการประมวลผลสารสนเทศ ความคิด การกระทำ ตลอดจนประสบการณ์ของบุคคลเพื่อสร้างเป็นความรู้หรือนวัตกรรม และจัดเก็บในลักษณะของแหล่งข้อมูลที่บุคคลสามารถเข้าถึงได้โดยอาศัยช่องทางต่างๆ ที่องค์การจัดเตรียมไว้ เพื่อนำความรู้ที่มีอยู่ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งก่อให้เกิดการแบ่งปันและถ่ายโอนความรู้ และในที่สุดความรู้ที่มีอยู่จะแพร่กระจายและไหลเวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. วัตถุประสงค์และประโยชน์ของการจัดการความรู้

2.5.1. ป้องกันความรู้สูญหาย

การจัดการความรู้ทำให้สามารถรักษาความเชี่ยวชาญ ความชำนาญ และความรู้ที่อาจสูญหายไป

2.5.2. เพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจ

โดยประเภท คุณภาพ และความสะดวกในการเข้าถึงความรู้ เป็นปัจจัยสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจ เนื่องจากผู้ที่มีหน้าที่ตัดสินใจต้องสามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพ

2.5.3. ความสามารถในการปรับตัวและมีความยืดหยุ่น

การทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจในงานและวัตถุประสงค์ของงาน โดยไม่ต้องมีการควบคุม หรือมีการแทรกแซงมากนักจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานในหน้าที่ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดการพัฒนาจิตสำนึกในการทำงาน

2.5.4. ความได้เปรียบในการแข่งขัน

การจัดการความรู้ช่วยให้องค์กรมีความเข้าใจลูกค้า แนวโน้มของการตลาดและการแข่งขัน ทำให้สามารถลดช่องว่างและเพิ่มโอกาสในการแข่งขัน

2.5.5. การพัฒนาทรัพยากร

เป็นการพัฒนาความสามารถขององค์กร ในการใช้ประโยชน์จากทรัพย์สินทางปัญญาที่มีอยู่

2.5.6. การยกระดับผลิตภัณฑ์

การนำการจัดการความรู้มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและบริการ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์นั้นๆ อีกด้วย

2.5.7. การบริหารลูกค้า

การศึกษาความสนใจและความต้องการของลูกค้า จะเป็นการสร้างความพึงพอใจและเพิ่มยอดขายและสร้างรายได้ให้แก่องค์กร

2.5.8. การลงทุนทางทรัพยากรบุคคล

การเพิ่มความสามารถในการแข่งขันผ่านการเรียนรู้ร่วมกัน การจัดการด้านเอกสาร การจัดการกับความรู้ที่ไม่เป็นทางการเป็นการเพิ่มความสามารถให้แก่องค์กรในการจ้างและฝึกฝนบุคลากร

2.6. องค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้

องค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้ ที่จะนำมาเชื่อมโยงจัดการกับความรู้ในการก่อสร้างมีดังนี้

2.6.1. ทฤษฎีของ Marquardt ได้นำเสนอองค์ประกอบของการจัดการความรู้ไว้ 4 ประการคือ

- 1) การแสวงหาความรู้ ในด้านงานรับเหมาก่อสร้าง บริษัทจะต้องหาความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการดำเนินงานทั้งจากภายในบริษัทเอง และจากการรวบรวมจากภายนอก
 - ความรู้จากภายใน เช่น การให้วิศวกรฝึกอบรมคนงานระดับช่าง สำหรับวิศวกรด้วยกันจะเป็นระบบที่เสี่ยง คือการให้วิศวกรเก่าดูแลช่วยเหลืองานและวิศวกรที่เข้างานใหม่
 - ความรู้จากภายนอก เช่น การจ้างที่ปรึกษาเพื่อเข้ามามีบทบาทในการวางแผนดำเนินงาน การร่วมมือกับบริษัทอื่นๆ เพื่อสร้างพันธมิตรและการร่วมลงทุน
- 2) การสร้างความรู้ เป็นสิ่งที่สร้างสรรค์ขึ้นใหม่ เกี่ยวข้องกับแรงผลักดัน การหยั่งรู้และความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในแต่ละบุคคล ทุกคนสามารถเป็นผู้สร้างความรู้
 - บุคลากรในบริษัทสามารถให้ความรู้ที่ตนมีอยู่แก่ผู้อื่นได้ เช่น วิศวกรทำงานอยู่แผนกเดียวกันจะถ่ายทอดความรู้ซึ่งกันและกันจากประสบการณ์ของแต่ละบุคคล
 - นำความรู้ส่วนกลางของบริษัทมาผนวกกับความรู้ของพนักงานแต่ละคน เกิดเป็นความรู้ใหม่ที่สามารถแบ่งปันให้พนักงานทุกคนในบริษัทได้รับรู้
 - ฝึกให้พนักงานทุกคนรู้จักการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ไม่เว้นแม้แต่พนักงานระดับต่ำสุดคือช่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้โอกาสพนักงานทุกระดับได้แสดงความคิดเห็น แต่อาจจะมีปัญหาพนักงานระดับล่างไม่ให้ความสนใจในเรื่องนี้เท่าที่ควร ดังนั้นควรสร้างแรงจูงใจให้แก่พนักงานด้วยของรางวัล หรือเลื่อนตำแหน่งให้สูงขึ้น
- 3) การจัดเก็บและค้นคืนความรู้ บริษัทรับเหมาก่อสร้างต้องกำหนดสิ่งสำคัญที่จะเก็บไว้เป็นองค์ความรู้ ต้องพิจารณาถึงการเก็บรักษา และการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ตามต้องการ โดยต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้
- โครงสร้างและการจัดเก็บความรู้ ควรเป็นระบบที่สามารถค้นหาและส่งมอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
 - จัดให้มีการจำแนกรายการต่างๆ เช่น ข้อเท็จจริง นโยบาย หรือขั้นตอนการปฏิบัติงานที่อยู่บนพื้นฐานการเรียนรู้
 - การจัดการจะต้องสามารถส่งมอบให้กับผู้ใช้ได้อย่างชัดเจนและเหมาะสมกับความต้องการ
- 4) การถ่ายทอดความรู้และการใช้ประโยชน์ บริษัทจะเรียนรู้ได้ดีขึ้นเมื่อความรู้มีการกระจายและถ่ายทอดไปอย่างรวดเร็ว และเหมาะสมทั่วทั้งบริษัท ซึ่งการถ่ายทอดมีวิธีต่างๆ ดังนี้
- การสื่อสารด้วยการเขียน
 - การฝึกอบรมพนักงาน
 - การประชุมภายในบริษัท เช่น การประชุมวิศวกรจากแผนกต่างๆทุกสัปดาห์
 - การหมุนเวียนหรือเปลี่ยนงาน เช่น การให้วิศวกรเปลี่ยนแผนกการควบคุม หรือการให้ช่างไม้เปลี่ยนงานเป็นช่างปูน
 - ระบบพี่เลี้ยง ให้วิศวกรรุ่นพี่ดูแลพนักงานที่เข้าบรรจุใหม่

2.6.2. ทฤษฎีของ Trapp ได้นำเสนอองค์ประกอบของการจัดการความรู้ (Components of a Holistic Approach to Knowledge Management) ไว้มี 9 ประการ นำมาเปรียบเทียบกับใช้งานกับงานบริษัทรับเหมาก่อสร้างได้ดังนี้

- 1) เป้าหมายความรู้ บริษัทมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดเป้าหมายในการที่จะนำความรู้มาใช้จัดการ เพื่อที่จะสามารถนำความรู้ที่ถูกต้องที่ใช้แก้ไขปัญหาได้อย่างตรงจุด
- 2) การระบุถึงความรู้ เมื่อบริษัทสามารถกำหนดเป้าหมายในการนำความรู้มาใช้ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการระบุถึงประเภทของความรู้ที่จะใช้ เช่น เป็นงาน survey บริเวณก่อก่อสร้าง ความรู้ที่จะนำมาใช้ก็ควรเป็นความเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมสำรวจ หรือหากเป็นงาน

ออกแบบ โครงสร้าง ความรู้ก็ควรเกี่ยวข้องกับการคำนวณทางด้านวิศวกรรม โยธา การ
ระบุถึงความรู้สามารถทำให้การทำงานต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น

- 3) การจัดหาความรู้ ทางบริษัทจะทำการจัดหาความรู้ก็ต่อเมื่อสามารถระบุถึงประเภทความรู้
ที่ต้องการ ซึ่งวิธีในการหาความรู้ก็มีอยู่หลายวิธี เช่น จัดการประชุมเพื่อแลกเปลี่ยน
อภิปรายความรู้กัน การทำแบบทดสอบภายในบริษัท ซึ่งควรเป็นสิ่งที่กระทำขึ้นอย่างมี
แบบแผนเป็นระบบและบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรเพื่อให้ความรู้ที่หามาได้ไม่สูญหาย
ไป
- 4) การพัฒนาความรู้ เพื่อให้บริษัทสามารถแข่งขันกับบริษัทอื่นได้ ความรู้ของบริษัทควรได้
รับการพัฒนาอยู่เสมอ ซึ่งทำได้โดยการจ้างผู้มีความรู้จากต่างประเทศมาอบรมให้
บุคลากรหรือทำการวางมาตรฐานใหม่ๆ ในแบบต่างๆ ทั้งนี้การพัฒนาความรู้ยังมีส่วน
ช่วยให้ประหยัดงบประมาณบริษัทอีกด้วย
- 5) การเคลื่อนย้ายหรือการกระจายความรู้ ความรู้ที่บริษัทรวบรวมมาได้จากแหล่งต่างๆ
บริษัทจะต้องกระจายความรู้ให้กับบุคลากรด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง การจัดทำหนังสือประมวล
ความรู้ประเภทต่างๆแจกจ่ายให้กับวิศวกรที่ขึ้นตรงงานทางด้านนั้นหรือทำเป็นระบบ
multimedia โดยให้พนักงานใช้ computer ในการค้นคว้าความรู้ ซึ่งบริษัทจำเป็นต้อง
หาวิธีการในการส่งต่อความรู้ที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด กล่าวคือ บุคลากรทุกคนทุกระดับ
สามารถได้รับการเข้าถึงความรู้ที่น้อยอย่างเท่าเทียม
- 6) การใช้ความรู้ เมื่อบุคลากรได้รับความรู้ใหม่ๆในการทำงานจะไม่ได้ประโยชน์อันใดเลย
หากไม่ได้ใช้ความรู้ที่นั้น ซึ่งบริษัทควรมีแนวทางในการปลูกฝังบุคลากรให้เข้าถึงผลตอบแทน
กลับจากการใช้ความรู้ที่ได้รับนั้นในการทำงาน
- 7) การเก็บรักษาความรู้ หากระบบการจัดเก็บรักษาความรู้ของบริษัทมีประสิทธิภาพ ความรู้
ที่ค้นคว้ามาได้นั้นก็จะหายไป ส่งผลเสียต่อบริษัท การเก็บรักษาความรู้จึงเป็นองค์
ประกอบหนึ่งของการจัดการความรู้ที่ไม่ควรมองข้าม
- 8) การประเมินหรือทบทวนความรู้ เมื่อมีการกระจายความรู้และบุคลากรนำความรู้ที่ได้รับ
มาใช้ในการปฏิบัติงาน บริษัทควรมีการติดตามเพื่อประมวลผลและทบทวนความรู้ที่นั้นว่า
เกิดประโยชน์มากหรือน้อยเพียงใด หากประโยชน์ที่ได้รับไม่เพียงพอ จึงควรมีการค้น
คว้าหรือพิจารณาความรู้ใหม่
- 9) การควบคุมความรู้ ในงานก่อสร้างนั้นหากบุคลากร ใช้ความรู้ที่ได้รับจากบริษัทในทางที่
ผิด จะส่งผลเสียอย่างมากทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินของบริษัท จึงควรมีการควบคุมให้
ความเข้าใจความรู้ในบุคลากรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและควบคุมไม่ให้ความรู้ภายใน
บริษัทรั่วไหลออกไป เพื่อประโยชน์ในการแข่งขันกับบริษัทอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3. ทฤษฎีของ Kucza (2001) นำเสนอรูปแบบของกระบวนการในทางปฏิบัติของการจัดการความรู้ (KM Operational Processes) ในบริษัทรับเหมาก่อสร้างไว้ 6 ประการ คือ

- 1) Identification of Need for Knowledge การระบุความต้องการ คือบริษัทต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ของโครงการนั้นเพื่อที่จะให้สามารถแจกแจงความรู้ที่ต้องการกล่าวคือ ต้องกำหนดความรู้ประเภทต่างๆที่บริษัทต้องการใช้ในการทำงานโครงการนั้น
- 2) Knowledge Pull คือการแบ่งปันความรู้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและยุ่งยากในกระบวนการจัดการ ซึ่งการจะแบ่งปันความรู้ที่มีนั้น บริษัทจะต้องทำการค้นหาหาบุคลากรที่สามารถเข้าใจและเหมาะสมกับความรู้ที่ถ่ายทอดนั้นก่อน เพราะจะทำให้บุคลากรที่ได้รับการถ่ายทอดสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อบริษัท เช่น ความรู้เกี่ยวกับการดำเนินการก่อสร้างควรจะถ่ายทอดให้วิศวกรผู้คุมงานมากกว่าถ่ายทอดให้บุคลากรระดับล่างแล้วให้วิศวกรเป็นคนถ่ายทอดให้ผู้ได้บังคับบัญชาอีกต่อหนึ่ง
- 3) Knowledge Push คือการส่งมอบความรู้ แตกต่างกับการแบ่งปันความรู้ตรงที่เป็นการพยายามที่จะถ่ายทอดให้บุคลากรทุกคนในกลุ่มเป้าหมายได้รับทราบ ซึ่งทำได้โดยการจัดการประชุมประจำวันหรือการอภิปรายรายละเอียดงานก่อนลงมือทำ
- 4) Creation of Knowledge คือ การสร้างความรู้ขึ้นในบริษัท บริษัทจะต้องพยายามค้นหาหาความรู้ใหม่มาเพิ่มเติมกับความรู้เก่าที่มีอยู่ เพราะก่อให้เกิดประโยชน์หลายด้านต่อบริษัท ซึ่งมีวิธีการในการสร้างความรู้ใหม่มกตัวอย่างเช่น การรวบรวมบุคลากรที่มีความคิดใหม่ๆแล้วสร้างแรงจูงใจให้บุคลากรกลุ่มนั้นอยากที่จะใช้ความรู้ที่แต่ละบุคคลมีอยู่เพื่อพัฒนาบริษัท แล้วจึงจัดการประชุมสัมมนาเพื่อบันทึกความรู้ใหม่ที่ได้นั้นให้เป็นลายลักษณ์อักษร เพื่อที่บริษัทจะสามารถทำการแบ่งปันและส่งมอบความรู้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องต่อไป
- 5) Knowledge Collection and Storage บริษัทต้องทำการรวบรวมและจัดเก็บความรู้ ทั้งความรู้ที่มีอยู่เดิมและความรู้ที่บริษัทสามารถสร้างขึ้นใหม่ โดยจัดเก็บให้เป็นระเบียบมีแบบแผน และง่ายต่อการพัฒนาใช้ประโยชน์
- 6) Knowledge Update เนื่องจากความรู้ในโลกปัจจุบันมีการพัฒนาอยู่ทุกวัน บริษัทจึงควรปรับปรุงความรู้ที่มีอยู่เดิมให้เท่าทันอยู่เสมอ ต้องมีการวางแผนที่จะประชุมเพื่อประเมิน พัฒนาความรู้ที่มีอยู่และจัดหาความรู้ใหม่ๆเข้ามาทดแทนความรู้เทคโนโลยีใหม่ๆมีผลทำให้บริษัทเติบโตยิ่งขึ้น

2.6.4. ทฤษฎีของ Turban และคณะ แบ่งกระบวนการของการจัดการความรู้เป็น 6 ประการคือ

- 1) การสร้างความรู้ ในบริษัทอาจจะต้องสร้างแรงจูงใจให้พนักงานเกิดการพัฒนาความรู้ด้วยตนเอง หรือมีการจัดแผนที่เป็นฝ่ายสร้างสรรค์ความรู้ต่างๆ
- 2) การจัดและเก็บรวบรวม หลังจากขั้นตอนการสร้างความรู้ บริษัทจะทำการรวบรวมความรู้ นั้น จัดเก็บอย่างเป็นหมวดหมู่ว่าเป็นความรู้ในลักษณะใด (Know How)
- 3) การเลือกหรือการกรองความรู้ เมื่อได้จัดความรู้แยกเป็นหมวดหมู่ จะทำให้ทราบว่าความรู้แต่ละประเภทสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางใดได้บ้าง ความรู้บางประเภทถ้ายังไม่ทราบว่าควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ก็มีไว้ว่าความรู้ นั้นจะไร้ประโยชน์ อาจนำไปใช้ในหมวดจิปาละได้
- 4) การกระจายความรู้ หลังจากความรู้ทุกอย่างได้ผ่านการกลั่นกรองแล้ว จะต้องจัดการกระจายความรู้ที่เหมาะสม โดยต้องตรวจสอบว่าความรู้ประเภทใดเหมาะสมและมีประโยชน์กับบุคลากรกลุ่มใด และกำหนดวิธีการกระจายความรู้ให้เหมาะสมกับบุคลากรกลุ่มนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น การเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ฐานข้อมูลของบริษัท เพื่อให้พนักงานระดับวิศวกรคนใดที่เกิดข้อสงสัยในวิธีการทำงาน ไปค้นคว้าด้วยตนเอง เป็นการปลูกสร้างนิสัยที่ดีในพนักงาน หรือการจัดการอบรมฝึกสอนทุกเย็นก็เป็นเรื่องที่เกิดประโยชน์
- 5) การใช้ความรู้ บุคลากรในบริษัทที่ได้รับความรู้ที่เหมาะสม จะสามารถนำความรู้เหล่านั้นไปปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 6) การติดตามตรวจสอบ เมื่อมีการนำความรู้ไปใช้ ก็จำเป็นที่จะต้องมีการติดตามตรวจสอบว่าได้ผลมากน้อยเพียงใด ถ้าไม่ได้ผลก็อาจจะเลิกใช้ไปและกลับไปเริ่มต้นการจัดการความรู้ใหม่ตั้งแต่ขั้นตอน “การสร้างความรู้”

2.6.5. ทฤษฎีของ Probst and Romhardt (2000) แบ่งกระบวนการของการจัดการความรู้เป็น 6 ประการคือ

- 1) การระบุถึงความรู้
- 2) การจัดหาความรู้
- 3) การพัฒนาความรู้
- 4) การแบ่งปัน/การกระจายความรู้
- 5) การใช้ความรู้
- 6) การเก็บรักษา/จดจำความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7. สรุปองค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้

ผลของการสังเคราะห์องค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้ พบว่า กระบวนการที่พบมากที่สุด การเคลื่อนย้าย/การกระจาย/การแบ่งปันความรู้และการใช้ความรู้ รองลงมาคือ การจัดการความรู้ การสร้างความรู้และการจัดเก็บและค้นคืนความรู้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1.

องค์ประกอบ/กระบวนการ	Marquardt (1996)	Trapp (1999)	Kucza (2001)	Turban	Probst & Romhardt
Identification of Needs for Knowledge			/		
Knowledge Goal		/			
Knowledge Identification		/		/	
Knowledge Acquisition	/	/		/	
Knowledge Development		/		/	
Knowledge Transfer/Distribution/Sharing	/	/		/	/
Knowledge Usage	/	/		/	/
Knowledge Preservation		/			/
Knowledge Evaluation/Review		/			/
Knowledge Controlling		/			
Knowledge Creation	/		/		/
Knowledge Collection			/		
Knowledge Storage and Retrieval	/		/		/
Knowledge Pull			/		
Knowledge Push			/		
Knowledge Update			/		
Knowledge Retention				/	
Knowledge Refine					/
Knowledge Monitor					/

ตารางที่ 2.1. สรุปองค์ประกอบและกระบวนการของการจัดการความรู้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากการศึกษาทฤษฎีการจัดการความรู้แล้ว สามารถสรุปกระบวนการจัดการความรู้ได้ดังนี้

2.7.1. การแสวงหาความรู้ (Knowledge Acquisition)

แสวงหาความรู้ที่มีประโยชน์ ทั้งภายในและนอกองค์กรดังนี้

1. การแสวงหาและรวบรวมความรู้จากแหล่งภายใน

(Internal Collection of Knowledge)

- การเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงจากพนักงานในการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)
- ข้อมูลต่างๆ ในการก่อสร้างที่เป็นความรู้ที่เป็นทางการของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)

2. การแสวงหาและรวบรวมความรู้จากแหล่งภายนอก

(External Collection of Knowledge)

- การรวบรวมความรู้จากบริษัทที่ปรึกษาของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)
- การรับข่าวสารจากสื่อสิ่งพิมพ์ บทความ วารสารต่างๆ

ความรู้ที่ได้ คือความรู้ที่เป็นทางการ (บทที่ 2 – บทที่ 9) และความรู้ที่ไม่เป็นทางการ (บทที่ 10 Knowledge ซึ่ง ได้จากการสอบถามประสบการณ์การทำงานจากวิศวกรที่ดำเนินการในโครงการจริง)

2.7.2. การสร้างความรู้ (Knowledge Creation)

รูปแบบต่างๆ ในการสร้างความรู้มีดังนี้

- การถ่ายทอดความรู้จากการทำงานกันอย่างใกล้ชิด
- การเรียนรู้โดยการปฏิบัติงาน
- การแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ
- การเรียนรู้จากประสบการณ์ที่ผ่านมาในอดีต

ความรู้ที่ได้ คือความรู้ที่ไม่เป็นทางการ (บทที่ 10 Knowledge ซึ่ง ได้จากการสอบถามประสบการณ์การทำงานจากวิศวกรที่ดำเนินการในโครงการจริง)

- 2.7.3. การจัดเก็บและค้นคืนความรู้ (Knowledge Storage and Retrieval)

โดยการจัดเก็บความรู้ทั่วไป จัดทำเป็นรูปแบบเว็บไซต์ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถค้นหาและส่งมอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และการจัดเก็บข้อมูลทางเทคนิค ทำการบันทึกเป็นฐานข้อมูล (Database)

ข้อมูลความรู้ต่างๆ จัดให้มีการจำแนกรายการต่างๆ โดยได้ทำการแบ่งข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับรถไฟฟ้ามหานคร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
 - ประวัติความเป็นมา
 - เส้นทางให้บริการ
 - รายละเอียดการใช้งาน
 - บริการอื่นๆ
 - มาตรฐานความปลอดภัย
2. การบริหารการจัดการภายใน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
 - โครงสร้างการของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)
 - ข้อมูลโครงการ
 - บริษัทที่เกี่ยวข้อง
 - เกณฑ์ในการคัดเลือกที่ปรึกษา
3. ข้อมูลด้านวิศวกรรม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
 - ข้อมูลทางธรณีวิทยา (Geotech)
 - ข้อมูลการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร (Construction)
 - การขุดเจาะอุโมงค์ (Excavation)
 - อุปกรณ์ในการก่อสร้าง (Equipment)
 - ฐานข้อมูลทางเทคนิค (Database)
4. ความรู้ต่างๆ (Knowledge) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
 - ปัญหาในการก่อสร้างสถานี
 - ปัญหาในการก่อสร้างทางเข้าสถานี
 - ปัญหาในการขุดเจาะอุโมงค์
 - ปัญหาอื่น เช่น ปัญหาเรื่องการทรุดตัวไม่เท่ากัน, การผิมน้ำปุนแรงดันสูง
5. Multimedia ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เพื่อให้เข้าใจการสร้างได้ง่ายขึ้น ได้จัดทำเป็นรูปแบบ Animation ในขั้นตอนการก่อสร้างที่สำคัญ และสามารถ Download กฎข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง

6. Publication ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
เนื้อหาความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวกับการขุดเจาะอุโมงค์ การป้องกันการทรุดตัวของ
พื้นที่ข้างเคียง

2.7.4. การถ่ายทอดความรู้และการใช้ประโยชน์ (Knowledge Transfer and Utilization)

ทำการถ่ายทอดความรู้โดยแสดงผลทางเว็บไซต์ ซึ่งสามารถทำให้บุคคลที่สนใจศึกษา
เรียนรู้ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งยังได้นำเสนอความรู้ต่างๆในงานประชุมอุโมงค์โลก ณ โรงแรม
เดอะแกรนด์ ถนนรัชดาภิเษก วันที่ 8-10 กุมภาพันธ์ 2549 ซึ่งมีผู้เยี่ยมชมให้ความสนใจเป็นอย่างดี
ไว้ก็ตาม การจัดการความรู้จะครบองค์ประกอบได้ต้องมีการนำไปใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

รายละเอียดของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของกรุงเทพฯ

3.1. ประวัติความเป็นมารถไฟฟ้ามหานคร

ดำเนินการโดยองค์การรถไฟฟ้ามหานคร (รฟม.) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อบรรเทาปัญหาการจราจรที่ติดขัด โดยได้เริ่มออกแบบและก่อสร้างในปีพ.ศ.2539 และมีกำหนดเปิดให้บริการในปี2547 “โครงการรถไฟฟ้ามหานคร ระยะแรกสายหัวลำโพง-ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์-บางซื่อ (สายสีน้ำเงิน)” ได้รับชื่อพระราชทานจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวว่า “รถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล” มีระยะทาง 20 กิโลเมตร มีสถานีทั้งสิ้น 18 สถานี แต่ละสถานีห่างกัน 1 กิโลเมตร ในระดับความลึก 20 เมตรตามแนวนอนพระรามที่ 4 ถนนรัชดาภิเษก ถนนลาดพร้าว ถนนพหลโยธิน และถนนกำแพงเพชร

ลักษณะงานส่วนโยธาหลักแบ่งออกได้เป็นสองสัญญาคือ สัญญาส่วนใต้ ช่วงหัวลำโพง-ห้วยขวาง ระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตรมี 9 สถานีดำเนินการก่อสร้างโดยกิจการร่วมค้า BCKT และสัญญาส่วนที่เหนือ ช่วงห้วยขวาง-บางซื่อ ระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร มี 9 สถานีดำเนินการก่อสร้างโดยกิจการร่วมค้า ION สำหรับสัญญาการก่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าจะใช้พื้นที่บริเวณห้วยขวางเนื้อที่ประมาณ 300 ไร่ ดำเนินการก่อสร้างโดยกิจการร่วมค้า SNMC

3.2. สัญญาการก่อสร้าง

การลงทุนมีการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนในอัตราส่วนดังนี้

ภาครัฐ : 63,490 ล้านบาท + 3,000 ล้านบาท (ที่ปรึกษา)ภาคเอกชน: 17,500 ล้านบาท

สัญญาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคลช่วงหัวลำโพง - ศูนย์การประชุมฯสิริกิติ์ - บางซื่อ

สัญญาที่ 1 งานออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์และสถานีใต้ดิน ส่วนใต้

สัญญาที่ 2 งานออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์และสถานีใต้ดิน ส่วนเหนือ

สัญญาที่ 3 งานออกแบบและก่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุง

สัญญาที่ 4 งานออกแบบ จัดหา ผลิต และติดตั้งระบบราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาที่ 5 งานออกแบบ จัดหา ผลิต และติดตั้งลิฟต์และบันไดเลื่อน
สัญญาที่ 6 งานสัมปทาน ออกแบบ จัดหา ผลิต และติดตั้งระบบรถไฟฟ้า

สัญญาที่ 1 : งานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน ส่วนใต้ (ช่วงหัวลำโพง - ห้วยขวาง)

ผู้รับเหมา : JV BCKT

จำนวนสถานี : 9 แห่งมูลค่าสัญญา : 23,900 ล้านบาท (ไม่รวม VAT)

ระยะทางรวม : 10.8 กม.ลงนามสัญญา : 5 พ.ย. 2539

ความก้าวหน้า : ตามจริง 99.94 %ระยะเวลาก่อสร้าง : 5 ปี (จนถึง ม.ค. 46) จากแผน 100.00 %

สัญญาที่ 2 : งานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน ส่วนเหนือ(ช่วงห้วยขวาง - บางซื่อ)

ผู้รับเหมา : ION JV

มูลค่าสัญญา : 28,550 ล้านบาท (ไม่รวม VAT)

ลงนามสัญญา : 10 ก.ค.2540ระยะเวลาก่อสร้าง : 5 ปีจำนวนสถานี : 9 แห่ง

ระยะทางรวม : 11.7 กม.

ความก้าวหน้า : ตามจริง 99.69 %(จนถึง ม.ค. 46) จากแผน 100.00 %

สัญญาที่ 3 : งานก่อสร้างศูนย์ซ่อมบำรุงผู้รับเหมา : SNMC JV

มูลค่าสัญญา : 6,217 ล้านบาท(ไม่รวม VAT)

ลงนามสัญญา : 9 ธ.ค. 2541ระยะเวลาก่อสร้าง : 3 ปี 1 เดือนพื้นที่ก่อสร้าง : 270,000 ตร.ม.

ความก้าวหน้า : 100 %

สัญญาที่ 4 : งานวางรางผู้รับเหมา : CKSL JV

มูลค่าสัญญา : 3,020 ล้านบาท(ไม่รวม VAT)

ลงนามสัญญา : 15 ต.ค. 2542ระยะเวลาก่อสร้าง : 3 ปี 1 เดือนระยะทางรวม : 60 กม.

ความก้าวหน้า : 100 %

สัญญาที่ 5 : งานติดตั้งลิฟต์และบันไดเลื่อนผู้รับเหมา : MMW JV

มูลค่าสัญญา : 1,803 ล้านบาท(ไม่รวม VAT)

ลงนามสัญญา : 12 พ.ย. 2541ระยะเวลาก่อสร้าง : 4 ปี 6 เดือนจำนวนลิฟต์ : 62 ชุด

จำนวนบันไดเลื่อน : 254 ชุดความก้าวหน้า : ตามจริง 97.90 %(จนถึง ม.ค. 46) จากแผน 97.88 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 21 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 1 ออกแบบ ผลิต ติดตั้ง ทดสอบ และทดลองเดินระบบ ดังนี้ •ตัวรถไฟฟ้า•ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า•ระบบอาณัติสัญญาณ•ระบบสื่อสาร•ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ•ประตูชานชาลาสถานี•ป้ายสัญญาณ•อาคารปฏิบัติการและศูนย์ควบคุมการเดินรถ

- ผู้ที่ได้รับสัมปทาน : Bangkok Metro Co., Ltd.
- ราคาก่อสร้างโดยประมาณ : 17,500 ล้านบาท (ไม่รวม VAT)
- ความก้าวหน้า : ได้รับการอนุมัติจาก ครม. เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2543
- ลงนามสัญญา : 1 สิงหาคม 2543

3.3. การบริการ

3.3.1. ชนิดของบัตรโดยสาร

บัตรโดยสารรถไฟฟ้าได้ดินแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. บัตรเที่ยวเดียว หรือ “เหรียญโดยสาร”

ลักษณะคล้ายเหรียญ ใช้สำหรับผู้ที่ต้องการโดยสารเพียงเที่ยวเดียว โดยผู้โดยสารจะเลือกซื้อเหรียญโดยสารให้มีมูลค่าเท่ากับอัตราค่าโดยสารที่ต้องการเดินทาง มี 2 ชนิด คือ

- ชนิดธรรมดาสำหรับผู้โดยสารทั่วไป
- ชนิดลดหย่อนสำหรับเด็กและคนชรา โดยคิดอัตราค่าโดยสารครึ่งราคา

วิธีการใช้งาน

1. ซื้อเหรียญโดยสารจากห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร หรือ จากเครื่องจำหน่ายเหรียญโดยสารอัตโนมัติ
2. “แสดง” เหรียญโดยสารต่อเครื่องอ่านบัตรอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ตรงประตูทางเข้า
3. เมื่อประตูเปิดออก ใช้บันไดเลื่อนลงไปยังชั้นชานชาลาเพื่อรอขึ้นรถไฟฟ้า
4. เมื่อเดินทางถึงสถานีปลายทาง ออกจากตัวรถแล้ว ใช้บันไดเลื่อนขึ้นมายังชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร
5. หยอดเหรียญโดยสารคืนที่ช่องรับเหรียญที่ประตูทางออก ประตูจะเปิดออกให้ผ่านไปได้ กรณีที่ประตูไม่เปิด เนื่องจากมูลค่าของเหรียญโดยสารไม่พอต่อค่าโดยสารที่ใช้บริการ ช่องรับเหรียญจะคืนเหรียญโดยสาร ให้พนักงานที่ประจำ ณ ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา²² และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บัตรเติมเงิน

มีลักษณะเป็นบัตรคล้ายบัตรเครดิตหรือบัตร ATM ของธนาคาร ซึ่งสามารถใช้เดินทางได้หลายครั้ง เหมาะสำหรับผู้ที่ใช้บริการเป็นประจำ ผู้โดยสารสามารถเลือกซื้อบัตรเติมเงินตามจำนวนมูลค่าที่ตนเองต้องการได้ โดยไม่ต่ำกว่ามูลค่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ มูลค่าของบัตรจะถูกหักไปตามอัตราค่าโดยสารที่ใช้เดินทางในแต่ละครั้ง และเมื่อมูลค่าหมดลง สามารถใช้บัตรเติมไปชำระเงินและเติมมูลค่าได้ใหม่กับพนักงานที่ประจำ ณ ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

วิธีการใช้งาน

1. “แสดง” บัตรเติมเงินต่อเครื่องอ่านบัตรอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ตรงประตูทางเข้า
2. เมื่อประตูเปิดออก ใช้บันไดเลื่อนลงไปยังชั้นชานชาลาเพื่อรอขึ้นรถไฟฟ้า
3. เมื่อเดินทางถึงสถานีปลายทาง ออกจากตัวรถแล้วใช้บันไดเลื่อนขึ้นมายังชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร
4. “แสดง” บัตรเติมเงินต่อเครื่องอ่านบัตรอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ตรงประตูทางออก เครื่องจะแสดงจำนวนเงินที่เหลือ และประตูจะเปิดออกเสมอแม้จำนวนเงินที่แสดงจะติดลบก็ตาม ซึ่งกรณีนี้ผู้โดยสารยังคงสามารถออกไปได้ แต่ก่อนที่จะใช้บริการในครั้งต่อไปจะต้องชำระเงินและเติมเงินของบัตรเสียก่อน



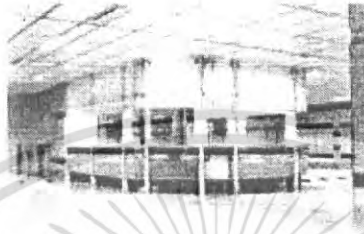
รูปที่ 3.1 . แสดงบัตรเติมเงิน และ เหรียญโดยสาร

* คำว่า “แสดง” คือการวางเหรียญโดยสารหรือบัตรเติมเงินลงบนเครื่องอ่านบัตรอัตโนมัติ โดยจะสัมผัสหรือไม่สัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรอัตโนมัติก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

ตั้งอยู่ในชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร (ชั้นแรกสำหรับสถานีที่ไม่มีชั้นร้านค้าปลีก และชั้นที่ 2 สำหรับสถานีที่มีร้านค้าปลีก) โดยผู้โดยสารสามารถที่จะซื้อบัตรโดยสารได้ทุกชนิดได้จากพนักงานที่ประจำอยู่ ณ ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ไม่ว่าจะเป็นบัตรเที่ยวเดียวหรือบัตรเติมเงิน



รูปที่ 3.2. ห้องจำหน่ายตั๋ว (Ticket Office)



รูปที่ 3.3. ภายในห้องจำหน่ายตั๋ว (Inside Ticket Office)

3.3.3. เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติ

เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติจะติดตั้งอยู่ชั้นเดียวกับห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่ต้องการซื้อบัตรเที่ยวเดียวด้วยตนเอง เครื่องสามารถรับเงินได้ทั้งที่เป็นเงินเหรียญและธนบัตร โดยใช้จอร์บบสัมผัส (Touch Screen) เพื่อเลือกสถานีปลายทางที่ต้องการเดินทาง และจำนวนเงินที่ต้องชำระ

ขั้นตอนการใช้เครื่องจำหน่ายเหรียญโดยสารอัตโนมัติ

1. เลือกสถานีปลายทางจากจอร์บบสัมผัส อัตราค่าโดยสารจะปรากฏขึ้น
2. ชำระเงินด้วยธนบัตรหรือเหรียญลงในช่องที่กำหนด
3. รับเหรียญโดยสาร พร้อมเงินทอน (ถ้ามี) จากช่องรับเหรียญ และช่องรับเงินทอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4. เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติ (Ticket Vending Machine)

3.3.4. อัตราค่าบริการและเปรียบเทียบค่าบริการระหว่าง รถไฟฟ้าใต้ดินกับรถไฟฟ้าลอยฟ้า(BTS)

หัวลำโพง

14 สามย่าน

16 14 สีลม

18 16 14 บ่อนไก่

20 18 16 14 ลุมพินี

22 20 18 16 14 ศูนย์สารนิเทศ

24 22 20 18 16 14 สุขุมวิท

26 24 22 20 18 16 14 เพชรบุรี

28 26 24 22 20 18 16 14 พระราม 9

30 28 26 24 22 20 18 16 14 เข็มยอดมิตร

32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 ประชากรายภูมิปัญญา

34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 สุทธิสาร

36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 รัชดา

36 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 ลาดพร้าว

36 36 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 พหลโยธิน

36 36 36 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 หมอชิต

36 36 36 36 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 กำแพงเพชร

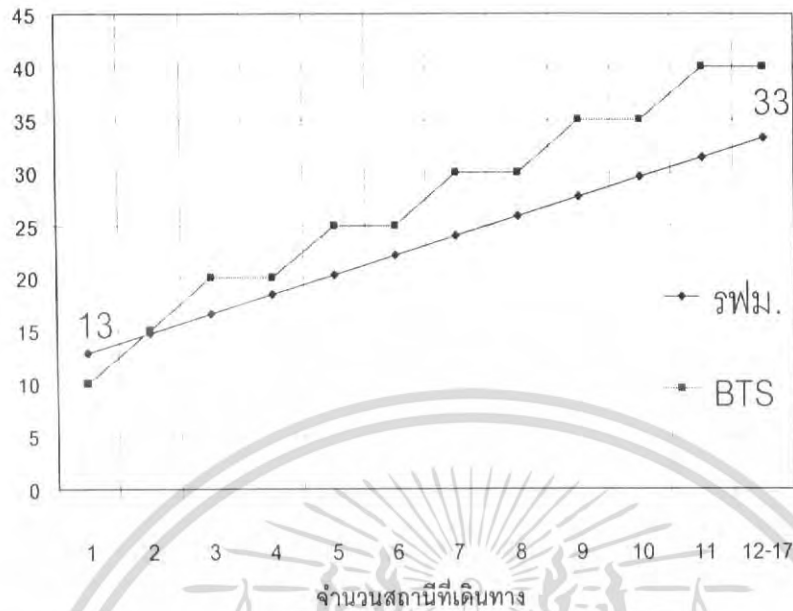
36 36 36 36 36 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 บางซื่อ

อัตราค่าโดยสาร : บาท

รูปที่ 3.5. แสดงอัตราค่าบริการรถไฟฟ้าใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคา (บาท)



รูปที่ 3.6. แสดงอัตราค่าบริการและเปรียบเทียบค่าบริการระหว่าง รถไฟฟ้าใต้ดินกับรถไฟฟ้าBTS

3.3.5. สมาร์ทการ์ดบัตรโดยสารรถไฟฟ้ายุคไฮเทค



รูปที่ 3.7. บัตรสมาร์ทการ์ด

ท่ามกลางความเจริญก้าวหน้าของโลกเทคโนโลยีที่ไม่หยุดยั้ง มนุษย์ได้พัฒนาคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกขึ้นมามากมาย สมาร์ทการ์ดเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์ในโลกให้สะดวกสบายขึ้นอย่างไร้ขีดจำกัด สมาร์ทการ์ดได้ถูกนำมาใช้กับวงการต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะวงการธุรกิจ สมาร์ทการ์ดจะช่วยให้มีความได้เปรียบทางธุรกิจ โดยสมาร์ทการ์ดจะทำการปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้น เช่น ให้บริการรับชำระเงิน การวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ²⁶ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกค้าเป้าหมาย และการเพิ่มช่องทางจัดจำหน่ายผ่านทางอินเทอร์เน็ต เป็นต้น นอกจากนี้ สมาร์ทการ์ด ยังนำมาช่วยในการควบคุมการเข้าออกอาคารได้ด้วย

สำหรับธุรกิจขนส่งมวลชน สมาร์ทการ์ดได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการเช่นกัน โดยสมาร์ทการ์ดจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดจำหน่ายบัตรผู้โดยสาร เพิ่มความเร็วในการผ่านเข้าออกของผู้โดยสาร เพิ่มความสะดวกให้กับผู้โดยสาร กล่าวคือผู้โดยสารไม่จำเป็นต้องนำบัตรออกมาจากกระเป๋าเพื่อสอดบัตรเข้าเครื่องอ่านบัตรเหมือนอย่างปัจจุบัน เพียงแต่นำบัตรที่อยู่ในกระเป๋าไปใกล้กับที่อ่านบัตรเท่านั้น ผู้โดยสารก็สามารถผ่านเข้าออกได้โดยไม่เสียเวลา

การนำบัตรสมาร์ทการ์ดมาใช้ในระบบขนส่งมวลชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการนั้น ประเทศต่างๆ ที่มีระบบขนส่งมวลชนได้ให้ความสนใจและมีแนวโน้มที่จะทำการปรับเปลี่ยนวิธีการใช้บัตรผู้โดยสารจากเดิมมาใช้สมาร์ทการ์ดมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากประเทศเพื่อนบ้านเราอย่างสิงคโปร์ได้นำสมาร์ทการ์ดมาใช้กับระบบขนส่งมวลชน ตั้งแต่ปี 2544 สถานีรถไฟและสถานีรถเมล์ทุกสถานีในสิงคโปร์ มีการเปลี่ยนบัตรผู้โดยสารที่ใช้อยู่เดิมมาใช้บัตรผู้โดยสารสมาร์ทการ์ดแทน โดยผู้โดยสารในสิงคโปร์สามารถเดินผ่านประตูโดยสารรถไฟฟ้าและขึ้นรถเมล์โดยสารโดยไม่ต้องหยุดสอดบัตรโดยสารเข้าเครื่องอ่านบัตร เพียงแต่นำบัตรสมาร์ทการ์ดเข้าไปใกล้เครื่องอ่านในระยะประมาณ 1 - 5 เซนติเมตร ก็สามารถผ่านเข้าออกประตูได้

ระบบจับเก็บตั๋วโดยสารแบบใหม่ไม่ทำให้ค่าโดยสารสูงขึ้น โดยผู้ลงทุนจะประหยัดเงินจากการใช้ระบบสมาร์ทการ์ดในระยะยาว ทั้งนี้เพราะอายุการใช้งานของสมาร์ทการ์ดมีอายุยาวนานถึง 5 ปี เมื่อเทียบกับบัตรโดยสารแบบแถบแม่เหล็กซึ่งมีอายุการใช้งานประมาณสองปีเท่านั้น ส่วนค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวที่จะต้องดูแลเหมือนระบบอ่านบัตรแบบแถบแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงระบบตั๋วโดยสารแบบใหม่จะเป็นการก้าวสู่สหัสวรรษใหม่อย่างแท้จริง เพราะสามารถเชื่อมต่อกับโครงการขนส่งต่างๆ ในอนาคตได้เป็นอย่างดี ระบบตั๋วโดยสารแบบใหม่นี้ทำให้สามารถระบายผู้โดยสารได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจะรองรับการเพิ่มขึ้นของผู้โดยสารรถเมล์และรถไฟฟ้าในสิงคโปร์ที่คาดว่าจะมีประมาณเจ็ดล้านคนต่อวัน ภายในปี 2553 โดยระบบตั๋วโดยสารใหม่ใช้เวลาเพียง 0.1 วินาทีต่อการทำงานแต่ละครั้งเท่านั้น โดยสามารถรองรับปริมาณการผ่านเข้าออกประตูของผู้โดยสารสามารถทำได้ถึง 35 คนต่อนาที จากเดิมที่ทำได้ประมาณ 25 คนต่อนาที สำหรับรถเมล์โดยสารสามารถเพิ่มปริมาณผู้โดยสารได้ถึง 20 คนต่อนาที เมื่อเทียบกับเดิมที่มีอัตรา 12 คนต่อนาที หากเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่าบัตรโดยสารแบบสมาร์ทการ์ดสามารถเพิ่มความเร็วในการให้บริการแก่ผู้โดยสารไม่น้อยเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินของไทยที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่ และ คาดว่าจะเปิดเดินรถได้ในเดือนเมษายน 2547 ทั้งนี้ รฟม. ได้ให้นโยบายที่ให้จัดทำบัตรผู้โดยสารดังกล่าว เพื่อเอื้ออำนวยให้ผู้โดยสารได้รับความสะดวกสบาย และรวดเร็วในการใช้บริการทัดเทียมกับระบบขนส่งมวลชนสากล ชนิดไม่น้อยหน้าเช่นกัน โดยขณะนี้อยู่ระหว่างขั้นตอนการออกแบบระบบตั๋ว โดยได้เลือกสมาร์ตการ์ดระบบตั๋วที่จะนำมาใช้งาน

3.3.6. ระบบขนส่งมวลชน

สถานีหัวลำโพง ตั้งอยู่บริเวณหัวถนนพระรามที่ 4 บริเวณจุดตัดหัวถนนรองเมืองและ ถนนมหา-พุดธาราม หน้าสถานีรถไฟหัวลำโพง สถานที่สำคัญใกล้เคียง อาทิ โรงแรมบางกอกเซ็นเตอร์ สถานีรถไฟหัวลำโพง และโรงแรมสเคชั่น รูปแบบของสถานีนี้เป็นชานชาลากลางและลักษณะ โครงสร้างสถานีมี 2 ชั้น

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

1. ด้านหน้าสถานีรถไฟหัวลำโพง
2. ด้านหน้าอาคารธนาคารนครหลวงไทย
3. ด้านข้างธนาคารกรุงเทพ จำกัด สาขาหัวลำโพง
4. ด้านหน้าโรงแรมบางกอกเซ็นเตอร์

สายรถประจำทาง : 4, 5, 21, 29, 34, 40, 46, 73, 109, 113, 159

สถานีสามย่าน ตั้งอยู่ถนนพระรามที่4 บริเวณแยกสามย่าน หน้าวัดหัวลำโพง สถานที่ สำคัญใกล้เคียง อาทิ โครงการ ชียู ไฮเทค มุทนิธิร่วมกตัญญู โรงแรมมนเทียร รูปแบบของสถานีเป็น ชานชาลา2ชั้น หรือต่างระดับ และลักษณะ โครงสร้างสถานีมี4ชั้น เนื่องจากฝั่งถนนพระราม4ขาออกมี ท่อส่งน้ำของการประปานครหลวง จึงทำให้การก่อสร้างอุโมงค์มีลักษณะซ้อนกัน

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

1. บริเวณด้านหน้าวัดหัวลำโพง
2. บริเวณด้านหน้าอาคารชียูไฮเทคของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายรถประจำทาง : 2, 4, 7, 21, 30, 47, 50, 67, 93, 109, 141, 148, 163

สถานีสีลม ตั้งอยู่ตามแนวถนนพระรามที่4ใต้สะพานลอยไทย-ญี่ปุ่น บริเวณแยกศาลาแดง และหน้าโรงแรมดุสิตธานี เป็นจุดเชื่อมต่อกับสถานีศาลาแดงของบีทีเอส สถานีสำคัญใกล้เคียง อาทิ พระบรมรูปรัชกาลที่6สวนลุมพินี โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย อาคารสีลมคอมเพล็กซ์ ห้างสรรพสินค้าโรบินสัน สาขาสีลม ในส่วนของรูปแบบสถานีเป็นชานชาลาต่างระดับและลักษณะโครงสร้างสถานีมี4 ชั้น มีท่อส่งน้ำของการประปานครหลวง จึงทำให้การก่อสร้างอุโมงค์มีลักษณะซ้อนกัน

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

1. บริเวณด้านข้างพระบรมราชานุสาวรีย์รัชกาลที่ 6 หน้าสวนลุมพินี
2. บริเวณแยกศาลาแดงหัวมุมถนนสีลม ด้านหน้าโรงแรมดุสิตธานี

สายรถประจำทาง : 2, 4, 7, 14, 26, 30, 45, 47, 50, 67, 76, 109, 115, 148, 163

สถานีลุมพินี อยู่บริเวณถนนพระราม4(แยกวิฑู) สวนลุมพินีไนท์บาซาร์ สถานีสำคัญใกล้เคียง อาทิ สนามมวยลุมพินี อาคารลุมพินีปาร์ควิว ส่วนรูปแบบของสถานีเป็นชานชาลาต่างระดับและลักษณะ โครงสร้างสถานีมี4 ชั้น

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด

1. ด้านหน้าอาคารคิวเฮ้าส์
2. ด้านหน้าอาคารลุมพินีปาร์ควิว
3. ด้านหน้าสวนลุมพินีไนท์บาซาร์

สายรถประจำทาง : 4, 13, 14, 22, 45, 46, 47, 74, 106, 109, 115, 116, 141, 149 ปอ.4, ปอ.7, ปอ.14, ปอ.22

สถานีคลองเตย ตั้งอยู่แนวถนนพระรามที่ 4 ใกล้ทางส่วนชั้นที่ 1 และทางรถไฟสายแม่น้ำ บริเวณด้านหน้าของสำนักงานการไฟฟ้านครหลวงคลองเตย สถานีสำคัญใกล้เคียง อาทิ โรงงานยาสูบ เป็นชานชาลาแบบข้าง และโครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

1. บริเวณด้านข้างสำนักงานการไฟฟ้านครหลวงคลองเตย
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามเขื่องสำนักงานการไฟฟ้านครหลวงคลองเตย

สายรถประจำทาง : 4, 13, 14, 22, 45, 46, 47, 74, 106, 115, 116, 149, 155, ปอ.7, ปอ.14, ปอ.22, ปอ.35, ปอ.45, ปอ.47

สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ อยู่ถนนรัชดาภิเษก ตรงข้ามศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ และอาคารตลาด(คลองไฟ่สิง โค) เป็นชานชาลาแบบกลาง มีโครงสร้างสถานี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

1. บริเวณหน้าศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์
3. บริเวณหน้าอาคารตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย
4. บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

สายรถประจำทาง : 136, ปอ.22, ปอ.136

สถานีสุขุมวิท ตั้งอยู่ใกล้กับบริเวณแยกอโศก-สุขุมวิท ด้านหน้าตลาดอโศกและบริเวณสยามสมาคม และเป็นจุดเชื่อมต่อกับสถานีอโศกของบีทีเอส สถานีที่สำคัญใกล้เคียง อาทิ สยามสมาคม ธารีสังคตแห่งประเทศไทย โรงเรียนวัฒนาวิทยาลัย อาคาร Lascolinas Condominium เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะ โครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด3 จุด

1. บริเวณด้านหน้าตลาดอโศก
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามตลาดอโศก
3. บริเวณใกล้กับสยามสมาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายรถประจำทาง : 38, 98, 136, ปอ.22, ปอ.25ก, ปอ.38, ปอ.136

สถานีเพชรบุรี อยู่บริเวณแยกอโศก-เพชรบุรี ใกล้กับสถานทูตญี่ปุ่น ทางรถไฟสาย
ตะวันออก เป็นชานชาลาแบบกลางและโครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 3 จุด

1. บริเวณด้านข้างศูนย์บริการขนถ่ายสินค้า สาขาเพชรบุรี
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามสถานีทูตญี่ปุ่น
3. บริเวณใกล้ทางรถไฟสายตะวันออก

สายรถประจำทาง : 98, 136, 206, ปอ.22, ปอ.25ก, ปอ.136, ปอ.206

สถานีพระราม 9 อยู่บริเวณแยกพระราม 9 ด้านหน้าอาคารฟอร์จูนทาวน์และห้างเทศ
โก้โลดส์ซูเปอร์เซ็นเตอร์ เป็นชานชาลาแบบกลางและโครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 3 จุด

1. บริเวณด้านหน้าห้างเทศโก้โลดส์ ซูเปอร์เซ็นเตอร์
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามห้างเทศโก้โลดส์ ซูเปอร์เซ็นเตอร์
3. บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารฟอร์จูนทาวน์

สายรถประจำทาง : 73, 136, 137, 206, ปอ.15, ปอ.18, ปอ.25ค, ปอ.136, ปอ.137

สถานีศูนย์วัฒนธรรม อยู่บริเวณอาคารไทยประกันชีวิต สถานทูตจีน บริเวณพื้นที่โดย
รอบเป็นอาคารสำนักงานและเดินที่ซื้อ-ขายรถและเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้ามหานครสายสีส้ม (ช่วง
บางกะปิ-ราชบุรีบูรณะ) สถานีที่สำคัญใกล้เคียง อาทิ สถานทูตสาธารณรัฐประชาชนจีน ศูนย์วัฒนธรรม
แห่งประเทศไทย อาคารเทเลคอมเอเชีย อาคาร RS Tower บริษัทไทยประกันชีวิต จำกัด ห้างสรรพสินค้า
จัสโก้ ห้างสรรพสินค้าโรบินสันและคาร์ฟูร์ ซูเปอร์เซ็นเตอร์ เป็นชานชาลาแบบกลาง และ โครงสร้าง
สถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บริเวณด้านหน้าอาคารอาร์เอส ทาวเวอร์
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารอาร์เอส ทาวเวอร์
3. บริเวณใกล้กับสถานีทูตจีน
4. บริเวณซอยรัชดา 6

สายรถประจำทาง : 73, 136, 137, 206, ปอ.15, ปอ.18, ปอ.22, ปอ. 25ค, ปอ.136,
ปอ.137

สถานีห้วยขวาง ตั้งอยู่บริเวณกลางสี่แยกห้วยขวาง ถนนประชาสงเคราะห์ สถานที่สำคัญใกล้เคียง อาทิ สำนักงานเขตห้วยขวาง โรงแรมดิเอ็มเมอรัล โรงแรมเลอคอนคอร์ด สถานีตำรวจนครบาลห้วยขวาง โรงพยาบาลสหแพทย์ รัชดาและสถาบันเทิงมากมาย อาทิ ภัตตาคารเหมยฮั่ว สถานศึกษาใกล้เคียง อาทิ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ห้วยขวาง (โรงเรียนประชาราชภูร์บำเพ็ญ) เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะโครงสร้างสถานีมี 2 ชั้นเนื่องจาก รฟม. ได้สร้างทางลอดใต้สี่แยกห้วยขวางเพื่อบรรเทาปัญหาการจราจร

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 4 จุด

1. หน้าภัตตาคารสมบูรณ์โภชนา, ธนาคารกรุงไทย สาขาซอยห้วยขวาง
2. หน้าภัตตาคารเหมยฮั่ว
3. ฝั่งตรงข้ามภัตตาคารเหมยฮั่ว
4. ด้านข้างของซิวาร์เอ็นเตอร์เทนเมนท์

สายรถประจำทาง : 73, 136, 137, 206, ปอ.15, ปอ.18, ปอ.22, ปอ.136, ปอ.137

สถานีสุทธิสาร ตั้งอยู่บริเวณกลางสี่แยกสุทธิสาร ใกล้กับสถานีตำรวจนครบาลสุทธิสาร เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะโครงสร้างสถานีมี 2 ชั้นเนื่องจาก รฟม. ได้สร้างทางลอดใต้สี่แยกสุทธิสารเพื่อบรรเทาปัญหาการจราจร

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 4 จุด

1. ตรงข้ามเชิงกับอาคารภัทรประกันภัย
2. ติดกับสถานีตำรวจนครบาลสุทธิสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรงข้ามสถานีตำรวจนครบาลสุทธิสาร
4. ใกล้อาคารภัทรประกันภัย

สายรถประจำทาง : 136, 137, 206, ปอ.15, ปอ.18, ปอ.22, ปอ.136, ปอ.137

สถานีรัชดาภิเษก อยู่บริเวณหน้าอาคารพี.กะรัต เป็นพื้นที่ธุรกิจการพาณิชย์ตลอดสองฝั่งถนน อาทิ อาคารเจริญประกันภัย อาคาร โอลิมเปียไทย และเป็นศูนย์รวมเครื่องสุขภัณฑ์และตกแต่งบ้าน สถานศึกษาใกล้เคียง อาทิ โรงเรียนปัญจทรัพย์เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะโครงสร้างมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 4 จุด

1. บริเวณด้านหน้าอาคาร โอลิมเปีย
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคาร โอลิมเปีย
3. บริเวณด้านหน้าอาคารพี.กะรัต
4. บริเวณด้านหน้าโรงเรียนปัญจทรัพย์

สายรถประจำทาง : 136, 137, 206, ปอ.15, ปอ.18, ปอ.22, ปอ.136, ปอ.137

สถานีลาดพร้าว ตั้งอยู่ใกล้แยกราชดา - ลาดพร้าว มีทางขึ้น - ลงเชื่อมต่อกับอาคารจอดรถ รฟม. (รัชดาภิเษก - ลาดพร้าว) สถานศึกษาใกล้เคียง อาทิ โรงเรียนอนุบาลแฉล้มเสาวภาค โรงเรียนแม้นศรีวิทยา เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะโครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 4 จุด

1. บริเวณปากซอยลาดพร้าว 17
2. บริเวณปากซอยลาดพร้าว 22
3. บริเวณด้านในอาคารจอดรถ รฟม.
4. บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารจอดรถ รฟม.

สายรถประจำทาง : 8, 92, 96, 122, 145, ปอ.2, ปอ.18, ปอ.19, ปอ.38, ปอ.44, ปอ.92, ปอ.126, ปอ.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีพหลโยธิน อยู่บริเวณแยกถนนพหลโยธินตัดถนนลาดพร้าว และสวนสมเด็จพระยา
สถานที่ใกล้เคียง อาทิ โรงเรียนเซนต์จอห์น มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น โรงเรียนหอวังห้างสรรพสินค้า
เซ็นทรัลพลาซ่า ลาดพร้าว การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย อาคารฐานเศรษฐกิจและบริษัทการบินไทย
จำกัด (มหาชน) เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะ โครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 5 จุด

1. บริเวณปากซอยลาดพร้าว 1
2. บริเวณปากซอยลาดพร้าว 2
3. บริเวณปากซอยลาดพร้าว 4
4. บริเวณหัวมุมถนนลาดพร้าว
5. บริเวณสวนสมเด็จพระยา 84 ซึ่งเป็นจุดเชื่อมจากฝั่งถนนพหลโยธิน

สายรถประจำทาง : 8, 38, 44, 92, 96, 122, 145, ปอ.2, ปอ.18, ปอ.19, ปอ.38, ปอ.44,
ปอ.92, ปอ.145, ปอ.126

สถานีสวนจตุจักร อยู่ในบริเวณสวนจตุจักร สามารถเชื่อมต่อกับสถานีหมอชิตของบีที
เอส สถานที่ใกล้เคียง อาทิ ธนาคารทหารไทย จำกัด บริษัทขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (BTS) ศูนย์ฝึก
การบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เป็นชานชาลาแบบกลาง และลักษณะ โครงสร้างมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลง มีทั้งหมด 4 จุด

1. บริเวณใกล้ทางทางขึ้น-ลง ของสถานีหมอชิตของบีทีเอสฝั่งขาเข้า
2. บริเวณใกล้ทางขึ้น-ลง ของสถานีหมอชิตของบีทีเอส ฝั่งขาเข้า (ใต้)
3. บริเวณใกล้ทางขึ้น-ลง ของสถานีหมอชิตของบีทีเอส ฝั่งสวนจตุจักรขาออก (เหนือ) บริเวณใกล้ทาง
ขึ้น-ลง กับสถานีหมอชิตของ
4. จตุจักรขาออก (ใต้)

สายรถประจำทาง : 3, 8, 26, 27, 28, 29, 34, 38, 39, 44, 52, 59, 63, 77, 96, 104, 108,
112, 122, 134, 136, 138, 145, 157, 158, ปอ.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีกำแพงเพชร อยู่ตรงข้ามองค์การตลาดเพื่อเกษตรกร (อ.ต.ก.) ถนนกำแพงเพชร และตลาดนัดจตุจักร (แผงหนังสือ) สถานที่ใกล้เคียง อาทิ องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย เป็นขานชาลาแบบกลาง และลักษณะ โครงสร้างสถานีมี 3 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 3 จุด

1. บริเวณด้านหน้าตลาด อ.ต.ก.
2. บริเวณฝั่งตรงข้ามตลาด อ.ต.ก.
3. บริเวณตลาดนัดจตุจักรฝั่งถนนกำแพงเพชร

สายรถประจำทาง : ปอ.3, 9, 10, 12, 13, 18, 19, 23ก, 26, 27, 29, 34

สถานีบางซื่อ อยู่บริเวณใกล้สถานีรถไฟบางซื่อ และบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็นขานชาลาแบบข้างและลักษณะ โครงสร้างสถานีมี 2 ชั้น

จุดขึ้น-ลงมีทั้งหมด 2 จุด

1. บริเวณหัวมุมถนนเดชะวณิชตัดกับถนนเทอดคำริหน้าขานชาลาสถานีรถไฟบางซื่อ (สายเหนือและสายตะวันออกเฉียงเหนือ)
2. บริเวณหน้าขานชาลาสถานีรถไฟบางซื่อ(สายใต้)

สายรถประจำทาง : 52

3.4. ระบบรักษาความปลอดภัย

3.4.1. มาตรการป้องกันไฟไหม้

ในการออกแบบและการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคลนั้น ทางรฟม. ได้ตระหนักและคำนึงถึงความปลอดภัยในทุกขั้นตอน โดยได้นำมาตรฐานความปลอดภัย NFPA 130 หรือ National Fire Protection Association ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ทันสมัยที่สุดในการออกแบบระบบขนส่งมวลชนประเภทรางมาใช้ในโครงการฯ เพื่อความปลอดภัยสูงสุดในการให้บริการแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชาชน โดยมาตรฐานดังกล่าวที่ รพม. ได้นำมาใช้เป็นมาตรการความปลอดภัยภายในสถานีและ
อุโมงค์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. มาตรฐานในการออกแบบเพื่อป้องกันอัคคีภัย

มาตรฐาน NFPA 130 จะกำหนดให้การออกแบบระบบขนส่งมวลชนประเภทรางเช่น
ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ครอบคลุมในเรื่องการออกแบบระบบป้องกันเพลิงไหม้ในสถานีและอุโมงค์ตลอด
จนการอพยพประชาชนออกจากสถานีและอุโมงค์ โดยใช้ประกอบกับประกาศและข้อบังคับเกี่ยวกับการ
ป้องกันอัคคีภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2. วัสดุที่ใช้ภายในสถานีและอุโมงค์

2.1 วัสดุที่ใช้สำหรับเป็น โครงสร้างที่สถานีหรืออุโมงค์ตลอดจนวัสดุตกแต่งสายไฟฟ้า
และอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องกลภายในสถานีทุกแห่งจะกำหนดให้เป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ (Non-Combustible)
และ วัสดุที่ไม่ไวไฟ (Non-Flammable) ยกเว้นกรณีที่เป็นเหตุสุดวิสัย วัสดุที่ไหม้ไฟจะเป็นแบบไม่มี
ควันพิษ (Non-Toxic) เท่านั้น

2.2 พื้นที่ภายในสถานีจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือพื้นที่ส่วนที่เป็นสาธารณะ (Public Area)
และพื้นที่ส่วนที่เป็นห้องเครื่องหรือพื้นที่ทำงานของพนักงาน (Non-Public Area) โดยระหว่าง 2 ส่วนจะ
มีผนังกันไฟได้ประมาณ 2-3 ชั่วโมง และมีประตูกันไฟในแต่ละพื้นที่ ซึ่งแต่ละห้องจะกันไฟได้โดย
เฉลี่ยประมาณไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง

2.3 บริเวณรอบๆ ช่องเปิดโล่ง (Opening) จะมีการติดตั้งแผ่นกระจกใส (Glass Fin) เพื่อ
ป้องกันควันไฟที่จะลอยไปจากชั้น Platform ขึ้นสู่ชั้นอื่นๆ ในระหว่างที่ระบบดูดควันแต่ละชั้นกำลัง
ทำงาน

2.4 วัสดุที่ใช้ในสถานีส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นหินแกรนิต ผนังแกรนิต ฝ้าเพดาน เหล็ก
Galvanized และ อลูมิเนียม ผนังบางส่วนเป็นแผ่น Stainless Steel หรือแผ่นเหล็ก Galvanized ซึ่งทั้ง
หมดมีจุดหลอมเหลวที่สูงมากกว่า 600C และกินเวลานานมากกว่าที่จะยุบตัวลงมาหรือเสียหาย ดังนั้นจึง
มีเวลาเพียงพอที่จะอพยพประชาชนออกจากสถานีตลอดจน ไม่มีควัน ที่เป็น ก๊าซพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบดับเพลิงภายในสถานีและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

มาตรฐานNFPA130 ได้กำหนดมาตรการการป้องกันอัคคีภัยและการระงับอัคคีภัย ดังนี้

การป้องกันการเกิดอัคคีภัย คือการลดโอกาสที่จะเกิดอัคคีภัย และหากมีอัคคีภัยเกิดขึ้นก็จะอยู่ในวงจำกัด โดยการกำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุและรูปแบบของอาคาร เช่น การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ติดไฟง่าย และไม่มีควันเมื่อติดไฟ มีทางหนีไฟที่พอเพียงและไม่ซับซ้อน มีการระบายอากาศและควันไฟออกทางปล่องระบายอากาศ (Ventilation Shaft) ซึ่งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของ รฟม. จะมีปล่องดังกล่าวอยู่ทุกสถานี สถานีละ 2 ปล่อง (นอกเหนือจากทางขึ้นลงปกติ) และระหว่างสถานี หากตัวสถานีห่างกันเกิน 1 กิโลเมตร ก็จะมีปล่องระบายอากาศและทางออกฉุกเฉิน (Intervention Shaft) สำหรับโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ระยะทาง 20 กิโลเมตร นี้จึงมีปล่องระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินระหว่างสถานีรวมทั้งสิ้น 8 แห่ง

การระงับอัคคีภัย มีจุดประสงค์หลักเพื่อระงับการเกิดเพลิงไหม้ และรวมถึงการอำนวยความสะดวกต่อผู้ประสบเหตุในการหนีไฟให้รวดเร็วและปลอดภัยที่สุด โดยจัดให้มีระบบสัญญาณแจ้งเหตุและเตือนภัยอัตโนมัติ ระบบประกาศสาธารณะและบอกทิศทางในกรณีฉุกเฉิน ระบบดับเพลิงอัตโนมัติต่างๆ เช่น ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System) ระบบก๊าซดับเพลิงอัตโนมัติ เป็นต้น ทั้งนี้ โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ได้ถูกออกแบบให้มีระบบป้องกันอัคคีภัยในแต่ละสถานีได้แก่

ระบบเตือนเหตุอัคคีภัย (Fire Alarm) ซึ่งมีระบบป้องกันอัคคีภัย (Fire Fighting System) ในสถานีและอุโมงค์ประกอบด้วยระบบต่างๆดังนี้

- ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยอัตโนมัติ
- มีถังบรรจุน้ำดับเพลิงในสถานีขนาด150-200 ลูกบาศก์เมตร และมีจุดรับน้ำดับเพลิงจากรถดับเพลิง2จุดที่ทุกสถานี
- เครื่องสูบน้ำดับเพลิง
- ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ บริเวณห้องเครื่องและรอบๆ บันไดเลื่อน
- ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับบันไดเลื่อน
- ระบบท่อและสายฉีดน้ำดับเพลิงทุกระยะ50เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา³⁷ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบหัวดับเพลิงในอุโมงค์ใต้ดิน
- ระบบดับเพลิงโดยใช้สารสะอาดดับเพลิง (Clean Agent Fire Extinguishing System, FM200)
- ดับเพลิงแบบมือถือ
- ระบบควบคุมควันภายในสถานีและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินแบ่งเป็น 2 ระบบคือ

ระบบควบคุมควันภายในอุโมงค์ (Tunnel Ventilation System) จะทำงานโดยพัดลมในอุโมงค์ (Tunnel Ventilation Fan : TV Fan) และพัดลมใต้ชานชาลา (Under Platform Extraction Fan : UPE Fan) ขนาด 70 และ 30 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งระบบดังกล่าวจะทำงานในกรณีเกิดเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ ขณะรถไฟอยู่ภายในอุโมงค์กึ่งกลางระหว่างสถานี หรือกรณีเกิดเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ขณะรถไฟจอดอยู่ที่สถานี ทั้งนี้ระบบควบคุมควันไฟจะควบคุมทิศทางของควันไฟไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการอพยพหนีภัยของผู้โดยสาร

ระบบควบคุมควันภายในสถานี (Smoke Control System) ในสถานีโดยจะทำการควบคุมพัดลม ควบคุมควันไฟจากจุดที่ปลอดภัยในสถานี หรือจากศูนย์ควบคุมระบบรถไฟฟ้า (Operation Control Center)

4. ระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟ (Escape Stair Case Air Pressurization System) โดยถูกจัดเตรียมไว้ที่บันไดหนีไฟทั้ง 2 บริเวณ คือ
 - บริเวณบันไดหนีไฟภายในสถานีจากชั้นชานชาลา (Platform) สู่อาคารระบายอากาศสถานี (Vent Building)
 - บริเวณทางออกฉุกเฉินระหว่างสถานี (Intervention Shaft)
5. มีระบบเปลและรอกกว้านฉุกเฉิน (Stretcher Hoist) บริเวณทางออกฉุกเฉินระหว่างสถานี เพื่อช่วยเหลือผู้บาดเจ็บจากชั้นล่างสุดในอุโมงค์ขึ้นสู่ชั้นพื้นดิน
6. การอพยพประชาชนจากสถานีและจากอุโมงค์

ตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่ รฟม. ใช้เป็นมาตรฐานกำหนดเวลาในการอพยพไว้ ดังนี้

- กรณีที่ 1 การอพยพประชาชนจากจุดไกลสุดในชั้นชานชาลาขึ้นมาบนชั้นถัดไปจะต้องสามารถอพยพได้ในเวลาไม่เกิน 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 การอพยพประชาชนจากจุดใกล้สุดในชั้นชานชาลาขึ้นมาบนพื้นดินหรือ Point of Safety จะต้องสามารถอพยพได้ในเวลาไม่เกิน 6 นาที และบริเวณ Point of Safety จะต้องเตรียมระบบอุปกรณ์ทุกอย่างให้ประชาชนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย เช่น ระบบอากาศ ระบบดับเพลิงทุกชนิด รวมถึงระบบช่วยชีวิตทุกอย่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้มี หน่วยงานหลักและหน่วยงานสนับสนุนการช่วยเหลือประชาชนในกรณีฉุกเฉิน ประกอบด้วย

- หน่วยงานหลักภายนอกที่เกี่ยวข้องคือ ตำรวจดับเพลิง กลุ่มอาสาสมัครกู้ภัยต่างๆ
- หน่วยงานภายใน รฟม. ที่จัดตั้งขึ้นเพื่อรองรับเหตุการณ์ฉุกเฉิน ได้แก่ ฝ่ายรักษาความปลอดภัยและกู้ภัย ของ รฟม. ประกอบด้วย 2 กอง คือ กองกู้ภัย และกองรักษาความปลอดภัย โดยในการดำเนินงานจะมีการประสานงานกับตำรวจดับเพลิงในการดำเนินการจัดทำรายละเอียดต่างๆ ได้แก่

1. แผนปฏิบัติการในกรณีฉุกเฉิน
2. จัดทำแผนกรอบอัตรากำลังที่เหมาะสม
3. กรอบและแผนการฝึกซ้อมเป็นประจำเพื่อความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน
4. แผนมวลชนสัมพันธ์เพื่อชี้แจงประชาชนที่ใช้บริการรถไฟฟ้า เป็นต้น

3.4.2 มาตรการป้องกันน้ำท่วม

โดยปกติในกรณีที่เกิดน้ำท่วม บริเวณหลักที่น้ำจะสามารถไหลเข้าสถานีและอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้ คือ ทางขึ้น-ลงสถานี และอาคารระบายอากาศ ในการออกแบบป้องกันน้ำไหลเข้าสู่สถานีและอุโมงค์ รฟม. ได้ยึดถือสถิติของระดับน้ำท่วมสูงสุดในรอบ 200 ปีเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ และได้พิจารณาการป้องกันน้ำท่วมเป็น 2 กรณี

1. กรณีน้ำท่วมฉับพลัน

ในกรณีนี้ความสูงของระดับน้ำที่ท่วมขึ้นมาโดยทั่วไปจะไม่เกิน 0.5 เมตรจากระดับทางเท้าหรือประมาณ 1.3 เมตร จากระดับน้ำทะเล ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันน้ำไหลเข้าสู่สถานีและอุโมงค์ จึงได้ออกแบบให้ระดับความสูงของทางขึ้น-ลงสถานี และทางเข้า-ออกของอาคารระบายอากาศ ให้สูงกว่าโดยเฉลี่ย 1.2 เมตรจากระดับทางเท้า หรือประมาณ 2 เมตร จากระดับน้ำทะเล ซึ่งทำให้น้ำไม่สามารถไหลเข้าไปได้ กรณีเกิดน้ำท่วมในลักษณะนี้ การเดินรถสามารถทำได้ตามปกติ อย่างไรก็ตาม รฟม. ได้มีการกำหนดมาตรการในการติดตาม และตรวจสอบระดับน้ำอย่างใกล้ชิด เพื่อป้องกันปัญหาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะส่งผลต่อการเดินรถได้

2. กรณีเกิดอุทกภัย

ในกรณีที่เกิดอุทกภัย ระดับน้ำท่วมสูงสุดอยู่ที่ระดับ 2.5 เมตรจากระดับน้ำทะเล (สถิติ น้ำสูงสุดในรอบ 200 ปี) หรือประมาณ 1.7 เมตร จากระดับทางเท้า ซึ่งจะสูงกว่าระดับความสูงของทาง ขึ้น-ลง และทางเข้า-ออกอาคารระบายอากาศ ประมาณ 0.5 เมตร เพื่อเป็นการป้องกันน้ำไหลเข้าสถานี และอุโมงค์ รฟม. จะทำการติดตั้งผนังกันน้ำ (STOP LOG) ซึ่งมีความสูง 1.5 เมตร ใ้บนทางขึ้น-ลง สถานีและทางเข้า-ออกอาคารระบายอากาศอีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นระบบป้องกันน้ำท่วมที่ออกแบบไว้ จะสามารถป้องกันน้ำได้สูงกว่าสถิติน้ำสูงสุดในรอบ 200 ปีถึง 1 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 40 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่

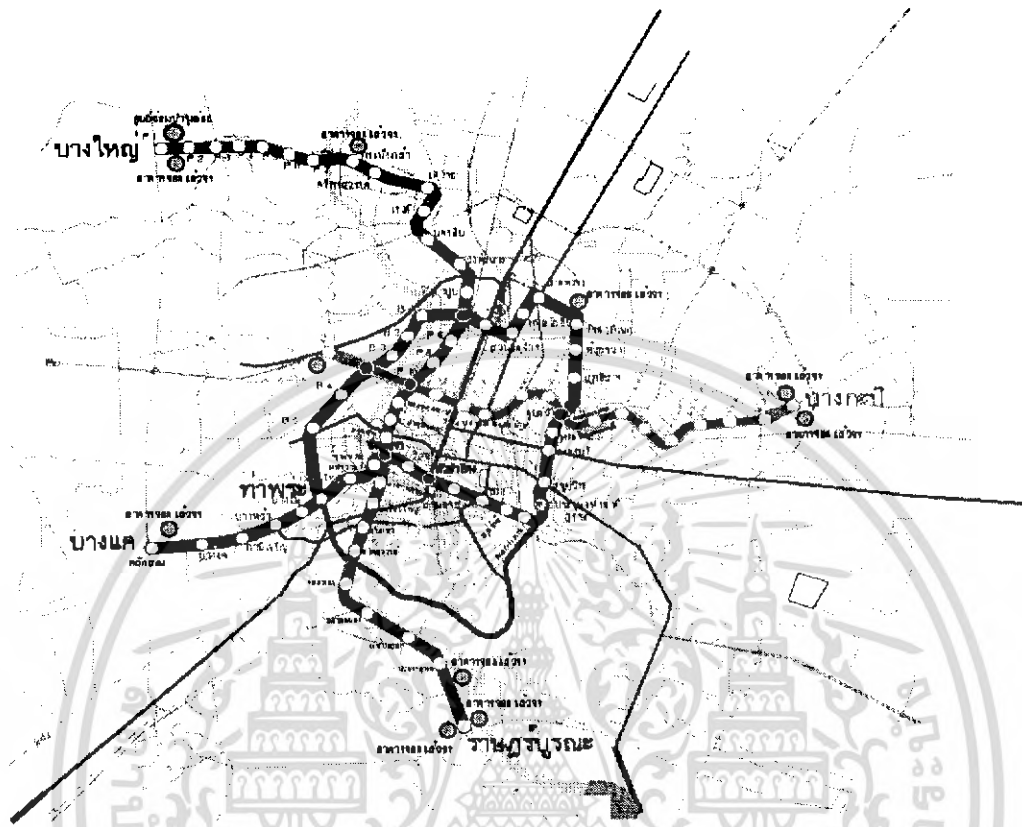
4.1. โครงการส่วนต่อขยายสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) และสายใหม่

ปัจจุบันโครงข่ายหลักของการขนส่งมวลชนในเขตกรุงเทพฯ คือโครงการรถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคลและโครงการรถไฟฟ้าชานชาลา (BTS) มีระยะทางรวมทั้งสิ้นเพียงประมาณ 44 กม. ทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาการเดินทางของประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรัฐบาลก็ได้ตระหนักถึงปัญหาความไม่เพียงพอดังกล่าว และได้กำหนดให้มีนโยบายเร่งรัดการต่อขยายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน โดยคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบก (คจร.) ในคราวประชุมเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2547 ซึ่งมี ฯพณฯ นายกรัฐมนตรีเป็นประธาน ได้มีมติอนุมัติให้ดำเนินการโครงข่ายระบบขนส่งมวลชนระบบรางที่เสนอโดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) รวมระยะทาง 291 กม. (โครงข่ายใหม่ 247.3 กม. และโครงข่ายที่สร้างแล้ว 43.7 กม.) โดย รฟม.ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบดำเนินการโครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายและสายใหม่ ระยะทางรวม 91 กม. รวมทั้งสิ้น 3 เส้นทางคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 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 ผ่านถนนประชากรราษฎร์สาย 2 ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา แล้วเลี้ยวซ้ายไปสู่ถนน จรัญสนิทวงศ์ จนถึงสถานีท่าพระซึ่งอยู่ระหว่างทางแยกของถนน เพชรเกษมและจรัญสนิทวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2.2. โครงสร้าง

ในส่วนของสถานีใต้ดินในทางด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ได้ทำการปรับปรุงความหนาแน่นของดินให้สูงขึ้นและในเส้นทางที่จำกัด จะใช้อุโมงค์เดี่ยวรางคู่ ส่วนสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดไม่จำกัด จะก่อสร้างเป็นอุโมงค์คู่รางเดี่ยว

สำหรับส่วนของสถานียกระดับจะใช้ระบบรางคู่บนคานก่อกอง ที่มีฐานรองรับเป็นเสาเดี่ยวอยู่ในเกาะกลางถนน ส่วนในคานเฟรมจะก่อสร้างเมื่อไม่มีเกาะกลางถนนหรือที่ที่ทำการก่อสร้างเสาเดี่ยวมาสามารถก่อสร้างได้ เนื่องจากข้อจำกัดที่มากมายทางการจราจร

4.2.3. สถานี

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

4.2.4. ศูนย์ซ่อมบำรุง

ศูนย์ซ่อมบำรุงเหมือนกับสายเฉลิมรัชมงคลที่ห้วยขวาง

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 รینگ 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 โดยจะเป็นระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

4.2.9. มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินในส่วนต่อขยายช่วงสถานีบางซื่อ - ท่าพระ และช่วงสถานีหัวลำโพง - 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 และสายสีส้มด้านใต้ ช่วงสามเสน ถึง ราษฎร์บูรณะ) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสำหรับผู้โดยสารที่เดินทางจากบริเวณชานเมืองทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและด้านทิศใต้ของกรุงเทพมหานคร โดยมีเส้นทางหลักผ่านย่านใจกลางเมืองในเขตเกาะกรุงรัตน โกสินทร์ 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-รัตนานิเบศร์-สี่แยกนนทบุรี-สี่แยกวงศ์สว่าง-เตาปูน-เกียกกาย-สามเสน-หอสมุดแห่งชาติ-บางลำพู-พระบรมหาราชวัง-วงเวียนใหญ่-มไหสวรรย์-สิ้นสุดที่ราษฎร์บูรณะบริเวณ ใกล้กับทางด่วนบางนา-ดาวคะนอง

4.3.2.2. ระยะทาง

ระยะทางรวมทั้งหมด 40.0 กิโลเมตร

4.3.2.3. โครงสร้างทางวิ่ง

โครงสร้างได้ดิน 14.4 กม. มีทั้งแบบอุโมงค์คู่รางเดี่ยวและอุโมงค์เดี่ยวรางคู่ และโครงสร้างยกระดับ 25.6 กม. เป็นโครงสร้างคานกล่อคอนกรีตเสริมเหล็กใช้เสาเข็มเจาะและตอม่อ หล่อในสนาม 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 ที่บริเวณบางใหญ่และราชบุรีบูรณะ

4.3.2.7. ระบบราง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ระบบอัตโนมัติสัญญาณเดินรถที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม และระบบเก็บและตรวจตั๋วเป็นระบบอัตโนมัติเช่นกัน โดยจะเป็นระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

4.3.2.10. มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง บางใหญ่-ราษฎร์บูรณะ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างรวมทั้งสิ้น 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 บางบัวทอง

4.4.1. ความเป็นมาโครงการ

เส้นทางสายสีส้ม เป็นเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินสายหนึ่งใน โครงการข่าระบบขนส่งมวลชน ซึ่งเป็นเส้นทางระหว่าง บางกะปิ (ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ) ถึง บางบัวทอง (ฝั่งตะวันตก) หลังจากสายสีม่วงที่ใช้เชื่อมโยกับโครงการอื่นๆ วางแผนแล้วเสร็จ เส้นทางสายสีส้มที่วางแผนไว้มีเพียง บางกะปิ ถึง สามเสน แต่ปัจจุบันมีการวางแผนขยายเส้นทางไปจนถึงบางบัวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 47 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 วัดสีบุญเรือง มีเส้นทางไปตามถนนสุขาภิบาล 3 ซึ่งเป็นเส้นทางแบบลอยฟ้า เข้าสู่ท่าสถานีเส้นทางจะลงไปใต้ดิน และไปต่อตามถนนรามคำแหง ผ่านสนามกีฬาหัวหมาก 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 ขานขาลาสถานี เป็นแบบกลาง หรือ ข้าง ขึ้นอยู่กับสภาพข้อมูลดิน แน่นอนว่าสถานีต้อง เชื่อมต่อกับ เส้นทางสายอื่น บันไดเลื่อน ลิฟต์ ห้องน้ำ ป้ายประชาสัมพันธ์ ที่ตั้งสถานีที่สำคัญ และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ก็ต้องถูกติดตั้งรวมอยู่ด้วย

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 รางวงขนาดมาตรฐาน (Standard gauge) กว้าง 1.435 เมตร โดยมีรางที่ 3 วางขนานกันไปกับรางวง 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 รองรับผู้โดยสารได้ 50,000 คน/ชม./ทิศทาง

4.4.2.8. ระบบเก็บค่าโดยสาร

ระบบอัตโนมัติสัญญาณเดินรถที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขับเคลื่อนตัวรถด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม และระบบเก็บและตรวจตั๋วเป็นระบบอัตโนมัติเช่นกัน โดยจะเป็นระบบเดียวกับสายเฉลิมรัชมงคล

4.4.2.9. มูลค่าโครงการ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มมีการประมาณราคา มูลค่าโครงการ ประมาณ 68,156 ล้านบาท ซึ่งประกอบด้วย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁴⁹ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. ข้อมูลรถไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ

4.5.1. ชนิดของรถไฟฟ้า

เป็นรถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Heavy rail) ชนิดล้อเหล็ก ตัวรถจะมีน้ำหนักเบา ทำด้วย Aluminum Alloy หรือ Stainless Steel ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยรับไฟฟ้ากระแสตรงจากรางที่ 3 (third Rail) รถไฟฟ้าที่นำมาประกอบเป็นรถไฟฟ้า 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



รูปที่ 4.2. ภาพตัวรถไฟฟ้าตัวอย่าง

4.5.3. การจัดรูปแบบขบวนรถ

สามารถจัดได้ 2 แบบ คือ แบบขบวนละ 3 คัน และแบบขบวนละ 6 คัน

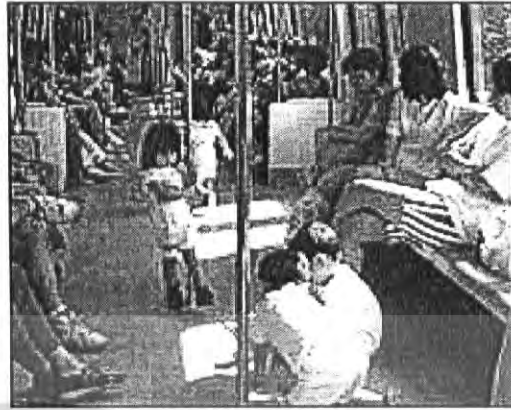
1. แบบขบวนละ 3 คัน จะจัดโดยประกอบด้วยรถลากจูง (Motor Car : M) 2 คัน และรถพ่วง (Trailer Car : T) 1 คัน จัดขบวนแบบ M - T - M
2. แบบขบวนละ 6 คัน จะประกอบด้วย รถลากจูง (Motor Car : M) 4 คัน และรถพ่วง (Trailer Car : T) 2 คัน จัดรูปแบบขบวนได้ดังนี้ M - T - M - M - T - M

การจัดขบวนทั้ง 2 แบบ รถลากจูงที่หัวและท้ายขบวนจะเป็นแบบมีห้องคนขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4. ภายในตัวรถ

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



รูปที่ 4.3. การวางเก้าอี้ภายในตัวรถไฟฟ้า

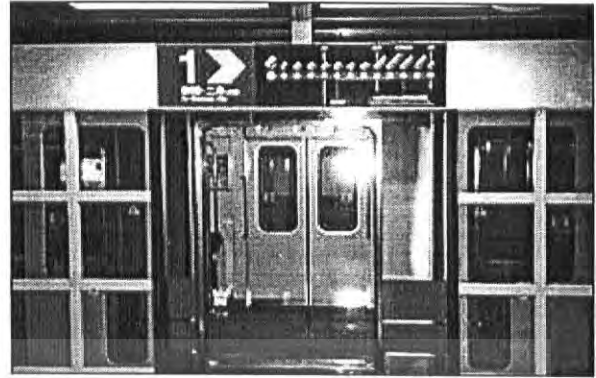
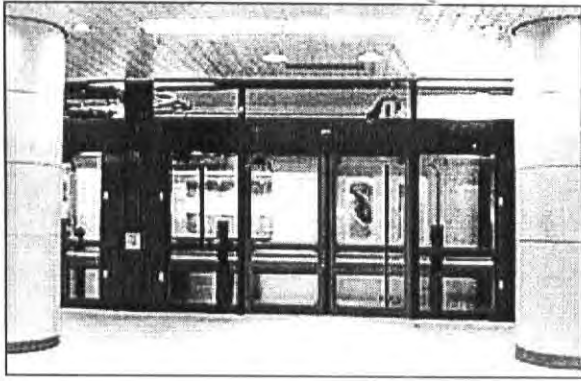
รถไฟฟ้าจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 2 ชุด บนหลังคาด้านหัวและท้ายของตัวรถ เพื่อว่า หากมีชุดใดชุดหนึ่งเสีย ชุดที่เหลือจะยังคงทำงานได้ โดยจะปรับอุณหภูมิไว้ที่ 26 C และหากเครื่องปรับอากาศเสียทั้ง 2 ชุด จะมีพัดลมระบายอากาศฉุกเฉินทำหน้าที่ระบายอากาศภายในตัวรถ

4.5.5. ประตูกันชนชานชาลา (Platform Screen Door)

ประตูชานชาลา จะกั้นระหว่างชานชาลากับทางวิ่งของรถไฟฟ้า มีหน้าที่คือ

1. ป้องกันไม่ให้อากาศเย็นภายในสถานีรถไฟฟ้า รั่วออกไปยังอุโมงค์ทางวิ่งของรถไฟฟ้า เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน
2. ป้องกันผู้โดยสารตกไปยังรางรถไฟฟ้า

ประตูชานชาลา จะเปิดออกเมื่อรถไฟฟ้าเข้ามาจอด โดยจะเปิดพร้อมๆ กับประตูรถไฟฟ้า และจะปิดก่อนที่ประตูรถไฟฟ้าจะปิด เพื่อป้องกันมิให้ผู้โดยสารติดอยู่ที่ประตูรถไฟฟ้า ทั้งนี้ ประตูรถไฟฟ้าจะไม่เปิด หากรถไฟฟ้ายังไม่จอดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด



รูปที่ 4.4. ภาพตัวอย่างประตูชานชาลา

4.5.6. การขับเคลื่อนและห้ามล้อ

รถไฟฟ้าจะขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 750 โวลต์ จากรางที่ 3 (Third rail) โดย ผ่านอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้า (Shoe Gear) และอุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อนขบวนรถไปยังมอเตอร์กระแสสลับ

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

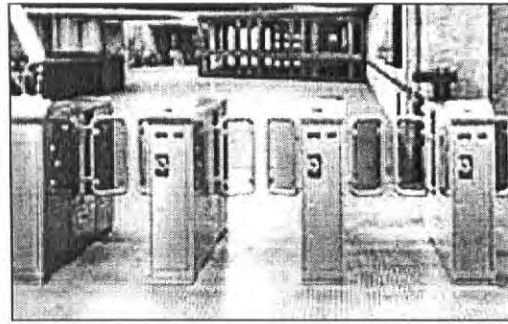
4.5.7. ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ

1. ผู้โดยสารสามารถซื้อตั๋วได้จากเครื่องขายตั๋ว (Ticket Vending Machine) หรือจากพนักงาน เจ้าหน้าที่ตั๋วในบริเวณห้องขายตั๋วโดยสาร
2. ผู้โดยสารจะต้องสอดตั๋วในช่องรับตั๋วของประตูทางเข้าอัตโนมัติ (Automatic Gate) ซึ่งประตูก็จะเปิดให้ผู้โดยสารผ่านได้
3. ข้อมูลการจำหน่ายตั๋วหรือการใช้บริการรถไฟฟ้าจะถูกเก็บไว้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ประจำสถานี และส่งต่อไปยังศูนย์ควบคุมกลาง"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 52 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5. ภาพตัวอย่างเครื่องขยตัวอัตโนมัติ



รูปที่ 4.6. ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ



รูปที่ 4.7. ภาพตัวอย่างประตูทางเข้าอัตโนมัติ

4.5.8. ระบบความปลอดภัย

ความปลอดภัยที่กำหนดไว้ทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบควบคุมรถไฟอัตโนมัติ (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 หากไม่ปฏิบัติรถไฟจะลงห้ามล้อหยุดขบวนรถและส่งสัญญาณไปยังศูนย์ควบคุมทันที
3. ระบบสัญญาณเตือนภัยจากผู้โดยสาร (Passenger Alarm System) ในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินขึ้นบนขบวนรถ เมื่อผู้โดยสารแจ้งเหตุโดยใช้เครื่องสัญญาณเตือนภัย สัญญาณจะปรากฏไฟที่ห้อง คนขับ และคนขับจะต้องกดปุ่มตอบรับ เพื่อให้สามารถพูดติดต่อกับผู้ที่แจ้งเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 53 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ซึ่งในสถานีจะมีอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 24 KV เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 750 V เพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า และมีหม้อแปลงแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 24 KV เป็น 380/220 KV สำหรับอุปกรณ์ในสถานี



รูปที่ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 54 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Non Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญไม่มาก หากระบบจ่ายไฟฟ้าขัดข้อง จะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์เหล่านี้ เช่น

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

2. Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบรถไฟฟ้าและความปลอดภัยของผู้โดยสาร หากระบบจ่ายไฟฟ้าในสถานีจุดใดจุดหนึ่งขัดข้อง จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายอีกจุดหนึ่งให้อุปกรณ์เหล่านี้ เช่น

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

3. Very Essential Load

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งขวดต่อระบบรถไฟฟ้า 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 55 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

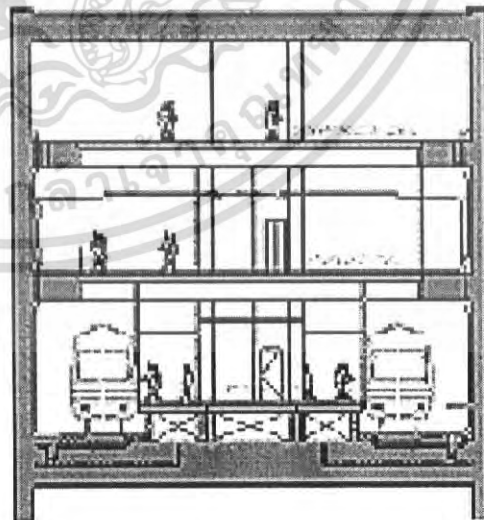
1. ความยาวโดยทั่วไปประมาณ 200-220 เมตร
2. ความกว้างโดยทั่วไปประมาณ 23 เมตร
3. หลังคาสถานีลึกจากผิวดินประมาณ 1.5-3 เมตร
4. ชานชาลาลึกจากผิวดินประมาณ 18 เมตร

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบสถานีและสภาพภูมิประเทศโดยรอบ โดยมี ประตูชานชาลา (Platform Screen Door) ลิฟต์และบันไดเลื่อน

4.5.10.1. รูปแบบที่มีชานชาลากลาง (CENTRAL PLATFORM)

เป็นรูปแบบที่ใช้โดยส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้โดยสารใช้ชานชาลาพร้อมกันทั้งขาไปและ ขากลับ

สถานีที่มีลักษณะแบบนี้ ได้แก่ สถานีหัวลำโพง สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ สถานีสุขุมวิท สถานีเพชรบุรี สถานีพระราม 9 สถานีเทียมร่วมมิตร สถานีพระราชาราม 9 สถานีสุขุมวิท สถานีรัชดา สถานีลาดพร้าว สถานีพหลโยธิน สถานีหมอชิต และสถานีกำแพงเพชร



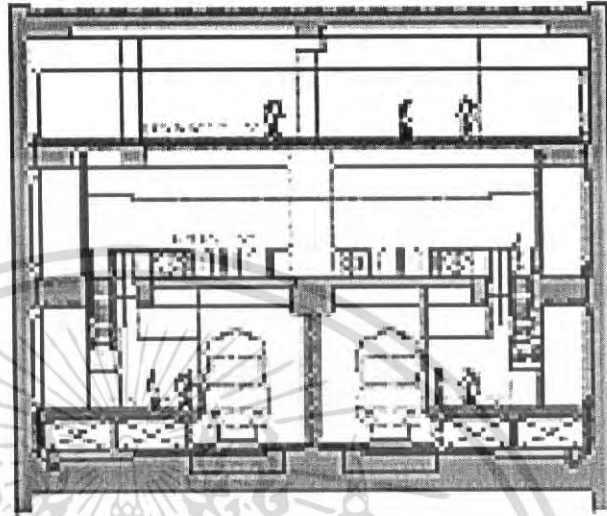
รูปที่ 4.9. รูปแบบที่มีชานชาลากลาง (CENTRAL PLATFORM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 56 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.10.2. รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (SIDE PLATFORM)

รูปแบบสถานีนี้จะใช้
ในกรณีที่พื้นที่ในการก่อสร้างอุโมงค์
ทางวิ่ง บริเวณก่อนเข้าหรือออกจาก
สถานีมีจำกัด

สถานีที่มีลักษณะ
แบบนี้ ได้แก่ สถานีปอนโก และ
สถานีบางซื่อ

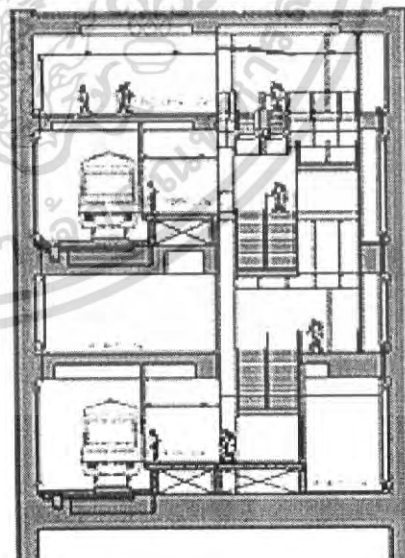


รูปที่ 4.10. รูปแบบที่มีชานชาลาข้าง (SIDE PLATFORM)

4.5.10.3. รูปแบบที่ชานชาลาซ้อนกัน (STACK PLATFORM)

รูปแบบนี้จะใช้ก่อสร้างในกรณีที่พื้นที่
ในการก่อสร้างแคบ เพราะมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ท่ออุโมงค์
ส่งน้ำ เสาเข็มยาวของสะพานลอย และอาคารสูง เป็นต้น

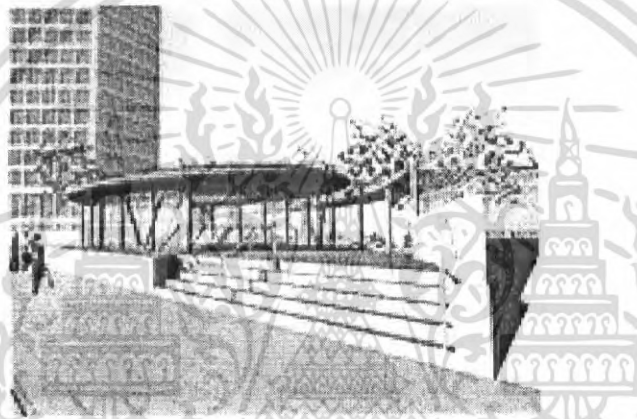
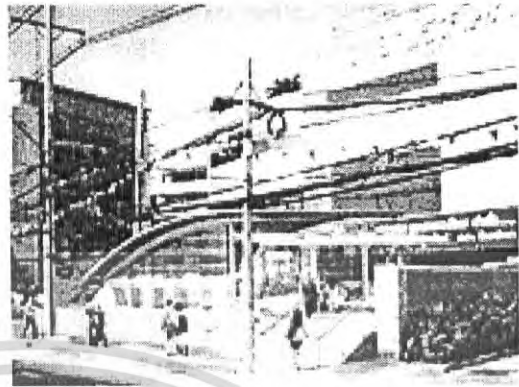
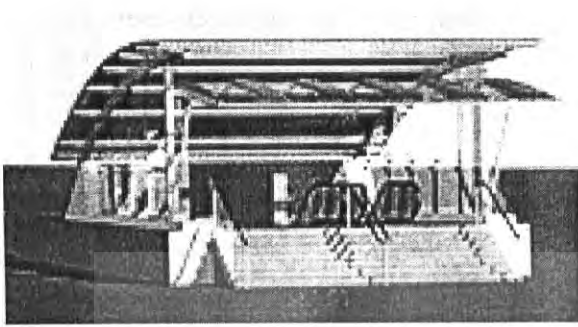
สถานีที่มีลักษณะแบบนี้มี 3 สถานี ได้แก่
สถานีสามย่าน สถานีสีลม สถานีลุมพินี



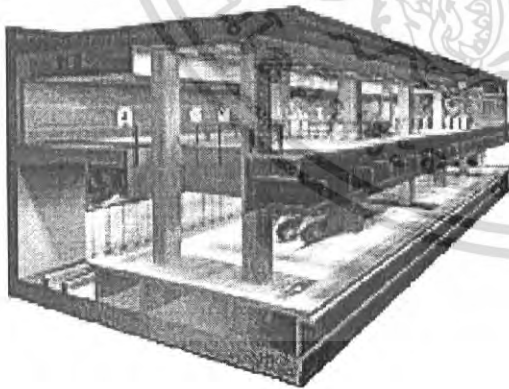
รูปที่ 4.11. รูปแบบที่ชานชาลาซ้อนกัน (STACK PLATFORM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 57 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6. รูปแบบทางขึ้น-ลง และสถานีรถไฟฟ้ามหานคร



รูปที่ 4.12. ภาพจำลอง ทางขึ้น-ลง



รูปที่ 4.13. ภาพจำลองภายในสถานี



รูปที่ 4.14. ภาพจำลองบริเวณชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 58 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

มาตรฐานการก่อสร้างและออกแบบผนังอุโมงค์ใต้ดิน

5.1. กล่าวนำ

ในการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินจำเป็นต้องศึกษาถึงสิ่งที่จะต้องปฏิบัติเพื่อให้สามารถทำการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและที่สำคัญคือ ต้องมีความปลอดภัย โดยในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานรายละเอียดการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินที่ควรจะต้องทำการศึกษานำมาปฏิบัติ

5.2. ข้อกำหนดทั่วไปของการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน

5.2.1. ขอบเขตของการประยุกต์ใช้

มาตรฐานนี้จะกำหนดวิธีทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ การวางแผน การออกแบบ และการก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีการใช้หัวเจาะอุโมงค์ Shield

วิธีการขุดอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะอุโมงค์ (Shield Method) หมายถึงวิธีการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้เครื่องเจาะอุโมงค์ประเภท Shield มาตรฐานนี้แสดงถึงวิธีการทั่วไปของการก่อสร้างอุโมงค์โดยหัวเจาะอุโมงค์ (Shield Method) ที่ถือว่าเป็นที่เชื่อถือได้และมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีที่เหมาะสมและความสำเร็จที่ได้รับในอดีต รายละเอียดที่ได้ไม่ได้ครอบคลุมในมาตรฐานนี้ ควรได้รับการวินิจฉัยโดยวิศวกรที่ทำหน้าที่ควบคุม

มาตรฐานนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น การก่อสร้างโดยวิธี Pipe-Jacking และวิธีอื่นๆ ด้วยการปรับแก้ให้เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดเพิ่มเติมยังสามารถศึกษาได้จากมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังที่รวบรวมไว้
ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

1. Standard Segment for Shield Tunneling Works / JSCE & Japan Sewage Works Association (1990)
2. Japanese Standard for Mountain Tunneling / JSCE (1996)
3. Japanese Standard for Cut and Cover Tunneling / JSCE (1996)
4. Standard Specification for Design and Construction of Concrete Structure / JSCE (1996)
5. Standard and Explanation for Japan National Railways Structural Design (Steel Railroad Bridge and Steel and Concrete Composite Railroad Bridge) / JSCE (1983)
6. Specification for Highway Bridge and Explanation / Japan Road Association (1994)
7. Utility Tunnel Design Guideline / Japan Road Association (1986)
8. Japan Industrial Standard (JIS) / Japan Industrial Standard Committee

มีวิธีการการขุดอุโมงค์อื่นๆ นอกจากวิธีการที่ใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method) การเลือกวิธีการที่เหมาะสมจะคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยเป็นหลักและต้นทุนของโครงการการขุดอุโมงค์ ดังนั้น จึงทำการเสนอแนะถึงความสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึงผลดีและผลเสียของแต่ละวิธี ตารางที่ 5.1. แสดงการประยุกต์ใช้ของวิธีการหลักในการขุดเจาะอุโมงค์

ตารางที่ 5.1. การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ ดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถม กลับ (Cut & Cover Method)
วิธีการ	<p>เป็นการใช้ประโยชน์โดยการ ค้ำยันดินที่อยู่รอบอุโมงค์และ การทำ คอนกรีตพ่น (Shotcrete) เหล็กยึดหิน (Rockbolts) การค้ำ ยันด้วยโครงเหล็กและวิธีการ อื่นๆ เพื่อให้มีเสถียรภาพ</p> <p>ความต้องการความมั่นคงของ ผลของส่วนโค้งของดินและ การคงตัวได้ด้วยตัวเองของดิน บริเวณผิวหน้า</p> <p>เมื่อสองเงื่อนไขไม่เป็นที่นา พอใจจะต้องเพิ่มมาตรการเพื่อ ความปลอดภัย</p>	<p>เครื่องขุดเจาะจะเคลื่อนลงไป ในพื้นที่และป้องกันการทรุด ลงของดินที่อยู่โดยรอบ โข หัวเจาะ Shield และ ชั้น ส่วน ประกอบผนังอุโมงค์คอนกรีต หัวเจาะ Shield แบบที่มีส่วน หน้าปิดจะเติมช่องด้วยน้ำยา ปรับสภาพดิน (Slurry) หรือ การนำสิ่งที่ยึดออกพร้อมกับ การรับมือกับแรงดันดินและ แรงดันน้ำที่ส่วนหน้าของหัว เจาะ Shield</p> <p>หัวเจาะ Shield แบบเปิดหน้าจะ ต้องการการคงตัวของหน้าดิน ถ้าไม่เป็นไปตามนั้นก็ใช้มาตร การสนับสนุนต่างๆตามความ ต้องการของหัวเจาะ Shield แบบเปิดหน้า</p>	<p>เริ่มต้นการขุดเจาะจาก ระดับของพื้นดิน การสร้าง การถมดินกลับ และทำการ ฟื้นฟูพื้นผิว</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1. (ต่อ) การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ ดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถม กลับ (Cut & Cover Method)
<p>สถานะทางธรณีวิทยาที่ประยุกต์ ใช้ได้ (การประยุกต์ใช้ในอดีตและความ ยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงทาง สถานะ)</p>	<p>โดยทั่วไปสามารถประยุกต์ใช้ ได้กับพื้นดินระหว่างหินแข็ง และหินอ่อน มีพื้นฐานอยู่บน สภาพชั้นดินของโครงการ (โดยทั่วไปใช้กับดินที่มีค่า q_u มากกว่า 100 kN/m² E_s มากกว่า 10,000 kN/m² โดยมี ข้อยกเว้นบางอย่าง) สามารถ เปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมโดย การปรับแก้ความแข็งแรง ของโครงสร้างรับแรงดิน, วิธี การขุด และมาตรการ สนับสนุนต่างๆ</p>	<p>โดยหลักทั่วไป สามารถจะ ประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่เป็น ชั้นดินทรายหรือดินเหนียว และหินที่อ่อนมาก (จนถึงค่า q_u 200-300 kN/m²) สามารถปรับ เปลี่ยนให้เหมาะสมตามสภาพ ชั้นดิน เมื่อเร็วๆ นี้มีการประยุกต์ใช้ใน หิน ที่มีค่า q_u 20,000-30,000 kN/m²</p>	<p>สามารถประยุกต์ใช้ได้เกือบ ทุกสภาพชั้นดิน จึงจำเป็นที่ จะเลือกระบบการเก็บถัก ดินที่เหมาะสม มาตรการ สนับสนุนต่างๆ ฯลฯ โดย เป็นไปตามคุณลักษณะ เฉพาะของชั้นดิน</p>
<p>การป้องกันน้ำใต้ดิน (เสถียรภาพ ของดินส่วนหน้า)</p>	<p>ในกรณีของการมีน้ำไหลเข้ามา จำนวนมากจะมีความจำเป็นที่ จะนำมาตรการช่วยเข้ามา ปฏิบัติเช่น Grouting, Deep Wells, Well Points และ</p>	<p>หัวเจาะShield ประเภทปิดส่วน หน้าไม่ต้องการ มาตรการ สนับสนุน หัวเจาะShield ประเภทเปิด</p>	<p>ในหลายกรณี ใช้ระบบ กำแพงกันดินและ/หรือ มาตรการสนับสนุนต่างๆ เช่น การลดระดับน้ำ (Dewatering) และการ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1. (ต่อ) การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ ดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถม กลับ (Cut & Cover Method)
	อุโมงค์ระบายน้ำ	หน้าโครงการมาตรการ สนับสนุน	ปรับปรุงดินเพื่อต้องการ ป้องกันการเกิด Boiling และ Heaving
ความลึกของอุโมงค์	ในรูปแบบ unconsolidated อีตรา ส่วนของความหนาของดินที่ ปกคลุม/เส้นผ่าศูนย์กลาง อุโมงค์ (H/D) จะเล็กน้อย (น้อย กว่า 2) จึงจำเป็นที่จะต้องนำ เอามาตรการสนับสนุนมาเพื่อ ควบคุมการทรุดตัวของอุโมงค์ ที่ตำแหน่ง Crown	ความหนาของดิน เหนืออุโมงค์ของวิธีการขุด เจาะอุโมงค์แบบใช้หัวเจาะ Shield จะเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง กลางของหัวเจาะShield ในกรณี Pneumatic Method หรือ Slurry Type Shield Method จะต้องป้อง กันการเกิด Blowout ความลึกสูงสุดในการขุดเจาะ โดยทั่วไปจะตัดสินจากแรงดัน ของน้ำใต้ดิน	ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องความ หนาของดินเหนือ อุโมงค์ ได้มีการก่อสร้างอุโมงค์ที่ ความลึก 40 เมตรมาแล้ว

ตารางที่ 5.1. (ต่อ) การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ ดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถม กลับ (Cut & Cover Method)
รูปร่างหน้าตัดขวาง	ตามกฎทั่วไป ส่วนบนของ อุโมงค์ควรจะทำเป็นรูปโค้ง ในการปฏิบัติตามกฎสามารถ ประยุกต์เปลี่ยนรูปร่างได้ มี ความเป็นไปได้ที่จะเปลี่ยน แปลงรูปร่างของหน้าตัดหลัง จากการเริ่มต้นการขุด	รูปร่างที่เป็นวงกลมจะเป็น มาตรฐานแต่รูปร่างแบบ Semi- Circles, Multi-Circles และ รูปไข่ สามารถใช้ได้เช่นกัน โดยการ ใช้เครื่องกลที่มีหัวเจาะ Shield แบบพิเศษ โดยปกติจะเป็นไปไม่ได้ที่จะ เปลี่ยนแปลงรูปร่างตัดขวางใน ระหว่างการขุด	รูปร่างปกติเป็นที่เหลื่อมคืน ผ้า แต่ส่วนที่เป็นรูปร่างซับซ้อน ก็จะเป็นไปได้เช่นกัน
พื้นที่หน้าตัดขวาง (พื้นที่ภาคตัดขวางมากที่สุด ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลง พื้นที่ของหน้าตัดอุโมงค์)	โดยทั่วไป สามารถจะประยุกต์ ใช้ได้ถึง 150 m ² และมีความ สำเร็จบ้างในส่วนที่เกินกว่า 200 m ² มัน เป็น ไป ได้ ที่ จะ เปลี่ยนแปลงพื้นที่ของหน้าตัด ในระหว่างการขุด โดยการปรับ เกี่ยวกับการจัดการค้ำยันและ วิธีการขุด	เส้นผ่านศูนย์กลางของการขุด ที่ใหญ่ที่สุดที่เป็นไปได้คือ 14 เมตร โดยปกติในปัจจุบันจะ ยากที่จะเปลี่ยนแปลงเส้นผ่า ศูนย์กลางอุโมงค์ในระหว่าง การขุด	ไม่มีข้อจำกัดในด้านขนาด หรือการเปลี่ยนแปลงของ พื้นที่ของหน้าตัด อย่างไรก็ตาม คือการเสริมเหล็กที่เพียงพอ จะเป็นที่ต้องการสำหรับพื้นที่ ที่เป็นมุมในกรณีซึ่ง มี การเปลี่ยนแปลงภาคตัด ขวาง

ตารางที่ 5.1. (ต่อ) การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถมกลับ (Cut & Cover Method)
การปรับให้ตรง (การประยุกต์ใช้สำหรับการโค้งของอุโมงค์ที่เพิ่มมากขึ้น)	แทบจะไม่มีข้อจำกัดเลย	อุโมงค์ที่มีอัตราส่วนรัศมีความโค้ง/เส้นผ่าศูนย์กลางหัวเจาะ Shield เท่ากับ 3 ทำให้ได้รับผลสำเร็จ	แทบจะไม่มีข้อจำกัด
ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (การก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียง การจราจรในท้องถนน เสียงและการสั่นสะเทือน)	ถ้าหากการก่อสร้างใกล้เคียงกับสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่จะกำหนดให้มีมาตรการสนับสนุน ในบางกรณีแทบจะเป็นไปไม่ได้ที่ระบายน้ำใต้ดินในบริเวณเมืองใหญ่อันเนื่องมาจากปัญหาที่พบในวิธีการลดระดับน้ำ (Dewatering) แทบจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาใดสำหรับการจราจรในท้องถนน ยกเว้นบริเวณที่เป็นปล่องแนวตั้ง (Shaft) และบริเวณ	ถ้าหากการก่อสร้างใกล้เคียงกับสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ จะกำหนดให้มีมาตรการสนับสนุน ในบางกรณีนั้นแทบจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเลยสำหรับการจราจรในท้องถนน ยกเว้นบริเวณที่เป็นปล่องแนวตั้ง (Shaft) และบริเวณใกล้เคียง	ถ้าหากการก่อสร้างใกล้เคียงกับสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่บ่อยครั้งจะกำหนดให้มีการเสริมเพิ่มเติมในสิ่งปลูกสร้างเป็นการชั่วคราว และ/หรือ มาตรการสนับสนุน เนื่องจากการทำงานบางแห่งจะอยู่บนพื้นผิวในระหว่างการก่อสร้างมันก็จะ มีผลกระทบต่อจราจรในท้องถนน ในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างก็จะมามาตรการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1. (ต่อ) การประยุกต์ใช้ของวิธีการหลัก 3 วิธีในการขุดเจาะอุโมงค์

	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ ดั้งเดิม	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Method)	วิธีการเปิดหน้าดินแล้วถม กบฏ (Cut & Cover Method)
	ใกล้เคียง โดยทั่วไปเสี่ยงและการสั่น สะเทือนจะถูกจำกัดต่อปัญหา ของความใกล้เคียงของทางเข้า สู่อุโมงค์ สามารถที่จะทำให้ บรรเทาแรงได้โดยใช้ผนังที่เป็น สิ่งกันเสี่ยง	บรรเทาแรงได้โดยผนังที่เป็นสิ่ง กันเสี่ยง การจัดที่อยู่ใกล้ที่ทำให้ ให้เกิดความเบาบางของเสี่ยง ลงและอื่นๆ	สำหรับเสี่ยงและการสั่น สะเทือนเป็นตัวกำหนด

5.2.2. คำนิยาม

หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield คือ อุปกรณ์ขุดเจาะหลักของอุโมงค์ในชั้นดิน จะประกอบด้วย Hood, Ring Girder และ Tail โดยจะเรียกว่า เครื่องจักรขุดเจาะประเภท Shield

วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield tunneling Method) คือ วิธีการขุดอุโมงค์ที่ป้องกันพื้นดินจากการทรุดลงโดยหัวเจาะ Shield และโครงสร้างของผนังอุโมงค์ที่สร้างขึ้นในส่วนท้าย

อุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield Tunnel) คือ อุโมงค์ที่สร้างขึ้นโดยวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ที่ใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield

ปล่องแนวตั้ง (Shaft) คือ ปล่องแนวตั้งสำหรับการทำงานสำหรับการขุดอุโมงค์โดยหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ปล่องแนวตั้งใช้สำหรับการนำเข้าและออก การหมุนรอบ การประกอบและการรื้อถอนเครื่องจักรขุดเจาะประเภท Shield ซึ่งมันใช้สำหรับการขนย้ายดินที่ถูกขุดเจาะ การนำวัสดุเข้าและออก ทางเข้า/ทางออกของคนงาน จุดผ่านของระบบการจ่ายไฟฟ้าและน้ำ การระบายอากาศ และอื่นๆ

ภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ (Tunnel Overburden) คือ ภาระน้ำหนักซึ่งมีระยะทางระหว่างพื้นผิวดินถึงผิวดินของผนังอุโมงค์

ผนังอุโมงค์ (Lining) คือ โครงสร้างผนังอุโมงค์เพื่อจะให้เกิดความมั่นคงแก่เนื้อที่ว่างของอุโมงค์โดยการทนต่อแรงดันของดินและน้ำ ของผนังอุโมงค์ ประกอบด้วย ชั้นหลัก (Primary) และชั้นใน (Secondary) โดยทั่วไปแล้วผนังอุโมงค์จะเป็นโครงสร้างวงแหวนที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนที่สร้างขึ้นไว้ล่วงหน้าแต่จะถูกสร้างขึ้นในบางกรณีด้วยคอนกรีต ที่หล่อกับที่ตามสถานการณ์

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) คือ ส่วนของผนังอุโมงค์สำหรับการขุดอุโมงค์ โดยวิธีการใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield โดยทั่วไปก็คือ มันจะทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหรือทำด้วยชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ที่เป็นเหล็ก จะประกอบกันเข้าเพื่อสร้างรูปเป็นวงกลม Multi-Circles หรือรูปร่างอื่นๆ

การอัดฉีดน้ำปูน (Backfill Grouting) คือ การเทน้ำปูนลงเติมเต็มช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ และดิน (ช่องว่างของส่วนท้าย) โดยการอัดฉีดน้ำปูน

5.2.3. กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ก่อนการขุดเจาะอุโมงค์ จำเป็นจะต้องพิจารณาในเรื่องกฎหมายและระเบียบข้อบังคับ ขอบเขตของกฎหมาย กระบวนการที่จำเป็นและมาตรการในการทำให้สอดคล้องกับกฎหมายและ ระเบียบข้อบังคับต่างๆ

การปฏิบัติงานจะได้รับการควบคุมโดยกฎหมายและระเบียบข้อบังคับ งานจะต้องได้ รับอนุญาตและอนุมัติโดยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องนั้นจึงแนะนำให้ทำการตรวจสอบอย่างละเอียดเกี่ยวกับ ขอบเขตของข้อจำกัด กระบวนการที่จะเป็น และมาตรการที่จะดำเนินการ จะต้องทำการสังเกตว่ามันอาจ จะกินเวลานานในการรับการอนุมัติและสังเกตถึงการแปรผันบางอย่างระหว่างคำสั่งของรัฐบาลท้องถิ่น กฎหมายและข้อระเบียบข้อบังคับเบื้องต้นที่สามารถประยุกต์ได้ในตารางที่ 5.2.

ตารางที่ 5.2. กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่สามารถประยุกต์ได้

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	เนื้อหาของระเบียบข้อบังคับ
<p>(การวางแผนเมือง)</p> <p>กฎหมายการวางแผนเมืองและอื่นๆ</p>	<p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาในพื้นที่การวางแผนเกี่ยวกับเมือง เขตชนบทและพื้นที่การปรับใหม่เกี่ยวกับที่ดิน</p> <p>การควบคุมในเรื่องการใช้เนื้อที่ว่างใต้ดิน</p>
<p>(การคุ้มครองสิ่งแวดล้อม)</p> <p>กฎหมายอุทยานตามธรรมชาติ กฎหมายอุทยานเมืองใหญ่ พระราชบัญญัติการคุ้มครองทรัพยากรสิ่งแวดล้อม</p>	<p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาในอุทยานแห่งชาติ วนอุทยานกึ่งแห่งชาติ อุทยานจัดการโดยรัฐบาลท้องถิ่นและอุทยานเมืองใหญ่</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาในสถานที่ทางประวัติศาสตร์ สถานที่อันสวยงาม พื้นที่อนุสาวรีย์ตามธรรมชาติและพื้นที่สันทนาการ</p>
<p>(ทะเลและแม่น้ำ)</p> <p>กฎหมายฝั่งทะเล กฎหมายแม่น้ำ กฎหมายช่องขนถ่ายสินค้าและท่าเรือ กฎหมายการบุกเบิกท่อน้ำสาธารณะ</p>	<p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาในพื้นที่อนุรักษ์ชายฝั่งทะเลพื้นที่แม่น้ำพื้นที่ท่าเรือและอื่นๆ</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาและการครอบครองผิวน้ำหรือตลิ่งน้ำสาธารณะเช่นแม่น้ำ ทะเลสาบ ทะเลและอื่นๆ</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องธุรการบำบัดของเสีย มลภาวะทางทะเลและภัยพิบัติทางทะเล</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2. (ต่อ) กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่สามารถประยุกต์ได้

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	เนื้อหาของระเบียบข้อบังคับ
(ถนนและการจราจร) กฎหมายถนน กฎหมายการจราจรบนท้องถนน	การใช้ถนน การครอบครองถนน
(การบิน) กฎหมายเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และศิลปะการบินพลเรือน	ขีดจำกัดความสูงของอาคารเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากเครื่องบิน
(การป้องกันมลภาวะ) กฎหมายทฤษฎีการควบคุมมลภาวะเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม กฎหมายระเบียบข้อบังคับด้านเสียง กฎหมายเกี่ยวกับระเบียบข้อบังคับในเรื่องการก่อสร้าง	ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการก่อสร้างสำหรับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการเสียงและการสั่นสะเทือนเนื่องจากการก่อสร้าง
กฎหมายการกำจัดน้ำเสียและการทำความสะอาดสาธารณะ แนวทางปฏิบัติที่เป็นข้อบังคับเกี่ยวกับตะกอนทางเคมี เทคนิคแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับการป้องกันทางเสียงและการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง	ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการการปล่อยลงลำน้ำสาธารณะ ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการกำจัดน้ำเสีย ระเบียบข้อบังคับในเรื่องกากหรือตะกอนทางเคมี

ตารางที่ 5.2. (ต่อ) กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่สามารถประยุกต์ได้

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	เนื้อหาของระเบียบข้อบังคับ
<p>(ทรัพย์สิน)</p> <p>กฎหมายสำหรับการส่งเสริมในเรื่องการใช้ทรัพย์สินที่สามารถรีไซเคิลได้ คำสั่งรัฐมนตรีเกี่ยวกับการวินิจฉัยของผู้ก่อสร้างในเรื่องทรัพย์สินที่สามารถรีไซเคิลได้</p>	<p>มาตรฐานการวินิจฉัยสำหรับการส่งเสริมและรีไซเคิลดินที่ขุดขึ้นมา</p>
<p>(การป้องกันภัยพิบัติ)</p> <p>กฎหมายสำหรับระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนา ฯลฯ ที่ดินเกี่ยวกับอาคาร กฎหมายป้องกันการเลื่อนไหลของดิน กฎหมายเกี่ยวกับการป้องกันด้านความบกพร่องของพื้นที่เอียงที่สูงชัน กฎหมายการดับเพลิง กฎหมายปฏิบัติเกี่ยวกับดินปืน กฎหมายด้านความปลอดภัยแรงงานและสุขภาพ</p>	<p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการพัฒนาในเขตพิเศษ</p> <p>ระเบียบข้อบังคับสำหรับการก่อสร้างของที่ดินอาคาร</p> <p>การป้องกันการเลื่อนไหล การป้องกันในเรื่องความบกพร่องเกี่ยวกับความลาดเอียงที่สูงชัน</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการดับเพลิง</p>
<p>กฎด้านความปลอดภัยแรงงานและสุขภาพ กฎด้านความปลอดภัยและสุขภาพสำหรับงานที่มีความดันสูง กฎด้านความปลอดภัยสำหรับภาชนะเครื่องดัดและถังความดัน กฎโครงสร้างถึงความดัน กฎป้องกันการขาดออกซิเจน</p>	<p>ความปลอดภัยและสุขภาพด้านแรงงาน, การป้องกันการขาดออกซิเจน</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องดินปืน</p> <p>ระเบียบข้อบังคับในเรื่องการทำงานที่มีความดันสูง, ภาชนะเครื่องดัดและถังความดัน</p>

ตารางที่ 5.2. (ต่อ) กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่สามารถประยุกต์ได้

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	เนื้อหาของระเบียบข้อบังคับ
<p>เค้าโครงในเรื่องมาตรการสำหรับการป้องกันภัยพิบัติสาธารณะเนื่องจากการก่อสร้าง</p> <p>มาตรฐานด้านโครงสร้างสำหรับการป้องกันในเรื่องเครื่องใช้ไฟฟ้าและการระเบิดด้านเครื่องจักรกล กฎสำหรับการมอบหมายอำนาจหน้าที่ด้านเครื่องจักรกล</p>	<p>การป้องกันภัยพิบัติสาธารณะ</p> <p>การป้องกันในเรื่องเครื่องใช้ไฟฟ้าและการระเบิดของเครื่องจักรกล</p>
<p>(มาตรฐานอาคาร)</p> <p>กฎหมายควบคุมอาคาร</p>	<p>มาตรฐานสำหรับสถานที่ตั้ง โครงสร้าง อุปกรณ์และการใช้อาคาร</p>
<p>(ไฟฟ้า)</p> <p>กฎหมายอุตสาหกรรมอรรถประโยชน์ด้านไฟฟ้าประมวลกฎหมายเทคนิคเกี่ยวกับฉนวนไฟฟ้า</p>	<p>กฎเกี่ยวกับงานฉนวนไฟฟ้า การบำรุงรักษา และการปฏิบัติงาน</p>

5.3. การสำรวจ

5.3.1. วัตถุประสงค์ของการสำรวจ

การสำรวจจะต้องดำเนินการในการปฏิบัติการ โดยวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling) ในสถานะที่ปลอดภัย รวดเร็ว และประหยัด

การสำรวจประกอบด้วย

1. การสำรวจสถานะสถานที่ตั้ง
2. การสำรวจอุปสรรค
3. การสำรวจภูมิประเทศและดิน
4. การสำรวจที่ต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

การสำรวจจะถูกดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐาน อันได้แก่ การวางแผน การออกแบบ การก่อสร้างและการบำรุงรักษา

ผลของการสำรวจจะใช้สำหรับการเลือกเส้นทางอุโมงค์ ให้อยู่ในแนวทางที่เหมาะสม และการเลือกที่จะประยุกต์วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling Method) ให้เหมาะสมกับเส้นทางของงานเหล่านั้น มาตรการการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ขนาดของโครงการและรายละเอียดของโครงการ และข้อมูลสำหรับการบำรุงรักษาเกี่ยวกับอุโมงค์หลังจากการเสร็จสิ้นของโครงการ

5.3.2. การสำรวจสถานะของสถานที่ตั้ง

การสำรวจสถานะของสถานที่ตั้งถูกกำหนดตามสิ่งต่างๆดังนี้

1. การใช้ที่ดิน และสิทธิในทรัพย์สินที่เกี่ยวข้อง
2. แผนการในอนาคต
3. การจัดจำแนกในประเภทและสภาพการจราจร
4. ความยุ่งยากในเรื่องการใช้ที่ดินสำหรับการก่อสร้าง
5. สถานะแม่น้ำ ทะเลสาบ และทะเล
6. การจ่ายไฟฟ้า น้ำประปา และระบบการเชื่อมต่อของน้ำเสียสำหรับการก่อสร้าง

การสำรวจสถานะสถานที่ตั้ง จะต้องครอบคลุมสถานะท้องถิ่นตามการปรับตรงที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ได้ทำรายการไว้ข้างต้น การสำรวจสถานะสถานที่ตั้งโดยหลักๆจะถูกดำเนินการสำหรับการเลือกเส้นทางอุโมงค์และการวินิจฉัยถึงความเหมาะสมของวิธีขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling Method) ขนาดของอุโมงค์และรายละเอียดต่างๆ ข้อมูลที่ได้รับมาจะใช้เวลาของการก่อสร้างของโครงการด้วยเช่นกัน

5.3.2.1. การใช้ที่ดิน และสิทธิในทรัพย์สินที่เกี่ยวข้อง

วิธีนี้เป็นการสำรวจสถานะการใช้ที่ดินในพื้นที่เมืองใหญ่ พื้นที่เกษตร พื้นที่ป่าไม้ แม่น้ำ และทะเลตามเส้นทางอุโมงค์ที่ได้เสนอ ในพื้นที่เมืองจะต้องการสำรวจเพื่อจะระบุถึงการใช้ที่ดินที่ได้กำหนดให้ (ที่อยู่อาศัย ทางการค้า การใช้ทางอุตสาหกรรม ฯลฯ) และระดับของการจัดให้เป็นเมืองใหญ่ การสำรวจสิทธิในด้านทรัพย์สินก็เพื่อจะวินิจฉัยว่าทรัพย์สินที่มีอยู่นั้นมีความเกี่ยวข้องเป็นเจ้าของใน

ทางสาธารณะ หรือในทางส่วนตัวหรือไม่ เพื่อจะตรวจสอบการเรียกทรัพย์สินในทรัพย์สิน และข้อจำกัดเหนือและใต้ดินตามเส้นทางอุโมงค์

5.3.2.2. แผนในอนาคต

ลักษณะนี้เป็นการที่จะตรวจสอบแผนการพัฒนาในอนาคตตามเส้นทางและขนาดของแผนรายการกำหนดและข้อจำกัดที่เกี่ยวกับแผนการพัฒนาแผนงานในอนาคต

5.3.2.3. การจัดทำแผนประเภทถนนและสถานะการจราจร

ลักษณะนี้เป็นการที่จะระบุเฉพาะสำหรับการจัดทำแผนประเภทถนนและความสำคัญของพื้นถนน เพื่อศึกษาเกี่ยวกับงานขุดในถนน ปริมาณการจราจรของถนนและอื่นๆ ลักษณะที่ตั้งของปล่องแนวดิ่ง (Shaft) จะสามารถกำหนดด้วยการเคลื่อนย้ายดินที่ขุดและการระดม/การปล่อยจากการระดมของอุปกรณ์และวัสดุในระหว่างการก่อสร้างนอกจากการใช้ที่ได้วางแผนไว้ใดๆ หลังจากการก่อสร้าง จึงแนะนำให้พิจารณาล่วงหน้าเกี่ยวกับผลกระทบที่มีศักยภาพของการทำให้มั่นคงเกี่ยวกับพื้นดินที่จะเป็นสาเหตุจากการสร้างอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield Tunnel)

5.3.2.4. การสามารถหามาได้เกี่ยวกับที่ดินสำหรับการสร้าง

สถานของการก่อสร้างรอบๆที่ตั้งปล่องแนวดิ่ง (Shaft) เป็นแผนงานเฉพาะที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งสำหรับโครงการจากขั้นตอนการเลือกเส้นทางไปจนถึงการเสร็จสิ้นโครงการ ดังนั้นมาตรการที่จำเป็นทั้งหมดจะต้องดำเนินการในการที่จะทำให้ที่ดินสำหรับการใช้ในการสร้าง นอกจากนี้จะมีความจำเป็นด้วยเช่นกันที่จะทำให้เกิดความมั่นคงแก่สถานที่จำกัดและเส้นทางลัดสำหรับดินที่ขุดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.5. สภาพแม่น้ำ ทะเลสาบ และทะเล

นับว่าเป็นเรื่องสำคัญที่จะสำรวจภาคตัดขวางของแม่น้ำ โครงสร้างของริมฝั่งของมัน คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่อยู่กับฝั่ง และแผนในอนาคตสำหรับแม่น้ำ และการปรับปรุงสะพานในกรณี อุโมงค์ที่เสนอข้ามหรือไปใกล้แม่น้ำ มันมีความจำเป็นที่จะรักษาความลึกที่เพียงพอและระยะทางจาก ทางที่แม่น้ำไหลผ่านและสะพาน กระบวนวิธีแบบเดียวกัน จะประยุกต์ใช้กับอุโมงค์ที่ดำเนินไปใกล้หรือ ภายใต้อ่าวทะเลสาบ และทะเล

5.3.2.6. การจ่ายไฟฟ้า น้ำประปา และน้ำเสียสำหรับการสร้าง

จำเป็นจะต้องตรวจสอบระบบความจุ แรงดัน และความสามารถด้านการจ่ายไฟฟ้าใกล้ สถานที่ที่ได้ทำการทำการก่อสร้าง ถ้าหากจำเป็นจะกำหนดให้มีการเตรียมระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เป็นกำลังสำรอง ส่วนในด้านน้ำประปาจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่ามีน้ำให้กับเมืองที่สามารถจะหา มาได้หรือไม่ และจุดของการต่อของมัน ขนาดของท่อ และจำนวนที่มีอยู่ของน้ำ ส่วนทางด้านเกี่ยวกับ ระบบน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องยืนยัน ตำแหน่งที่ตั้งการปล่อยออกของมันจำนวนน้ำเสียที่สามารถปล่อย ออกได้ และเกณฑ์คุณภาพน้ำ สำหรับการปล่อยออก

5.3.3. การสำรวจที่มีอุปสรรค

การสำรวจที่มีอุปสรรคจะต้องดำเนินการเพื่อระบุชนิดเกี่ยวกับรายการดังต่อไปนี้

1. สิ่งปลูกสร้างที่อยู่เหนือและใต้ดิน
2. ปัจจัยที่เป็นสาธารณูปการที่อยู่ใต้ดิน
3. บ่อที่ยังใช้ได้ และบ่อที่ถูกทิ้งร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สถานที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างที่เคลื่อนย้ายได้ และงานชั่วคราว

5. อื่นๆ

ก่อนการเริ่มต้นการเลือกเส้นทาง จะต้องทำการสำรวจอย่างระมัดระวัง เพื่อจะกำหนดชัดเจนเกี่ยวกับรายการที่อาจจะส่งผลต่อการสร้างอุโมงค์ภายในขอบเขตของอิทธิพลตามเส้นทางของอุโมงค์

การสำรวจต้องคำนึงถึงความปลอดภัย 2 อย่าง คือ การทำให้มั่นคงปลอดภัยด้านสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้อุโมงค์ และสำหรับการความปลอดภัยของการสร้างอุโมงค์ประเภทหุ้มคานเจาะ Shield ผลการสำรวจจะทำหน้าที่เป็นหลักพื้นฐานสำหรับประเมินค่าเกี่ยวกับการทำให้เสียรูปของสิ่งปลูกสร้าง การทำให้แห้งและการทำให้เกิดมลภาวะของบ่อ การทะลักออกของอากาศที่อัดและน้ำเลน อากาศที่รั่วไหลออกมาและน้ำเลน ความดันของดินที่มีต่ออุโมงค์ การรับภาระน้ำหนักเหนืออุโมงค์ และสภาวะการรับภาระแรงอื่นๆ

5.3.3.1. สิ่งปลูกสร้างที่อยู่บนและอยู่ใต้ดิน

เกี่ยวกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่บนดินและใต้ดิน ประเภทสิ่งปลูกสร้างและรูปแบบของฐานราก การมีอยู่ของห้องใต้ดินและความลึกของฐานรากแบบปกติ และแบบฝังตื้นจะถูกทำการสำรวจ ซึ่งนับว่ามีความสำคัญด้วยเช่นกันที่จะสำรวจว่ามีการใช้สิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ได้ผลอย่างไร และในการที่จะทำการสำรวจต้องติดตั้งด้วยเครื่องมือที่มีความไว

5.3.3.2. สิ่งที่เป็นสาธารณูปการใต้ดิน

สิ่งที่เป็นสาธารณูปการใต้ดินที่จะได้รับการสำรวจตามแนวเส้นทางของอุโมงค์ สถานที่สำหรับปล่องแนวค้ำ (Shaft) จะต้องมีการสำรวจที่ถี่วนถี่ ในจุดแรกเริ่มของการสำรวจเป็นการขุดสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสำรวจ และการมุ่งหวังเกี่ยวกับแผ่นดินไหวจะจำเป็นในบางกรณีที่จะยื่นขึ้นถึงตำแหน่งที่ตั้ง ขนาด ความลึกและสภาวะ

5.3.3.3. บ่อที่ยังใช้และบ่อที่ทิ้งร้าง

มีความจำเป็นที่จะหาตำแหน่งที่ตั้งของบ่อที่ยังใช้อยู่และบ่อที่ทิ้งร้างด้วยเช่นกันในการที่จะประเมินความเสี่ยงของการทะลักออกและการรวมของน้ำเลนและอากาศที่ขาดออกซิเจนในระหว่างปฏิบัติการขุดอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield การขุดอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield ในแบบเกี่ยวกับการใช้อากาศต้องการให้มีการสำรวจที่กว้างขวางมากกว่าวิธีการอื่นๆ บ่อถูกทิ้งร้างจะต้องได้รับการจำแนกออกมาเกี่ยวกับสถานที่ตั้งที่วางอยู่บนพื้นฐานของคำกล่าวของเจ้าของบ่อ

5.3.3.4. สถานที่ตั้งสำหรับสิ่งปลูกสร้างที่เคลื่อนย้ายได้และงานแบบชั่วคราว

มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ให้รวบรวมข้อมูลข่าวสาร โดยตรงจากเจ้าของที่ดินเกี่ยวกับเงื่อนไขของสถานที่ตั้งเหล่านี้เนื่องจากมีความเป็นไปได้ของการขุดโดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เผชิญกับอุปสรรคจะต้องถูกเคลื่อนย้ายไปหรือนำขึ้นมาจากพื้นดิน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการสำรวจสิ่งที่เคลื่อนย้ายออกจากสถานที่ทำการขุดเจาะ โดยมีเงื่อนไขและสภาวะของการถมดินกลับและความปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดิน

5.3.3.5. อื่นๆ

ถ้าหากสิ่งที่เป็นสาธารณูปโภค หรือสิ่งปลูกสร้างใต้ดิน ได้รับการวางแผนที่จะสร้างในอนาคตที่สถานที่ตั้ง ตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งทั้งหลายนี้ ขนาดและความลึก จำเป็นจะต้องได้รับการตรวจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบเพื่อหลีกเลี่ยงความขัดแย้งต่อกัน ในพื้นที่มีระเบิดที่ไม่ระเบิดซึ่งยังคงสามารถพบได้จึงเป็นคำสั่งที่จะทำให้ได้ผลด้านความปลอดภัยของโครงการได้โดยการเก็บข้อมูลข้อมูลสารเกี่ยวกับตำแหน่งที่อยู่ที่เป็นไปได้ของพวกระเบิดจากผู้อยู่อาศัยในท้องถิ่นและการสำรวจทางธรณีวิทยาในตำแหน่งแรกเริ่ม

5.3.4. การสำรวจเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดิน

การสำรวจเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดินมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การทำแผนที่ภูมิประเทศ
2. การสร้างเป็นรูปพรรณทางธรณีวิทยา
3. สภาพของดิน
4. น้ำใต้ดิน
5. การมีอยู่ของอากาศที่ขาดออกซิเจน ก๊าซอันตราย ฯลฯ

การสำรวจทางธรณีวิทยา การเจาะและวิธีการอื่นๆ ของการสำรวจจะต้องดำเนินการอย่างเหมาะสม วิศวกรที่รับผิดชอบที่ควบคุมจะต้องกำหนดจุดที่เหมาะสมและรายการสำรวจต่างๆ

สภาพทางภูมิประเทศและธรณีวิทยามีผลต่อการออกแบบและการก่อสร้างในโครงการสร้างอุโมงค์ เพราะฉะนั้นการสำรวจจึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

รายการและลำดับของการสำรวจภูมิประเทศและชั้นดินได้สรุปในตารางที่ 5.3. แล้วสิ่งที่เพิ่มหรือลดลงของการสำรวจเป็นผลรวมกันของโครงการที่มีลักษณะเฉพาะ

การสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวข้องกับการรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่และการสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อที่จะเข้าใจสภาพทั่วไปของชั้นหินตามเส้นทางก่อสร้างอุโมงค์

การมีข้อมูลทั้งหมดของการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นระดับชั้นดินที่สามารถจำแนกโดยง่าย หรือชั้นดินซึ่งยากที่จะจำแนกได้ หรือจะเป็นสภาวะปัญหาของดินที่คงอยู่หรือไม่คงอยู่ และอื่นๆอีก เป็นความรับผิดชอบของวิศวกรผู้ควบคุมจะตัดสินใจในการสำรวจชั้นพื้นฐานของการกำหนดขอบเขต และเรื่องอื่นๆซึ่งเป็นผลมาจากการสำรวจเบื้องต้น

ตารางที่ 5.3. รายการการสำรวจเกี่ยวกับการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดินสำหรับ โครงการขุดเจาะอุโมงค์ประเภทห้วยคเจาะ (Shield Tunnel)

รายการ	การสำรวจเบื้องต้น	การสำรวจพื้นฐาน	การสำรวจในรายละเอียด
วัตถุประสงค์ของการสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> - ความเข้าใจสภาพทั่วไปของการทำแผนที่และการบอกลักษณะภูมิประเทศดินและโครงสร้างชั้นดิน - การทำนายเกี่ยวกับดินที่เป็นปัญหาและพื้นฐานสำหรับการสำรวจสิ่งที่ตามมา 	<ul style="list-style-type: none"> - ความเข้าใจชั้นดิน และสภาพดินตามเส้นทางทั้งหมด - ความเข้าใจคุณสมบัติเทคนิคทางธรณีวิทยา - การเตรียมในเรื่องโครงสร้างทางธรณีวิทยา 	<ul style="list-style-type: none"> - การสำรวจดินเพื่อเป็นส่วนเสริม - การสำรวจดินในรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบที่สำคัญยิ่งสำหรับการออกแบบและการสร้าง - ข้อมูลข่าวสารการออกแบบสำหรับสภาวะพิเศษ เช่น แผ่นดินไหว
วิธีการของการสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> - การเก็บและการรวบรวมข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่ - เก็บการรวบรวมแลประมวลที่เกี่ยวข้องกับโครงการอื่นมีลักษณะใกล้เคียงกันในอดีต 	<ul style="list-style-type: none"> - การเจาะ (borings) - การทดสอบคุณสมบัติดินในการหยั่งทะลวง SPT (Standard Penetration Test) - เก็บตัวอย่างดิน 	<ul style="list-style-type: none"> - การเจาะ (borings) - การทดสอบคุณสมบัติดินในการหยั่งทะลวง SPT (Standard Penetration Test)

ตารางที่ 5.3. (ต่อ) รายการการสำรวจเกี่ยวกับการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดินสำหรับโครงการขุดเจาะอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield Tunnel)

รายการ	การสำรวจเบื้องต้น	การสำรวจพื้นฐาน	การสำรวจในรายละเอียด
	<ul style="list-style-type: none"> - การสำรวจเอกสาร - สังเกตสภาพทั่วไปในสถานที่ก่อสร้าง 	<ul style="list-style-type: none"> - การสำรวจระดับน้ำใต้ดิน - การวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Porewater Pressure) - การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการทดสอบ (การทดสอบทางกายภาพและทางกลศาสตร์) 	<ul style="list-style-type: none"> - เก็บตัวอย่างดิน - การวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Porewater Pressure) - การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) - การทดสอบดินในห้องทดลอง - การทดสอบแรงดันด้วย Pressuremeter - สำรวจปัญหาการขาดออกซิเจนและก๊าซที่เป็นอันตรายและก๊าซไวไฟ - Deep Foundation Excavation - PS Logging
เนื้อหาของการสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> - การตรวจสอบเอกสาร เช่น แผนที่ต่าง ๆ (แผนที่ทางวิศวกรรมเกี่ยวกับการทำแผนที่และบอกลักษณะภูมิประเทศ ธรณีวิทยา และเทคนิคทางธรณีวิทยา) - รายงานการสำรวจดินที่มีอยู่ - รายงานการก่อสร้างเกี่ยวกับสิ่งปลูกสร้างที่ได้สร้างก่อน ๆ ในบริเวณใกล้เคียง 	<ul style="list-style-type: none"> - ส่วนประกอบชั้นดิน - ค่า 1 N (Standard Penetration Test) - ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถซึมผ่านได้ - ระดับน้ำใต้ดิน และความดันน้ำในโพรงดิน - ตัวอย่างดินที่ขุดมา - การกระจายตัวเม็ดดิน - ปริมาณความชื้นในดิน - ความถ่วงจำเพาะของดิน - หน่วยน้ำหนักของดิน 	<ul style="list-style-type: none"> - ค่า 1 N (Standard Penetration Test) - ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถซึมผ่านได้ - ระดับน้ำใต้ดินและความดันของน้ำในโพรงดิน - ตัวอย่างดินที่ขุดมา - กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน - ปริมาณความชื้นในดิน

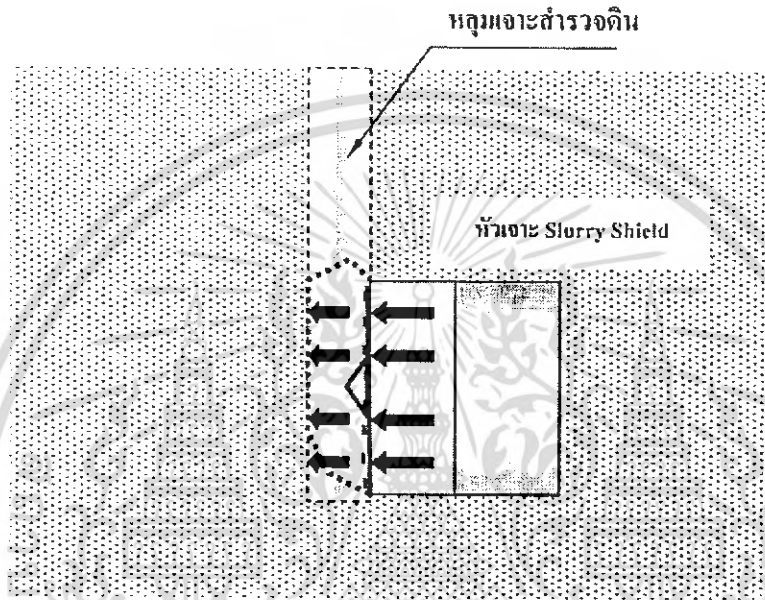
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3. (ต่อ) รายการการสำรวจเกี่ยวกับการทำแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจดินสำหรับโครงการ
การขุดเจาะอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield Tunnel)

รายการ	การสำรวจเบื้องต้น	การสำรวจพื้นฐาน	การสำรวจในรายละเอียด
	<ul style="list-style-type: none"> - บ่อและน้ำใต้ดิน - การสังเกตในเรื่องการทำแผนที่ภูมิประเทศ สภาพดิน และพื้นที่โดยรอบ - การทรุดตัวของดิน 	<ul style="list-style-type: none"> - หน่วยแรงอัดของดิน - พิกัดเหลวและพิกัดพลาสติกของดิน - แรงยึดเกาะในมวลดิน - มุมของความเสียดทานภายในของดิน - คุณสมบัติของการยุบตัวของดิน 	<ul style="list-style-type: none"> - ความถ่วงจำเพาะของดิน - หน่วยน้ำหนักของดิน - หน่วยแรงอัดของดิน - พิกัดเหลวและพิกัดพลาสติกของดิน - แรงยึดเกาะในมวลดิน - มุมของความเสียดทานภายในของดิน - คุณสมบัติของการยุบตัวของดิน - ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนตัวของดิน - ขนาดและรัศมีของหินกรวดและก้อนหินใหญ่ - โมดูลัส Subgrade Reaction - ความเร็วของคลื่นต้นสะเทือน - แนวทางการออกแบบเพื่อต้านแผ่นดินไหว

การสำรวจชั้นพื้นฐาน ควรเริ่มด้วยการเจาะสำรวจดิน พร้อมการทดสอบ Standard Penetration Test โดยที่จำนวน ระยะเวลา และความลึกของหลุมเจาะจะถูกกำหนดโดยสภาพภูมิประเทศ และสภาพทางธรณีวิทยา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจชั้นดินในบริเวณพื้นที่โดยรอบ โดยทั่วไประยะห่างของหลุมเจาะจะประมาณ 200 ถึง 500 เมตร (JSCE-Japanese Standard) อัตราส่วนที่ใช้รูปตัดตามยาวของชั้นดินธรรมดา คือ 1 : 1,000 ถึง 1 : 5,000 ตามแนวราบและ 1 : 200 ถึง 1 : 500 ตามแนวตั้ง หรือตามความสะดวกของการใช้งาน โครงร่างทางธรณีวิทยาจะมีลักษณะของชั้นดิน และค่า N ของชั้นดินแต่ละชั้น ซึ่งแสดงถึงปัญหาทางธรณีวิทยาที่เป็นไปได้สำหรับการสร้างอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield

การสำรวจชั้นรายละเอียดจะดำเนินการในตำแหน่งที่ตั้งที่มีปัญหา ซึ่งวางอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลทางธรณีวิทยาที่สำรวจมา หลุมที่เจาะสำหรับการสำรวจอาจจะเป็นสาเหตุของการไหลเข้ามาของน้ำและอาจก่อปัญหาขณะทำการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะ Shield ประเภทที่ใช้ Slurry Shield และ Compressed Air Shield เนื่องจากแรงดันและ Slurry อาจรั่วไปในช่องว่างในหลุมเจาะขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 5.1. จึงจำเป็นต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษกับตำแหน่งที่อยู่ของหลุมและการถมดินกลับ



รูปที่ 5.1. แสดงแรงดันจาก Compressed Air หรือ Slurry รั่วไปในช่องว่างในหลุมเจาะขนาดใหญ่ขณะเจาะอุโมงค์

การสำรวจชั้นรายละเอียดจะทำเพื่อเสริมการสำรวจเบื้องต้นและพื้นฐาน โดยจะทำเพื่อเพิ่มจุดสำรวจในตำแหน่งที่อาจเป็นปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบและก่อสร้าง และเพื่อให้ได้ข้อมูลการออกแบบในกรณีเฉพาะ เช่น แผ่นดินไหว การสำรวจประเภทนี้อาจจะประกอบด้วย การวัดขนาดก่อนกรวดสูงสุด การทดสอบแรงดันดินด้วย Pressuremeter การทำ PS-logging และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.2. โดยการใช้หลุมเจาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ขึ้น

5.3.4.1. ลักษณะภูมิประเทศ

การสำรวจควรเริ่มต้นด้วยการสังเกตและเข้าใจลักษณะภูมิประเทศตามเส้นแนวอุโมงค์ เนื่องจากว่า มันจะสะท้อนถึงสภาพดินใต้พื้นดิน เช่น ถ้าหากสถานที่ที่จะทำการสำรวจอยู่บนภูเขาหรือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราบสูงก็มักจะคาดการณ์ได้ว่าไม่มีชั้นที่ดินอ่อนอยู่ข้างใต้ และควรจะสังเกตว่าอุโมงค์อาจจะอยู่ภายใต้ อิทธิพลของความดันของดินที่ไม่สมมาตร ถ้าหากเส้นทางไปตามแนวหรือข้ามขอบแนวของที่ต่ำหรือที่ ราบสูง

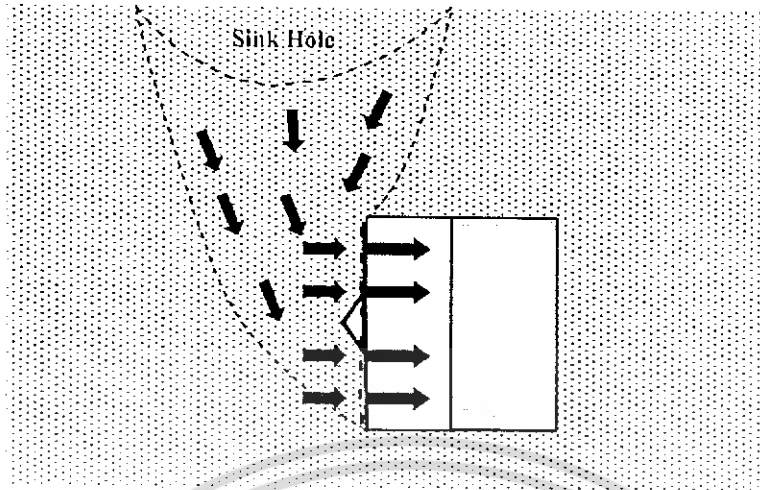
5.3.4.2. ลักษณะทางธรณีวิทยา

เป็นความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงลักษณะทางธรณีวิทยาใต้พื้นดิน ในพื้นที่ที่ครอบคลุมแนวอุโมงค์ที่กำลังพิจารณาทุกเส้นทาง โดยการเก็บข้อมูลที่มีอยู่เกี่ยวกับสภาพของดิน โดยการทำการตรวจสอบสถานที่ร่วมไปกับการสำรวจเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ ข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์ยังสามารถได้จาก วารสารทางวิชาการและหน่วยงานราชการ เช่น กรมทรัพยากรธรณีและกรมชลประทาน เป็นต้น

5.3.4.3. สภาพดิน

ในกรณีของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ Slurry Shield ที่ใช้สารละลายเบนโทไนท์ช่วยในการขุดเจาะ จะต้องทำการสำรวจขนาด รูปร่าง ความแข็ง และเปอร์เซ็นต์ของกรวด ขนาด ละเอียดหรือค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of Uniformity (C_u) ค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังต่อไปนี้

- ดินเหนียวเกาะติด Cutter และที่อุดฟัน Cutter Chambers ทำให้หัวเจาะไม่สามารถขับเคลื่อนไปข้างหน้าได้
- การพังทลายของหน้าดิน โดยเฉพาะที่เป็นทรายหลวมที่ส่วนหน้าหัวเจาะ ซึ่งส่งผลให้เกิดการทรุดตัวบนผิวดินเป็นหลุมขนาดใหญ่ (Sink Hole) ดังแสดงในรูปที่ 5.2. เนื่องจากสารละลายเบนโทไนท์ไม่สามารถก่อดัวได้
- ดินที่มีลักษณะเป็นกรวดอาจก่อให้เกิดการสึกกร่อนและทำความเสียหายแก่ Cutter และที่อุดฟันท่อลำเลียงดินออก



รูปที่ 5.2. แสดงการพังทลายของหน้าดินส่วนหน้าหัวเจาะ ซึ่งทำให้เกิด Sink Hole

ในกรณีของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะแบบปรับแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Shield, EPB) จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบขนาดที่ใหญ่ที่สุดและรูปร่างของกรวด ความแข็ง ขนาดคละของดิน และค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ เพื่อจะออกวัสดุและรูปร่างของใบตัดและขนาดของช่องเปิดส่วนหน้าของหัวเจาะ สายพานลำเลียงและส่วนประกอบอื่นๆ ให้มีความเหมาะสม

ในกรณีของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดย Pneumatic หรือ Compressed Air ในชั้นทราย หลวมได้ระดับน้ำใต้ดิน ทรายอาจจะพังทลายและน้ำจะทะลักเข้ามาในส่วนหน้าของหัว ถ้าหากความดันต่ำเกินไป ถ้าหากความดันสูงเกินไปอาจส่งผลให้ทรายเกิดการสั่นและนำไปสู่ปรากฏการณ์ทรายดูด (Quick Sand) ดังนั้นจึงยากที่จะรักษาสมดุลระหว่างความดันภายในและภายนอกซึ่งเป็นผลมาจากความดันดิน และความดันน้ำที่ผสมผสานในดินประเภทนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากระยะจากผิวดินถึงอุโมงค์มีค่าน้อยยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายบนผิวดิน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบขนาดคละ อัตราส่วนช่องว่าง ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำและค่า Stability Number (N) ของดิน เพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของการขุดเจาะ

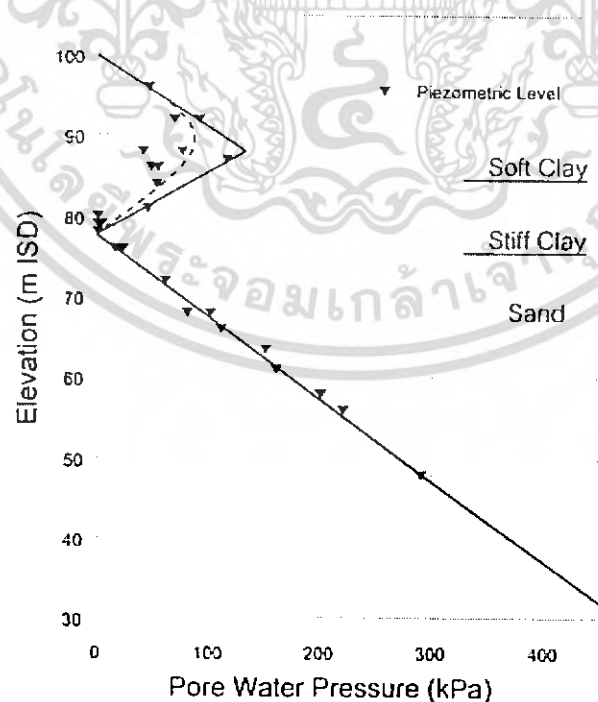
หากต้องการขุดเจาะอุโมงค์ในดินฝุ่น (Silt) หรือดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay) มีค่า N ประมาณ 2 หรือน้อยกว่า จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน หน่วยแรงอัดของดิน (Unconfined Compression Strength) ค่าการ

เลือกรูปและค่าการขุดตัวคายน้ำของดิน เพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของการขุดเจาะและ การทรุดตัวของดินอย่างมีประสิทธิภาพ

5.3.4.4. น้ำใต้ดิน

ระดับน้ำใต้ดินมักจะทำการวัดในระหว่างการทำการเจาะสำรวจดิน อย่างไรก็ตามควรจะสังเกตว่า ความดันของน้ำในชั้นซึม เช่น ชั้นทรายและชั้นกรวด ที่อยู่ใต้ชั้นที่บ้น้ำ เช่น ชั้นดินเหนียว ดั้งกรณีฐานดินกรุงเทพ ไม่ได้มีแรงดันน้ำสถิตย์ระดับเดียวกัน ดังรูปที่ 5.3. จึงมีความจำเป็นที่จะต้องวัดความดันน้ำ ในแต่ละชั้นดิน โดยละเอียด

ระดับน้ำใต้ดินและระดับความดันน้ำในดินอาจจะผันผวน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยเฉพาะในฤดูฝน จึงมีความสำคัญที่จะบันทึกสภาวะขณะทำการวัดทุกครั้ง ถ้าหากพบความดันน้ำสูงในชั้นซึม น้ำ จะต้องวัดค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ ทิศทางและความเร็วของน้ำใต้ดิน เพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของการขุดเจาะ ถึงแม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ สามารถคาดคะเนได้จากการขนาดผลของดิน แต่การทดสอบในที่ (In-Situ Test) เช่น Well Piezometer Test ยังคงมีความสำคัญเช่นเดียวกันที่จะวัดสสารในน้ำใต้ดิน เช่น ปริมาณเกลือ



รูปที่ 5.3. ระดับความดันน้ำในดินที่ตรวจวัดในโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4.5. สภาพอากาศไร้ออกซิเจน ก๊าซอันตรายและก๊าซไวไฟ

ถ้าหากชั้นที่เป็นทราย หรือที่เป็นกรวดอยู่ด้วยระดับน้ำใต้ดินที่ต่ำเนื่องมาจากการสูบน้ำจากบ่อมากจนเกินไป การใช้บ่อลึกและอื่นๆ ภายใต้อันที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ ช่องว่างในชั้นที่สามารถแทรกซึมได้อาจจะบรรจุไปด้วยอากาศที่ขาดออกซิเจนหรือก๊าซที่เป็นอันตราย ก๊าซมีเทนที่รั่วสามารถก่อให้เกิดการระเบิด การมีอยู่ของก๊าซจะตรวจไม่ใช่เฉพาะสำหรับการวางแผนงานเท่านั้น แต่ก็เพื่อความความปลอดภัยด้วยเช่นกัน ก๊าซที่เป็นอันตรายอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ มาตรการเพื่อป้องกันการสุกร่อนของอุโมงค์ และส่วนประกอบที่เป็นเหล็กจะมีความจำเป็นถ้าหากตรวจพบต้องพิจารณาถ้าหากตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถ้าหากตรวจพบก๊าซอันตรายเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงมาตรการการระบายอากาศที่พอเพียง และจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันการระเบิดหรือติดไฟ

5.3.5. การสำรวจเพื่อมาตรการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อดังต่อไปนี้จะได้รับการสำรวจเมื่อมีความจำเป็นที่จะป้องกันสิ่งแวดล้อม ระหว่างทำการก่อสร้างและหลังจากการสร้างอุโมงค์

1. เสียงและการสั่นสะเทือน
2. การเคลื่อนตัวของพื้นดิน
3. ระดับน้ำใต้ดิน
4. อากาศที่ขาดออกซิเจน และก๊าซที่เป็นอันตราย เช่นก๊าซมีเทน
5. กากหรือตะกอนเคมี
6. ผลพลอยได้จากก่อสร้าง
7. อื่นๆ

ตามวิธีการของการป้องกันสิ่งแวดล้อม หัวข้อที่ได้ทำเป็นระบบการป้องกัน จะต้องได้รับการสำรวจก่อนและระหว่างการสร้าง และผลควรจะนำมาใช้สำหรับการออกแบบและการจัดการก่อสร้างบางหัวข้อของหัวข้อเหล่านี้ควรได้รับการสำรวจหลังจากการก่อสร้างตามที่จำเป็นด้วยเช่นกัน ในการตรวจสอบ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม

- 5.3.5.1. เสี่ยงและการสั่นสะเทือน

ควรทำการประเมินผลกระทบของเสี่ยงและการสั่นสะเทือน จากการก่อสร้างทั้งหมดก่อนการก่อสร้างอุโมงค์ เพื่อหาวิธีป้องกัน โดยเฉพาะพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบมากเป็นพิเศษ เช่น โรงพยาบาล และโรงเรียน

5.3.5.2. การเคลื่อนตัวของพื้นดิน

อาคาร และสิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางของอุโมงค์จะต้องได้รับการสำรวจ ก่อนการก่อสร้างอุโมงค์ เพื่อตรวจสอบสภาพอาคารทั่วไป และจัดประเภทของอาคารตามลำดับของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการก่อสร้างอุโมงค์ เช่นอาคารตึกแถวเก่า 3 ชั้นซึ่งมีเสาเข็มสั้น อาจะจัดอยู่ในประเภทที่ต้องระมัดระวัง และต้องติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวทั้งก่อนการก่อสร้างระหว่างก่อสร้างและหลังจากการสร้างเพื่อจะหาจำนวนระดับของการยกระดับขึ้นของพื้นดิน หรือ การจมลงของพื้นดิน

ด้านการทรุดตัวของดินจากการก่อสร้างอุโมงค์เป็นปัญหาสำคัญที่จำเป็นต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินและบนดินให้น้อยที่สุด ดังนั้นการประเมินค่าการทรุดตัวของดินก่อนการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นเพื่อหาแนวอิทธิพล (Influenced Zone) และระบุตำแหน่งที่อาจเป็นอันตรายจากการก่อสร้าง อีกทั้งยังใช้เป็นบรรทัดฐานในการขุดเจาะอุโมงค์เพื่อการรักษาระดับการทรุดตัวให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าหรือค่าที่ประมาณไว้ ทั้งนี้เพื่อควบคุมผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางของอุโมงค์

5.3.5.3. ระดับน้ำใต้ดิน

ควรทำการสำรวจระดับน้ำใต้ดินและคุณภาพของบ่อน้ำในแนวอิทธิพล เนื่องจากว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับน้ำใต้ดิน ที่เกิดจากการก่อสร้างอาจจะกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ และชีวิตของผู้อาศัยหรืออุตสาหกรรมในพื้นที่การก่อสร้าง ควรบันทึกเวลาของการสำรวจระดับน้ำใต้ดิน เพราะวาระดับน้ำใต้ดินผันผวน ตามฤดูกาล

5.3.5.4. อากาศที่ขาดออกซิเจน และก๊าซอันตราย เช่น ก๊าซมีเทน

ออกซิเจนในที่ว่างจะถูกทำให้หมดสิ้นไป โดยการออกซิเดชันของ ปริมาณแร่เหล็ก และอินทรีย์วัตถุในดิน และอากาศที่ขาดออกซิเจนซึ่งเป็นผลตามมา อาจจะถูกผลักดันเข้าไปสู่อุปกรณ์ เกียง และชั้นใต้ดิน โดยการประยุกต์ของวิธีการชุดเจาะอุโมงค์แบบอัดอากาศ (Pneumatic Shield) ในชั้น ทราบ หรือกรวดที่มีระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าใต้ชั้นดินที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้

ดังนั้น ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อ ระดับน้ำของบ่อและรากฐานของโครงสร้างที่จะได้รับผลกระทบ จะได้รับการสำรวจก่อนการก่อสร้าง และการรั่วของอากาศที่ขาดออกซิเจนจะได้รับการตรวจสอบระหว่าง การก่อสร้าง การมีอยู่ของก๊าซที่เป็นอันตราย เช่น ก๊าซมีเทน และอื่นๆ จะได้รับการสำรวจ ก่อนการก่อสร้างโดยการเจาะ ถ้าหากตรวจพบก็จะวัดและตรวจสอบความเข้มข้นของมันก่อนและ ระหว่างการก่อสร้าง

5.3.5.5. กากหรือตะกอนสารเคมี

คุณภาพของน้ำในบ่อและแหล่งน้ำอื่น เช่น คลองหรือแม่น้ำ อาจได้รับผลกระทบจาก การรั่วซึมของน้ำปูน (Grout Material) หรือสารละลายเบนโทไนท์ จากการทำงานของหัวเจาะ Shield ดังนั้นจะต้องสำรวจและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในระหว่างการก่อสร้างเป็นระยะ

5.3.5.6. สิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการก่อสร้าง

การลดในสิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการก่อสร้างและการรั่วไหลของเสียจากการก่อสร้าง จะได้รับการส่งเสริมสำหรับการดำเนินงานแบบราบเรียบ และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเมื่อโครงการชุด อุโมงค์ประเภทหัวเจาะ Shield อยู่ภายใต้การวางแผนและการออกแบบ และอยู่ระหว่างการก่อสร้าง จะ ต้องจัดให้มีตำแหน่งที่ตั้งเส้นทางกำจัดของเสีย และสถานที่การกำจัดขั้นสุดท้าย

สิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการก่อสร้างที่ได้จากการสร้างอุโมงค์ประเภทหัวเจาะ Shield (ดินที่เกิดจากการก่อสร้างและของเสียจากการก่อสร้าง) จะถูกกำจัดอย่างเหมาะสม โดยอาศัย “แนวทาง ปฏิบัติสำหรับการจัดการที่เหมาะสมของสิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการก่อสร้าง”

“สิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการก่อสร้าง” หมายถึง วัสดุที่เกิดขึ้นมาจากการก่อสร้าง

“ดินที่เกิดจากการก่อสร้าง” หมายถึง วัสดุที่เป็นดินที่เกิดขึ้นมาจากการก่อสร้าง

“ของเสียจากการก่อสร้าง” หมายถึง ผลพลอยได้จากการก่อสร้างตามที่ได้ให้คำนิยาม
ใน พ.ร.บ. สำหรับการกำจัดของเสีย และสุขอนามัย (กฎหมาย 1970 เลขที่ 137)

5.3.5.7. อื่นๆ

การสำรวจปริมาณการจราจรจะดำเนินการเพื่อจะประเมินผลกระทบของยานพาหนะ
สำหรับการก่อสร้างที่มีต่อการจราจรทั่วไปรอบๆ ปล่องแนวตั้ง (Shaft) และจะกำหนดเส้นทางยาน
พาหนะสำหรับการก่อสร้างด้วยเช่นกัน กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องจะต้องศึกษาโดยต่อ
เนื่อง เนื่องจากว่าการประเมินสิ่งแวดล้อมอาจจะกำหนดสำหรับวัตถุประสงค์ทางการรักษาสิ่งแวดล้อม

5.4. การวางแผน

5.4.1. ขนาดและรูปร่างของหน้าตัดภายในอุโมงค์

1. รูปร่างและขนาดของส่วนตัดภายในอุโมงค์จะต้องเพียงพอสำหรับการใช้งานของอุโมงค์และจะ
กำหนดโดยการพิจารณาข้อกำหนดการก่อสร้าง
2. หน้าตัดของหัวเจาะอุโมงค์ Shield โดยทั่วไปเป็นรูปวงกลม

5.4.1.1. รูปร่างและขนาด

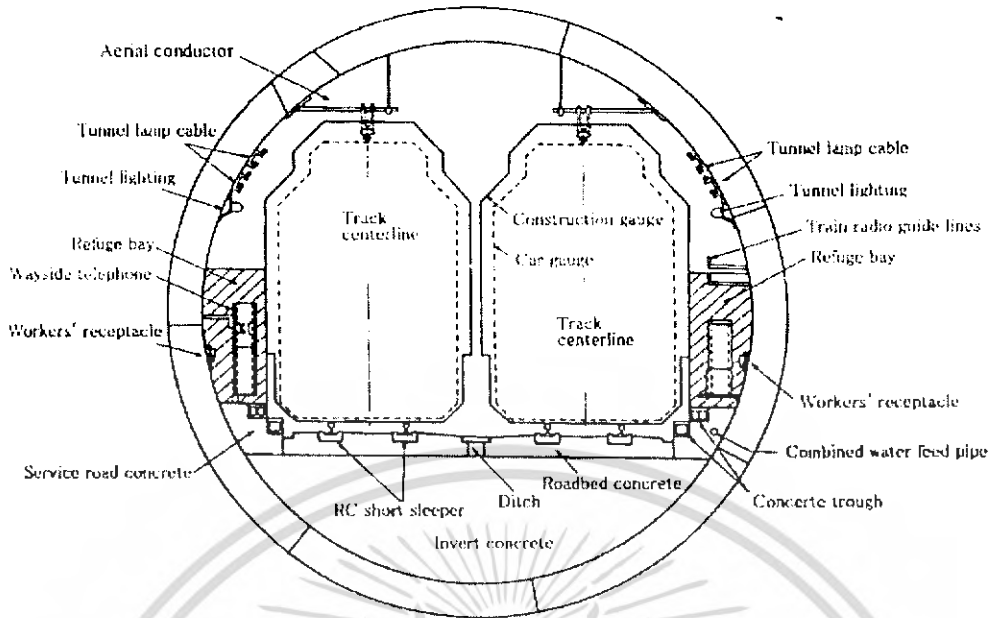
ขนาดของหน้าตัดภายในของอุโมงค์จะกำหนด โดยการพิจารณาหน้าตัดภายในที่
กำหนดสำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้อุโมงค์และหน้าตัดกำหนดสำหรับการก่อสร้าง “มาตรฐานขึ้น
ส่วนประกอบผนังอุโมงค์สำหรับการใช้งานอุโมงค์ประเภทหัวเจาะ Shield” จะเป็นการอ้างอิงที่ดีเมื่อ
การออกแบบอุโมงค์ด้วยชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8.1 ถึง 8.3
เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทางรถไฟ อุโมงค์รางเดี่ยว หรืออุโมงค์รางคู่จะถูกเลือกใช้เป็นปกติ หน้าตัดภายในจะถูกกำหนดโดยการพิจารณาถึงขนาดในการก่อสร้าง ขนาดความกว้างของทางรถไฟในการสร้างและเนื้อที่ว่างที่กำหนดสำหรับการรองรับ โครงสร้างราง การซ่อมบำรุงและที่พักและเส้นทางรถไฟ สัญญาณและโทรคมนาคม อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่าง แผนกงานเกี่ยวกับการระบายอากาศและการระบายน้ำ หน้าตัดภายในจะต้องกำหนดโดยการพิจารณาถึงค่าความเผื่อของการก่อสร้าง ค่าความเผื่อการสร้างโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 50 และ 150 มม. ในแนวตั้งและในแนวนอนจากศูนย์กลาง ดังรูปที่ 5.4(a). และ 5.4(b).



รูปที่ 5.4. แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างอุโมงค์รถไฟ
(a). อุโมงค์รางเดี่ยว

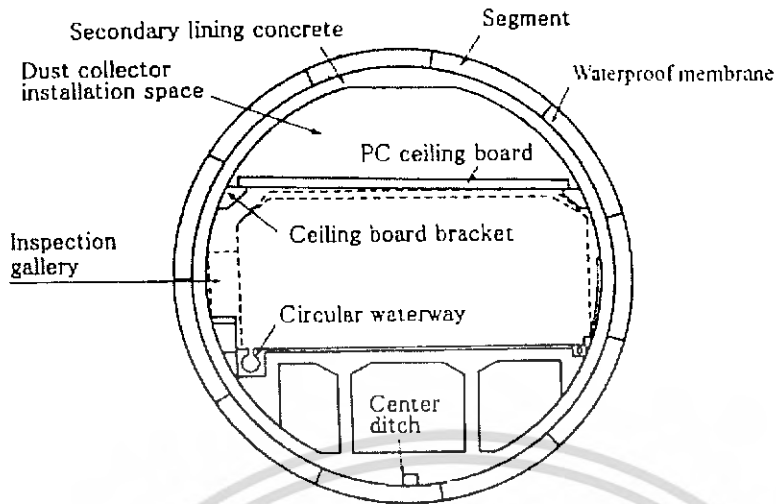


(b).

รูปที่ 5.4. แสดงองค์ประกอบของโครงสร้างอุโมงค์รถไฟ

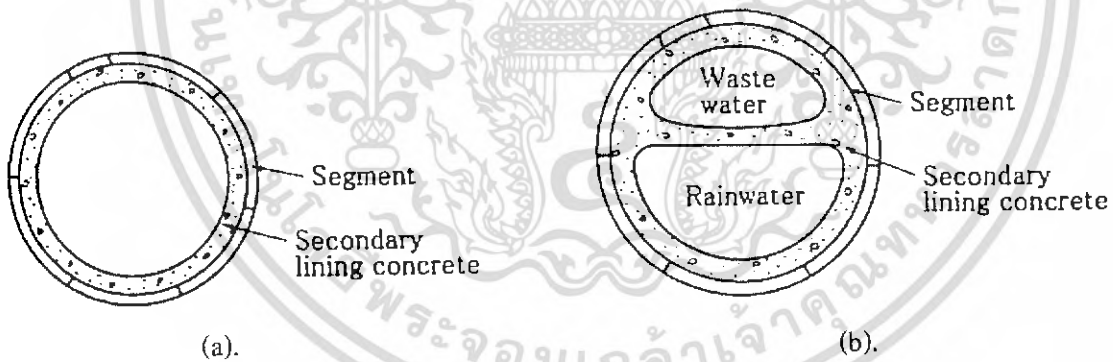
(b). อุโมงค์รางคู่

2. ถนน หน้าตัดภายในจะกำหนดโดยการพิจารณาถึงขนาดสำหรับการก่อสร้าง ต่อการจัดจำแนกประเภทของถนนที่สามารถประยุกต์ได้ในระเบียบข้อบังคับ โครงสร้างถนนและเนื้อที่ว่างที่กำหนด สำหรับการบำรุงรักษาและพื้นที่สำหรับต่อระบายอากาศหรือพัดลมและแผนงานสำหรับอุปกรณ์ติดตั้งส่องสว่าง การป้องกันอุบัติเหตุ การตรวจสอบ การจัดการ การตกแต่งภายใน และป้ายการจราจร ตามปกติจะกำหนดหน้าตัดโดยการเพิ่มความหนาของกรวงแนวของหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield) โดยทั่วไปค่าความเผื่อในการสร้างจะอยู่ระหว่าง 50 และ 150 มม. ในแนวตั้ง และในแนวนอนจากศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.5.



รูปที่ 5.5. แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้เป็นถนน

3. ระบบท่อน้ำเสีย หน้าตัดภายในจะกำหนดโดยกรณีพื้นฐานถึงการประยุกต์ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) หน้าตัดภายในจะต้องเพียงพอสำหรับความเร็วการไหลที่สามารถยอมให้ได้ และอัตราการไหลที่ได้ออกแบบ ดังรูปที่ 5.6(a). จะต้องใช้ผนังกันเพื่อแบ่งหน้าตัดภายใน ยกตัวอย่าง เช่น หน้าตัดของอุโมงค์ระบายน้ำเสียและระบายน้ำฝน ดังรูปที่ 5.6(b).



รูปที่ 5.6. แสดงรูปตัดของอุโมงค์ระบายน้ำเสีย

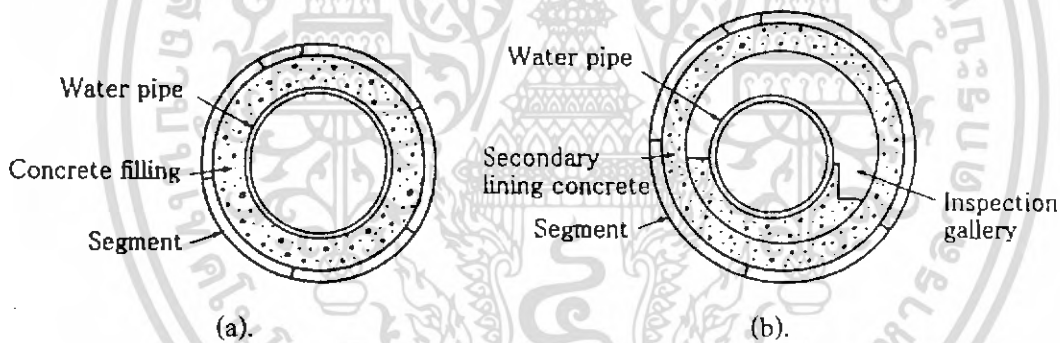
(a). รูปตัดทั่วไป (b). รูปตัดแบบ 2 ชั้น

4. ระบบประปา งานระบบน้ำส่วนใหญ่ประกอบด้วยท่อความดัน อุโมงค์นั้นเป็นคอนกรีตกำลังต่ำที่กำหนดสำหรับท่อความดัน ดังนั้น ท่อต่อต้านความดันไฮดรอลิกที่ทำด้วยเหล็ก หรือ เหล็กหล่อที่ หลอมเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ซึ่งโดยทั่วไปจะจัดวางไว้ในอุโมงค์ วิธีการที่เป็นตัวอย่างประกอบด้วย

ประเภทเติมคอนกรีต ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 330 ถึง 600 มม. ที่ใหญ่กว่าท่อหน้าโดยรัศมีถูกสร้างขึ้นตามโดยท่อหน้าเหล็กที่เชื่อมต่อหรือท่อเหล็กหล่อที่หลอมเป็นรูปร่างต่างๆได้ในอุโมงค์ ที่ว่างระหว่าง ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และท่อจะเต็มไปด้วยคอนกรีต นี่คือวิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุด

ที่ว่างระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และท่อจะถูกกำหนดโดยการพิจารณา ค่าความเผื่อการวางแนวของหัวเจาะอุโมงค์ Shield และความหนาต่ำสุดของผนังอุโมงค์ (Lining) ดังรูปที่ 5.7(a).

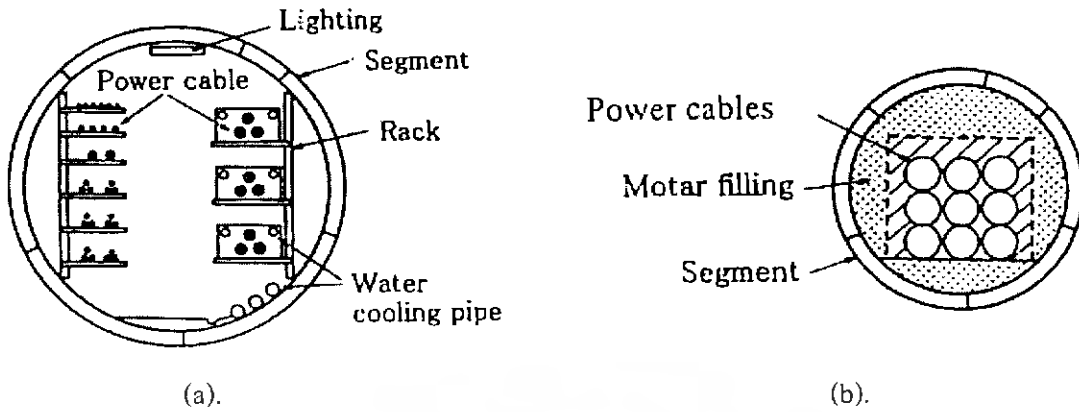
ประเภทอุโมงค์เพื่อการตรวจสอบ หน้าตัดภายในของผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) จะมีขนาด 950 ถึง 1100 มม. ที่ใหญ่กว่าท่อหน้าโดยรัศมี หน้าตัดของอุโมงค์จะถูกปรับท่อน้ำและส่วนตรวจตรา โดยทั่วไปจะใช้ท่อเหล็กหรือท่อเหล็กหล่อ ที่ว่างระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และท่อจะเป็นส่วนตรวจตรา ดังรูปที่ 5.7(b).



รูปที่ 5.7. แสดงรูปตัดของอุโมงค์ส่งน้ำ

(a).ประเภทเติมคอนกรีต (b).ประเภทอุโมงค์เพื่อการตรวจสอบ

- กำลังไฟฟ้า การใช้อุโมงค์ที่ใช้หัวเจาะอุโมงค์ Shield สำหรับสายการต่อผ่านกำลังไฟฟ้าจะถูกจัดแบ่งประเภทเป็นประเภทตะแกรงและประเภทท่อดิน หน้าตัดภายในของอุโมงค์ประเภทตะแกรงจะตัดสิน โดยการพิจารณาส่วนการตรวจตราและที่ว่างสำหรับงานวางสายไฟ ดังรูปที่ 5.8(a). และ 5.8(b). ประเภทแนวท่อดินจะถูกใช้บ่อยๆสำหรับจำนวนเล็กน้อยของสายไฟที่เกี่ยวข้องหน้าตัดจะถูกกำหนดโดยจำนวนของสายไฟที่จะติดตั้ง



รูปที่ 5.8. แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้วางสายเคเบิลพลังงาน
(a). แบบตะแกรง (b). แบบท่อ

6. โทรคมนาคม หน้าตัดภายในในควรรัดคืนจากการตรวจตราและพื้นที่สำหรับสายเคเบิลดังรูปที่ 5.9.



รูปที่ 5.9. แสดงรูปตัดของอุโมงค์ที่ใช้วางสายเคเบิลสื่อสาร

7. ท่อก๊าซ ท่อเหล็กหรือท่อต้านความดันอื่นๆ จะถูกจัดวางในอุโมงค์ 2 ประเภท ตัวอย่าง คือ

ประเภทเคมมอร์ตา ผันงอุโมงค์หลัก (Primary Lining) จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในใหญ่กว่าขนาดท่อก๊าซประมาณ 650 ถึง 750 มม. หลังจากการติดตั้งผันงอุโมงค์หลัก (Primary Lining) ท่อนำก๊าซจะถูกจัดวางและเข้าร่วมในอุโมงค์ ช่องว่างระหว่างผันงอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และท่อจะเติมด้วยมอร์ตา

ระยะห่างระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และท่อก๊าซควรที่จะสามารถวาง
 ท่อนั้นได้ เพื่อเป็นระยะเผื่อของอุโมงค์ ดังรูปที่ 5.10(a).

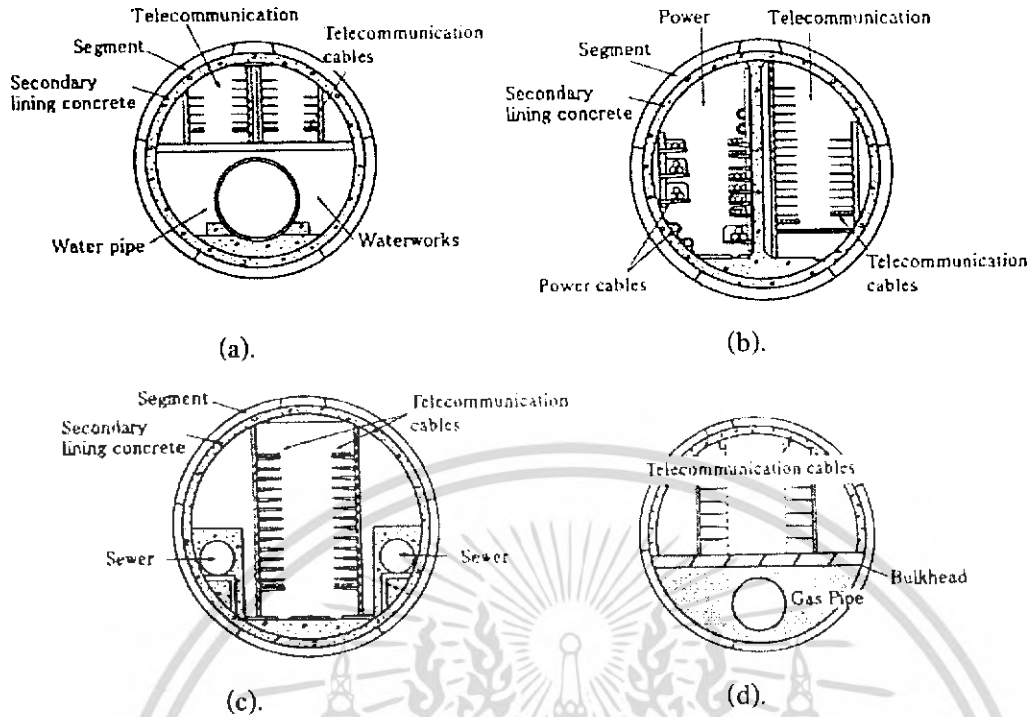
ประเภทอุโมงค์การตรวจสอบผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง
 ภายในใหญ่กว่าขนาดท่อก๊าซโดยรัศมีประมาณ 950 ถึง 1050 มม. หลังจากการติดตั้งผนังอุโมงค์หลัก
 (Primary Lining) และ ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ก็จะจัดวางท่อก๊าซ ดังรูปที่ 5.10(b).



รูปที่ 5.10. แสตรูปตัดอุโมงค์วางท่อก๊าซ

(a).ประเภทเติมมอร์ต้า (b).ประเภทอุโมงค์การตรวจสอบ

8. อุโมงค์แบบเอกประสงค์ เมื่อระบบน้ำ การกำจัดน้ำเสีย สายไฟฟ้า สายโทรคมนาคม หรือท่อก๊าซ
 อาจจะถูกจัดวางเข้าไปในอุโมงค์เดี่ยว หน้าตัดภายในที่ถูกเลือกจะให้เนื้อที่ว่างพอสำหรับการผสมผสาน
 เข้าด้วยกันของการประยุกต์สองอย่างหรือมากกว่านี้ ดังรูปที่ 5.11(a), 5.11(b), 5.11(c), และ 5.11(d).



รูปที่ 5.11. แสดงรูปตัดของอุโมงค์เอนกประสงค์

- (a). ระบบน้ำและระบบการสื่อสาร (b). ระบบพลังงานและระบบการสื่อสาร
 (c). ระบบระบายน้ำเสียและระบบสื่อสาร (d). ท่อก๊าซและระบบสื่อสาร

ในการที่จะทำให้ผลกระทบของอุบัติเหตุติดตั้งฝักัน โดยทั่วไปน้อยที่สุด เมื่อรวมถึงท่อก๊าซ จะต้องศึกษาการแรงกระทำและความเค้นในผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) เมื่อใช้กำแพงกันเป็นส่วนประกอบโครงสร้างในอุโมงค์

5.4.1.2. รูปร่างของหน้าตัด

รูปร่างของหน้าตัดของอุโมงค์ส่วนมากเป็นรูปวงกลมอันเนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. หน้าตัดวงกลม โดยทั่วไปจะเป็นสิ่งที่ต้านทานต่อแรงดันภายนอกได้มากที่สุด
2. หน้าตัดวงกลม จะมีความสะดวกสำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield และผนังที่เป็นรูปร่างวงกลมถูกผลิตและติดตั้งได้ง่าย
3. หน้าตัดวงกลมจะไม่แสดงปัญหาใดๆ ในกรณีของการหมุนหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield

อย่างไรก็ตาม ใ้ว่าหน้าตัดวงกลมจะใช้ได้ในทุกกรณีเสมอไปเนื่องจากความจำเป็นบางโอกาสสำหรับการใช้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นของเนื้อที่ว่างของอุโมงค์ ข้อจำกัดเกี่ยวกับหน้าที่ของหน้า

ตัดวงกลม ความยากในการใช้ที่ดิน โครงสร้างของบริเวณใกล้ชิด และพื้นดินปกคลุมที่บาง ในปีที่ผ่านมาเร็ว ๆ นี้ วงกลมคู่และส่วนตัดที่เป็นรูปไข่ และส่วนตัดที่ไม่เป็นวงกลมอื่นๆ จะใช้เพิ่มขึ้นนอกจากส่วนตัดครึ่งวงกลม สีเหลี่ยมผืนผ้าและส่วนตัดรูปเกือบมาของอุโมงค์ตามแบบนิยม

5.4.2. การวางแผนเส้นทางอุโมงค์

- การวางแผนเส้นทางของอุโมงค์จะถูกกำหนดในการพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของการวางแผน เส้นทางที่เชื่อมติดกันหรือเส้นโค้งที่ละน้อยจะใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะที่พิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้ง อุปสรรค สภาพของพื้นดินและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอื่น ๆ
- การนำมาใช้เกี่ยวกับเส้นโค้งที่มีรัศมีน้อยจะต้องการการศึกษาโดยตลอดเกี่ยวกับการออกแบบและงานก่อสร้าง
- เมื่ออุโมงค์ 2 แห่ง หรือมากกว่าจะทำการสร้างในแบบขนานหรืออุโมงค์ถูกสร้างใกล้กับสิ่งปลูกสร้าง ฯลฯ การจัดให้เป็นแนวเส้นทางเดียวกันจะต้องวางแผนด้วยการพิจารณาเป็นพิเศษ

สถานการณ์ของการวางแผนเส้นทางอุโมงค์ มีดังต่อไปนี้

1. เนื่องจากวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling Method) จะใช้กันมากในพื้นที่ของเมืองการวางแผนเส้นทางของอุโมงค์จะถูกจำกัด เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของปล่องแนวตั้ง (Shaft) เงื่อนไขของการใช้พื้นผิว อุปสรรคต่างๆ ผลกระทบต่อโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียง ฯลฯ อย่างไรก็ตาม การวางแผนเส้นทางของอุโมงค์จะต้องจัดให้ตรงเท่าที่จะเป็นไปได้และจะผ่านชั้นดินที่ปลอดภัยสำหรับความเสถียรของการขุดอุโมงค์ การไหลเข้าของน้ำและก๊าซอันตรายต่างๆ ฯลฯ การบำรุงรักษาและการจัดการของอุโมงค์หลังจากการก่อสร้างเสร็จสิ้นก็จำเป็นต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน
2. ความมีประสิทธิภาพของการขุดเป็นรูปโค้งจะได้รับผลกระทบจากสภาพของดิน ขนาดของภาคตัดขวางของส่วนหน้า ระดับของอุโมงค์ ความยาว ประเภทและโครงสร้างของเครื่องกลหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่จะใช้ และประเภทความกว้างของวงแหวนผนังอุโมงค์และระดับของความเร็วของชั้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ ฯลฯ หัวข้อต่อไปนี้อาจต้องการการพิจารณาเป็นพิเศษ ดังนี้

รัศมีปกติของเส้นโค้ง (Ordinary Radius of Curve) การขุดตามความโค้งต้องการอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมประกบที่จะมาติดตั้งบนหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield หรือมาตรการสนับสนุนที่จะมาใช้ในขณะที่เชื่อมประกบไม่ได้ รัศมีที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นโค้ง (เส้นโค้งที่มีรัศมีเล็กกว่านี้ใดๆเรียกว่า โค้งเฉียบ

ขาด) ตามข้อมูลการปฏิบัติในอดีต รัศมีของโค้งต่ำสุด (R) สำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบปิด (Close Type Shield) จะเป็นดังที่แสดงข้างล่าง (เกี่ยวกับเส้นผ่านศูนย์กลางหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield)

R = 80 m. สำหรับ เส้นผ่านศูนย์กลางหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ประมาณ 3 ม.

R = 100 m. สำหรับ เส้นผ่านศูนย์กลางหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ประมาณ 5.9 ม.

โค้งเรียบขาด(Shape curves) สำหรับรัศมีเส้นโค้งที่เล็กกว่า การปรับปรุงพื้นดินจะต้องศึกษาเพื่อจะทำให้เกิดความมั่นคงแก่พื้นที่ การศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield (อุปกรณ์ที่เชื่อมประกบ ฯลฯ) ประเภทส่วนแบ่งและโครงสร้างและมาตรการต่อต้านอื่นๆ ก็จะเป็นที่ ต้องการด้วยเช่นกัน

มุมแหลม (Acute Angles) เพื่อประยุกต์วิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่มีระบบจัดการน้ำหรือการกำจัดน้ำเสีย สายไฟฟ้าหรืออุโมงค์สำหรับโทรคมนาคม อุโมงค์ อาจจะต้องการที่จะเลี้ยวอย่างกะทันหันหรือที่จะเชื่อมต่อที่สี่แยกของถนน ฯลฯ ในกรณีดังกล่าว จะสร้าง ปล่องแนวตั้ง (Shaft) สำหรับการปรับใหม่ อุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield จะถูกเชื่อมต่อที่ปล่อง แนวตั้ง (Shaft) หรือหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ถูกเชื่อมต่อลงใต้ดิน

3. เมื่อมีการผลักดันอุโมงค์ 2 อุโมงค์ในแบบที่ขนานกัน การรับน้ำหนักชั่วคราวและการอัดเต็มน้ำปูน ที่มีความดันจะต้องถูกย้ายนำมาปฏิบัติก่อนในอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield Tunnel ซึ่งเป็นผล สืบเนื่องตามมาจากหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ระยะทางที่เหมาะสมจะจัดให้มีขึ้นระหว่างอุโมงค์ที่มีมา ก่อนและอุโมงค์ที่มีตามภายหลังเพื่อจะป้องกันการทรุดตัวของชั้นดิน และการทำให้เสียรูปของ อุโมงค์ที่อยู่ข้างเคียง

ระยะทางระหว่างอุโมงค์ที่ขนานกันสองอุโมงค์ไม่สามารถที่กำหนดให้อยู่ในรูปแบบ การคำนวณเดียวกันได้ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปมันจะถูกกำหนดจากความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกของอุโมงค์ แต่หากกรณีนี้ไม่ได้ผล จึงใช้มาตรการสนับสนุนประมาณซึ่งประกอบด้วย กระบวนการทางเคมี การฉีดที่มีความดันสูงและการผสม และวิธีการปรับปรุงพื้นดินอื่นๆ

การก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงของงานใต้ดินจะต้องการการสำรวจที่รอบคอบมากในเรื่อง เงื่อนไขการออกแบบ และสถานภาพปัจจุบันของสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างที่เพียงพอสำหรับการป้องกัน ผลกระทบในทางกลับกันของการขุดอุโมงค์ที่มีต่อสิ่งปลูกสร้างใต้ดินจะต้องจัดให้มีข้อกำหนดขึ้น แต่เมื่อ

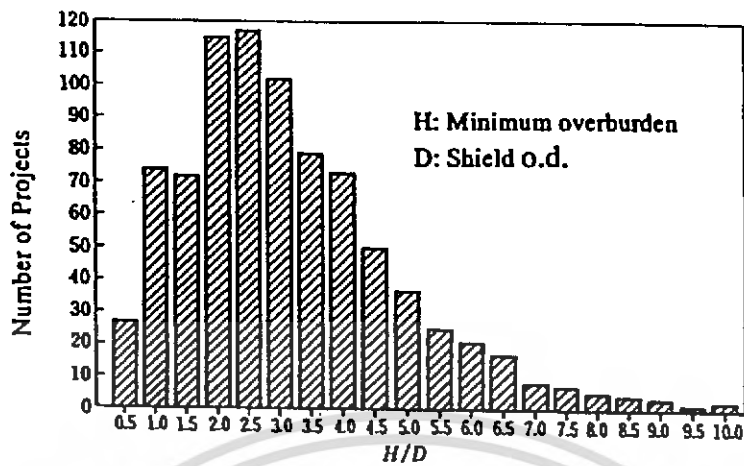
- ระยะห่างที่เพียงพอไม่สามารถบรรลุผลได้ การปรับปรุงดิน การทำโครงสร้างเบื้องต้นเพื่อรองรับน้ำหนักส่วนบน และวิธีที่เหมาะสมอื่นๆจะต้องได้รับการพิจารณา

5.4.3. ภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์

ภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ (Tunnel Overburden) จะกำหนดทั่วไปในการพิจารณาเงื่อนไขของพื้นผิวดิน และโครงสร้างใต้ดิน ธรรมชาติของดิน ขนาดของส่วนตัดของการขุด และวิธีการสร้าง

อุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield ควรที่จะคำนึงถึงความลึกในการขุดเจาะ เพื่อจะอำนวยความสะดวกแก่งานก่อสร้าง (การเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรก พีชที่เน่าเปื่อย และอื่นๆ การขนส่งวัสดุ และอุปกรณ์ การเข้าและออกของพนักงาน ฯลฯ) การสร้างปล่องแนวตั้ง (Shaft) การควบคุมน้ำใต้ดิน การบำบัดน้ำ การบำรุงรักษาและการควบคุมสิ่งปลูกสร้างและการทำงานของท่อ อย่างไรก็ตามจึงจำเป็นที่จะพิจารณาถึงการรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ที่เพียงพอเพื่อจะป้องกันผลกระทบในทางกลับกันที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการตัดสินใจเกี่ยวกับความลึกของอุโมงค์

การรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ที่กำหนดต่ำสุด โดยทั่วไปจะเป็น 1.0D ถึง 1.5D (D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield) การวางเส้นทางอุโมงค์ตามแนวยาว ซึ่งจะเป็นการตัดสินใจ โดยหลักส่วนใหญ่จะพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการใช้ของอุโมงค์และการแทรกแซงด้วยสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ และมีการบันทึกโครงการตามความเป็นจริงหลายอย่างซึ่งเหล่านี้แสดงถึงการมีการปฏิบัติกับการรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์ที่ต่ำกว่าแผนภาพข้างต้น ดังรูปที่ 5.12. เมื่อการรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์มีค่าเพียงเล็กน้อย จะต้องศึกษาการใช้มาตรการสนับสนุนที่เพียงพอ



รูปที่ 5.12. แสดงการนำหนักเหนืออุโมงค์น้อยที่สุดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเจาะ Shield

เมื่ออุโมงค์ถูกก่อสร้างได้แม่น้ำ หรือทะเลจะมีการศึกษาเกี่ยวกับน้ำเลน หรือการรั่วไหลของอากาศ การพันออกและการลอยตัวของอุโมงค์เป็นเรื่องสำคัญโดยเฉพาะ

จำนวนที่เพิ่มขึ้นของทางรถไฟ ถนน ระบบการจัดการน้ำ และการบำบัดน้ำเสียจะถูกสร้างขึ้นได้ดินในพื้นที่เมืองในไม่กี่ปีมานี้ อุโมงค์ประเภทหัวเจาะ Shield ที่ทำการสร้างขึ้นมาล่าสุดก็จะอยู่ลึกลงไปยิ่งขึ้นเพื่อจะไม่ให้มีอุปสรรคเกี่ยวกับสิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ การศึกษาอย่างรอบคอบเกี่ยวกับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ และหัวเจาะอุโมงค์ Shield จะสำคัญมากเมื่อการรับภาระน้ำหนักข้างบนเหนืออุโมงค์มีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม

5.4.4. ระดับของอุโมงค์

ระดับของอุโมงค์ จะกำหนดในการพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการใช้ การบำรุงรักษา และการจัดการ ฯลฯ

ระดับของอุโมงค์จะกำหนดโดยการพิจารณาวัตถุประสงค์ของการใช้โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามการถูกจำกัดหลายอย่างก็จะมีอยู่เนื่องมาจากการมีอยู่ของแม่น้ำ งานใต้ดินที่มีอยู่ ระบบสาธารณูปโภคที่อยู่ใต้ดิน และอุปสรรคอื่น ๆ และแผนสำหรับการสร้างแผนงานเฉพาะต่าง ๆ ฯลฯ

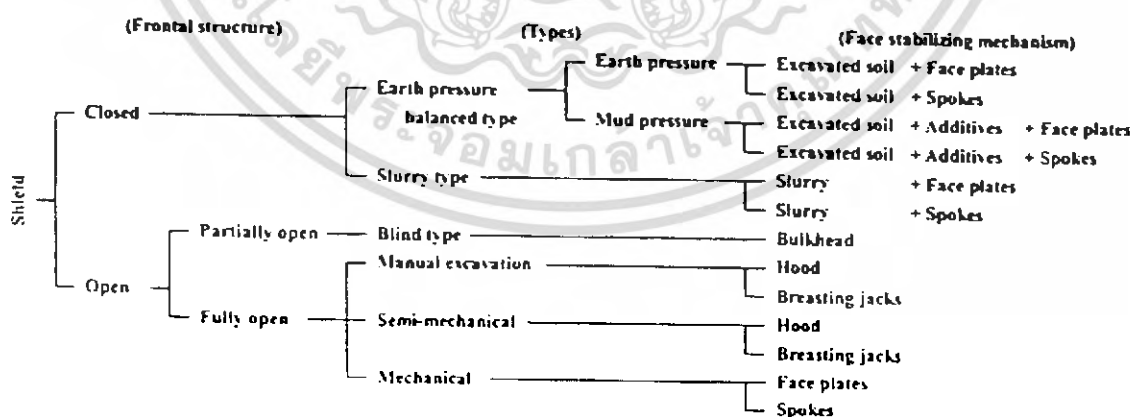
เมื่อระดับเกิน 2% ความมีประสิทธิภาพของงานจะต่ำลงและผลกระทบจากผลที่ตามมา ก็จะต้องพิจารณา จะมีความจำเป็นด้วยเช่นกันที่จะจัดให้มีมาตรการด้านความปลอดภัยที่เน้นลักษณะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ของความปลอดภัย ระดับของอุโมงค์ใต้ดินหลังจากเสร็จจะได้รับการออกแบบตามปกติให้เล็กลงแต่ควรที่จะเพียงพอสำหรับการระบายตามธรรมชาติ (ประมาณ 0.2% น้อยที่สุด) ในอุโมงค์ที่ใช้สำหรับถนน ทางรถไฟ กำลังไฟฟ้า การโทรคมนาคม ฯลฯ

5.4.5. การเลือกวิธีการเกี่ยวกับหัวเจาะอุโมงค์ Shield

ในการที่จะทำให้มีความสามารถในด้านการก่อสร้างที่ปลอดภัยและประหยัดของอุโมงค์ใต้ดินเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการเลือกวิธีการทำหัวเจาะอุโมงค์ Shield ควรจะจัดให้อยู่ในลำดับในการพิจารณาในเรื่องการขุด ผันอุโมงค์ (Lining) ฯลฯ นอกจากสภาพของพื้นดิน สภาพของพื้นผิว มิติของส่วนตัด ความยาวของการก่อสร้าง การวางแนวเส้นทางของอุโมงค์ใต้ดินและระยะเวลาการก่อสร้าง

เครื่องจักรหัวเจาะอุโมงค์ (Shield Machines) มีทั้งแบบปิดและแบบเปิดต่อโครงสร้างของส่วนที่อยู่ด้านหน้า เครื่องจักรหัวเจาะอุโมงค์แบบมีส่วนหน้าปิด (Close-Face Type Shield Machines) มีประเภทความดันดินสมดุล(Earth Pressure Balance)และสารละลายปรับสมดุลดิน (Slurry) และเครื่องจักรหัวเจาะอุโมงค์ประเภทส่วนหน้าเปิด (Open-Face Type Shield Machines) มีประเภทเปิดอย่างเต็มที่ (Fully Open) และเปิดเพียงบางส่วน (Partially Open) ประเภทเปิดอย่างเต็มที่ (Fully Open) ต่างแบ่งย่อยออกเป็นการขุด การขุดด้วยมือ ประเภทเกือกกลไกและกลไกค่อวิธีการขุด ประเภทส่วนหน้าเปิดบางส่วนจะรวมถึงหัวเจาะอุโมงค์ Shield แบบ Blind Shield ดังรูปที่ 5.13.



รูปที่ 5.13. ประเภทของหัวเจาะ Shield

5.4.5.1. ลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภทของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield

เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบมีส่วนหน้าปิด (Close-Face Type Shield Machines) หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบมีส่วนหน้าปิดมีส่วนกันเพื่อจะทำให้มีความมั่นคงแก่ส่วนหน้าที่ตัดภายใต้ความกดดัน

ก. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล(Earth Pressure Balance (EPB) Type Shield Machines) EPB จะเปลี่ยนดินที่ขุดให้เข้ากับความดันโคลน และปรับยึดความดันให้คงที่ตลอดบริเวณผิวหน้า เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล(EPB) จะประกอบด้วยกลไกของการขุดเพื่อที่จะตัดเฉือนดิน กลไกการผสมผสมดินเพื่อจะผสมดินที่ขุดออกมาให้เข้ากับความดันน้ำโคลน กลไกการปล่อยดินเพื่อจะปล่อยดินและกลไกการควบคุมที่จะรักษาการกระจายตัวของแรงดันดิน เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล (EPB) แยกออกเป็นเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดิน (Earth Pressure Type Shield Machines) และเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันโคลน(Mud Pressure Type Shield Machines) ต่อความสามารถของเครื่องจักรเกี่ยวกับสิ่งที่เพิ่มเข้าไปสำหรับการเปลี่ยนดินที่ขุดออกมาไปสู่ความดันโคลน

1. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดิน(Earth Pressure Type Shield Machines) จะตัดเฉือนดินด้วยหัวเครื่องแบบหัวเครื่องตัดแบบหมุนรอบ เต็มเนื้อที่ว่างระหว่างส่วนหน้าและส่วนกันตรงหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield) ที่มีดินผสมและทำให้มีความดันแก่ดินด้วยแรงพุ่งของหัวขุดเจาะอุโมงค์(Shield) ความดันของการกระทำของดินบนส่วนหน้าจะถูกทำให้มีความสม่ำเสมอแก่ดิน ดินก็จะถูกปล่อยออกในที่สุดโดยวิธีการของการลำเลียงด้วยสายพานลำเลียง ฯลฯ
2. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันโคลน(Mud Pressure Type Shield Machines) จะฉีดสิ่งที่เพิ่มเข้าไปและผสมกับดินที่ขุด โดยหัวเครื่องตัดแบบหมุนรอบตัว ความดันของโคลนที่มาจาก การหลอมเหลวจะทำให้เกิดความสม่ำเสมอแก่ส่วนหน้าในวิธีการเดียวกันเช่นเดียวกับเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันโคลน(Mud pressure type shield machines) ดินจะถูกปล่อยออกมาในที่สุดโดยวิธีการของสายพานลำเลียง ฯลฯ

ข. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบสารละลายปรับสมดุลดิน(Slurry Type Shield Machines) นำเลนปรับสมดุลดินที่ได้ทำให้มีความดันจะประยุกต์เพื่อจะทำให้เกิดความมั่นคงแก่ส่วนหน้าที่ตัดเฉือนดิน สารละลายปรับสมดุลดินจะถูกทำให้หมุนเวียนในการที่จะนำส่งดินที่ขุด โดยการลำเลียงของเหลว อุปกรณ์การป้อน หรือ การปล่อยสารละลายปรับสมดุลดินให้หมุนเวียนและทำให้เกิด

ความกดดันแก่ น้ำเลน และอุปกรณ์การดำเนินงานเป็นกระบวนการของสารละลายเพื่อจะปรับคุณสมบัติ สารละลายไปสู่ระดับที่ใ้ระบุไว้

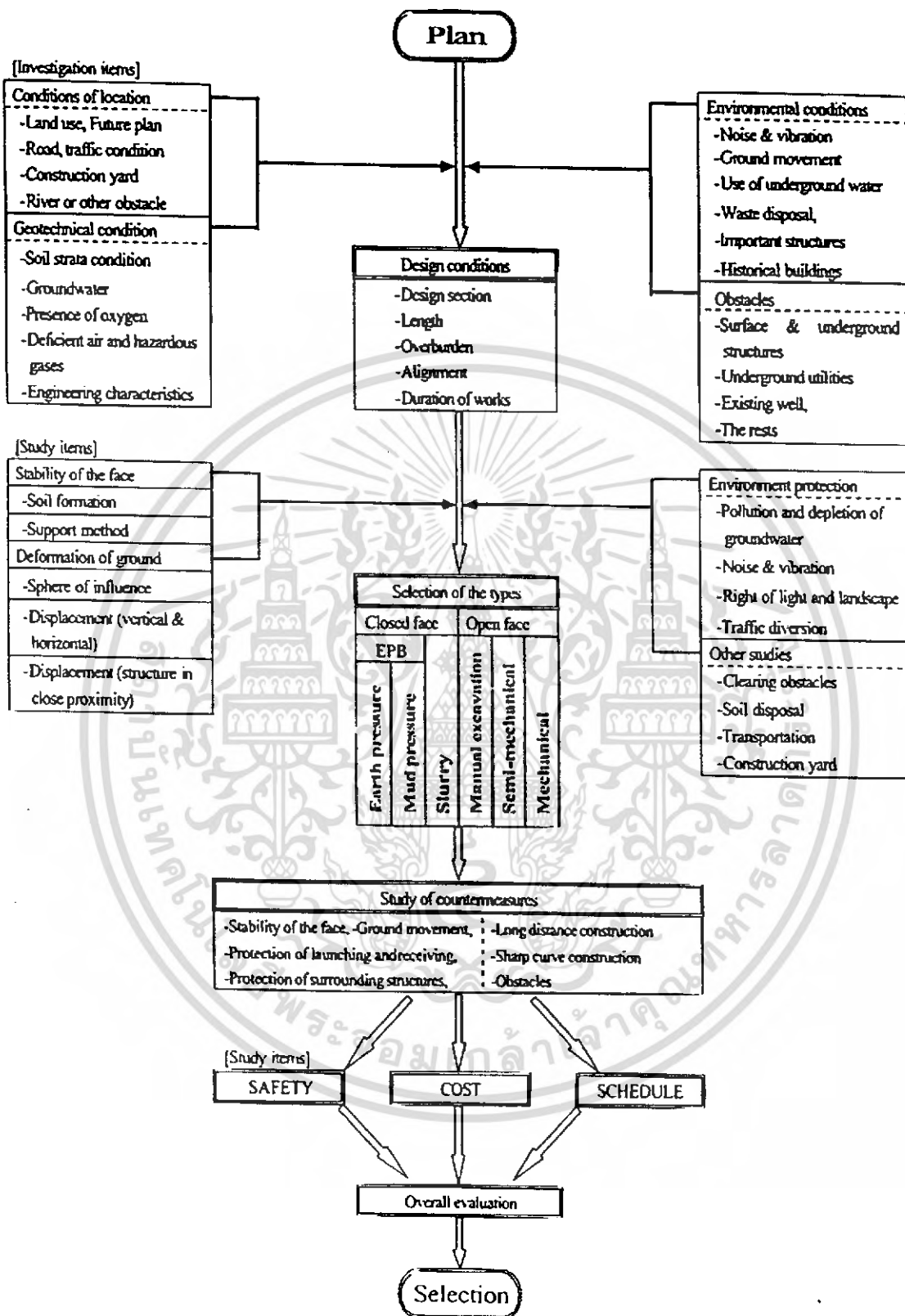
เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์ประเภทส่วนหน้าเปิด (Open-Face Type Shield Machines) จะใช้กับส่วนหน้าที่เปิดเต็มที่หรือเปิดเกือบทั้งหมด เครื่องประเภทนี้สามารถประยุกต์ได้กับดินที่มีการ คงอยู่ของตนเองที่ส่วนหน้า ดินประเภทอื่นสามารถจะได้รับการปรับปรุงโดยมากจากการช่วยเพื่อจะทำ ให้บรรลุผลการคงอยู่ของตนเองที่ส่วนหน้า ส่วนหน้าที่เป็นหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield เกือบจะปิดในกรณี ของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เปิดบางส่วนยกเว้นทางออกของดินที่จัดให้มีที่ส่วนหน้าที่จะควบคุมการ ไหลเข้าของดินที่ขุดและที่จะทำให้มันคงแก่ส่วนหน้าที่ตัด

1. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ(Manual Excavation Type Shield Machines) ใช้เพื่อตัด พื้นดินด้วยเครื่องสำหรับแฉะหรือตัก ของที่ใช้ในการขุดแร่ สิ่งที่ใช้ขุด ฯลฯ ดินที่ขุดออกมาจะถูก ปลดปล่อยโดยเครื่องลำเลียงสายพาน รถเข็น และอื่นๆ หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือโดยปกติจะจัดให้ มีกลไกการทำให้มีเสถียรภาพของส่วนหน้า เช่น ฝาครอบ แม่แรงที่ใช้สำหรับทำให้แตกที่ขึ้นอยู่กับ สภาพของดิน
2. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบกึ่งกลไก(Semi-Mechanical Type Shield Machines) โดยพื้นฐานจะ มาจากเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ (Manual Excavation Type Shield Machines) ซึ่ง จะตัดถืออุปกรณ์ด้วยตัวขุด ตัวไหลค และผลรวมทั้ง 2 อย่าง ส่วนหน้าของเครื่องใช้ระหว่างการขุดจะ เปิดกว้างมากและมันจะยากที่จะปกป้องส่วนหน้าที่ตัดเฉือนในระหว่างขุด
3. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบกลไก (Mechanical Type Shield Machines) มีลักษณะเฉพาะคือมี หัวเครื่องตัดอยู่บนด้านหน้าของส่วนหน้าที่จะตัดดินอย่างอัตโนมัติโดยต่อเนื่อง หัวเครื่องตัดอาจจะมี การป้องกันส่วนหน้าที่ตัดบางอย่าง
4. เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบ Blind Shield (Blind Type Shield Machines) จะคลุมปิดส่วนหน้า ของเครื่องตัดยกเว้นทางออกดินที่สามารถปรับได้ที่จัดให้มีที่ด้านหน้าของส่วนหน้า ด้านหน้าของ ส่วนหน้าของเครื่องจะถูกอัดเข้าไปยังพื้นดินเพื่อจะทำให้พื้นดินหลวม อ่อนตัวและเคลื่อนย้ายไปยัง จุดปล่อยดิน ที่ความมั่นคงแก่ส่วนหน้าตัดนั้น ขึ้นกับความต้านทานของการปล่อยของดินที่ถูกทำให้ เป็นของเหลวถูกปรับและถูกใช้

5.4.5.2. การเลือกวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดอย่างเดียวในการเลือกวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Tunneling Method) ก็คือการทำให้มีเสถียรภาพของส่วนหน้าในการตัดเฉือน การศึกษาที่สมบูรณ์จะต้องกำหนดในเรื่องสิ่งแวดล้อมรอบๆ ปล่องแนวตั้ง (Shaft) และสถานที่ในการสร้าง ความปลอดภัย ทางเศรษฐกิจ ฯลฯ นอกจากสภาพดินและน้ำใต้ดิน รูปที่ 5.14. แสดงถึงแผนภาพของการเลือกของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield





รูปที่ 5.14. แสดงถึงแผนภาพของการเลือกของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shield types	Closed type										Open type					
	Earth pressure balanced type					Slurry type					Manual excavation type		Semi-mechanical type		Mechanical type	
	Earth pressure		Mid pressure			Slurry type		Manual excavation type			Semi-mechanical type		Mechanical type			
Soil types	N-value	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	Applicability	Precautions	
Alluvial clayey soil	Humus	0	X	-	Δ	Ground movements	Δ	Ground movements	X	-	X	-	X	-	-	
	Silt and clay	0-2	O	-	O	-	O	-	Δ	Ground movements	X	-	X	-	-	
Diluvial clay soil	Sandy silt and sandy clay	0-5	O	-	O	-	O	-	Δ	Ground movements	X	-	X	-	-	
	Loam and clay	5-10	O	-	O	-	O	-	Δ	Ground movements	Δ	Ground movements	Δ	Ground movements	Plugging due to excavated soil	
Sandy soil	Sandy loam and sandy clay	10-20	Δ	Plugging due to excavated soil	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
	Hard pan (Mudstone)	15-25	Δ	Plugging due to excavated soil	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
Sandy soil	Loose sand	25 or over	Δ	Plugging due to excavated soil	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
	Dense sand	50 or over	Δ	Plugging due to excavated soil	Δ	Bit wear	Δ	Bit wear	X	-	Δ	Excavator Loader	Δ	Excavator Loader	Groundwater pressure	
Sand, gravel and boulders	Loose sand and gravel	10-15	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
	Cemented sand and gravel	10-30	Δ	Fine fraction content	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
Sand, gravel and boulders	Loose sand and gravel	30 or over	Δ	Fine fraction content	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
	Cemented sand and gravel	10-40	Δ	Fine fraction content	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
Sand, gravel and boulders	Sand and gravel mixed with cobbles	40 or over	Δ	Groundwater pressure	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	O	
	Boulder and cobbles	-	Δ	Screw conveyor specifications ¹	O	-	O	-	Δ	Bit specifications ¹	Δ	Bit specifications ¹	Δ	Bit specifications ¹	Gravel crushing ¹	

Notes: 1) Applicability symbols:
 O: Suitable for the soil conditions in principle. Δ: Auxiliary measures and/or mechanisms must be studied in advance. X: Not suitable for the soil conditions in principle.
 2) Open shields frequently used with the pneumatic method but the applicability must be checked.
 3) Blind shield is not included in the list because this type is seldom used. This type is only applicable to certain alluvial clayey soils and certain ground movements.
 4) N-values are shown as a guide of soil quality.
 5) Precautions given represent only the most important factors for the Δ marked grounds and types. The asterisks (*) indicate presence of other similarly important precautions. For example, *1: Wear of bit and face plate, bit specifications, *2: Screw conveyor specifications, *3: Bit specifications, *4: Groundwater pressure, and *5: Over excavation
 6) Mudstone with low strength is considered.

ตารางที่ 5.4. แสดงแผนภาพในการเลือกประเภทหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกสถานที่สำหรับปล่องแนวตั้ง (Shaft) และการถ่ายเทสิ่งสกปรกที่ได้จากการขุดกำลังจะกลายเป็นสิ่งที่สำคัญมากขึ้นในการเลือกวิธีการก่อสร้างในปีที่ผ่านมา บันทึกการปฏิบัติงานในอดีตได้เป็นปัจจัยในการกำหนดในบางกรณี ตารางที่ 5.4. แสดงถึงแผนภาพในการเลือกประเภทหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เหมาะสม ประเภทหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่ดีที่สุดที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละอย่างได้อธิบายไว้ข้างล่าง

ก. วิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล(Earth Pressure Balance Type Shield Method) EPB นี้ประเภทความดันของดินและประเภทความดันของโคลน ลำดับแรกเหมาะสำหรับประเภทที่แน่นจัดของดินที่อาจจะทำให้เป็นของเหลวได้และทำให้เต็มในห้องเครื่องตัดและเครื่องสายพานลำเลียง สำหรับการปล่อย การรักษาส่วนหน้าตัดที่มีเสถียรภาพ ลำดับต่อมาจะเพิ่มน้ำ น้ำเลน หรือสิ่งที่เพิ่มเข้าไปยังดินทรายในห้องเครื่องตัดที่ขาดการเป็นของเหลวเพื่อจะปรับปรุงการเคลื่อนย้ายของความดันที่ส่วนหน้า

เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดิน(Earth Pressure Type Shield Machines) มีลักษณะเฉพาะเป็นระบบสำหรับการนำเข้ดินในเวลาเดียวกัน และความสามารถขุดเจาะของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ดังนั้นมันจึงเป็นไปได้ที่จะไม่ทำแค่เพียงทำให้มีเสถียรภาพแก่ส่วนหน้าแต่จะทำให้ลดเหลือค่าสุดเกี่ยวกับผลกระทบต่อพื้นดินที่อยู่โดยรอบด้วยเช่นกัน ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือการทำงานในส่วนพื้นผิวจะไม่จำเป็นเพราะว่ามาตรการสนับสนุนจะไม่จำเป็น โดยพื้นฐาน

วิธีเกี่ยวกับเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันโคลน(Mud Pressure Type Shield Machines) จะเหมาะสมสำหรับชนิดของดินที่ใหญ่ที่สุดรวมถึงพื้นดินอ่อนที่มีระดับความแข็งน้อย เช่น ทรายผสมกรวดที่พัดมาทับถมกับน้ำ ทราย โคลนเลนและดินเหนียว สิ่งสะสมเกี่ยวกับซากที่เหลือจากน้ำท่วมและดินที่อ่อนแ่แข็งสลับกัน เครื่องสายพานลำเลียงที่ปล่อยดินเท่านั้นจะไม่พอเพียง อย่างไรก็ตาม เพื่อที่จะตัดเฉือนผ่านพื้นดินด้วยความดันที่มาจากความกดดันของน้ำที่สูงการเพิ่มเครื่องป้อนที่เก็บกักความดันต่างๆ การรวมเอาเครื่องสูบเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและการปรับปรุงในคุณสมบัติของดินที่ขุดจะได้ออกการศึกษา

ข. วิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบสารละลายปรับสมดุลดิน(Slurry Type Shield Method) จะประยุกต์ความดันน้ำเลนที่สูงกว่าความดันน้ำใต้ดินที่ส่วนหน้าเพื่อจะให้มีเสถียรภาพ สำหรับความมีเสถียรภาพที่ส่วนหน้าจะได้รับการยกระดับให้สูงขึ้นโดยคุณสมบัติสารละลายปรับสมดุลดิน ดังนั้นหัว

ขุดเจาะอุโมงค์แบบสารละลายปรับสมดุลดินจึงมีประสิทธิผลคล้ายกันสำหรับสถานที่ที่มีความดันน้ำใต้ดินสูง พื้นที่ดังกล่าวจะเป็นได้แม่น้ำและใต้ท้องทะเล

สารละลายปรับสมดุลดินจะถูกสูบจากพื้นดิน ไปยังส่วนหน้า โดยผ่านท่อป้อนและท่อปล่อยส่วนหน้าจะถูกปิดอย่างสิ้นเชิงด้วยความปลอดภัยในระดับสูง และด้วยเหตุนี้จึงก่อให้เกิดสิ่งแวดล้อมการทำงานที่ดี ไม่มีความดันที่สิ้นเกินได้รับการประยุกต์สำหรับดิน หรือไม่มีการผลักดันกลับของพื้นดินเกิดขึ้นด้วยผลกระทบเล็กน้อยต่อพื้นดินที่อยู่รอบด้าน นอกจากนี้การทำงานจากพื้นดินก็ไม่ได้จำเป็นเพราะว่าโดยหลักการไม่มีมาตรการสนับสนุนที่จำเป็น ข้อดีนี้เหมือนกับที่เป็นของแต่ละวิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดิน(Earth Pressure Type Shield Method)

เครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบสารละลายปรับสมดุลดิน(Slurry Type Shield Machines) จะเหมาะสมสำหรับชนิดของดินหลายชนิดรวมถึงทรายผสมกรวดและโคลนที่น้ำพัดพามา ทรายและ โคลนเลน ดินเหนียวหรือชั้นที่สลับกันกับพื้นดินที่มีซิเมนต์ที่ไม่แน่น และพื้นดินที่อ่อนหรือกับปริมาณบรรจุน้ำที่สูงกับความยากที่เป็นผลตามมาในการก่อรูปส่วนหน้าที่ตัดที่คงอยู่ด้วยตนเอง ทรายผสมกรวดที่เป็นซากที่เหลือจากน้ำท่วม ทราย และ โคลนเลน ดินเหนียว หรือชั้นที่สลับกันที่มีน้ำมากที่ส่งผลต่างเป็นไปได้ในทรุดลงของพื้นดินที่มีการไหลเข้าของน้ำ วิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบสารละลายปรับสมดุลดิน (Slurry Type Shield Method) อาจพบว่าเป็นการยากในการที่จะรักษาส่วนหน้าตัดให้มีความมั่นคงในพื้นดินที่มีการแทรกซึมของน้ำสูง หรือในพื้นดินที่มีก้อนหินใหญ่ในกรณีนี้ การใช้มาตรการช่วยจะได้รับการพิจารณา

ค. วิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ(Manual Excavation Type Shield Method) ส่วนหน้าที่อยู่ด้านหน้าของเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ (Manual Excavation Type Shield Machines) จะเปิดจนทำให้ส่วนหน้าที่อ่อนและแข็ง กรวด ก้อนหินใหญ่ ฯลฯ สามารถได้รับการจัดการอย่างง่ายขายที่สุด วิธีเกี่ยวกับการใช้แรงดันลมจะใช้บ่อยในเวลาเดียวกันเพื่อจะทำให้เกิดความมั่นคงแก่ส่วนหน้า การใช้ หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือสันนิษฐานว่าส่วนหน้าทนทานเป็นเวลาหลายชั่วโมง พร้อมกระบวนการทางเคมีจะใช้สำหรับดินที่ไม่ก่อรูปเป็นส่วนหน้าที่มั่นคง การทำให้น้ำลดลงจะทำได้ในเวลาเดียวกันเมื่อส่วนหน้าไม่มั่นคงเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินที่สูงและการไหลเข้ามาของน้ำที่เป็นผลตามมา

วิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ(Manual Excavation Type Shield Method) จะเหมาะสมที่สุดสำหรับทรายที่ผสมกับกรวด ซึ่งเป็นซากที่เหลือจากน้ำท่วมที่หนาแน่น ทรายและ โคลน

เลนซีเมนต์ และชั้นดินเหนียวเพราะว่าโดยปกติส่วนหน้าจะทนทานในดินประเภทเหล่านี้ ส่วนหน้าจะไม่ทนทานในทรายซึ่งเป็นดินทรายโคลนที่น้ำพัดพามาซึ่งมีความอ่อนนุ่มมาก โคลนเลนและชั้นดินเหนียว ดังนั้นมาตรการสนับสนุนหนึ่งหรือมากกว่ามาตรการจะถูกใช้อย่างพร้อมเพรียงกัน วิธีห้วยเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ(Manual excavation type shield method) เป็นรูปแบบแรกของวิธีการด้านห้วยเจาะอุโมงค์(Shield) ทั้งหมด และเป็นที่ยอมรับกันจนกระทั่งถึงครึ่งหลังของทศวรรษ 1970 ในญี่ปุ่น ในปัจจุบันนี้ไม่ค่อยได้ใช้ สิ่งที่ทำแทนก็คือ เครื่องจักรห้วยเจาะอุโมงค์แบบมีส่วนหน้าปิด(Close-face type shield machines)ใช้เพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าความไม่ไว้วางใจอย่างมากเกี่ยวกับมาตรการสนับสนุน

ง. วิธีห้วยเจาะอุโมงค์แบบกึ่งกลไก(Semi-Mechanical Type Shield Method) จะใช้ในพื้นดินที่ทนทานอยู่ด้วยตนเองได้ในหลักการ ดินที่สามารถประยุกต์ได้ โดยลักษณะเป็นตัวอย่างจะรวมถึงทรายผสมกรวดซึ่งเป็นซากที่เหลือจากน้ำท่วม ทราย โคลนเลนที่เป็นซีเมนต์และดินเหนียวมันจะไม่เหมาะสมสำหรับสิ่งสะสมของดินทรายโคลนซึ่งน้ำพัดพามาที่อ่อน วิธีการการใช้แรงดันลม การลดหรือขจัดน้ำ การเป็นตะกอนของสารเคมี และมาตรการการสนับสนุนอื่นๆ อาจจะใช้ในการรวมกันเข้าในลักษณะเดียวกัน ดังเช่น ที่ใช้กับวิธีเดียวกับวิธีห้วยเจาะอุโมงค์แบบขุดด้วยมือ(Manual Excavation Type Shield Method)

จ. วิธีห้วยเจาะอุโมงค์แบบกลไก(Mechanical Type Shield Method) จะติดตั้งอุปกรณ์ด้วยหัวตัดเลียนแบบหมุนรอบสำหรับการขุดที่ต่อเนื่อง ส่วนหน้าหัวเครื่องตัดมี 2 ประเภท ประเภทแรกคือประเภทแผ่นหน้าและประเภทที่สองคือชนิดที่คล้ายซี่ล้อรถ ประเภทแผ่นหน้าเหมาะสำหรับส่วนตัดขนาดใหญ่ ส่วนหน้าที่มันคงและการปรับที่ปรับได้จะช่วยให้เกิดความสามารถแก่เครื่องที่จะดำเนินผ่านชั้นที่มีกรวดและหินก้อนใหญ่จำนวนมาก ประเภทซี่ล้อรถจะใช้บ่อยเพื่อจะขจัดกรวดและหินก้อนใหญ่จำนวนมากออกจากส่วนตัดเล็กๆที่มีส่วนหน้าค่อนข้างจะมันคง เช่นเดียวกับกับประเภทการขุดด้วยมือและแบบกึ่งกลไก เครื่องจักรห้วยเจาะอุโมงค์แบบกลไก (Mechanical Type Shield Machines) จะเหมาะสมสำหรับสิ่งสะสมเกี่ยวกับซากเหลือน้ำท่วมที่มีส่วนหน้าทนทานอยู่ด้วยตนเอง การใช้ที่ผสมผสานกันของมาตรการช่วยหนึ่งอย่างหรือมากกว่า เช่นวิธีเกี่ยวกับแรงดันลม การลดหรือขจัดน้ำ การเป็นตะกอนทางเคมี จะเป็นเชิงบังคับสำหรับเครื่องจักรห้วยเจาะอุโมงค์แบบกลไก(Mechanical Type Shield Machines) ในสิ่งสะสมดินโคลนทรายที่น้ำพัดพามาที่โดยปกติจะไม่ก่อรูปส่วนหน้าที่ทนทานอยู่ได้ด้วยตนเอง

ฉ. วิธีห้วยเจาะอุโมงค์แบบ Blind Shield (Blind Type Shield Method) ส่วนกันจะถูกจัดให้อย่างเบาบางอยู่หลังส่วนหน้าเพื่อจะทำให้เครื่องเหมาะสมสำหรับการทำเน้นไปข้างหน้าผ่าน

พื้นดินที่อ่อนมาก ส่วนกันจะถูกเปิดบางส่วนเพื่อจะขจัดดิน หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบหัวบอดจะเหมาะที่สุดสำหรับชั้นโคลนเลนที่เป็นดินทรายโคลนซึ่งน้ำพิคพามาผสมกับทราย มันจะไม่เหมาะสมสำหรับดินแข็งเพราะว่ามันได้รับการออกแบบเพื่อจะบีบรัดดินโดยผ่านทางเปิด ดินที่มีปริมาณบรรจุทรายสูง มักจะอุดเครื่องที่จะทำให้มันไม่สามารถสืบหน้าต่อไป ถ้าหากดัชนีความคล่องตัวมีสูงเกินไป ในทางตรงข้ามการไหลเข้าของดินอาจจะกลายเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่ส่งผลในการขจัดดินมากเกินไป แรงพุ่งสำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบหัวบอดควรจะทำกรคำนวณในขณะที่พิจารณาสภาพดิน อัตราการเปิดส่วนหน้า ฯลฯ สภาพดินที่สามารถประยุกต์ได้จะถูกจำกัดมากและการทำให้เสียรูปเกี่ยวกับพื้นดินค่อนข้างจะมีมาก สำหรับเหตุผลเหล่านี้ หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบหัวบอดไม่ได้ถูกนำมาใช้ นานแล้ว

5.4.6. ผนังอุโมงค์

ผนังอุโมงค์ (Lining) จะถูกพิจารณาให้ปลอดภัย และโครงสร้างต้องต้านทานแรงจากพื้นดิน และแรงดันที่กระทำโดยน้ำ และน้ำหนักต่างๆจากดิน โดยรอบ เพื่อที่จะพิจารณาออกแบบชั้นส่วนภายในอุโมงค์ และพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานของอุโมงค์ และเงื่อนไขในการก่อสร้าง

หลักสำคัญของผนังอุโมงค์ (Lining) มี 3 ข้อ

1. เพื่อจะทนทานต่อภาระการไหลค บนอุโมงค์ต่างเพียงพอและต่างปลอดภัย
2. เพื่อจะสงวนหน้าที่สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้อุโมงค์
3. เพื่อจะมีโครงสร้างผนังอุโมงค์ (Lining) ที่เหมาะสมสำหรับเงื่อนไขการสร้างอุโมงค์

ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของแรงขับอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ (Shield-Driver Tunnel) จะมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับข้อ 3 ที่ได้กล่าวข้างต้น ผนังอุโมงค์ (Lining) จะได้รับการจัดประเภทเป็นผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และ ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) จากประเด็นความคิดเห็นของการก่อสร้าง ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) โดยทั่วไปจะเป็น โครงสร้างคอนกรีตที่จัดอย่างเหมาะสม ขณะที่ ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) จะเป็นชนิดคอนกรีตที่หล่อในที่ข้างในผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining)

สถานการณ์ที่แสดงถึงคุณลักษณะของผนังอุโมงค์ (Lining) มีดังนี้

1. ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) ทำหน้าที่สำหรับต้านทานการบรรทุก ที่มีต่ออุโมงค์โดยจะแบ่งน้ำหนักบรรทุกระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และ ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining)
2. ผนังอุโมงค์ (Lining) เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของอุโมงค์ต้องสามารถซ่อมบำรุงและสามารถที่จะจัดการได้เมื่อใดที่เปิดให้บริการ ในด้านเกี่ยวกับสภาพที่น้ำไม่เข้า การกั้นน้ำ และความทนทานของผนังอุโมงค์ (Lining)
3. หน้าที่ของผนังอุโมงค์ (Lining) ในระหว่างการสร้างอุโมงค์หรือทางใต้ดินก็คือเพื่อจะรับภาระแรงผลักดันเกี่ยวกับการทำให้ลึบหน้าสำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield และเพื่อจะทนต่อความดันเกี่ยวกับการแทงยึดที่เติมด้านส่วนหลัง ผนังอุโมงค์ (Lining) มีหน้าที่เป็นโครงสร้างผนังอุโมงค์ (Lining) ของอุโมงค์อย่างทันทีทันใด แล้วหลังจากที่หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield สามารถขุดเจาะได้เพิ่มขึ้น

วิธีการของผนังอุโมงค์ (Lining) ที่ใช้คอนกรีตที่ถูกต้องนอก ได้นำมาใช้เป็นการใช้แทนของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ คอนกรีตสดหรือสิ่งที่เติมได้เหมือนกันภายใต้ความดันในส่วนปลายของหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield) ที่สวมกับอุปกรณ์ด้วยรูปแบบภายในและกลไกของการทำให้เกิดความดันของคอนกรีต โครงสร้างผนังอุโมงค์ (Lining) ที่ก่อเป็นรูปแบบถูกทำให้เหมาะที่ใช้กับพื้นผิวของพื้นดินที่ถูกขุดเมื่อหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield สามารถขุดเจาะได้เพิ่มขึ้น

ช่วงเวลาระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) สามารถจะยาวหรือการเปลี่ยนแปลงการรับภาระโหลด ระหว่างระยะเวลานี้จะยากที่จะทำให้แน่ใจ และมันเป็นการยากด้วยเช่นกันที่จะประเมินการรับภาระโหลดระหว่างผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ด้วยเหตุผลเหล่านี้ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) จะได้รับการออกแบบตามปกติที่จะยึดถือการรับภาระ โหลดทั้งหมดบนอุโมงค์ หรือในฐานะเป็นโครงสร้างผนังอุโมงค์ (Lining) ที่สำคัญ

หน้าที่ของผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) จึงเป็นการคุ้มครองผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) โดยการป้องกันการสึกกร่อนและการเสริมกำลังของผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) เป็นงานท้ายสุดสำหรับหน้าที่ของการปรับ การวางแนวเส้นทางการเที่ยงเบน เส้นทางการกั้นน้ำและหน้าที่อื่นๆ ที่เหมาะสมสำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้อุโมงค์

ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) อาจได้รับการละเว้น โดยมีข้อแม้ว่าการกั้นน้ำของชั้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์และการป้องกันการสึกกร่อนจะได้รับการพิจารณาโดยสมบูรณ์ เมื่อผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ได้รับการออกแบบโดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างหลัก ความแข็งแรงของอุโมงค์จะเพิ่มขึ้นแต่พฤติกรรมของการประกอบโครงสร้างจะไม่สมบูรณ์ การศึกษาในรายละเอียดและในแบบเฉพาะจะเป็นที่ต้องการเมื่อโครงสร้างลักษณะเฉพาะนี้จะใช้ในโครงการการสร้างอุโมงค์ มาตรการต่อต้านที่ต่อต้านการทรุดตัวไม่เท่ากันและแผ่นดินไหวก็ควรจะจัดให้มีสำหรับพื้นดินที่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด และการเชื่อมต่อกับปล่องแนวตั้ง (Shaft) เมื่อทำการออกแบบผนังอุโมงค์ (Lining) สำหรับอุโมงค์ที่มีหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่จะสร้างขึ้นในพื้นที่ที่อ่อน

5.4.7. แผนงานเฉพาะสำหรับการอำนวยความสะดวกในอุโมงค์

อุโมงค์จะได้รับการวางแผนล่วงหน้าเกี่ยวกับการระบายน้ำ การระบายอากาศ แผนงานเกี่ยวกับการป้องกันภัยพิบัติและความสะดวกอื่นๆ รูหรือปากทางเข้าที่ขนาดใหญ่ ๔๗ ตามวัตถุประสงค์ของการใช้อุโมงค์ และตามที่กำหนดสำหรับการบำรุงรักษาและการจัดการอุโมงค์

1. ทางรถไฟ อุโมงค์สำหรับทางรถไฟจะต้องติดตั้งด้วยทางผ่าน การระบายน้ำ การระบายอากาศ ไฟฟ้า แผนกป้องกันอุบัติเหตุและอื่นๆ ตามรูปร่างของส่วนตัดอุโมงค์ความยาวอุโมงค์ แผนกงานส่วนนี้ระบบการเดินรถไฟ ๔๗ แต่ละแผนกงานเฉพาะควรจะได้รับการออกแบบเพื่อตอบสนองความพอใจแก่วัตถุประสงค์
2. ถนน อุโมงค์สำหรับถนนจะต้องติดตั้งด้วยเส้นทางตรวจสอบ แผนกงานระบายน้ำเส้นทาง การบำรุงรักษา การระบายอากาศ อุปกรณ์ส่องสว่าง แผนกงานป้องกันอุบัติเหตุและอื่นๆตามความยาวของอุโมงค์ และการนับการจราจร แต่ละแผนกควรจะได้รับการออกแบบเพื่อจะสนองความพอใจแก่วัตถุประสงค์
3. การกำจัดน้ำเสีย รูหรือปากทางเข้าที่ขนาดใหญ่ ซึ่งใช้เป็นรูเปิดระหว่างการทำความสะดวก การปฏิบัติการตรวจสอบของอุโมงค์ขนาดใหญ่การกำจัดน้ำเสียในการบริการ จะจัดให้มีที่ช่วงระหว่างที่เพียงพอ ช่วงระหว่างที่เป็นมาตรฐานคือ 100 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุโมงค์ หรือ 300 เมตร ซึ่งอะไรก็ตามที่น้อยกว่า
4. น้ำประปา อุโมงค์สำหรับน้ำประปาจะต้องจัดให้มีปล่องแนวตั้ง (Shaft) ที่จุดนูน และจุดเว้าตามการจัดให้เป็นเส้นเดียวกันในแนวยาว เพื่อตอบสนองความพอใจการบำรุงรักษา และการควบคุมความจำเป็น แต่ละช่องจะถูกจัดให้มีลิ้นปิดเปิดอากาศ (ที่จุดนูน) แผนกงานเฉพาะการระบาย (ที่จุดเว้า) ลิ้นปิดเปิดควบคุมน้ำ ช่องหรือปากทางเข้าที่ขนาดใหญ่ ปล่องแนวตั้ง (Shaft) แต่ละช่องจะต้องมี

ช่องหรือทางเข้าที่ขนาดใหญ่เพื่ออำนวยความสะดวก การบำรุงรักษา และการจัดการอุโมงค์ การระบายน้ำ การระบายอากาศ และแผนงานเฉพาะอื่น ๆ ก็ควรจะต้องคิดตั้งด้วยเช่นกันในอุโมงค์ และปล่องแนวตั้ง (Shaft)

5. เคนเบิลกำลัง อุโมงค์ในด้านเกี่ยวกับเคนเบิลกำลังอาจจะต้องการช่องหรือปากทางเข้าเพื่อจะบริการอุโมงค์และเพื่อวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาและการจัดการ ช่องหรือปากทางเข้าควรจะจัดให้มีในช่วงระหว่าง 500 ถึง 1,000 เมตร ในกรณีของแรงดันไฟฟ้าสูง ในด้านรระบายอากาศก็จะออกแบบด้วยเช่นกันเป็นช่องเปิดทางเข้าหรือทางออก และมาตรการต่อต้านที่ด้านการสูงขึ้นของอุณหภูมิจนในอุโมงค์ในการบริการและสุขอนามัย และการระบายอากาศสำหรับบุคลากรด้านการตรวจควรจะได้รับพิจารณาในการออกแบบรูการระบายอากาศควรจะจัดให้มีรูการระบายอากาศที่ประมาณช่วงระหว่าง 500 เมตร สิ่งอำนวยความสะดวกที่เป็นการช่วยที่จำเป็นในอุโมงค์ประกอบด้วยรางสายเคเบิล อุปกรณ์ส่องสว่าง การระบายอากาศ การระบายน้ำ การป้องกันภัยพิบัติ และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ
6. โทรคมนาคม อุโมงค์เกี่ยวกับโทรคมนาคมจำนวนมากจะถูกจัดให้มีปล่องแนวตั้ง (Shaft) ที่ช่วงระหว่างของ 700 ถึง 1,000 เมตร ที่จะอำนวยความสะดวกแก่ปฏิบัติการในอุโมงค์และสำหรับการจัดสาขา การตรวจ และการติดตั้งอุปกรณ์ส่องสว่างและวัตถุประสงค์อื่น สิ่งอำนวยความสะดวกที่ช่วยเสริมที่จะติดตั้งในอุโมงค์ ประกอบด้วยสิ่งจับยึดเคเบิล อุปกรณ์ส่องสว่าง การระบายอากาศ การจ่ายน้ำหรือการระบายน้ำ และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ผนังกันไฟและกันน้ำจะติดตั้งตามที่ต้องการ ระบบการตรวจสอบจะติดตั้งในอุโมงค์เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจัดการสิ่งอำนวยความสะดวกควบคุมทางเข้าหรือทางออกบุคลากร และสำหรับวัตถุประสงค์การกระจายเสียงและการสื่อสาร
7. การใช้เนกประสงค์ อุโมงค์เนกประสงค์จะต้องออกแบบรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกที่เป็นสิ่งช่วย ที่ต้องการโดยการใช้แต่ละอย่าง

5.4.8. มาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุน

1. สภาพของพื้นดิน ซึ่งหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield จะผ่านนำไปข้างหน้า และจะสำรวจการก่อสร้างและสภาพอื่นๆ และความจำเป็นของมาตรการช่วยที่จะต้องศึกษาเป็นการล่วงหน้า เพื่อจะทำให้แน่ใจว่ามีความมั่นคงแน่นอนหน้าเกี่ยวกับส่วนหน้าและผนังอุโมงค์ (Lining) ในคอนกรีต การมาถึงและส่วนตัดที่โค้งเฉียบขาด เมื่อมีการใช้หัวขุดเจาะประเภทปิดส่วนหน้า (Close-Face Type Shield) และความสมดุลของดินเมื่อใช้ หัวขุดเจาะประเภทเปิดส่วนหน้า (Open-Face Type Shield)

2. เมื่อการสร้างอุโมงค์เป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดการทรุดตัว เกิดความเสียหาย หรือเกิดการเสียรูปของโครงสร้างที่มีอยู่เกี่ยวกับการวางแนวเส้นทางของอุโมงค์ มาตรการสนับสนุนจึงจำเป็นที่จะทำการศึกษา

5.4.8.1. สถานการณ์ (1)

สำหรับด้านวิธีการเกี่ยวกับหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล(Earth Pressure Balance Type Shield) และวิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบน้ำเลนปรับสมดุลดิน (Slurry Type Shield) ซึ่งทั้งสองวิธีมีความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบันนี้ ส่วนหน้าจะถูกทำให้มั่นคงจากการใช้ความดันโคลน หรือความดันน้ำเลน มาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุนจะไม่เป็นที่ต้องการมากของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield เหล่านี้ในส่วนตัดธรรมดา อย่างไรก็ตามมาตรการจะต้องได้รับการพิจารณาสำหรับการสร้างในหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่เริ่มต้นและมาถึงของส่วนหน้าตัด และในส่วนตัดเหล่านี้มาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุนจะเป็นที่ต้องการในส่วนตัดเส้นโค้งที่เทียบขนาดด้วยเช่นกันเพื่อที่จะควบคุมตำแหน่งของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield และทำให้มั่นคงในผนังอุโมงค์ (Lining) เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการพัฒนาระบบหนึ่งเพื่อจะลดการใช้มาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุนโดยการปล่อยให้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ตัดผนังและสิ่งที่คล้ายกันที่เก็บกักดินได้โดยตรงโดยปราศจากการทำรูล่วงหน้า

วิธีการเกี่ยวกับหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Type Shield) และวิธีหัวขุดเจาะอุโมงค์แบบน้ำเลนปรับสมดุลดิน (Slurry Type Shield) จำเป็นที่จะใช้มาตรการที่เป็นสิ่งช่วยบางอย่างเช่น กระบวนการทางเคมี การฉีดพ่นที่มีความดันสูงและการผสม การทำให้เย็นจนแข็งของพื้นดิน และวิธีการใช้แรงดันลมเมื่อทำงานในชั้นของก้อนหินใหญ่ หรือกรวดขนาดใหญ่ด้วยการรับภาระน้ำหนักเหนืออุโมงค์ที่น้อย หรือในเงื่อนไขพิเศษอื่นใด ที่ทำให้ยากสำหรับหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield เหล่านี้จะดำเนินต่อไป จึงควรที่จะเอาใจใส่เป็นพิเศษเมื่อใช้วิธีเกี่ยวกับแรงดันลมเพราะว่า สภาพการทำงานสามารถถูกทำให้เลวลงได้ ความมีประสิทธิภาพในงานลดลง และการขาดจำนวนออกซิเจนที่ไปถึงเนื้อเยื่อ และอาการอื่นๆในระหว่างงานสามารถได้รับผลจากการใช้ของมัน

หัวขุดเจาะอุโมงค์แบบเปิดส่วนหน้า (Open-Face Type Shield) ที่ความสำคัญของมันถูกทำให้ลดลงในปีที่ผ่านมา ต้องการการทำให้มีเสถียรภาพในส่วนหน้าและการปฏิบัติการไหลเข้าของน้ำสำหรับการสร้างที่ปลอดภัย และที่จะสนองความพอใจต่อรายการกำหนดที่ได้วางแผนไว้ มาตรการที่เป็นการสนับสนุนจะมีความสำคัญด้วยเช่นกันที่จะทำให้มีเสถียรภาพแก่พื้นดินและป้องกันพื้นผิวที่รวมมาด้วย และการเคลื่อนไหวของพื้นดินที่อยู่ใกล้เคียง

ในเรื่องของมาตรการที่เป็นสิ่งสนับสนุน กระบวนการทางเคมี การฉีดพ่นด้วยความดันสูงและการผสม และการทำให้เย็นจนแข็งของดินเป็นความตั้งใจที่จะทำให้เกิดความแข็งแรงแก่ดิน และที่จะหยุดการไหลเข้าของน้ำ วิธีการที่เกี่ยวกับการใช้ลมจะใช้ด้วยเหมือนกันเพื่อหยุดการไหลเข้าของน้ำ ฯลฯ การทำให้ลดลงของน้ำก็เป็น การออกแบบที่จะลดการไหลเข้าของน้ำและปรับปรุงพื้นดิน โดยการใช้จุดสำคัญของบ่อ บ่อลึก อุโมงค์น้ำร่องหรือที่เหมือนกัน

5.4.8.2. สถานการณ์ (2)

มาตรการในการป้องกันสำหรับสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ประกอบด้วย ผนังที่ตัดออก การหมุนจากส่วนล่าง และวิธีใช้ท่อที่หลังคา ส่วนการฉีดพ่นความดันสูง และการผสม กระบวนการทางเคมี และมาตรการสนับสนุนอื่นๆจะส่งผลกระทบต่อด้วยเช่นกัน

5.4.9. ปล่องแนวตั้ง (Shaft) และสถานที่ก่อสร้าง

ปล่องแนวตั้ง (Shaft) และสถานที่ก่อสร้างจะได้รับการวางแผนที่ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม ขนาดของสิ่งเหล่านี้จะต้องเพียงพอสำหรับการให้มีหน้าที่ที่จำเป็นที่จะทำให้เกิดความสามารถในด้านความปลอดภัย และการดำเนินงานการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพ โดยการพิจารณาเงื่อนไขของเส้นทางของอุโมงค์และงานก่อสร้าง

ปล่องแนวตั้ง (Shaft) ประกอบด้วยการแยกออกไปของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield การอยู่ระหว่างกลาง การหมุน การมาถึง และช่องอื่น ๆ วิธีการการเชื่อมต่อหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield อยู่ใต้ดิน ซึ่งได้พัฒนาเมื่อเร็ว ๆ นี้ และวิธีการขุดต่อเนื่องเป็นมุมฉากจะไม่ต้องการปล่องแนวตั้ง (Shaft) ที่จะผลักดันอุโมงค์

ปัจจัยที่จะศึกษาในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสำหรับปล่องแนวตั้ง (Shaft) ในระหว่างสิ่งอื่นๆ จะประกอบด้วย ความใหญ่ของการสร้างอุโมงค์ (ความยาวของอุโมงค์และขนาดของส่วนตัด) การใช้ที่ดินในปัจจุบัน การทำให้ง่ายของการใช้ที่ดิน การขนส่งสิ่งสกปรก การระดมและการลดการระดมวัสดุก่อสร้าง และการทำให้ง่ายของการสร้างปล่องแนวตั้ง (Shaft) ขนาดของปล่องแนวตั้ง

(Shaft)จะกำหนดโดยการพิจารณาถึงส่วนตัดของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ประเภทและโครงสร้างของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield วัตถุประสงค์ของการใช้อุโมงค์ ฯลฯ

สถานที่การสร้าง จากลักษณะก็จะต้องตั้งใกล้ช่องที่แยกออกไป สถานที่สร้างจะต้องจัดให้มีเนื้อที่ว่างเพียงพอสำหรับการสร้างปล่องแนวตั้ง (Shaft) และสำหรับการขุดอุโมงค์ที่มีหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield การจัดบ้านพักที่ขึ้นชั้นว่าเหมาะสม และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ อาจจะติดตั้งได้ที่สถานที่สร้างเพื่อจะปกป้องสิ่งแวดล้อมเมื่อสถานที่ตั้งตั้งอยู่ในเขตเมือง

5.4.10. มาตรการการรักษาสิ่งแวดล้อม

เมื่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบด้าน เป็นไปได้ที่จะได้รับผลกระทบจากการสร้างอุโมงค์ จะต้องเอาใจใส่อย่างเต็มที่ต่อการรักษาสิ่งแวดล้อม

วิธีการเกี่ยวกับหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield โดยทั่วไปจะได้รับการพิจารณาที่จะให้มีผลกระทบเล็กน้อยต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ การขุดอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield จะดำเนินไปในเวลากลางวันและกลางคืน ในที่ใกล้เสียงพอดิกันที่เป็นของเอกชนในเขตเมืองในหลายกรณี

สิ่งแวดล้อมอาจจะได้รับผลกระทบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในและรอบๆสถานที่การก่อสร้าง จากการสั่นสะเทือนและเสียงอันเนื่องมาจากการก่อสร้างของปล่องแนวตั้ง (Shaft) การทำงานของการปั่นจั่น เครื่องสูบน้ำและเครื่องอัดอากาศสำหรับการผลักดันหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield การกำจัดสิ่งสกปรกและการทำงานของอุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย ที่ส่งผลอย่างเป็นไปได้ในคำร้องเรียนของผู้ที่อยู่อาศัยในท้องถิ่นสถานที่สร้างบางแห่งจะถูกปิดคลุมโดยรั้วป้องกันที่ทำด้วยแผ่นเหล็กควรจะพิจารณาถึงความกลมกลืนกับเพื่อนบ้านในท้องถิ่น

ผลกระทบในทางกลับกันอื่นๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยข้อเท็จจริงที่เป็นการกีดขวาง เรื่องของแสงสว่างโดยปล่องแนวตั้ง (Shaft) การทรุดลงของที่ดินและการยกสูงขึ้น การขจัดน้ำใต้ดินออกไป คุณภาพของน้ำเสื่อมลงและผลกระทบที่มีต่อพื้นผิวและสิ่งปลูกสร้างใต้ดินอันเนื่องมาจากการผ่านของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield และอิทธิพลจากกลุ่มคนอันเนื่องมาจากอากาศที่ขาดออกซิเจน การทะลักออกของน้ำหรือก๊าซ ก๊าซเป็นอันตรายที่เป็นผลมาจากการใช้วิธีเกี่ยวกับก๊าซหรือลม

ความเป็นไปได้เหล่านี้จะต้องดำเนินการสำรวจได้อย่างเต็มที่ และมีการศึกษาล่วงหน้า และจะต้องดำเนิน มาตรการต่อต้านที่เหมาะสม เพื่อจะปกป้องสิ่งแวดล้อม

ควรจะเอาใจใส่ด้วยเหมือนกันในการที่จะเปลี่ยนแปลงในน้ำใต้ดิน และข้อเท็จจริง เกี่ยวกับการกีดขวางของแสงสว่าง การแทรกแซงคลื่นวิทยุ เสียง การสั่นสะเทือน มลภาวะทางอากาศ และสิ่งทำนองเดียวกัน ด้วยเช่นกันที่เป็นสาเหตุจากสิ่งปลูกสร้างถาวรที่ผูกพัน (สำหรับการระบายอากาศ ฯลฯ) หลังจากการเสร็จสิ้นโครงการ

5.4.11. หมายกำหนดการของงาน

หมายกำหนดการของงานการขุดอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield Tunnel จะต้องทำ การวางแผนที่มุ่งไปที่การดำเนินการที่ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ในการพิจารณาถึง ความใหญ่เล็ก การต่อเนื่อง ระยะเวลา และ เงื่อนไขของงาน

รายการงานที่มีผลโดยตรงต่อหมายกำหนดการของการขุดอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield คืองานสร้างปล่องแนวตั้ง (Shaft) งานที่เกี่ยวกับการป้องกันสำหรับปล่องแนวตั้ง(Shaft)ที่แยก ออกไปและเข้ามา การสร้างอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield เอง การขุด การเอาสิ่งสกปรกออก การตั้ง ตรงของส่วนแบ่งออก การเทพูนลงยึดเพื่อเสริมส่วนหลังผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) การติดตั้ง และการเคลื่อนย้าย อุปกรณ์ก่อสร้าง ฯลฯ ปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบ โดยตรงต่อหมายกำหนดการ ประกอบด้วย การผลิตหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ชั้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ และหน่วยของ ส่วนประกอบ ฯลฯ อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้ มีอิทธิพลด้วยเช่นกัน ต่องานทั้งหมดตามที่กรณีอาจจะ เป็น จนทำให้หมายกำหนดการ โดยรวม จำเป็นจะต้องได้รับการตัดสินใจอย่างปะติดปะต่อกัน โดยการ พิจารณาถึงปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมด

5.4.12. การตรวจสอบ การวัด และบันทึกงาน

เงื่อนไขของงานในระหว่างการผลักดันหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield จะต้องตรวจสอบหรือ วัด เพื่อจะทำให้มั่นใจในความปลอดภัยของการสร้าง จึงขอแนะนำที่จะให้บันทึกผลเหล่านี้เป็นการ สรุปลง และส่งวนสิ่งที่บันทึกสำหรับงานภายหลัง

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการตรวจสอบ การวัด และการนำเอาบันทึกงาน ฯลฯ มีดังต่อไปนี้

1. เพื่อจะทำให้มั่นใจในการดำเนินการที่ปลอดภัยของงานชุดอุโมงค์ประเภทหัวชุดเจาะShield
2. เพื่อจะอ้างอิงถึงบันทึกงาน ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุของเหตุการณ์ดังกล่าว และในฐานะเป็นข้อ มูลทางเทคนิคสำหรับการแยกออก
3. เพื่อจะรวบรวมข้อมูลทางเทคนิคสำหรับการบำรุงรักษา การจัดการ การซ่อมแซมและอื่นๆ ของแผนงานเฉพาะที่ทำเสร็จสิ้น

สิ่งเหล่านี้มีความหมายจนทำให้มีความจำเป็นที่จะรักษาทันทีให้มีความแม่นยำและมีรายละเอียดเฉพาะเท่าที่เป็นไปได้

ข้อมูลเหล่านี้ควรจะถูกจัดเข้าแฟ้ม และรักษาไว้สำหรับการอ้างอิงในอนาคต การตรวจสอบ การวัด และการบันทึกงานในงานชุดอุโมงค์ประเภทหัวชุดเจาะ Shield ประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

ก. การตรวจสอบ

1. สำหรับหัวชุดเจาะอุโมงค์ประเภทปิดส่วนหน้า (Close-Face Type Shield) ความดันดินในห้องเครื่องตัด ความดันสารละลายที่ส่วนหน้า คุณสมบัติเฉพาะของสารละลาย ส่วนในด้านหัวชุดเจาะอุโมงค์ประเภทเปิดส่วนหน้า (Open-Face Type Shield) สภาพของส่วนหน้าและคุณภาพของน้ำที่ไหลเข้า
2. ความดันไฮดรอลิกของ Jacks แรงทอร์คของเครื่องตัด การเคลื่อนที่ทวนเวียน และความสมดุลของเครื่องตัด การควบคุมปริมาณและความดันของสิ่งที่ตกลงยึดเพื่อเติมส่วนหลัง การควบคุมปริมาณของการปล่อยดินที่ขุด
3. การสรุปของอุโมงค์ประเภทหัวชุดเจาะ Shield และการเบี่ยงเบนของเส้นศูนย์กลางจากการจัดให้อยู่ในเส้นเดียวกันที่ได้ออกแบบ
4. การเสีรูปของสิ่งปลูกสร้าง และสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใต้ดิน การแทนที่ของพื้นดินและการแปรผันของระดับน้ำใต้ดิน
5. ความเร็วลมที่จุดงาน และสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใต้ดินการแทนที่ของพื้นดินและการแปรผันของระดับน้ำใต้ดิน

6. สำหรับหัวข้อเจาะอุโมงค์ประเภทเปิดส่วนหน้าที่มีอากาศอัด (Open-Face Type Shield with Compression-Air) คือ ความดันอากาศอัดในอุโมงค์ในระหว่างชั่วโมงทำงาน การบริโภคอากาศและการรั่ว

ข. การสำรวจและการวัด

1. สำรวจเกี่ยวกับอาคารและบ่อที่มีอยู่
2. ความดันและการแทนที่ ที่เกิดขึ้นภายในหัวข้อเจาะอุโมงค์ Shield หรือผนังอุโมงค์ (Lining) และความดันดิน ความดันน้ำที่กระทำต่อหัวข้อเจาะอุโมงค์ Shield หรือผนังอุโมงค์ (Lining)

ค. บันทึกงาน

1. การลงรายการงาน ร่างตามที่ได้สร้างขึ้น (แผน ข้อคิด รูปร่างตามแนวยาวและภาคตัดขวาง ฯลฯ) ข้อมูลดิน
2. ภาพยนตร์ ภาพ วิดีโอ ฯลฯ

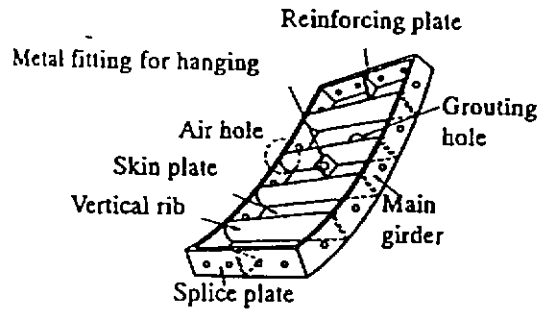
5.5. ข้อกำหนดทั่วไปของการออกแบบผนังอุโมงค์ได้ดิน

5.5.1. ขอบเขตของการประยุกต์ใช้

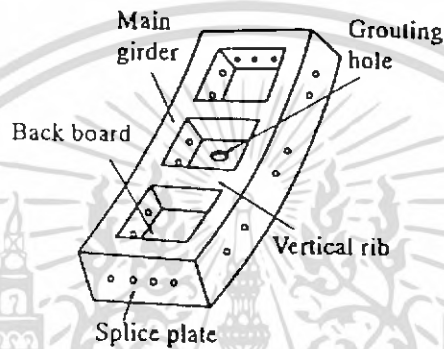
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของการออกแบบและผลิตผนังอุโมงค์ (Lining) โดยที่อุโมงค์มีลักษณะเป็นวงกลมและมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้กับอุโมงค์รูปร่างอื่น โดยได้รับความคิดเห็นจากวิศวกรผู้ควบคุม

5.5.2. คำจำกัดความ

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานกล่อง (Box Type Segment) คือ ชื่อโดยทั่วไปของชิ้นส่วนที่ประกอบด้วย Main Girders และ Splice Plates หรือ Vertical Ribs คำว่าชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานกล่อง (Box Type Segment) ใช้เรียกชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก ส่วนชิ้นส่วนที่ทำด้วยคอนกรีต เรียกว่า ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานคอนกรีต (Ribbed Type Concrete Segment)

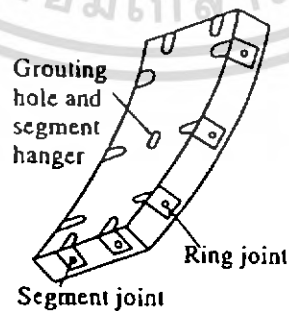


รูปที่ 5.15. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานกล่อง



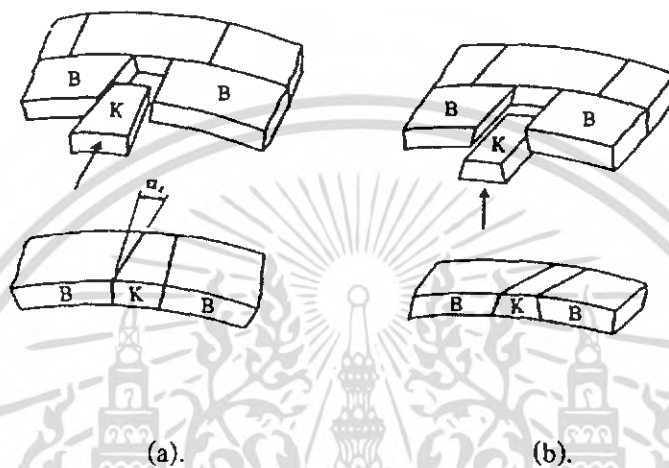
รูปที่ 5.16. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทประเภทคานคอนกรีต

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทแผ่นราบ (Flat Type Segment) คือ ชิ้นส่วนที่อยู่
 ในรูปแผ่นราบ (Flat Plate) จะเป็นชิ้นส่วนที่เป็นของแข็ง โดยปกติจะทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ใน
 ส่วนที่จะใช้สำหรับชิ้นส่วนประกอบที่ลอนกรีดหุ้มแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้าที่เป็นชิ้นแทนเหล็กเสริมที่
 เป็นเส้น



รูปที่ 5.17. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทแผ่นราบ

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) คือ ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) จะมี 2 รูปแบบแยกตามการประกอบเข้า รูปแบบแรกจะใส่ภายในอุโมงค์ตามรัศมี ส่วนอีก รูปแบบจะใส่ตามแนวยาวของอุโมงค์



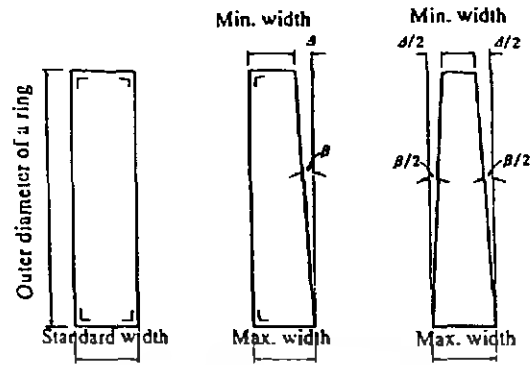
รูปที่ 5.18. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค
(a)แบบใส่ภายในอุโมงค์ตามรัศมี (b)แบบใส่ตามแนวยาวของอุโมงค์

จำนวนชิ้นส่วนประกอบวงแหวน (Number of Division) คือ จำนวนของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ที่ประกอบเป็นวงแหวนอุโมงค์ 1 วงแหวน

วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Taper Ring) คือ วงแหวนที่มีส่วนเรียวให้เสถียรเพื่อใช้ในการวางโค้งของอุโมงค์หรือเพื่อปรับการเรียงตัวของอุโมงค์

รอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Joint) คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ในวงแหวนอุโมงค์

รอยต่อวงแหวน (Ring Joint) คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างวงแหวนของอุโมงค์แต่ละวงแหวนเข้าด้วยกัน



(a). (b). (c).

รูปที่ 5.19. แสดงลักษณะด้านข้างของวงแหวนผนังอุโมงค์

- (a). วงแหวนผนังอุโมงค์ทางตรง (b). วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียวทางซ้ายหรือทางขวา
 (c). วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเอนกประสงค์

5.5.3. การเลือกโครงสร้างและประเภทของผนังอุโมงค์

การเลือกความแข็งแรง โครงสร้างและประเภทของผนังอุโมงค์ควรเลือกให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการใช้อุโมงค์ สภาพชั้นดินและวิธีการก่อสร้าง

ในหลายกรณี ผนังอุโมงค์ประกอบด้วยผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) และผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) และต้องการการบำรุงรักษาภายใน โดยการค้ำยันดินโดยตรง ต้องการความเหมาะสมต่อจุดประสงค์การใช้อุโมงค์ และมีการปฏิบัติงานที่จำเป็นสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์

ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) รูปแบบโดยทั่วไปจะใช้ ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานกล่อง (Box Type Segment) หรือชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทแผ่นราบ (Flat Type Segment) Flat Type ปิดติดด้วย สลักเกลียว (bolt) ชิ้นส่วนสามารถแยกประเภทโดยวัสดุที่ใช้ผลิต

การเลือกประเภทของชิ้นส่วนควรใช้ความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์จากอุโมงค์ สภาพชั้นดิน และวิธีการก่อสร้าง ปัจจุบันชิ้นส่วนคอนกรีตหรือเหล็ก มีมาตรฐานมิติ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และความกว้างที่ใช้สำหรับอุโมงค์ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง เช่น งานส่งน้ำระบายน้ำ ส่วนขนาดใหญ่ เช่น รถไฟใต้ดิน โดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตเป็นหลัก อื่นๆ ชิ้นส่วนเหล็กหล่อใช้ในงานอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่ ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงสภาพชั้นดิน ชิ้นส่วนคอนกรีตของ Box Type หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flat Type จะถูกนำมาเป็นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ ขณะที่ชั้นส่วนเหล็กหล่อ หรือ เหล็กกล้า จะใช้ในที่ที่พิจารณาแรงกระทำเป็นพิเศษ หรือ ชั้นส่วนที่ต้องการทำช่องเปิด

เมื่อคำนวณแรงกระทำต่อผนังชั้นอุโมงค์ การหาค่าที่แน่นอนของคุณสมบัติของโครงสร้างอุโมงค์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะฉะนั้นการเลือกโครงการสร้างผนังอุโมงค์ ก่อนข้างที่จะสำคัญที่จะตัดสินใจ ถึงความสำคัญที่จะออกแบบ ของผนังที่ต้องการ

ผนังอุโมงค์ชั้นใน(Secondary Lining) เป็น โครงสร้างภายในผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการแทนที่ด้วยการประยุกต์ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) โดยการใช้การใส่ท่อ (ท่อเหล็ก, ท่อเหล็กหล่อ ฯลฯ) บริเวณช่องว่างระหว่างท่อกับผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) คือ การถมกลับคืน

เมื่อผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) ถือว่าเป็น โครงสร้างถาวรผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) จะใช้เพื่อ

1. ป้องกันการกัดกร่อน
2. เพิ่มความแข็งแรง
3. ปรับการเรียงตัวของอุโมงค์
4. กันน้ำซึม
5. ตกแต่งภายใน

5.5.4. พื้นฐานของการออกแบบ

การออกแบบผนังอุโมงค์ควรอยู่บนพื้นฐานของความปลอดภัยที่ยอมให้กับจุดประสงค์การใช้งานใช้อุโมงค์ และควรขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบจากความเค้นที่ยอมให้บนเงื่อนไขที่เพียงพอและเหมาะสมกับการก่อสร้าง งานจะต้องทำโดยใช้วัสดุที่มีคุณภาพดี

พื้นฐานและหลักการในการออกแบบผนังอุโมงค์ แรงที่ใช้ออกแบบและทางเลือกโครงสร้างควรอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์และทฤษฎี และการดำเนินงานว่าสามารถบอกผลสะท้อนกลับได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามพฤติกรรมแรงของอุโมงค์นั้นซับซ้อน อย่างน้อยที่สุดความปลอดภัยของโครงสร้างเป็นพื้นฐานของการออกแบบ เมื่อเกิดปัญหาของความไม่แน่นอนเพียงเล็กน้อย

การออกแบบผนังอุโมงค์นั้น ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญไม่เฉพาะหลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้วเท่านั้นแต่ขณะก่อสร้างก็ต้องปลอดภัยด้วย

5.5.5. ขั้นตอนการออกแบบ

มีความจำเป็นที่จะต้องอธิบายให้ชัดเจนถึงสภาพ ความคิด ข้อเสนอพื้นฐาน และ ขั้นตอนการคำนวณ

เนื้อหาของการคำนวณออกแบบควรจะชัดเจนทุกขั้นตอนตามข้างล่าง

1. แรงที่ใช้ออกแบบ
2. ความเค้นที่ขอมให้และอัตราส่วนปลอดภัย
3. ประเภทและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้
4. สภาพชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน
5. เงื่อนไขการก่อสร้าง
6. วิศวกรผู้ออกแบบ
7. วันที่ประกาศใช้

5.5.6. แบบก่อสร้าง

แบบก่อสร้างควรระบุบอกตำแหน่งติดตั้งของโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของโครงสร้าง ที่สัมพันธ์กับหน้าตัดอย่างชัดเจน

แบบก่อสร้างต้องมีข้อมูลตามที่กำหนด

1. แรงที่ใช้ออกแบบ
2. ความเค้นที่ขอมให้และอัตราส่วนปลอดภัย
3. ประเภทและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้
4. สภาพชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน
5. สภาพการก่อสร้าง
6. ชื่อและตำแหน่งของวิศวกรผู้ออกแบบ
7. มาตรฐาน
8. หน่วยที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 125 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6. น้ำหนักบรรทุก

5.6.1. น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ

น้ำหนักบรรทุกที่ควรพิจารณาในการแบบผนังอุโมงค์

1. แรงดันดินในแนวตั้งและในแนวราบ
2. แรงดันน้ำ
3. น้ำหนักบรรทุกคงที่
4. น้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน
5. แรงต้านทานของดิน
6. น้ำหนักภายใน
7. น้ำหนักจากการก่อสร้าง
8. ผลกระทบจากแผ่นดินไหว
9. ผลกระทบจากอุโมงค์ใกล้เคียง
10. ผลกระทบจากการทำงานบริเวณใกล้เคียง
11. ผลกระทบจากการทรุดตัวของชั้นดิน
12. อื่นๆ

ผนังอุโมงค์ (Lining) ต้องได้รับการออกแบบและการรับรองในเรื่องความปลอดภัยของอุโมงค์และการปฏิบัติงานไม่เฉพาะหลังที่ดำเนินการเปิดใช้แล้วแต่ต้องมีความปลอดภัยในระหว่างทำการก่อสร้างด้วย แรงที่จะนำมาประกอบการพิจารณาการออกแบบอาจพิจารณาจากจุดประสงค์การใช้อุโมงค์แรงที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแบ่งแยกได้ 3 ประเภทดังนี้

น้ำหนักกระทำหลัก (Primary Loads)

- แรงดันดินในแนวตั้งและในแนวราบ
- แรงดันน้ำ
- น้ำหนักบรรทุกคงที่
- น้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน
- แรงต้านทานของดิน

น้ำหนักกระทำรอง (Secondary Loads)

- น้ำหนักภายใน
- น้ำหนักจากการก่อสร้าง
- ผลกระทบจากแผ่นดินไหว

น้ำหนักกระทำพิเศษ (Special Loads)

- ผลกระทบจากอุโมงค์ใกล้เคียง
- ผลกระทบจากการทำงานบริเวณใกล้เคียง
- ผลกระทบจากการทรุดตัวของชั้นดิน
- อื่นๆ

น้ำหนักกระทำหลัก (Primary Loads) เป็นแรงพื้นฐานที่จะต้องนำมาพิจารณาเสมอในการออกแบบ น้ำหนักกระทำรอง (Secondary Loads) จะเกิดขึ้นระหว่างทำการก่อสร้างหรือหลังจากก่อสร้างอุโมงค์เสร็จแล้ว ซึ่งจะถูกนำมาพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของอุโมงค์ สภาพการก่อสร้างและตำแหน่งของอุโมงค์ ในขณะที่น้ำหนักกระทำพิเศษ (Special Loads) จะถูกนำมาพิจารณาโดยเฉพาะตามสภาพชั้นดินและการใช้ประโยชน์จากอุโมงค์

น้ำหนักบรรทุกเหล่านี้ที่นำมาพิจารณาเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ แต่การวิเคราะห์ผลจากน้ำหนักบรรทุกไม่คงที่จะถูกนำมาใช้เมื่อแผ่นดินไหวมีผลกระทบต่ออุโมงค์ การออกแบบผนังอุโมงค์โดยการวิเคราะห์แรงเช่นนี้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

5.6.2. แรงดันในแนวตั้งและแนวราบ

ขึ้นอยู่กับสภาพชั้นดิน แรงดันน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งได้ 2 แบบในการหาค่าแรงดันดิน

1. แรงดันน้ำใต้ดินกระทำแยกจากแรงดันดิน (แรงดันประสิทธิผล)
2. แรงดันน้ำใต้ดินกระทำรวมกับแรงดันดิน (แรงดันรวม)

แรงดันในแนวตั้งจะเป็นน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform Load) กระทำต่ออุโมงค์ที่ส่วนบน (Crown) ของอุโมงค์ ขนาดของแรงจะพิจารณาจากความหนาของดินเหนืออุโมงค์ รูปร่างหน้าตัดและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของผนังอุโมงค์และสภาพชั้นดิน

แรงดันดินในแนวราบควรจะเป็นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ และจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักของดินและความลึก โดยจะกระทำที่จุดศูนย์กลางของผนังอุโมงค์ที่ส่วนบน (Crown) และส่วนล่าง (Bottom) ของอุโมงค์ ขนาดของแรงคำนวณจากการคูณแรงดันดินในแนวตั้งกับสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

แรงที่กระทำบนผนังอุโมงค์เป็นแรงที่ซับซ้อนพอสมควรและยากต่อการหาค่าที่แน่นอน ตามที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีที่ใช้หาค่าแรงดันดิน โดยทั่วไป แรงดันดินที่กระทำต่อผนังอุโมงค์ตามที่กล่าวข้างต้นอธิบายถึงการหาค่าแรงดันดินโดยไม่คำนึงถึงการผิดรูปของอุโมงค์ แรงดันดินที่กระทำต่ออุโมงค์ที่ ส่วนล่าง (Bottom) ที่พิจารณาคือแรงด้านทานของดิน

การคำนวณหาค่าแรงดันดินมี 2 วิธี หนึ่งคือแยกแรงดันน้ำออกจากแรงดันดิน (แรงดันประสิทธิผล) และอีกวิธีคือรวมแรงดันดินและแรงดันน้ำเข้าด้วยกัน (แรงดันรวม) โดยวิธีแรกจะนำมาประยุกต์ใช้กับดินทรายและวิธีหลังใช้กับดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว อาจยกเว้นดินพวกดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)

5.6.2.1. แรงดันดินในแนวตั้ง

แรงดันดินในแนวตั้งจะกระทำต่อผนังอุโมงค์ในระยะยาวมันเป็นสิ่งที่ดีกว่าที่ไม่ถือว่ามีผลกระทบของดินต่อผนังอุโมงค์จากการที่ดินเหนียวอุโมงค์นั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของอุโมงค์ เพราะฉะนั้นการใช้ Loosening Pressure ในการออกแบบ โดยอาจจะเกิดปัญหาในดินทรายแต่ไม่มีผลต่อดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว มากไปกว่านั้นสภาพของชั้นดินต้องสนใจเพราะแรงดันดินในบางครั้งมีแนวโน้มจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะแรงดันที่กระทำบนท่อที่ฝังดินอยู่ซึ่งดินเหนียวอุโมงค์มีค่ามากเมื่อเทียบกับขนาดของอุโมงค์ อาจเป็นไปได้ที่จะใช้สูตร Loosening Pressure ในการหาค่าแรงดันดินในแนวตั้งโดย ในดินทรายถ้าดินเหนียวอุโมงค์มีความหนา 1 ถึง 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของอุโมงค์หรือมากกว่าจะใช้สูตรคำนวณ Loosening Pressure ในดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวถ้าความหนาของดินเหนียวอุโมงค์หนา 1 ถึง 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของอุโมงค์หรือมากกว่า ในดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay $N \geq 8$) จะใช้สูตรคำนวณ Loosening Pressure ในขณะที่ดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Stiff Clay $4 \leq N < 8$) หรือ ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay $2 \leq N < 4$) จะใช้การหาค่าตามปกติ

5.6.2.2. แรงดันดินในแนวราบ

คล้ายกับแรงดันดินในแนวตั้ง เป็นเรื่องยากที่จะประมาณแรงดันดินในแนวราบให้ถูกต้อง โดยหาได้จากการคูณกันระหว่างแรงดันดินในแนวตั้งกับสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง หรืออาจจะสมมติให้แรงดันดินในแนวตั้งที่หาได้นั้นเป็นน้ำหนักที่กระทำอยู่ที่ส่วนบน (Crown) ซึ่งน้ำหนักบรรทุกนี้จะเพิ่มอัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อความลึกของชั้นดินวัดจากส่วนบน (Crown) สามารถนำมาใช้หาค่าแรงดันดินในแนวราบได้

สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างควรหาจากความเกี่ยวข้องกับวิธีการคำนวณออกแบบและวิธีการก่อสร้างไม่ใช่ธรรมชาติของดิน อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งที่ยากที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ได้อย่างถูกต้องแต่สามารถหาได้จากค่าที่แสดงในตารางที่ 5.5. การเปลี่ยนแปลงของแรงกายในที่กระทำต่อผนังอุโมงค์นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันดินในแนวตั้งและแนวราบค่อนข้างมาก ดังนั้นควรจะมีตารางในการหาค่าหลังจากพิจารณาถึงสภาพชั้นดินและการใช้ประโยชน์จากอุโมงค์

ตารางที่ 5.5. แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

วิธีออกแบบ	ชนิดของดิน	λ
แรงดันประสิทธิผล	ดินทรายแน่นมาก	0.30 - 0.45
	ดินทรายแน่น	0.45 - 0.55
	ดินทรายหลวม	0.50 - 0.60
	ดินเหนียวแข็งมาก	0.35 - 0.45
	ดินเหนียวแข็ง	0.45 - 0.55
	ดินเหนียวปานกลาง	0.45 - 0.55
แรงดันรวม	ดินเหนียวปานกลาง	0.55 - 0.65
	ดินเหนียวอ่อน	0.65 - 0.75
	ดินเหนียวอ่อนมาก	0.75 - 0.85

5.6.3. แรงดันน้ำ

1. ระดับน้ำใต้ดินควรจะกำหนดโดยการออกแบบในด้านความปลอดภัย ความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินในขณะที่ก่อสร้างและหลังการก่อสร้าง
2. แรงดันในแนวตั้งควรจะกระจายเท่าๆ กันและขนาดของแรงดันควรจะเป็นแบบแรงดันน้ำแบบสถิตย์ (Hydrostatic Pressure) กระทำบนจุดสูงสุดของอุโมงค์และจุดต่ำสุดของอุโมงค์
3. แรงดันน้ำในแนวราบควรจะกระจายอย่างสม่ำเสมอและขนาดของแรงจะเป็นแบบแรงดันน้ำแบบสถิตย์ (Hydrostatic Pressure)

แรงดันน้ำกระทำบนผนังอุโมงค์ขณะที่การทำงานของอุโมงค์แสดงความแตกต่างของลักษณะจากสภาพดินเดิมต่อสภาพการก่อสร้าง มันค่อนข้างยากที่คาดเดาแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจริง ระดับน้ำใต้ดินในระยะยาวมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติหรืออิทธิพลที่ไม่แน่นอน สำหรับอุโมงค์ที่ตั้งอยู่ในที่ระดับน้ำใต้ดินสูงไม่ต้องนำมาออกแบบเพื่อความปลอดภัย ถ้าอยู่ในระดับน้ำใต้ดินต่ำจะต้องนำมาออกแบบเพื่อความปลอดภัย มีความสำคัญมากที่จะต้องหาค่าระดับน้ำใต้ดินให้ถี่ถ้วนเพื่อจะคำนวณแรงดันน้ำ

ถ้าหน่วยน้ำหนักจมน้ำ คือ หน่วยน้ำหนักที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน แรงดันน้ำแบบสถิตย์ (Hydrostatic Pressure) เป็นการเหมาะสมที่จะเป็นแรงดันน้ำที่ใช้ออกแบบ อย่างไรก็ตามการกระจายและขนาดของแรงดันน้ำสามารถหาได้อย่างง่ายโดยทำตามข้อกำหนดของแรงดันดิน

ผลของแรงดันน้ำที่กระทำต่อผนังอุโมงค์ เป็นแรงลอยตัวถ้าผลของแรงดันดินในแนวตั้งมากกว่าแรงลอยตัวจะทำให้เกิดแรงต้านทานของดินในแนวตั้งใต้อุโมงค์ (Subgrade Reaction) ถ้าแรงลอยตัวมีค่ามากกว่าแรงดันดินในแนวตั้งจะทำให้อุโมงค์ลอย อาจทำให้เกิดความเสียหาย จึงต้องมีการเพิ่มน้ำหนักให้ตัวอุโมงค์โดยการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) หรือเพิ่มน้ำหนักบนผิวดินด้วยค้ำน้ำหนัก

5.6.4. น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่

น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ คือ แรงในแนวตั้งที่กระจายตามความยาวบริเวณจุดศูนย์กลางของผนังอุโมงค์

ถ้าการกระจายของน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของจุดศูนย์กลางของผนังอุโมงค์

ในระหว่างการก่อสร้างผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ซึ่งจะต้องทำหลังจากผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) นั้นคงแล้วน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ไม่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบผนังอุโมงค์เพราะน้ำหนักของผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) จะถูกรับด้วยตัวของมันเอง อย่างไรก็ตามถ้าสมมติให้ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) รับน้ำหนักพร้อมกับ ผนังอุโมงค์หลัก (Primary Lining) น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) ควรจะใช้คำนวณด้วยในระหว่างการก่อสร้าง

สำหรับหน่วยน้ำหนักที่ใช้คำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของผนังอุโมงค์ ถ้ารู้ค่าน้ำหนักที่แท้จริงก็ควรนำมาใช้ แต่ถ้ารู้ก็สามารถใช้หน่วยน้ำหนักโดยประมาณ $24 - 26 \text{ kN/m}^3$ (สำหรับชั้นส่วนคอนกรีต)

5.6.5. ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน

ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน ควรจะกำหนดแรงที่ส่งผ่านที่ใช้พิจารณาความเค้นในพื้นดิน

ผลกระทบของความเค้นในพื้นดินเพราะน้ำหนักที่กระทำบนผิวดินหรือปฏิกิริยาของโครงสร้างฐานรากที่ลดลงตามความลึก เพราะฉะนั้น สามารถพิจารณาระยะไกลๆ จากจุดที่น้ำหนักกระทำ ผลกระทบจากน้ำหนักค้ำที่บนผิวดินส่วนมากในแรงดันดินที่กระทำต่อผนังอุโมงค์จะลดลงอย่างไรก็ตามไม่่ง่ายที่จะเจาะจงระดับของผลกระทบ ผลกระทบเหล่านี้ในแรงดันดินจะแปรผันขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำหนัก ประเภทของฐานราก ความลึกระหว่างดินที่อยู่เหนืออุโมงค์กับส่วนล่าง (Bottom) ของฐานรากและสภาพชั้นดิน

สำหรับการคำนวณค่าการส่งผ่านของความเค้นในดิน มีวิธีที่ใช้เช่น สูตรของ Boussinesg และ สูตรของ Westergaard

โดยปกติอุโมงค์จะไม่ตั้งอยู่ใต้โครงสร้างโดยตรงแต่จะอยู่ใต้ถนน ผลกระทบจากสิ่งก่อสร้างเหนืออุโมงค์จะต้องตรวจสอบถ้าอุโมงค์อยู่ใกล้เขตถนน

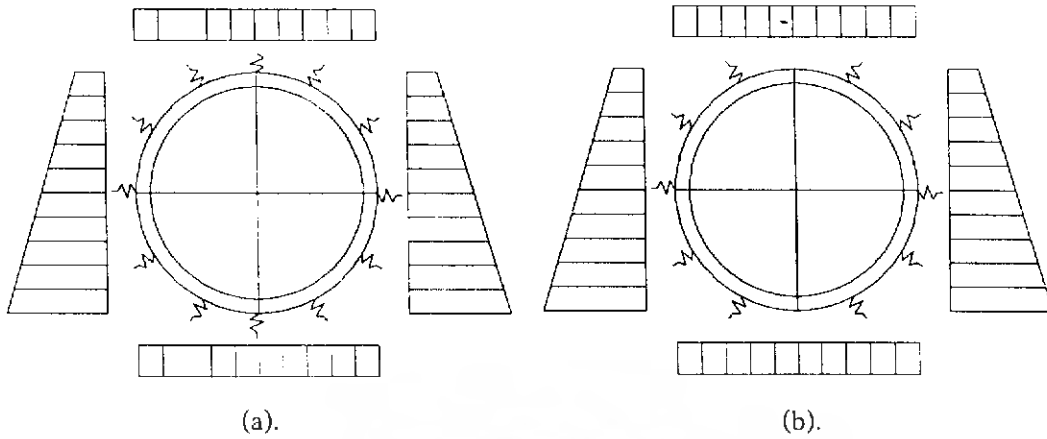
5.6.6. แรงต้านทานของดิน

ขอบเขตของการเกิดแรง รูปร่างของการกระจายและความหนาแน่นของแรงต้านทาน ควรพิจารณาที่รอยต่อโดยวิธีการคำนวณที่ใช้

ท่ามกลางน้ำหนักที่กระทำบนผนังอุโมงค์ แรงต้านทานของดินแตกต่างจากน้ำหนักอื่นที่สามารถกำหนดได้อย่างอิสระ โดยปกติแรงต้านทานของดินสามารถแยกได้เป็นแรงต้านทานที่ไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปของดินและแรงต้านทานที่ขึ้นกับการเปลี่ยนรูปของชั้นดิน สมัยก่อน การปฏิบัติโดยปกติที่จะระบุรูปร่างการกระจายของแรงต้านทานให้สอดคล้องกับแรงที่กำหนดได้ขณะที่ต่อมาการสันนิษฐานของ Winkler เป็นพื้นฐานที่ว่าแรงต้านทานเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปของผนังอุโมงค์ไปจนถึงชั้นดิน

วิธีที่ใช้ในการคำนวณ แรงต้านทานในแนวตั้งซึ่งมีสาเหตุมาจากน้ำหนักที่กำหนดได้ เป็นแรงต้านทานที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนรูปของดินและเป็นแรงต้านทานที่สม่ำเสมอเหมือนกับน้ำหนักที่กำหนดได้ ในอีกด้านหนึ่งแรงต้านทานในแนวราบเป็นแรงต้านทานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของผนังอุโมงค์ไปจนถึงชั้นดิน และมีรูปร่างการกระจายของแรงเป็นสามเหลี่ยม ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ตำแหน่ง Spring Line ผ่อกว้างในช่วง $\pm 45^\circ$ จาก Spring Line สำหรับการออกแบบสามารถใช้ค่าคงที่ของแรงต้านทานในแนวราบได้จากตาราง

อีกวิธีหนึ่งในการอธิบายถึงแรงกระทำชั้นดินกับผนังอุโมงค์ โดยสมมติให้ชั้นดินเปรียบเสมือนสปริง วิธีนี้แรงต้านทานของดินจะสมมติว่าเกิดจากการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์โดยเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนรูปของชั้นดิน โดยในยุโรป แบบจำลองจะให้ชั้นดินปกคลุมอุโมงค์โดยรอบ ส่วนในญี่ปุ่นจะใช้แบบจำลองของ Winkler



รูปที่ 5.20. แสดงแบบจำลองสปริง
 (a). แบบจำลองที่ให้ชั้นดินปกคลุมอุโมงค์โดยรอบ
 (b). แบบจำลองของ Winkler

5.6.7. นำหนักจากการก่อสร้าง

นำหนักจากการก่อสร้างที่ควรพิจารณา มีดังนี้

1. แรงผลักดันของแม่แรงกดหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Jacks)
2. แรงดันจากการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting)
3. นำหนักจากการดำเนินการติดตั้ง
4. อื่นๆ

นำหนักชั่วคราวที่กระทำบนชิ้นส่วนขณะขั้นตอนการก่อสร้าง จากขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนจนถึงขั้นตอนหลังจากการทำให้แข็งของการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) เพื่อเติมเต็มช่องว่างในส่วนท้าย ที่สะสมกัน เรียกว่า นำหนักจากการก่อสร้าง นำหนักนี้จะใช้พิจารณาในการออกแบบชิ้นส่วนจากความสัมพันธ์ของวิธีการก่อสร้าง

เป็นการยากที่จะกำหนดนำหนักจากการก่อสร้างได้แม่นยำ เพราะมันจะแปรผันขึ้นกับสภาพชั้นดินและสภาพการทำงาน ๔ อย่างใดก็ตาม สำคัญมากที่จะต้องทำความเข้าใจในนำหนักจากการก่อสร้าง เพราะการหาค่าที่เหมาะสมและผลสะท้อนของมันในการออกแบบจะนำไปสู่การใช้งานที่เข้าใจได้ง่ายของชิ้นส่วนและความมั่นคงและการปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ

1. แรงผลักดันของแม่แรงกดหัวชุดเจาะอุโมงค์ (Shield Jacks) เป็นแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนของอุโมงค์ ในขณะที่หัวชุดเจาะอุโมงค์ (shield) เคลื่อนที่ไปข้างหน้า
2. แรงดันจากการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) เมื่อทำการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) โดยการฉีดวัสดุเข้าไปที่ช่องว่างในส่วนท้ายแรงดันจากการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) จะกระทำเป็นน้ำหนักเพียงชั่วคราวบริเวณรอบๆ รูที่อัดฉีดน้ำปูน (Grouting)
3. น้ำหนักจากการดำเนินการติดตั้ง น้ำหนักจากการดำเนินการติดตั้ง ใช้ออกแบบตะขอกที่ยกขึ้นส่วนต้องศึกษาอิทธิพลของตะขอกต่อแต่ละชิ้นส่วนขณะประกอบเป็นวง
4. อื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมา น้ำหนักจากการก่อสร้างอื่นๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ของ Backup Carriage น้ำหนักที่กำหนดโดยประเภทของหัวชุดเจาะอุโมงค์ (Shield) ฯลฯ

5.6.8. น้ำหนักภายใน

น้ำหนักภายในคือ น้ำหนักที่กระทำด้านในผนังอุโมงค์หลังจากอุโมงค์เสร็จแล้วและกำหนดตามสภาพความเป็นจริง

น้ำหนักภายในจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของอุโมงค์ ความปลอดภัยของโครงสร้างของผนังอุโมงค์จะต้องรองรับน้ำหนักประเภทนี้ด้วย

การศึกษาถึงน้ำหนักนี้โดยปกติจะละเว้น นอกจากอุโมงค์จะอยู่ในชั้นดินที่อ่อนมาก อย่างไรก็ตามน้ำหนักภายในจะถูกพิจารณาถึงอิทธิพลต่อกำดั่งและการเปลี่ยนรูปของอุโมงค์

สำหรับอุโมงค์ที่ภายในจะมีแรงดันน้ำ ต้องการการเลือกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม รวมถึง ผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining) และนำสิ่งที่จำเป็นมาศึกษา แล้วนำไปรวมกับน้ำหนักอื่นที่ใช้ออกแบบ ในการศึกษานี้ แรงดันดินและแรงดันน้ำที่กระทำต่ออุโมงค์ควรจะมีครีวงในการกำหนดและการรับรองความปลอดภัยของอุโมงค์

5.6.9. ผลกระทบจากแผ่นดินไหว

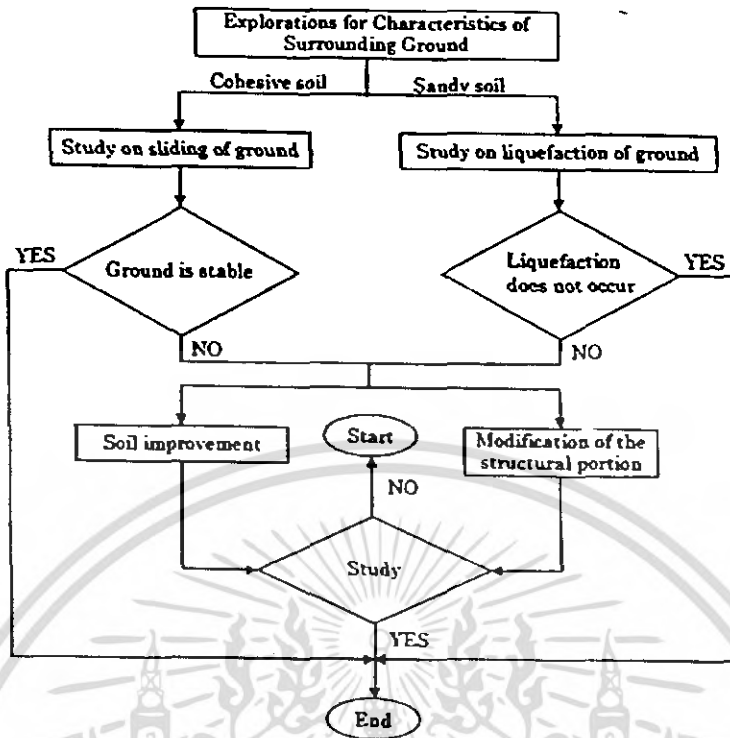
เมื่อคาดว่าจะเกิดผลกระทบจากแผ่นดินไหวควรศึกษาคำความสำคัญของอุโมงค์และพิจารณาถึงสภาพที่ตั้งของอุโมงค์ สภาพ โดยรอบของชั้นดิน การเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น รายละเอียดโครงสร้างของอุโมงค์และสภาพอื่นๆ ที่จำเป็น

เมื่อน้ำหนักของอุโมงค์เปรียบเทียบกับดินที่อุโมงค์อยู่นั้นอุโมงค์จะเบากว่า เพราะฉะนั้นแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออุโมงค์ แรงเฉื่อยของอุโมงค์มีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับดิน โดยรอบ ผลที่ตามมาคือ อุโมงค์จะสั่นเกือบจะเหมือนกับชั้นดิน ถ้าดินเหนืออุโมงค์มากกว่าความลึกที่แน่นอน เพราะฉะนั้นผลกระทบจากแผ่นดินไหวจะน้อยเมื่อเทียบกับอุโมงค์และความหนาของดินเหนืออุโมงค์ และในดินที่มีความสม่ำเสมอ เปรียบเทียบกับอุโมงค์ที่สร้างโดยวิธีอื่น เช่น วิธีขุดและปิดหน้าดิน (Cut & Cover) อุโมงค์ที่ใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield จะเคลื่อนไหวไปกับชั้นดินได้มากกว่า เพราะความแข็งแรงของอุโมงค์มีน้อยกว่า อย่างไรก็ตามเมื่ออุโมงค์ที่อยู่ในสภาพดังต่อไปนี้ ควรจะทำการศึกษา เพราะผลกระทบจากแผ่นดินไหวจะมีมาก

1. บริเวณที่โครงสร้างเปลี่ยนแปลงทันที เช่น จุดเชื่อมต่อระหว่างอุโมงค์ได้ดินกับปล่องแนวตั้ง (Shaft)
2. เมื่ออุโมงค์อยู่ในชั้นดินอ่อน
3. เมื่อสภาพชั้นดินทางธรณีวิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงความลึกของหินดินดานอย่างทันทีทันใด
4. เมื่อการวางตัวของอุโมงค์เป็นโค้งที่ค่อนข้างแหลม

โดยปกติการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวที่มีผลต่ออุโมงค์จะทำ 3 สิ่งคือ

1. ความมั่นคงของอุโมงค์และดิน โดยรอบ
2. การศึกษาทางจลน์ของอุโมงค์ในทางขวาง
3. การศึกษาทางจลน์ของอุโมงค์ในทางยาว



รูปที่ 5.21. แสดงขั้นตอนการศึกษาความมั่นคงของอุโมงค์และดิน โดยรอบ

5.6.10. ผลกระทบของการก่อสร้างอุโมงค์ข้างเคียง

เมื่อสร้างอุโมงค์ขนานกับอุโมงค์ที่มีอยู่ สภาพชั้นดิน โดยรอบ ตำแหน่งของอุโมงค์ที่สัมพันธ์กับอุโมงค์อื่น เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและวิธีการก่อสร้าง ควรจะนำมาพิจารณา ถ้าจำเป็นต้องพิจารณาว่า อุโมงค์มีปฏิกิริยาอย่างไรต่ออุโมงค์อื่นและผลกระทบซึ่งกันและกันขณะที่ทำการก่อสร้าง

การสร้างอุโมงค์ 2 อุโมงค์หรือมากกว่า อุโมงค์ควรจะตั้งขนานกันและใกล้ๆกันในแนวราบหรือตามแนวยาวสำหรับความยาวที่แน่นอน ความหลวมของดินมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาของอุโมงค์และผลกระทบจากการก่อสร้างควรจะนำมาพิจารณา และถ้าจำเป็นต้องมีมาตรการที่เหมาะสม เช่น การเสริมเหล็กในผนังอุโมงค์ หรือเพิ่มมาตรการ เช่น การปรับปรุงคุณภาพดินและป้องกันการเปลี่ยนรูปของดิน

หัวข้อที่ต้องพิจารณาก่อนก่อสร้างอุโมงค์ขนานมีดังนี้

1. ตำแหน่งของอุโมงค์ที่สัมพันธ์กับอุโมงค์อื่น
2. สภาพของดินรอบอุโมงค์
3. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุโมงค์

4. เวลาที่ใช้ในการก่อสร้างของอุโมงค์ที่กำลังจะสร้าง
5. ประเภทของหัวขุดเจาะอุโมงค์ Shield ที่ใช้ในการก่อสร้าง
6. น้ำหนักที่เกิดในช่วงเวลาการก่อสร้าง

5.6.11. ผลกระทบจากการทำงานบริเวณใกล้เคียง

เมื่อคาดว่าโครงสร้างอื่นจะถูกสร้างบริเวณใกล้เคียงขณะที่ก่อสร้างหรือหลังจากขุดเจาะอุโมงค์ การประเมินควรจะทำถ้าอาจเกิดผลกระทบที่เลวร้าย

มีหลายกรณีที่อุโมงค์หรือโครงสร้างอื่น สร้างพร้อมกันหรือหลังจากการก่อสร้างอุโมงค์จะมีผลกระทบจากการที่ดิน โดยรอบถูกรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขณะทำงาน การเสริมเหล็กของผนังอุโมงค์ การป้องกันที่เหมาะสมหรือการปรับปรุงดินอาจจะจำเป็น

ควรทำการเปลี่ยนเงื่อนไขในการคำนวณเมื่อ

1. เมื่อโครงสร้างใหม่จะสร้างเหนืออุโมงค์โดยตรง หรือ ใกล้เคียง สิ่งที่เปลี่ยนคือ น้ำหนักบรรทุกเหนือผิวดิน
2. เมื่อดินเหนือหรือใต้อุโมงค์โดยตรงถูกขุด สิ่งที่เปลี่ยนคือ เงื่อนไขของแรงดันดิน ในแนวตั้งและในแนวราบและคุณสมบัติของดิน เช่น ค่าคงที่ของแรงต้านทานของดิน
3. เมื่อดินด้านข้างของอุโมงค์ถูกรบกวน สิ่งที่เปลี่ยนคือ แรงดันดินหรือแรงต้านทานด้านข้าง
4. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของแรงดันน้ำ

5.6.12. ผลกระทบจากการทรุดตัวของดิน

ผลกระทบจากการทรุดตัวควรทดสอบเมื่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน

เมื่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน ต้องสนใจว่าดินมีคุณสมบัติอย่างไร หลังจากขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ ผลกระทบจากการทรุดตัวของดิน มีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากการทรุดตัวของดินต่ออุโมงค์และจุดต่อระหว่างอุโมงค์กับปล่องแนวตั้ง (Shaft)

ก. อุโมงค์

ผลกระทบจากการทรุดตัวของดินต่ออุโมงค์สามารถศึกษาได้ 2 ทางคือ

1. ศึกษาถึงผลกระทบของการทรุดตัวของอุโมงค์ในทางขวาง
2. ศึกษาถึงผลกระทบของการทรุดตัวไม่เท่ากันของอุโมงค์ในทางยาว

ข. จุดต่อระหว่างอุโมงค์กับปล่องแนวตั้ง (Shaft)

แนวโน้มความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ที่ปรากฏที่จุดต่อของอุโมงค์กับปล่องแนวตั้ง (Shaft) เพราะความแตกต่างของโครงสร้างจะเชื่อมต่อที่ตำแหน่งนี้เพราะฉะนั้นจะป้องกันการเกิดความเค้นโดยการใส่จุดต่อที่ยืดหยุ่น

5.6.13. น้ำหนักอื่นๆ

ก่อนการทดสอบควรพิจารณาถึงผลกระทบของน้ำหนักอื่นที่อาจเป็นไปได้ในการออกแบบผนังอุโมงค์

5.7. รูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)

รูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะถูกกำหนดการพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการทำงาน โดยจะทำให้ง่ายในการก่อสร้าง และให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ปัจจัยหลักและการพิจารณาทั่วไป กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ดังนี้

1. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ถูกกำหนดซึ่งได้บรรยายไว้ในหัวข้อรูปร่าง และขนาดของหน้าตัดภายในอุโมงค์ โดยความต้องการช่องว่างภายในของอุโมงค์และความหนาของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และผนังอุโมงค์ชั้นใน (Secondary Lining)

2. ความสูงของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) (ความหนา)

ความสูงของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะถูกกำหนดโดยขนาดของหน้าตัด ซึ่งการพิจารณาหลักๆมาจากเงื่อนไขของน้ำหนัก (Load) เช่น สภาพของดิน หรือภาระน้ำหนักเหนืออุโมงค์ (Overburden) แต่บางกรณีกำหนดโดยวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และความสามารถในการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)

ความสูงของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะมีค่าประมาณ 4% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุโมงค์ สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่ จะต้องใช้ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่มีลักษณะเฉพาะซึ่งได้แก่ ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคานคอนกรีต (Ribbed Type Concrete Segment) ซึ่งมีอัตราส่วนความสูงประมาณ 5% ของเส้นผ่านศูนย์กลาง

3. ความกว้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)

มีความต้องการให้ความกว้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) มีขนาดจำกัด เพื่อความสะดวกในการขนย้าย และการประกอบวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) และโครงสร้างของหน้าตัดโค้งเหมือนกับในรูปของความยาวส่วนท้ายของหัวชุดเจาะอุโมงค์ Shield ในขณะที่เพื่อเป็นการปรับลดต้นทุนในการผลิตชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ปรับลดจำนวนของรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และจำนวนของร่องสลักเกลียว (bolt) ที่จะต้องดูแลการรั่วไหลของน้ำที่อาจจะเกิดขึ้น แต่ถ้าพิจารณาถึงระยะเวลาความรวดเร็วในการก่อสร้าง จะต้องใช้ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่มีขนาดที่กว้างมาก จึงต้องมีการกำหนดพิจารณาให้เหมาะสมจากงานก่อสร้างที่ผ่านมาแล้วในอดีต รวมทั้งดูถึงราคาค่าต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งานของอุโมงค์อีกด้วย

ตามที่ได้มีการบันทึกข้อมูลงานก่อสร้างที่ผ่านมาแล้วในอดีต ความกว้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 300 - 1500 มม. ซึ่งขึ้นอยู่กับหน้าตัดของอุโมงค์

สำหรับ ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทเหล็ก (Iron Segment) ความกว้างอยู่ระหว่าง 750-1200 มม.

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคอนกรีต (Concrete Segment) ความกว้างอยู่ระหว่าง 900-1200 มม.

ในไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความกว้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่ใช้กันอยู่ที่ 1000 มม. ถูกนำมาใช้กันทั่วไป

4. การแบ่งจำนวนชิ้นส่วนในวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring)

วงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) จะประกอบไปด้วย

- ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เอ (A Segment) จำนวน 2 ชิ้นส่วนขึ้นไป
- ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์บี (B Segment) จำนวน 2 ชิ้นส่วน
- ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) จำนวน 1 ชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบแรกชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) ที่ใส่ในทิศทางรัศมีของอุโมงค์ รูปแบบที่สองชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) ที่ใส่ในทิศทางตามยาวของอุโมงค์ ส่วนรูปแบบที่สามชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) เป็นแบบผสมผสานระหว่างรูปแบบ 1 และ 2 ซึ่งความยาวของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) ที่ใส่ในทิศทางรัศมีของอุโมงค์จะสั้นกว่าของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เอ (A Segment) และชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์บี (B Segment)

การก่อสร้างที่ผ่านมาในอดีต สำหรับอุโมงค์รถไฟวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) จะถูกแบ่งออกประมาณ 6 - 11 ชิ้นส่วน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 6 - 8 ชิ้นส่วน สำหรับอุโมงค์ที่ใช้สำหรับระบายน้ำ น้ำเสีย สายโทรเลขใต้ดิน โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 5 - 7 ชิ้นส่วน

ในมาตรฐานการออกแบบอุโมงค์ประเภทหัวขุดเจาะ Shield ได้ทำการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทเหล็ก (Iron Segment) และชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทคอนกรีต (Concrete Segment) ดังตารางที่ 5.6. และ 5.7.

ตารางที่ 5.6. แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์คอนกรีต

เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายนอกของวงแหวน อุโมงค์ใต้ดิน (มิลลิเมตร)	ความกว้างของชิ้นส่วน ประกอบผนังอุโมงค์ (มิลลิเมตร)	ความหนาของชิ้นส่วน ประกอบผนังอุโมงค์ (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้นส่วนในวง แหวน
1800 - 2000	750	100 125	5
2150 - 3350	900 1000	100(200) 125	5
3350 - 4800	900 1000	125(225) 150 175(250) 200(275)	6
5100 - 6000	900 1000	175 200 225 250 275 300	6
(6300 - 6900)	900 1000	250 275 300	7
(7250 - 8300)	900 1000	275 300 320 350	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 141 ะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7. แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เหล็ก

เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายนอกของวงแหวน อุโมงค์ใต้ดิน (มิลลิเมตร)	ความกว้างของชิ้นส่วน ประกอบผนังอุโมงค์ (มิลลิเมตร)	ความหนาของชิ้นส่วน ประกอบผนังอุโมงค์ (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้นส่วนในวง แหวน
1800 - 2000	750	75 100	6
2150 - 2550	900 1000	100 125	6
2750 - 3350	900 1000	100 125 150	6
3350 - 4050	900 1000	125 150 175	7
4300 - 4800	900 1000	150 175	7
5100 - 5700	900 1000	175 200 225	7
6000	900 1000	200 225	7
(6300 - 6900)	900 1000	250 275	7
(7250 - 8300)	900 1000	300 320 350	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 142 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.1. มุมของรอยต่อและมุมของการประกอบ

มุมของรอยต่อและมุมของการประกอบจะถูกกำหนดการพิจารณาถึงการส่งผ่านขององค์ประกอบแรงความง่ายของการประกอบ สภาพของโครงสร้าง และความง่ายในการผลิตชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)

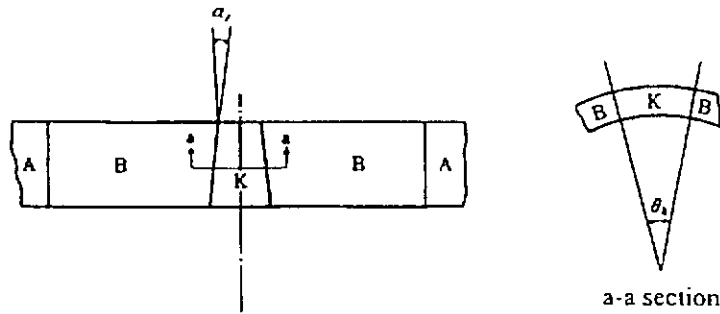
สำหรับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) ที่ใส่ในทิศทางของรัศมีอุโมงค์ มุมของรอยต่อ (α_r) จะได้มาดังสมการ

$$\alpha_r = \frac{\theta_k}{2} + \omega \quad (5.1.)$$



รูปที่ 5.22. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เคแบบใส่ภายในอุโมงค์ตามรัศมี

โดย ω เป็นมุมอยู่ในขอบเขตการประกอบชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) และโดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 2-5 องศา อย่างไรก็ตามมุมที่เล็กกว่านี้อาจจะให้ผลที่ดีกว่า ภายใต้สภาพที่ว่าความสามารถในการใช้งานจะไม่สูญเสียไป ในการกำหนดเจาะจะเสนอประมาณ 3 องศา



รูปที่ 5.23. แสดงชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์แบบใส่ตามแนวยาวของอุโมงค์

เมื่อมุมของรอยต่อมีขนาดใหญ่ รอยต่อของผิวหน้าชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะสามารถหลุดออกได้โดยง่าย ทำให้การส่งผ่านแรงตามแนวแกนและแรงเฉือนเป็นไปอย่างยากลำบาก เพราะฉะนั้นมุมของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (θ_s) ต้องทำให้มีขนาดที่เล็กลง มุมของรอยต่อจะมีขนาดใหญ่เฉพาะสำหรับอุโมงค์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กซึ่งควรจะต้องพิจารณาในกรณีนี้เป็นพิเศษ

สำหรับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์เค (K Segment) ที่ใส่ในทิศทางตามแนวยาวของอุโมงค์ แสดงดังรูป โดยปกติจะไม่มีมุมของรอยต่อ (α_s) แต่มุมของการประกอบชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (α_s) ต้องถูกนำมาพิจารณาในสภาพของการก่อสร้าง รวมถึงความยาวของเครื่องจักรหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Machine) และการสอดแทรกระหว่างรอยต่อของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และรอยต่อของวงรอบ มุมของการประกอบของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 17 – 24 องศา ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของโครงสร้าง เมื่อมุมของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (θ_s) มีค่ามุมกว้างมากและชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) มีความหนามาก จะมีการกำหนดมุมที่แน่นอนสำหรับระบบรอยต่อและการประกอบ

5.7.2. วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring)

จำนวนของความกว้าง และความเรียวของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) จะถูกกำหนดโดยการวางแนวของอุโมงค์ สภาพของดินโดยรอบอุโมงค์ การอัดฉีดน้ำปูน ความแข็งแรงของระบบรอยต่อกับการประกอบ ผลที่ได้ของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และขอบเขตของการก่อสร้าง

วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) มีอยู่ 2 รูปแบบ รูปแบบแรกใช้สำหรับการวางแนวโค้งของอุโมงค์ และอีกรูปแบบหนึ่งใช้สำหรับการปรับแก้แนว วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) สำหรับการวางแนวโค้งของอุโมงค์ที่ลดลงทีละน้อยโดยปกติจะออกแบบดังเช่น การทำให้มีความเร็วลงเท่ากับวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ที่ใช้สำหรับการปรับแก้การวางแนว ดังนั้นจำนวนวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ที่ต้องการใช้จะไม่จำเป็นที่จะต้องการเพิ่มขึ้น

จำนวนของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ที่ต้องการสำหรับการปรับแนวจะแตกต่างกันตามอัตราส่วนของหน้าตัดการวางโค้งทีละน้อยและหน้าตัดการวางโค้งเฉียบขาดภายในหน้าตัดของการก่อสร้าง หรือไม่ก็เป็นการปรับแนวของอุโมงค์ เช่น โค้งตัวเอส (S-sharpes) หรือสภาพของดินโดยรอบ จำนวนของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) โดยปกติที่ความต้องการจะใช้สำหรับการปรับแนวอยู่ที่ 3-5 % ของจำนวนทั้งหมดของวงแหวนที่ต้องการสำหรับหน้าตัดที่ติดต่อนั่นเอง

อย่างไรก็ตามหน้าตัดการวางโค้งที่ลดลงทีละน้อย ซึ่งเป็นไปได้ที่จะใช้วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Taper Ring) สำหรับการปรับแนวทางยาว จะใช้ 3-5 % ของจำนวนทั้งหมดของวงรอบที่ต้องการจะถูกเตรียมสำหรับหน้าตัดที่ติดต่อนั่นเอง

ความกว้างสูงสุดของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered ring) ที่เป็นเหล็กที่ใช้สำหรับโค้งอื่นๆนอกเหนือจากโค้งทีละน้อยมีค่ามากกว่า 250 มม. ส่วนความกว้างของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ที่เป็นคอนกรีตมีค่ามากกว่า 750 มม.

ความเร็วถูกกำหนดโดยรูปแบบของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ความกว้างชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) รัศมีความโค้ง การประเมินอัตราการใช้วงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ในหน้าตัดโค้ง ผลที่ได้จากวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) และช่องว่างช่วงท้าย เป็นต้น การก่อสร้างที่ผ่านมาในอดีตได้กำหนดความเร็วและมุมของความเรียวดังตารางที่ 5.8.

ความเร็วและมุมของความเรียวสำหรับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมากกว่า 10 เมตร หรือมีรูปร่างไม่ปกติจะต้องปรึกษานักวิศวกรเพื่อขอคำแนะนำ

อัตราส่วนการใช้การผสมของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ค่อบางแหวนมาตรฐานในการก่อสร้างที่ผ่านมามีในอดีต ถูกใช้ด้วยอัตราส่วน 2 : 1 และที่พบเห็นกันบ่อยๆ ได้แก่ 3 : 1, 1 : 1, 4 : 1 และ 3 : 2 อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของ 2 : 1 หรือใหญ่กว่าถูกนำมาใช้ การพิจารณาจะถูกทดแทนด้วยชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่ไม่ถูกเชื่อมกันตรงรอยต่อที่ติดต่อกัน ในอุโมงค์ที่มีรัศมีขนาดใหญ่ เช่น อุโมงค์รถไฟ อุโมงค์ถนน อัตราส่วนการใช้การผสมของวงแหวนผนังอุโมงค์แบบเรียว (Tapered Ring) ค่อบางแหวนมาตรฐานจะอยู่ที่ 1 : 1 หรือน้อยกว่า

ตารางที่ 5.8. แสดงขนาดเรียวและองศาของความเรียว

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนอุโมงค์ได้ดิน(D _o) เมตร	D _o < 4	4 ≤ D _o < 6	6 ≤ D _o < 8	8 ≤ D _o < 10	10 ≤ D _o
Terper (มิลลิเมตร)	15-75	30-80	30-90	40-90	40-70
Terper Angle.	20°-115°	20°-70°	15°-50°	15°-35°	10°-25°

5.8. การคำนวณโครงสร้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)

5.8.1. พื้นฐานของการคำนวณโครงสร้าง

หลักเกณฑ์การคำนวณโครงสร้าง

1. การคำนวณโครงสร้างสำหรับอุโมงค์ จะถูกกำหนดภายใต้น้ำหนัก (Loads) ในแต่ละระยะในระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้าง
2. ออกแบบน้ำหนักสำหรับหน้าตัดของอุโมงค์จะถูกกำหนดโดยสมมติขึ้นมาในเงื่อนไขที่เป็นไปได้ในหน้าตัดอุโมงค์ ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมในการออกแบบ
3. การคำนวณที่อยู่ภายใต้ความไม่แน่นอนของแรงหรือการเสวยรูปสำหรับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่เป็นคอนกรีต การคำนวณจะถูกทำโดยละเอียดการเสริมเหล็กและสมมติว่าหน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีตใช้เป็นตัวที่มีผลบังคับ

การออกแบบชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะถูกทำด้วยการพิจารณาถึงน้ำหนักที่กระทำต่ออุโมงค์ต่อการก่อสร้างสำหรับอายุการใช้งานหลายๆปี หลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การพิจารณาถึงความมั่นคง องค์ประกอบของแรง และการเสียรูปในระหว่างระยะเวลาทันทีทันใด หลังจากการก่อสร้างขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ประกอบกับการแข็งตัวของวัสดุอัดฉีดน้ำปูนเพื่ออุดรู
2. การพิจารณาองค์ประกอบแรงของขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และการเสียรูปเนื่องจากการผลักดันของแม่แรงกดหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Shield Jacks)
3. การพิจารณาองค์ประกอบแรงของขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และการเสียรูปเนื่องจากรัดแน่นของการอัดฉีดน้ำปูน
4. พิจารณาโครงสร้างของโค้งเฉียงขาด (Sharp Curve)
5. พิจารณาในกรณีการเปลี่ยนอย่างฉับพลันของดิน
6. พิจารณารอยต่อของอุโมงค์และปล่องแนวตั้ง (Shaft)
7. พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก โครงการก่อสร้างบริเวณใกล้เคียง และอื่นๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมารบกวนอุโมงค์ในอนาคต

5.8.2. การคำนวณองค์ประกอบของแรง

องค์ประกอบแรงของขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะถูกคำนวณในการพิจารณาคุณสมบัติของโครงสร้าง รัศมีของวงรอบ Segment ที่ใช้สำหรับการคำนวณ โครงสร้างจะถูกกำหนดเป็นรัศมีของจุดศูนย์กลางของหน้าตัดของอุโมงค์

องค์ประกอบของแรงขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆของน้ำหนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงปฏิกิริยาของดินซึ่งรูปร่างของ โครงสร้างวงแหวนขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) สภาพต่างๆเหล่านี้จะถูกทำให้แน่ชัดดังนี้

วงแหวนขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) จะประกอบด้วยหลายๆขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ซึ่งจะประกอบกันด้วยสลักเกลียว (Bolts) การเสียรูปในวงแหวนขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) จะใหญ่กว่าวงแหวนด้วยความแข็งแรงของการค้ำที่สม่ำเสมอ ซึ่งมีความแข็งแรงเท่ากับหน้าตัดหลักของขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) สิ่งนี้ เพราะว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีความแข็งแรงน้อยกว่าหน้าตัดหลักของขึ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ด้วยเหตุนี้ มันจึงมีความสำคัญที่จะกำหนดเกี่ยวกับการหาค่าการลดลงของความแข็งแรง

เกร็งที่รอยต่อสำหรับการคำนวณองค์ประกอบแรง นอกจากนี้สลักเกลียว(bolts) ที่ใช้เชื่อมรอยต่อของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) และรอยต่อวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์(Segment Ring)ถูกทำให้เชื่อมกัน โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นมันมีความสำคัญในการหาค่าผลของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ที่ติดต่อกันสำหรับการคำนวณออกแบบ

รูปร่างสำหรับการคำนวณออกแบบถูกแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ โดยการหาค่ารอยต่อ ดังนี้

ก. สมมติวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์(Segment Ring) เป็นวงแหวนด้วยความแข็งแรงของการตัดที่สม่ำเสมอ

1. การละเว้นการลดลงของความแข็งแรงที่รอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) วงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ถูกกระทำด้วยความแข็งแรงของการตัดที่สม่ำเสมอ (EI) ซึ่งเท่ากับหน้าตัดหลักของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment)
2. สัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนผลกระทบของความแข็งแรงของการตัด (η) น้อยกว่าเท่ากับ 1) แนะนำให้หาค่าความแข็งแรงของรอยต่อ วงแหวนถูกกระทำกันอย่างสม่ำเสมอแต่ความแข็งแรงน้อยกว่า (วงแหวนแข็งที่มีความแข็งแรงของการตัดเท่ากัน) ความแข็งแรงของการตัดแทนด้วย ηEI ส่วนการแบ่งโมเมนต์แสดงเป็นเครื่องหมายโดยเสนอเป็นอัตราส่วนการโยกย้ายของโมเมนต์ตัด (ξ) โดยโมเมนต์ของหน้าตัดหลักมีค่าเท่ากับ $(1 + \xi)M$

โมเมนต์ของรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) มีค่าเท่ากับ $(1 - \xi)M$

การบรรยายรูปร่างในหัวข้อ 1 เป็นลักษณะที่ไม่ซับซ้อนและรูปแบบของการกระจายน้ำหนักถูกนำเสนอ การใช้วิธีคำนวณสำหรับวงแหวนด้วยความแข็งแรงของการตัดที่สม่ำเสมอและการกระจายน้ำหนักร่วมกัน ซึ่งเรียกว่า วิธีการคำนวณปกติ

การบรรยายรูปร่างในหัวข้อ 2 เป็นรูปร่างที่ศึกษาด้วยเหตุด้วยผลซึ่งใช้ความเกี่ยวข้องของวิธีการคำนวณปกติถ้าการกระจายน้ำหนักร่วมกันถูกใช้แล้วค่า $\eta = 1$, $\xi = 0$ ถูกแทนที่ วิธีนี้กลายเป็นเหมือนว่าวงแหวนแข็งด้วยความแข็งแรงของการตัดเต็มที่ซึ่งเรียกว่า วิธีการคำนวณปกติแบบปรับปรุง

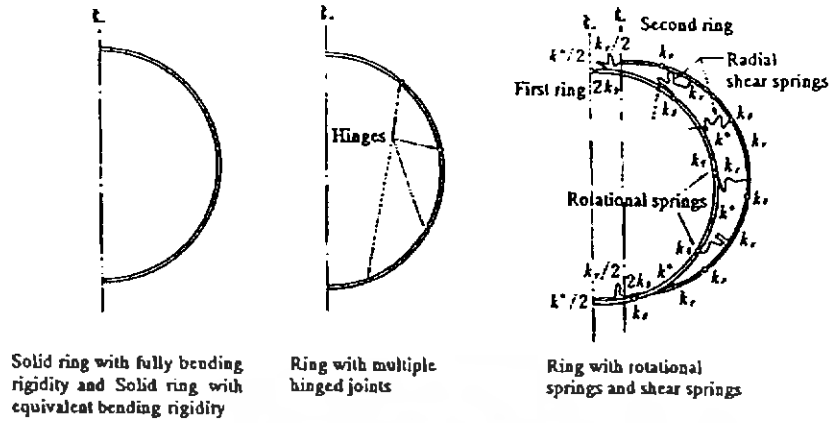
ข. สมมติวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) เป็นวงแหวนที่มีหลายจุดหมุน

รูปร่างแบบนี้ใช้ในสหราชอาณาจักร และรัสเซีย ที่ซึ่งสภาพต่างๆของดินมีคุณลักษณะที่ดี ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ถูกติดตั้งตามรอยต่อที่ต่อเนื่องกันเพื่อเตรียมรับแรงปฏิกิริยาของดินที่คาดว่าจะมีต่อวงแหวนการเสียบรูป

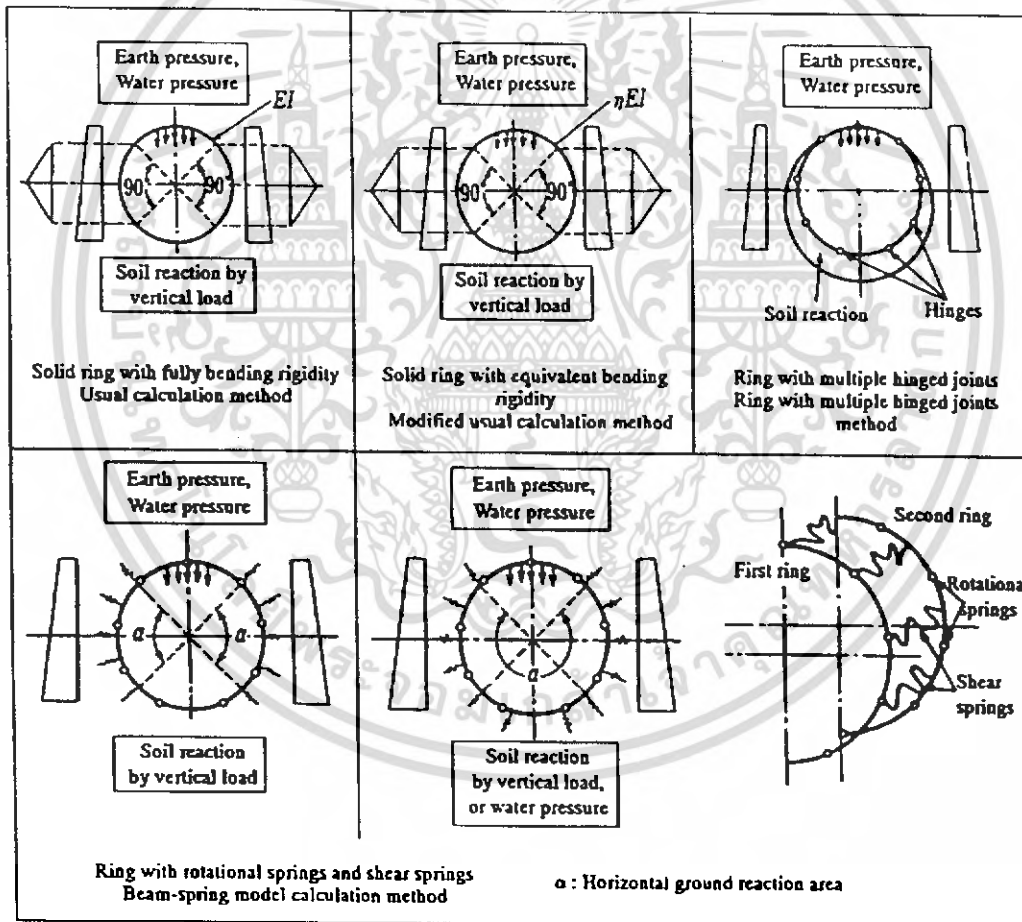
ค. สมมติวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) เป็นวงแหวนที่ประกอบด้วย สปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) และสปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring)

วงแหวนประกอบด้วยสปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) ที่ทำหน้าที่เชื่อมรอยต่อวงแหวน และสปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring) ที่เชื่อมวงแหวนของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ซึ่งถูกหาค่าตามผลของรอยต่อระหว่างวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ในการเตรียมรับความเค้นของวงแหวน รูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมรับความเค้นของวงแหวน ซึ่งสามารถหาค่าผลของวงแหวนที่ติดต่อกัน

การหารูปร่างที่เหมาะสมเพื่อคำนวณองค์ประกอบแรงขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆที่ให้มา เช่น การใช้งานอุโมงค์ สภาพต่างๆของดิน การออกแบบน้ำหนัก โครงสร้างของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ความต้องการความแม่นยำในการวิเคราะห์ การพิจารณาอย่างรอบคอบจะเป็นตัวเลือก รูปร่างในการออกแบบ แผนผังรูปร่างต่างๆของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) แสดงในรูปที่ 5.24. และการกระจายวัสดุประสงค์ของรูปร่างแสดงในรูปที่ 5.25. นอกจากนี้ยังมีการบรรยายถึง Beam-Spring Model ซึ่งใช้ความยืดหยุ่นของดินแทนแรงปฏิกิริยาของดินในแนวตั้ง และใช้ความยืดหยุ่นดิน (Spring) แทนแรงปฏิกิริยาของน้ำหนักบรรทุกคงที่ การคำนวณสมมติว่าความยืดหยุ่นของดินใช้ตามสมมติฐานของWinkler



รูปที่ 5.24. แสดงแบบแผนของแบบจำลองในการออกแบบ



รูปที่ 5.25. แสดงการกระจายของน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบตามจุดประสงค์ต่างๆ
วิธีการคำนวณรูปร่างในการออกแบบมีดังนี้

1. วิธีการคำนวณปกติ

วิธีนี้ถูกเสนอในปี 1960 และใช้อย่างกว้างขวางในประเทศญี่ปุ่น รูปร่างการกระจายน้ำหนักร่วมกัน แรงปฏิกิริยาของดินในแนวตั้งกระจายอย่างสม่ำเสมอ และแรงปฏิกิริยาแนวราบของดินเป็นสามเหลี่ยมกระจายระหว่าง 45° ถึง 135° จากยอดของทั้งสองข้าง การเลือกรูปทางแนวราบของวงแหวนที่เส้น Spring line ซึ่งจะกำหนดขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวราบของดินเป็นความแตกต่างซึ่งขึ้นอยู่กับแรงปฏิกิริยาของดินที่ได้มาจากน้ำหนักคงที่ของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) จะถูกนำมาพิจารณา สมการการคำนวณแสดงในบทที่ 4 แต่สมการ จะเป็นลักษณะพิเศษเฉพาะของวิธีการคำนวณปกติแบบปรับปรุง แต่ถ้า $\eta = 1$ สมการจะได้มาซึ่งวิธีการคำนวณปกติ

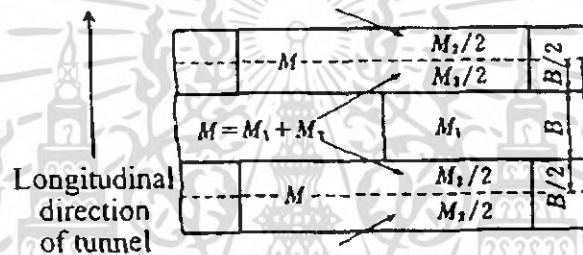
2. วิธีการคำนวณปกติแบบปรับปรุง

อย่างที่รู้กันว่าการเตรียมรับความเลื่อมของวงแหวนควรจะเสริมกำลังความอ่อนแอของรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ในความแข็งแรง ซึ่งจะไม่ถูกกำหนดถึงผลการหาค่าของวงแหวนที่ติดต่อกัน ในปี 1960 นักค่างานมากมายที่นำมาทดสอบถูกนำให้ได้มาซึ่งข้อมูลการเลือกรูปของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ซึ่งยึดติดรอยต่อด้วยสลักเกลียว (Bolt) แนวคิดของสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนผลกระทบของความแข็งแรงในการตัด (η) ถูกเสนอแนะโดยผลลัพธ์ของการทดสอบอย่างละเอียดและการวิเคราะห์ถึงสมมติฐาน

ยิ่งกว่านั้นในเตรียมรับความเลื่อมของวงแหวน การเลือกรูปของวงแหวนจะกว้างกว่าวงแหวนแข็งด้วยความแข็งแรงของการตัดเต็มที่ ในสภาพต่างๆที่ไม่ดีของดินค่า η ไม่ส่งผลต่อขนาดขององค์ประกอบแรง แต่ในคุณลักษณะที่คิดของสภาพต่างๆของดินตรงที่แรงปฏิกิริยาของดินได้มาจากวงแหวนของการเลือกรูปซึ่งสามารถถูกคาดว่ามี η ที่ส่งผลต่อขนาดขององค์ประกอบแรงอย่างมาก ค่า η ขึ้นอยู่กับสภาพดินซึ่งเหมือนกับรูปแบบของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) คุณสมบัติโครงสร้างของรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) วิธีการเตรียมรับความเลื่อมของวงแหวน และคุณสมบัติโครงสร้างของวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ซึ่งค่าถูกกำหนดโดยประสบการณ์ในการพิจารณาของผลลัพธ์การทดสอบพฤติกรรมของรอยต่อ และการบันทึกข้อมูลโครงการที่ผ่านมาในอดีต การพิจารณาอย่างรอบคอบจะให้กำหนดค่าของ η เพราะถ้า η ถูกประมาณค่าของมันต่ำเกินไปจะส่งผลต่อปฏิกิริยาของดินที่มีค่ามากเกินไป และผลที่สุดขององค์ประกอบแรงก็จะมีค่าที่ต่ำไปด้วย

อีกกรณีหนึ่ง รอยต่อของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะเป็นจุดหมุน (Hinge) ส่วนของโมเมนต์ดัดจะไม่ถูกโยกย้ายไปที่รอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) แต่ชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) ที่ติดต่อกันจะต้องมีการกระเดียบรับความเลื่อมของวงแหวน โดยการต้านทานแรงเฉือนที่รอยต่อของวงแหวนอุโมงค์

อัตราส่วนการโยกย้ายของโมเมนต์ดัด (ξ) เป็นอัตราส่วนของ $\frac{M_2}{M}$ ในรูปที่ 5.26. โดย M_2 เป็นโมเมนต์ดัดซึ่งถูกโยกย้ายจากวงรอบที่อยู่ติดกัน และ M เป็นโมเมนต์ดัดถูกคำนวณมาจากวงแหวนสม่ำเสมอของ ηEI ในความแข็งแรง ξ ถูกกำหนดโดยประสบการณ์และผลลัพธ์ของการทดสอบพฤติกรรมเช่นเดียวกับ η



รูปที่ 5.26. แสดงการถ่ายโมเมนต์ดัดสู่วงแหวนที่อยู่ติดกัน

ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนผลกระทบของความแข็งแรงการดัด (η) และอัตราส่วนการโยกย้ายของโมเมนต์ดัด (ξ) ถูกทำให้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน มันถูกคาดการณ์ว่าถ้า η ได้ใกล้เคียง 1 ค่า ξ ได้ใกล้เคียง 0 และถ้า η ได้น้อยกว่า ค่า ξ ได้ใกล้เคียง 1 อีกนัยหนึ่งก็คือว่าความแข็งแรงของรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) เหมือนราวกับของหน้าตัดหลัก ($\eta=1$) ไม่มีโมเมนต์ดัดถูกโยกย้ายไปยังวงแหวนที่ติดกัน และถ้ารอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) เป็นจุดหมุนโมเมนต์ดัดทั้งหมดถูกโยกย้ายไปยังวงแหวนที่อยู่ติดกัน แต่มันจะถูกทำให้รู้ว่าถ้ารอยต่อของชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) เป็นจุดหมุน (Hinge) เมื่อวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ถูกล้อมรอบด้วยดินค่า ξ จะไม่เป็น 0 ผลของการบวกค่า η และ ξ ดูเหมือนว่าจะมีค่าเป็น 1 เสมอ

แรงอัดตามแนวแกนที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดในดิน เหล่านี้ได้มาจากการทดสอบพฤติกรรมของดิน มันถูกพิสูจน์ว่า η ของอุโมงค์มีขนาดใหญ่กว่าวงแหวนของการทดสอบ และค่า ξ ของอุโมงค์มีขนาดเล็กกว่าวงแหวนของการทดสอบ การออกแบบน้ำหนักมีความไม่แน่ชัดในการผสมผสานของ η เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

= 1 และ $\xi = 0$ ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบ ในรายละเอียดอื่นๆที่ค่า $\eta = 1$ และ $\xi = 0$ ถูกนำมาใช้กับชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ประเภทแผ่นราบ (Flat Type Segment) ค่า $\eta = 0.8$ และ $\xi = 0.3$ ถูกแสดงสำหรับอ้างอิงในรายละเอียดของค่าที่นำมาใช้จากการทดสอบพฤติกรรมสำหรับวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment ring) ด้วยการเตรียมรับความเค้นของวงแหวนว่าค่า $\eta = 0.8-0.6$ และ $\xi = 0.3-0.5$ สมการของหน้าตัดแรงสำหรับวิธีการคำนวณปกติ ที่ผ่านมาเร็วๆนี้ค่าของ η และ ξ ที่ใช้ในวิธีการคำนวณปกติแบบปรับปรุงถูกตรวจสอบด้วยการคำนวณตัวเลขโดย Beam-Spring Model

3. วิธีการคำนวณวงรอบด้วยรอยต่อที่เป็นจุดหมุน

วิธีนี้ให้ประโยชน์ภายใต้เงื่อนไขต่างๆของดินที่ดีในต่างประเทศ รอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) จะเป็นจุดหมุน

วงแหวนตัวรอยต่อที่เป็นจุดหมุนเป็นโครงสร้างที่ไม่มั่นคงโดยตัวของมันเอง แต่มันจะมั่นคงก็ต่อเมื่อถูกรองรับด้วยดิน เพราะฉะนั้นมันสำคัญที่จะหาค่าการกระจายน้ำหนักกระทำบนวงแหวนและแรงปฏิกิริยาของดิน มันจะถูกพิจารณาอย่างดีในการกำหนดหรือไม่มันก็เหมาะสมสำหรับสภาพของดินซึ่งเท่ากับแรงปฏิกิริยาของดินในพื้นที่กว้างที่คาดว่าจะมี การกระจายน้ำหนักร่วมกันถูกใช้สำหรับน้ำหนักกระทำภายนอกและสมมติฐานของ Winkler ถูกประยุกต์สำหรับปฏิกิริยาของดินต่อการเสี้ยวรูปของวงแหวนอุโมงค์

วิธีการคำนวณอื่นๆสำหรับวงแหวนรอยต่อที่เป็นจุดหมุนถูกทำการหาวิธีแก้ปัญหาสำหรับรูปร่างนี้ ซึ่งใน 1 รอยต่อถูกสมมติให้ปลดจุดหมุน การเสี้ยวรูปถูกคำนวณและตรวจสอบสำหรับความปลอดภัย ไม่นานมานี้มันสามารถถูกคำนวณเกี่ยวกับตัวเลขโดยการใส่สปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) สำหรับแต่ละจุดหมุน และการแทนที่ค่า 0 สำหรับค่าของสปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring)

โมเมนต์ดัดที่ถูกคำนวณด้วยวิธีนี้พิจารณาน้อยและมากโดยออกแบบให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้วดำเนินการได้ อีกกรณีหนึ่งเงื่อนไขของดินโดยรอบมีอิทธิพลในการตัดสินใจสำหรับความปลอดภัยของอุโมงค์ มีการศึกษาที่พอเพียงจะนำไปดำเนินการสำหรับสิ่งรบกวนของดินโดยรอบต่อเนื่องด้วยโครงสร้างบริเวณใกล้เคียงหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จหรือการกันซึมน้ำของอุโมงค์

ในต่างประเทศ สภาพของดินที่มีคุณลักษณะที่ดี การเชื่อมรอยต่อด้วยสลักเกลียว (Bolt) ถูกใช้ติดตั้งวงแหวน และการเคลื่อนย้ายวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ที่เป็นโครงสร้างหลายจุดหมุน หลังจากน้ำหนักกระทำก็จะมีคามมั่นคง

4. วิธีการคำนวณ Beam-spring model

วิธีนี้หาค่าการลดลงของความแข็งแรงการตัดและผลของรอยต่อต่อการเตรียมความเลื่อมของวงแหวน โดยใช้รูปร่างชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) พิจารณาเป็นคานโค้งหรือคานต่อเนื่องและรอยต่อชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment) เชื่อมด้วยสปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) และรอยต่อวงแหวนเชื่อมด้วย สปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring)

ถ้าค่าของสปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring) ถูกแทนที่เท่ากับ 0 และค่าของสปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) เท่ากับ 0 ในรูปร่างนี้ ซึ่งมันจะกลายเป็นโครงสร้างที่มีหลายจุดหมุน ดังนั้นถ้ามีการแทนแบบไม่สิ้นสุดมันจะเป็นเหมือนวงแหวนแข็งด้วยความแข็งแรงการตัดเต็มที่ ฉะนั้นวิธีนี้เป็นหนึ่งของผลกระทบของวิธีทั้งหลายในการแสดงวิธีการด้านทานวงแหวนชิ้นส่วนประกอบผนังอุโมงค์ (Segment Ring) ซึ่งมันจะประกอบด้วยวิธีการคำนวณปกติและวิธีการคำนวณวงรอบด้วยรอยต่อที่เป็นจุดหมุน นอกจากการหาค่าผลกระทบของวงแหวนที่ต่อกันในการเตรียมรับความเลื่อมของวงแหวน

การกระจายน้ำหนักร่วมกันใช้มากสำหรับวิธีนี้ ในบางกรณีแรงปฏิกิริยาของดินกระทำเหมือนกับความยืดหยุ่น (Spring) ของดินซึ่งมันถูกประยุกต์สำหรับน้ำหนักที่ไม่สมมาตร

ผลของตำแหน่งรอยต่อและการผสมผสาน และหน่วยแรงเฉือนบนวงแหวนของรอยต่อถูกหาค่าในวิธีนี้ ค่าคงที่ของสปริงเชื่อมวงแหวน (Rotation Spring) และสปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring) เป็นปกติที่จะถูกกำหนดจากการทดสอบพฤติกรรม สำหรับสมมติฐานของวิธีการคำนวณของค่าคงที่เหล่านี้ถูกนำมาเสนอด้วย

โมเมนต์คัตบนหน้าตัดหลักจะมีค่าต่ำ ถ้าค่าคงที่ของสปริงเชื่อมชิ้นส่วนประกอบ (Shear Spring) น้อย มันเป็นการสมมติที่ไม่สิ้นสุดสำหรับความปลอดภัย

วิธีนี้ใช้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ของอุโมงค์ถนน และอุโมงค์รถไฟ นอกจากนี้มันใช้สำหรับอุโมงค์เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกับเงื่อนไขการออกแบบที่ยู่ยากหรือสำหรับการหาค่าผลลัพธ์การคำนวณของวิธีการคำนวณปกติและวิธีการคำนวณปกติแบบปรับปรุง



บทที่ 6

การขุดเจาะอุโมงค์ใต้ดิน

6.1. ข้อมูลทางธรณีวิทยา (Geology)

6.1.1. ลักษณะชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร

ผลการสำรวจชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร พบว่าชั้นดินส่วนบน (Top Layer) มีความลึกจากระดับพื้นผิวดินอยู่ระหว่าง 21 เมตร ถึง 30 เมตร ถัดจากชั้นนี้ลงไปจะเป็นชั้นดินส่วนกลาง (Intermediate Layer) ซึ่งเป็นชั้นของดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นทรายหรือทรายปนกรวดไปจนถึงความลึกกว่า 160 เมตร และเท่าที่มีการสำรวจดินลึกลงไปถึง 250 เมตร ยังไม่พบชั้นหินดาน (Weathered Bedrock) แต่จากผลการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์คาดว่าชั้นหินดานนี้จะอยู่ลึกลงไปถึง 1,000 เมตร

ชั้นดินส่วนบน (Top Layer) 0 ถึง 21-30 เมตร ประกอบด้วย 3 ชั้นย่อย คือ

1. ชั้นบนสุด (Top Soil) หนาประมาณ 2±1 เมตร มีสีเทา เป็นดินอ่อนมาก มีกำลังรับน้ำหนักน้อยมาก
2. ชั้นกลาง หนาประมาณ 10-17 เมตร มีสีเทาถึงสีเทาดำ เป็นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง มีปริมาณความชื้นในมวลดินสูง สามารถใช้รองรับน้ำหนักของอาคารขนาดเล็ก เช่นบ้านพักอาศัย โดยใช้เสาเข็มเสียดทานช่วยรับน้ำหนัก
3. ชั้นล่าง หนาประมาณ 10 เมตร มีสีน้ำตาลปนเหลืองแซมด้วยสีเทาอ่อน เป็นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็ง (Stiff Clay) ซึ่งเป็นชั้นที่ปลายเข็มรับอาคารขนาดกลางและขนาดย่อม หยั่งอยู่เป็นส่วนใหญ่

6.1.2. น้ำใต้ดิน (Ground Water) และความดันน้ำ (Water Pressure) ใต้ดิน

1.) น้ำใต้ดิน (Ground Water) มีความสำคัญต่อวิศวกรรมธรณีเทคนิคเป็นอย่างมาก เนื่องจากดินและน้ำเกือบตลอดเวลาจะอยู่ร่วมกัน ในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง น้ำในดินจะมีผลกระทบทั้งความดันที่จะต้องมาพิจารณาให้ถูกต้องในระหว่างวิเคราะห์ปัญหาธรณีเทคนิค และปัญหาระดับน้ำใต้ดินในระหว่างการก่อสร้างอาคารวิศวกรรมธรณีเทคนิคต่างๆ

2.) ชนิดของน้ำใต้ดิน

น้ำในสภาวะที่เกี่ยวกับดิน มี 4 ลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) น้ำอิสระ (Free Water) ที่จะเป็นน้ำใต้ดิน (Ground Water) มีแรงพุ่ง มีผลให้ลดหน่วยความดันของดิน ซึ่งสามารถจะแบ่งออกได้ดังนี้

- ความดันน้ำสถิตย สภาวะของน้ำที่สมดุล ไม่มีการไหลผ่านของน้ำ ที่ทำให้เกิดความดันไหลซึม มีค่าความดันต่อความลึก
- ความดันลดต่ำลง เกิดจากสภาวะของน้ำใต้ดินที่ถูกผลกระทบจากภายนอก เช่น การสูบน้ำบาดาลที่มากเกินไป ทำให้เกิดสภาวะน้ำใต้ดินไม่สมดุล มีค่าแตกต่างออกไป (ลดลง) แต่ละความลึก ซึ่งได้จากการวัดด้วยพิซโซมิเตอร์ในสนาม

2) น้ำยึดเหนี่ยว (Held Water) ในอนุภาคของเม็ดดิน ซึ่งมีความสำคัญน้อยในทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค

3) น้ำคาพิลลารี (Capillary Water) เกิดจากแรงดึงดูดในระหว่างช่องเม็ดดินที่เล็กมาก ซึ่งจะไม่นำมาคิดแรงทางด้านวิศวกรรม เมื่อคิดทางด้านอนุรักษ์ เนื่องจากความดันคาพิลลารี มีค่าเป็นลบ (-) จะมีผลทำให้ดินทรายมีเสถียรภาพดีขึ้น

4) ความดันน้ำเกิน (Excess Pore Water Pressure) ความดันน้ำที่สูงกว่าความดันน้ำสถิต หรือความดันน้ำลดลง ความดันน้ำเกินเกิดจากการกระทำภายนอกเช่น

- ถูกน้ำหนักกดทับ
- การบดอัดดิน เช่น ก่อสร้างเขื่อนดิน
- การแทนที่ เช่น การดอกเสาเข็มในดินเหนียวอ่อน
- การสั่นสะเทือน เช่น การสั่นสะเทือนจากสภาพการจราจร การดอกเสาเข็ม

ปริมาณความดันน้ำเกินได้จากการวัดในสนามด้วยพิซโซมิเตอร์

จากการที่ดินประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ ดิน น้ำและอากาศ ถ้าดินอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ในทางธรณีเทคนิคจะถือว่าดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำ (ถึงแม้ว่าที่จริงแล้วจะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ 100 %) และถือว่าน้ำใต้ดินมีความต่อเนื่องในดินลงไป ความดันของดินจะมีแรงพุ่งตัวของน้ำกระทำ

3.) ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Table)

ธรรมชาติของน้ำจะไหลและปรับตัวตามความดัน และค่าน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ของน้ำตามความลึกของอิสระ โดยที่น้ำคาพิลลารีและน้ำยึดเหนี่ยว จะไม่นำมาคิดในค่าความดันของน้ำ ในการคิดค่าความดันของน้ำจะใช้ค่าความดันบรรยากาศเป็นระดับอ้างอิง (มีค่าเป็น 0 ที่ผิวน้ำ) และระดับที่มีความดันเท่าความดันบรรยากาศเรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งมีความดันจุดนี้เท่ากับศูนย์ โดยทั่วไประดับน้ำใต้ดินจะอยู่ใกล้ผิวดิน หรืออาจจะอยู่เหนือผิวดิน ในบางโอกาสในบางกรณีที่มีสภาพทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อน น้ำใต้ดินจะไม่ต่อเนื่อง หรืออาจจะพบระดับน้ำใต้ดินมีค่าแตกต่างกัน

ในระยะใกล้ๆ อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณความดันทางธรณีเทคนิคจะคำนึงถึงเฉพาะน้ำใต้ดินอิสระ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำต่อชั้นดินที่พิจารณาเป็นแนววงกลมถึงความลึกที่พิจารณาปัญหา และจะไม่คิดผลกระทบจากกาพิวลาตี ที่อยู่เหนือผิวน้ำ

น้ำใต้ดินเกิดจากฝนที่ตกลงมาบนพื้นดิน และน้ำส่วนหนึ่งซึมลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก ถ้าผ่านชั้นดินเม็ดละเอียดก็จะซึมผ่านช้า ถ้าผ่านดินเม็ดหยาบก็จะไหลผ่านเร็ว ถ้าชั้นทรายมีความหนาและมีความต่อเนื่องก็จะเป็นแหล่งน้ำชั้น เรียกว่าชั้นน้ำใต้ดิน (Aquifer) ซึ่งอาจจะมีส่วนรับน้ำจากบริเวณหนึ่งที่มีระดับสูงกว่า และมีความต่อเนื่องไปยังบริเวณที่ต่ำกว่าซึ่งอาจจะมี ความยาวหลายร้อยกิโลเมตร ชั้นน้ำใต้ดินนี้เป็นแหล่งน้ำหลักของบ่อน้ำบาดาลลึก ที่ขุดบ่อน้ำบาดาลลงไปสูบน้ำในชั้นนี้ขึ้นมาใช้จำนวนมาก และแหล่งดินน้ำไม่เพียงพอทำให้ระดับน้ำใต้ดินธรรมชาติลดต่ำลง ถ้าส่วนผิวน้ำใต้ดินทะลุผ่านดิน (ที่ต่ำกว่า) ในขณะที่ยังมีแรงดันน้ำอยู่ก็จะเกิดเป็นน้ำพุ่งขึ้นมาเรียกว่าน้ำชั้น (Artesian) ในบางกรณีมีแหล่งน้ำกักอยู่ในแอ่งหินซึ่งจะมีปริมาณน้ำจำนวนจำกัดไม่เหมือนชั้นน้ำใต้ดินเรียกน้ำกักขัง (Perched Water)

6.1.3. รายละเอียดการเจาะสำรวจดิน

1. การเจาะดิน

1.1 ขนาดหลุมเจาะเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 10 ซม

1.2 ใช้วิธีเจาะสำรวจด้วยวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับสภาพดิน เช่น ใช้สว่าน (Auger) หรือเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) เป็นต้น

1.3 ใช้วิธีป้องกันผนังหลุมเจาะพังด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น คอกท่อเหล็กกันดิน (Casing) ขนาดไม่เล็กกว่า 10 ซม.หรือใช้เป็นโทไนท์ (Bentonite) เป็นต้น

2. การเก็บตัวอย่าง (Soil Sampling) และการทดสอบในสนาม (Field Test)

2.1 ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)

2.1.1 เก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ทุกๆระยะความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ในชั้นดินเดียวกัน ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างบาง (Thin Wall Tube) ขนาด 75 มม ความยาวอย่างน้อย 50 ซม ขึ้นไป

2.1.2 เกลือบขี้ผึ้งชนิดไมโครคริสทอลไลน์ (Microcrystalline) หัวท้ายตัวอย่าง ติดฉลากชื่อส่งตัวอย่างเข้าห้องทดลองอย่างระมัดระวัง

2.2 ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay)

2.2.1 ทดสอบคอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ด้วยกระบอกผ่า (Split Barrel) ทุกๆระยะความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ในชั้นดินเดียวกัน

2.2.2 ตัวอย่างดินในกระบอกผ่า บรรจุในภาชนะหรือถุงพลาสติก 2 ชั้น
ติดฉลากชื่อให้ถูกต้อง นำเข้าห้องทดสอบต่อไป

2.3 ชั้นทราย (Sand)

2.3.1 ทดสอบดกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ทุกๆระยะความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ในชั้นดินเดียวกัน

2.3.2 ตัวอย่างดินในกระบอกผ่า บรรจุในภาชนะหรือถุงพลาสติก 2 ชั้น
ติดฉลากชื่อให้ถูกต้อง นำเข้าห้องทดสอบต่อไป

2.4 ความลึกของหลุมเจาะ

2.4.1 เมื่อพบชั้นดินแข็ง-แน่น ที่การทดสอบ SPT ให้ค่า N สูงกว่า 50-60 ครั้ง/30 ซม เป็นความลึกอย่างน้อย 3 เมตร

หรือ 2.4.2 เมื่อพบชั้นหิน หรือดินดานแข็งมาก

หรือ 2.4.3 เจ้าหน้าที่ควบคุมการเจาะเป็นผู้กำหนดในสนามตามสภาพชั้นดิน
และความเหมาะสม

2.5 การวัดระดับน้ำใต้ดิน

2.5.1 วัดระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะก่อนเลิกงาน และก่อนเริ่มงานทุก
วัน

2.5.2 เจาะหลุมเจาะด้วยสว่านมือใกล้หลุมเจาะสำรวจ ทั้งไว้ไม่น้อยกว่า
24 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดระดับน้ำใต้ดิน หรือวัดระดับน้ำใต้ดิน
ในหลุมเจาะหลังเจาะเสร็จ 24 ชั่วโมง

6.1.4. Standard Penetration Test (SPT)

การทดสอบ SPT จะต้องกระทำพร้อมกับการเจาะสำรวจดิน ผลของการทดสอบ SPT มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย สามารถทดสอบโดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ (63.5 กิโลกรัม) ทำการตอกใช้ความสูงตกกระทบ 30 นิ้ว ทำการตอก แรงจะถูกส่งถ่ายก้านเจาะไปสู่กระบอกผ่ามาตรฐาน โดยทำการตอกให้กระบอกผ่าจมลงเป็นระยะ 450 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ในระหว่างการตอกให้ทำการบันทึกค่าจำนวนการตอก 2 ช่วงสุดท้าย 300 มิลลิเมตร มาบวกกันจะได้ค่า N Value ค่าที่ได้จะเป็นจำนวนการตอกที่กระทำให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลง 1 ฟุต เหตุที่ไม่ใช้จำนวนการตอกช่วงแรก (150 มิลลิเมตร แรก) เนื่องจากดินในช่วงนั้นค่อนข้างโคนรบกวนพอสมควร จากกระบวนการเจาะหรืออาจจะเป็นดินที่หลุดมาจากขอบหลุมเจาะไม่ใช่อันดินที่ต้องการทดสอบจริง โดยปกติเราทำการทดสอบทุกระยะ 1.0-1.5 เมตร ค่า N ที่ทดสอบได้สามารถนำไปจำแนกความแข็ง-อ่อนของดินเหนียวหรือความแน่นหลวมของทราย ดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1. แสดงการจำแนกลักษณะของดินจากผลการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

(Peck, Hanson and Thombum, 1974)

Cohesive Soil (ดินเหนียว)		
ความแข็ง	SPT-N,Blows/foot	Unconfined Compressive Strength(q_u)
Very Soft	< 2	< 2.5 t/m ²
Soft	2 – 4	2.5 – 5.0 t/m ²
Medium	4 – 8	5.0 – 10.0 t/m ²
Stiff	8 – 15	10.0 – 20.0 t/m ²
Very Stiff	15 – 30	20.0 – 40.0 t/m ²
Hard	> 30	> 40.0 t/m ²

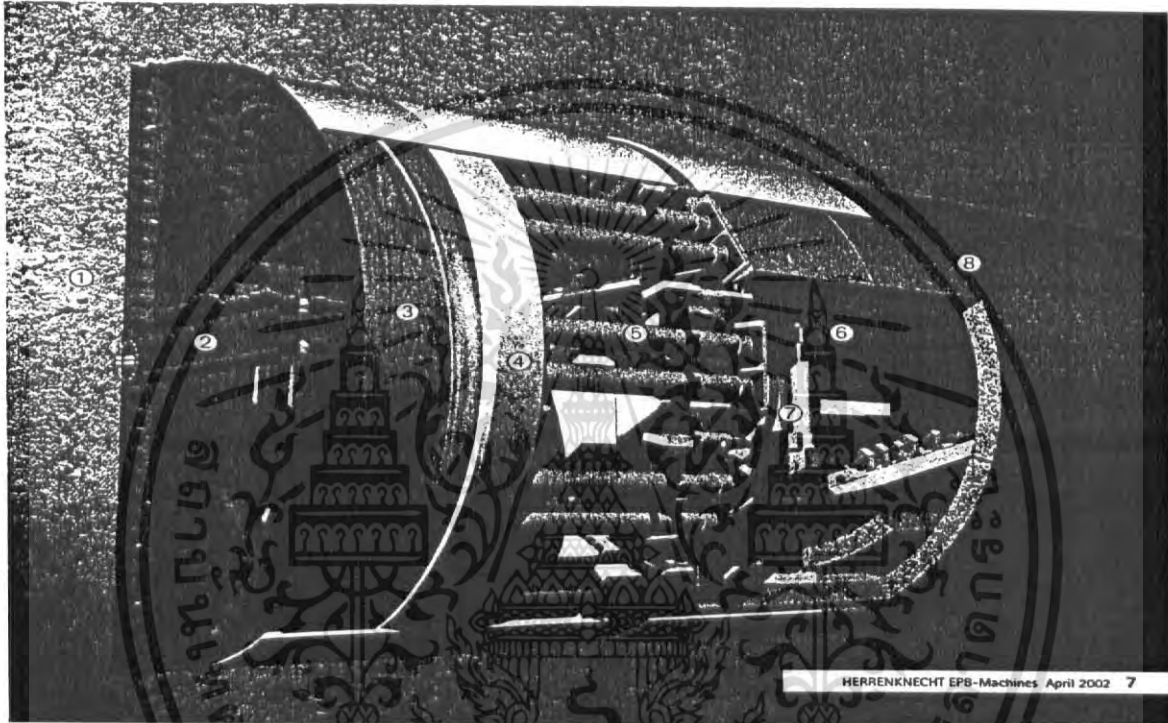
Cohesionless Soil (ทราย)	
ความแน่น	SPT-N,Blows/foot
Very Loose	< 4
Loose	4 – 10
Medium Dense	10 – 30
Dense	30 – 50
Very Dense	> 50

6.2. 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 (E.P.B.) ซึ่งเป็นหัวขุดเจาะที่เหมาะสมสำหรับการขุดเจาะในทุกสภาพของชั้นดินในกรุงเทพฯ

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

6.2.1. ส่วนประกอบของหัวเจาะ

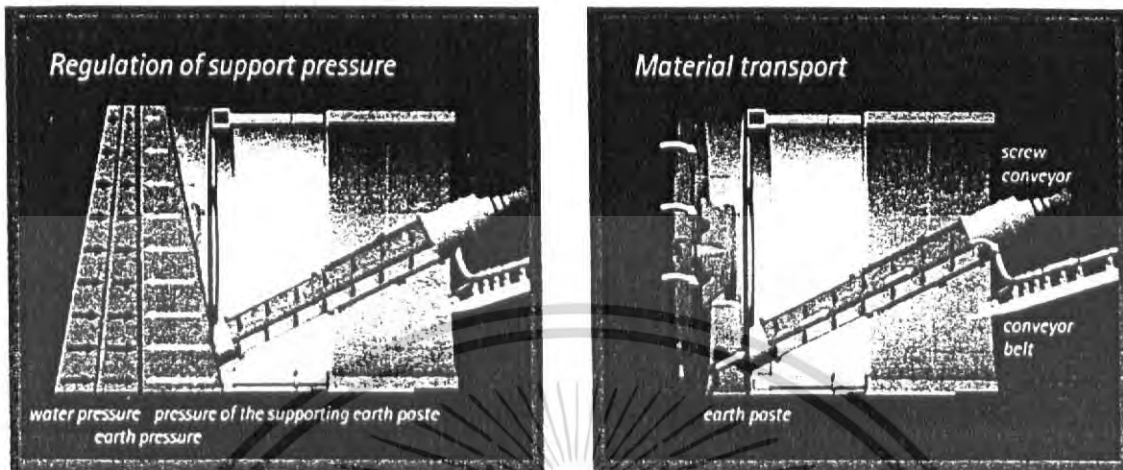


รูปที่ 6.1. หัวเจาะ Tunneling Boring Machine (TBM)

- 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2. หลักการทำงานของเครื่องเจาะ

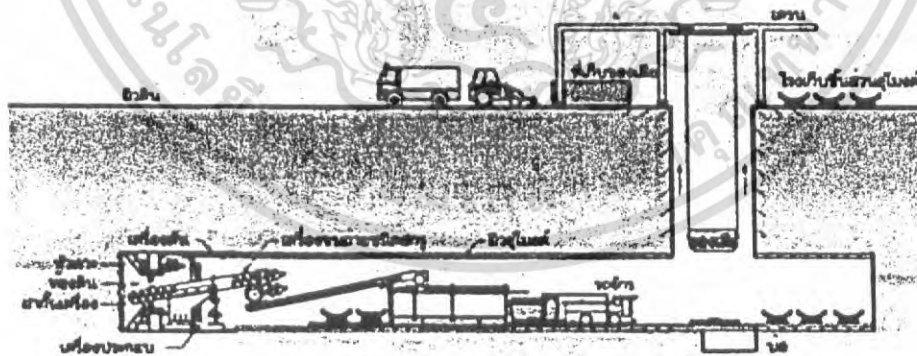


รูปที่ 6.2. แสดงสมดุลแรงดันและการลำเลียงดิน

รูปซ้าย ตัวหัวเจาะจะปรับแรงดันให้เท่ากับแรงดันของน้ำและดินที่ดันเข้ามา
รูปขวา การลำเลียงดิน ดินจะเข้ามาทางด้านหน้าและไปยังท่อลำเลียงดิน

6.2.3. การขุดเจาะอุโมงค์

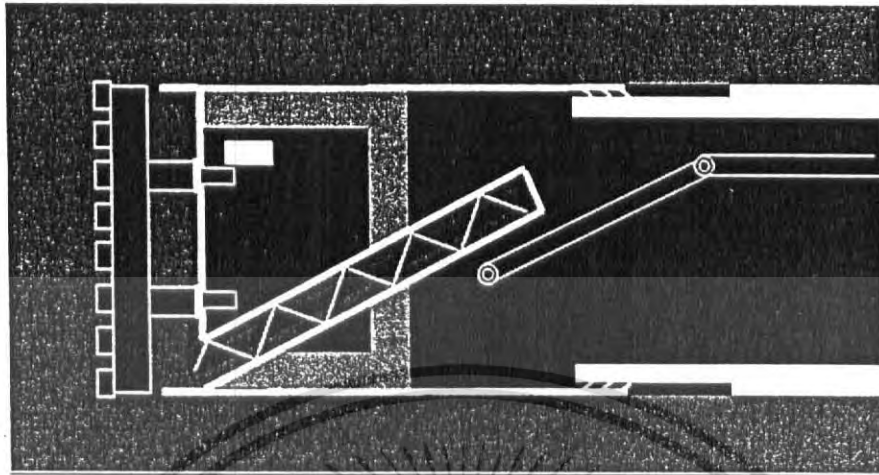
โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ใช้การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Earth Pressure Balance Shield ดังรูปที่ 6.3.



รูปที่ 6.3. การขุดเจาะอุโมงค์วิธี Earth Pressure Balance Shield

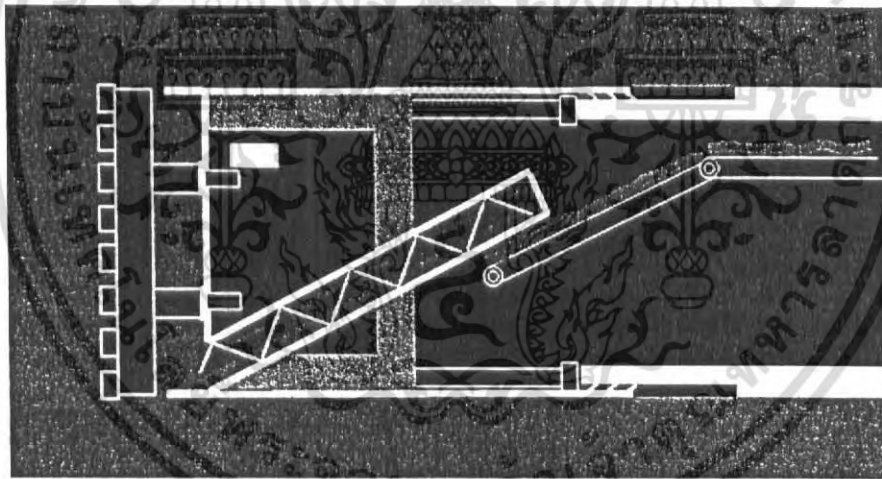
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4. ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์



รูปที่ 6.4. รูปก่อนการทำงาน

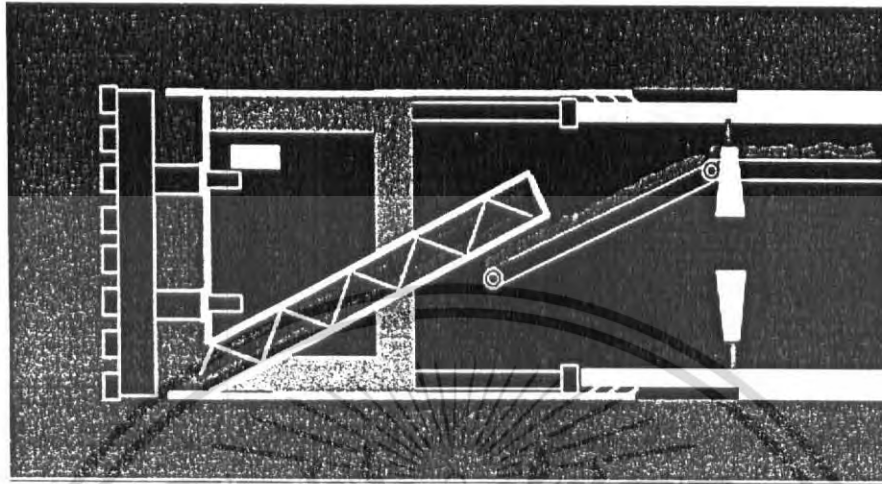
1. ขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)



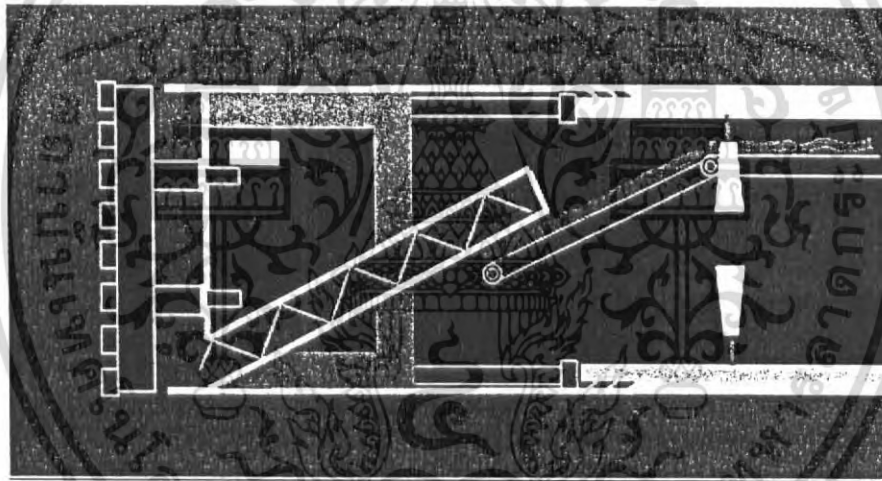
รูปที่ 6.5. แสดงการขุดดินและเคลื่อนตัวหัวเจาะไปด้านหน้า (Excavation and shoving)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 163 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัดฉีดน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting) เพื่อป้องกันการทรุดตัวของผิวดินด้านบน



(ก)



(ข)

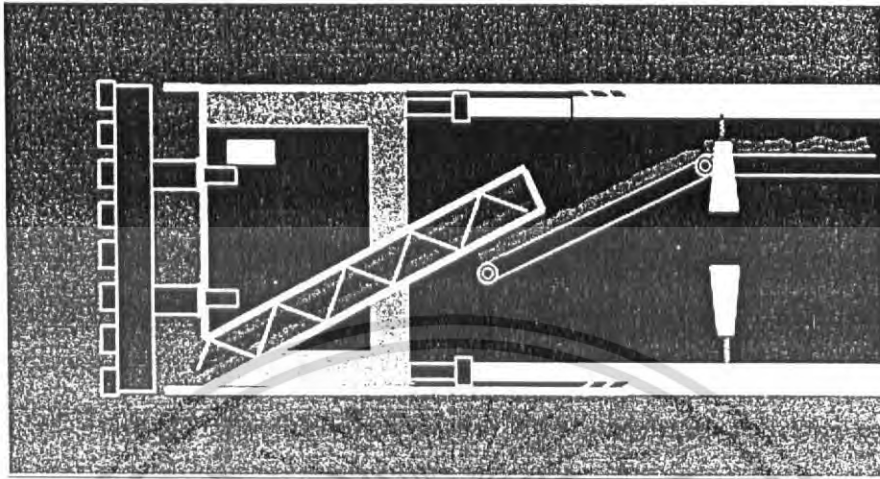
รูปที่ 6.6. แสดงการอัดฉีดน้ำปูนระหว่างช่องว่างดินกับผิวอุโมงค์ (Grouting)

(ก) ก่อนการอัดฉีด

(ข) หลังการอัดฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ประกอบชิ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)



รูปที่ 6.7. แสดงการประกอบชิ้นส่วนผิวอุโมงค์ (Tunnel Lining Segment)

หมายเหตุ

- 1 ในการขุดเจาะแต่ละครั้งจะได้ระยะประมาณ 1.2 เมตร 1 รอบ หรือ 1 Ring
- 2 ได้ปริมาณดินต่อ 1 รอบ ประมาณ 40 ลบ.ม.
- 3 อัตราการทำงานประมาณ 10 เมตร/วัน

6.2.5. 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 ถ้าสภาพดินดีจะไม่มีแรงดันดิน ถ้าสภาพดินเหลวจะทะลักเข้ามาใน Soil Chamber ทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งแรงดันนี้จะไปกำหนดความเร็วรอบของ Screw Conveyor ให้ช้าลง เพื่อดันดินให้ทะลักเข้ามาน้อยลงหรือปิด Slide Gate ถ้าสภาพดินเหลวและสามารถทะลักผ่าน screw conveyor ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5.1. การควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนตัวของหัวขุดประกอบด้วย

1. Shield Jack เป็นแม่แรงขนาดตั้งแต่ 80 ตัน จำนวนขึ้นอยู่กับขนาดของหัวขุดติดตั้งด้านหลังหัวขุด เพื่อใช้ในการถีบตัวไปข้างหน้า โดยอาศัยเปลือกอุโมงค์เป็นตัวรับแรงการบังคับแนวซ้าย-ขวา หรือ ขึ้นบนและลงข้างล่าง ให้พิจารณาเลือกตำแหน่งของ Shield Jack เช่น ต้องการให้หัวขุดเลี้ยวซ้าย ให้เลือก Shield Jack ในตำแหน่งขวามือ โดยยึดถือการหันหน้าเข้าหัวขุด
2. Copy cutter คือ ฟันสามารถยึดตัวออกทางด้านรัศมี เพื่อเพิ่มการกัดหน้าดิน ให้เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เพื่อช่วยให้หัวขุดสามารถเลี้ยวตัวได้มากขึ้น
3. Articulated Steering Jack คือ ส่วนของหัวขุดที่สามารถหักงอเพื่อลดรัศมี ความโค้งของอุโมงค์
4. ระบบควบคุมหัวขุดเจาะอุโมงค์ TBM Driving control System ใช้อุปกรณ์ Gyro-Compass & Computerize Level Control System

6.2.5.2. การคำนวณออกแบบความค้ำที่หัวเจาะ

เพื่อดำเนินงานแรงค้ำคินในขณะที่ขุดเจาะ ซึ่งในการคำนวณโครงสร้างของหัวขุดจะต้องพิจารณาแรงค้ำคิน แรงต้านทานขณะขุดเจาะ ความหนาของ skin plate ความแข็งแรงของ ring girder และความสามารถในการค้ำและบิดของ cutter head เป็นต้น

6.2.5.3. วิธีเลือกตำแหน่ง Construction shaft

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

6.2.5.4. การวางแผนและลำดับขั้นตอนการนำคินที่ขุดเจาะอุโมงค์ไปทิ้ง

เพื่อให้ส่งผลกระทบต่อการจราจรน้อยที่สุด เนื่องจากจราจรในกรุงเทพมหานครต่อการก่อสร้างอุโมงค์มาก ไม่เพียงแต่การขนถ่ายคินเพียงอย่างเดียว การขนถ่ายชิ้นส่วนอุโมงค์ก็มีผลกระทบมาก การวางแผนจะต้องพิจารณาส่วนประกอบดังนี้

1. ขนาดของพื้นที่ทำงานต้องมีขนาดที่เหมาะสมและการจัดการที่ดี เช่น พื้นที่ที่เก็บดิน ต้องเพียงพอต่อการขุดเจาะอุโมงค์ในตอนกลางวันและจะต้องมีการจัดการขนย้ายดินให้หมดในเวลากลางคืน ซึ่งจะไม่กระทบกับการจราจร
2. การขนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์จากโรงงานผลิต จะต้องขนย้ายในเวลากลางคืนและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานขนย้ายดิน
3. ระยะทางจากสถานที่ตั้งดินและหน่วยงาน ต้องสัมพันธ์กับปริมาณรถในการขนถ่าย จะต้องมีการตั้งดินสำรองเพื่อป้องกันผลกระทบต่อการขุดเจาะอุโมงค์

6.3. ปัญหาอุปสรรคและวิธีการแก้ไขในขณะดำเนินงานขุดเจาะอุโมงค์

6.3.1. เมื่อหัวเจาะเคลื่อนออกไปจากแนวที่กำหนด สาเหตุที่หัวเจาะผิดไปจากแนวที่กำหนดมีดังนี้

1. ขาดความรู้และความเข้าใจของวิศวกรและผู้ควบคุมในการควบคุมหัวเจาะ
2. ความผิดพลาดในการสำรวจและการคำนวณ
3. ขาดความชำนาญและประสบการณ์ ในการควบคุมและประกอบชิ้นส่วนอุโมงค์ การแก้ไข โดยใช้เทคนิคการควบคุมหัวเจาะ

6.3.2. เมื่อพบชั้นทราย, ชั้นดินปนทรายหรือน้ำใต้ดิน ในขณะที่ขุดเจาะลักษณะของหัวชุดแบบ Earth Pressure Balance นั้น สามารถขุดได้ในทุกสภาพชั้นดิน ยกเว้นชั้นที่เป็นหิน วิธีการแก้ไขปัญหากรณีนี้ที่พบชั้นดินแต่ละประเภท ทำดังนี้

1. ชั้นดินแข็ง Stiff Clay ความจริงหัวชุดประเภทนี้เหมาะสำหรับขุดในชั้นดินอ่อน หากเจอสภาพดินแข็ง จำเป็นต้องฉีดน้ำเข้าไปเพื่อย่อยสลายดินให้อ่อนตัว มิฉะนั้นดินก้อนใหญ่จะก่อปัญหาให้ Screw Conveyor อุดตันได้
2. ชั้นดินเหนียว Medium Clay เป็นชั้นดินที่เหมาะสมกับหัวชุดประเภทนี้ ปัญหาที่น้อย ดินที่ออกมาจะเป็นแท่งอย่างค่อเนื่อง จะต้องตักดินให้ขาด
3. ชั้นทราย Sandy Clay หากเป็นทรายร่วนจะต้องฉีด Bentonite เข้าไปผสมเพื่อกันไม่ให้หน้าดินบริเวณหน้าหัวชุดพัง การขุดจะต้องมีแรงดันดินหน้าหัวชุดเพื่อป้องกันดินพัง
4. ชั้นดินปนทราย ทำเช่นเดียวกับข้อ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. น้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินโดยเฉพาะในระดับ 20 ม. มีน้อยหากพบก็จะพบในลักษณะที่ซึมเข้ามาตามสภาพชั้นดินยังคงปกติ ถ้าเป็นกรณีที่สภาพดินอ่อนตัวมากวิธีแก้ปัญหาคือ การฉีดน้ำยาประเภท Quick setting compound หรือการทำ Ground treatment

6.3.3. เมื่อพบอุปสรรคขวางหน้า Obstruction

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

6.4. 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 (m³) - ปริมาณดินที่วัดได้ในการขุดเจาะแต่ละ Ring
7. Discharged Soil Percent (%) - เปอร์เซ็นต์ของปริมาณดินที่ขุดได้เทียบกับเทียบกับปริมาตร ของดินในอุโมงค์
8. Additive Volume (m³) - 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างอุโมงค์มีประวัติศาสตร์อันยาวนาน โดยตั้งแต่อดีต มนุษย์ได้เรียนรู้กับความ ล้มเหลว และนำมาพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างให้สะดวกรวดเร็ว และปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยเริ่ม ตั้งแต่การขุดเจาะโดยใช้แรงงานคนและปราศจากการป้องกันหรือค้ำยันใดๆ มาเป็นการรู้จักใช้ Shield ป้องกันการพังทลายของดิน และนำมาสู่การใช้เครื่องมือและช่วยในการขุดเจาะ จนมาถึงปัจจุบันที่ สามารถขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะที่ทันสมัย แต่วิศวกรยังคงต้องพัฒนาต่อไปโดยอาศัยเทคโนโลยี ด้านอื่น นอกเหนือจากทางเครื่องกลและโยธาเข้าช่วย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีเลเซอร์ เรดาร์ หรือ เทคโนโลยีด้านโทรคมนาคม เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้างอุโมงค์ให้น้อยที่สุด ซึ่งจะ ทำให้โครงการสาธารณูปโภคหรือโครงสร้างได้ดิน ที่เป็นไปไม่ได้ในอดีตสามารถสร้างให้เป็นจริง ได้ในอนาคตอันใกล้



บทที่ 7

การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

7.1. ข้อมูลสถานี

7.1.1. สถานีหัวลำโพง

อยู่ที่หัวถนนพระรามที่ 4 บริเวณจุดตัดหัวถนนรองเมืองและถนนมหาพฤฒารามหน้า สถานีรถไฟหัวลำโพง มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 206 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 14 เมตรจากผิว ดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด อาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติม แห่งที่ 1 อยู่บนถนนพระรามที่ 4 บริเวณระหว่างสถานีหัวลำโพงและสถานีสามย่าน

7.1.2. สถานีสามย่าน

อยู่ถนนพระรามที่ 4 ตรงข้าม โครงการจุฬาไฮเทคสแควร์บริเวณทางแยกถนนพญาไท และถนนสี่พระยากับถนนพระรามที่ 4 หน้าวัดหัวลำโพง มีขนาดสถานีกว้าง 22 เมตร ยาว 174 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 25.6 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบต่างระดับ มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

7.1.3. สถานีสีลม

อยู่ตามแนวถนนพระรามที่ 4 ได้สะพานลอยไทย-ญี่ปุ่นปากทางแยกถนนสีลมหน้าโรง แรมดุสิตธานี มีขนาดสถานีกว้าง 30 เมตร ยาว 156 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 30 เมตรจากผิวดิน เป็น ชานชาลาแบบต่างระดับ มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

7.1.4. สถานีคูมพิณี

อยู่บริเวณปากทางแยกถนนพระรามที่ 4 กับถนนสาทร ตรงข้าม โรงเรียนเตรียมทหาร บริเวณด้านข้างสะพานลอยไทย-เบลเยียม มีขนาดสถานีกว้าง 20 เมตร ยาว 172 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ ลึก 26 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบต่างระดับ มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.5. สถานีบ่อนไก่

อยู่ในแนวถนนพระรามที่ 4 ใกล้ทางด่วนชั้นที่ 1 และทางรถไฟสายแม่น้ำ บริเวณด้านหน้าสำนักงานการไฟฟ้านครหลวงคลองเตย มีขนาดสถานีกว้าง 28 เมตร ยาว 202 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 18 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบข้าง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

7.1.6. สถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์

อยู่บริเวณถนนรัชดาภิเษกตรงข้ามศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์และอาคารตลาดหลักทรัพย์ใหม่ ข้างซอยไผ่สีสุก มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 196 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 20 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

7.1.7. สถานีสุขุมวิท

อยู่ในแนวถนนอโศกใกล้กับสี่แยกอโศก-สุขุมวิท บริเวณด้านหน้าตลาดอโศก มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 199 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 17 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด อาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 2 อยู่บนถนนรัชดาภิเษก บริเวณระหว่างสถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์และสถานีสุขุมวิท

7.1.8. สถานีเพชรบุรี

อยู่บนถนนอโศกกลางสี่แยกเพชรบุรี ใกล้สถานทูตญี่ปุ่น มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 200 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 17 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด อาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 3 อยู่บนถนนอโศก ช่วงระหว่างสถานีสุขุมวิทและสถานีเพชรบุรี

7.1.9. สถานีพระราม 9

อยู่บริเวณถนนรัชดาภิเษกหน้าอาคารฟอร์จูนทาวน์ มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 199 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 18 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 4 อยู่บนถนนรัชดาภิเษกช่วงระหว่างสถานี
พระราม๑และสถานีเทียมร่วมมิตร

7.1.10. สถานีศูนย์วัฒนธรรม

อยู่บริเวณถนนรัชดาภิเษกตรงอาคารไทยประกันชีวิต มีขนาดสถานีกว้าง 27 เมตร ยาว
340 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 20 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด
อาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 5 อยู่บนถนนรัชดาภิเษกบริเวณระหว่างสถานี
เทียมร่วมมิตรและสถานีประชากรราษฎร์บำเพ็ญ

7.1.11. สถานีประชากรราษฎร์บำเพ็ญ

อยู่บริเวณกลางสี่แยกห้วยขวาง มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชาน
ชาลาอยู่สูง 19 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุดอาคารระบายอากาศ
และทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 6 อยู่บนถนนรัชดาภิเษกช่วงระหว่างสถานีประชากรราษฎร์บำเพ็ญและ
สถานีสุทธิสาร

7.1.12. สถานีสุทธิสาร

อยู่บริเวณกลางสี่แยกสุทธิสาร มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชาน
ชาลาอยู่สูง 19 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

7.1.13. สถานีรัชดา

อยู่บริเวณหน้าอาคารปลาทองกะรัต มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับ
ชานชาลาอยู่สูง 19 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

7.1.14. สถานีลาดพร้าว

อยู่บริเวณถนนลาดพร้าว ซอย 21 เชื่อมต่อกับอาคารจอตลอดแล้วจร มีขนาดสถานีกว้าง
22 เมตร ยาว 258 เมตร ระดับชานชาลาอยู่สูง 19 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด 4 จุด อาคารจอดแล้วจรตั้งอยู่บริเวณสถานีลาดพร้าว เป็นอาคารสูง 9 ชั้น จอดรถได้ประมาณ 2,200 คัน และมีตลาด (Supermarket) อยู่ชั้นใต้ดิน โดยจะมีทางเชื่อมต่อกับห้องโถงผู้โดยสาร (Concourse) ของสถานีลาดพร้าว อาคารระบายอากาศ และทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 7 อยู่บริเวณข้างโรงเรียน ปานะพันธุ์

7.1.15. สถานีพหลโยธิน

อยู่บริเวณถนนพหลโยธินตัดถนนลาดพร้าว มีขนาดสถานีกว้าง 22 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 18 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 5 จุดอาคารระบายอากาศและทางออกฉุกเฉินเพิ่มเติมแห่งที่ 8 อยู่ในสวนจตุจักรระหว่างสถานีพหลโยธินและสถานีหมอชิต

7.1.16. สถานีกำแพงเพชร

อยู่ตรงข้ามองค์การตลาดเพื่อเกษตรกร (อตก.) มีขนาดสถานีกว้าง 23 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 17 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 3 จุด

7.1.17. สถานีบางซื่อ

อยู่บริเวณใกล้สถานีรถไฟฟ้าบางซื่อ มีขนาดสถานีกว้าง 30 เมตร ยาว 226 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 12 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบข้าง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 2 จุด

7.1.18. สถานีหมอชิต

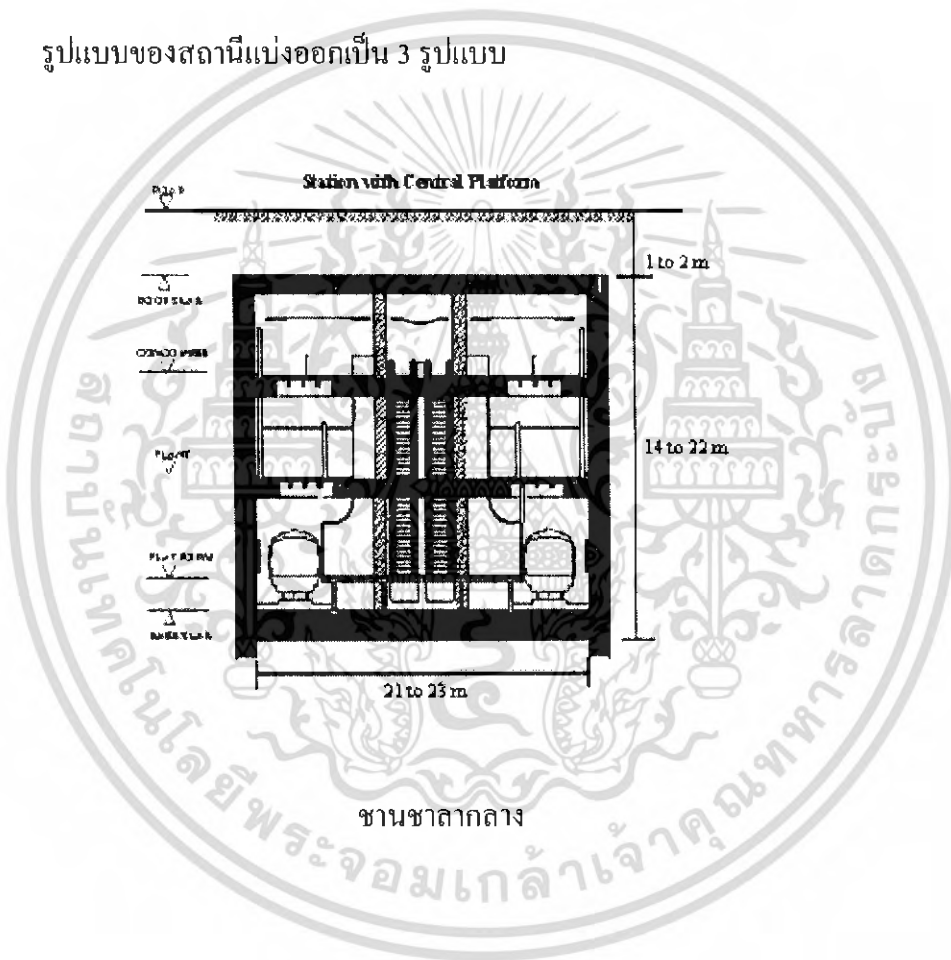
อยู่ในบริเวณริมสวนจตุจักร สามารถเชื่อมต่อกับโครงการรถไฟฟ้าชานชาลาที่บริเวณสถานีขนส่งหมอชิตมีขนาดสถานีกว้าง 30 เมตร ยาว 366 เมตร ระดับชานชาลาอยู่ลึก 17 เมตรจากผิวดิน เป็นชานชาลาแบบกลาง มีจุดขึ้น-ลงทั้งหมด 4 จุด

7.1.19. ศูนย์ซ่อมบำรุงห้วยขวาง

ตั้งอยู่บนเนื้อที่ 300 ไร่ บริเวณห้วยขวาง ซึ่งประกอบด้วยศูนย์ซ่อมบำรุงห้วยขวาง อาคารศูนย์ปฏิบัติการ ที่จอดรถเก็บรถไฟฟ้ารวมถึงอาคารที่พักพนักงานปฏิบัติการ อาคารเก็บเอกสาร และศูนย์ฝึกอบรมขององค์การรถไฟฟ้ามหานคร

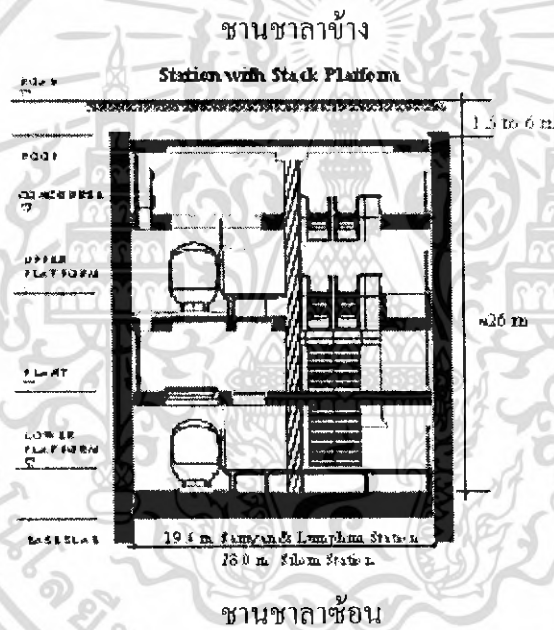
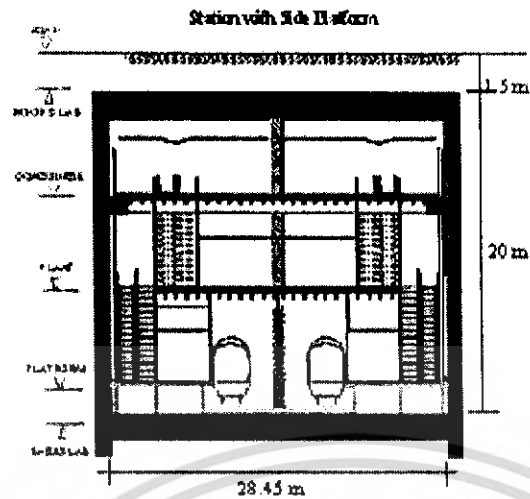
7.2. รูปแบบของสถานีและการก่อสร้างสถานี

รูปแบบของสถานีแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ



ชานชาลาตากกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

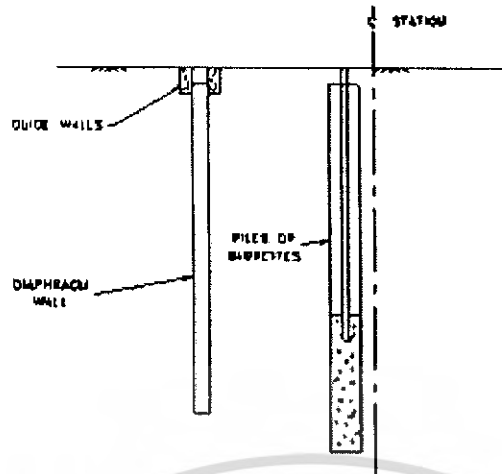


รูปที่ 7.1. แสดงลักษณะต่างๆของชานชาลา

7.3 ขั้นตอนการก่อสร้างสถานี

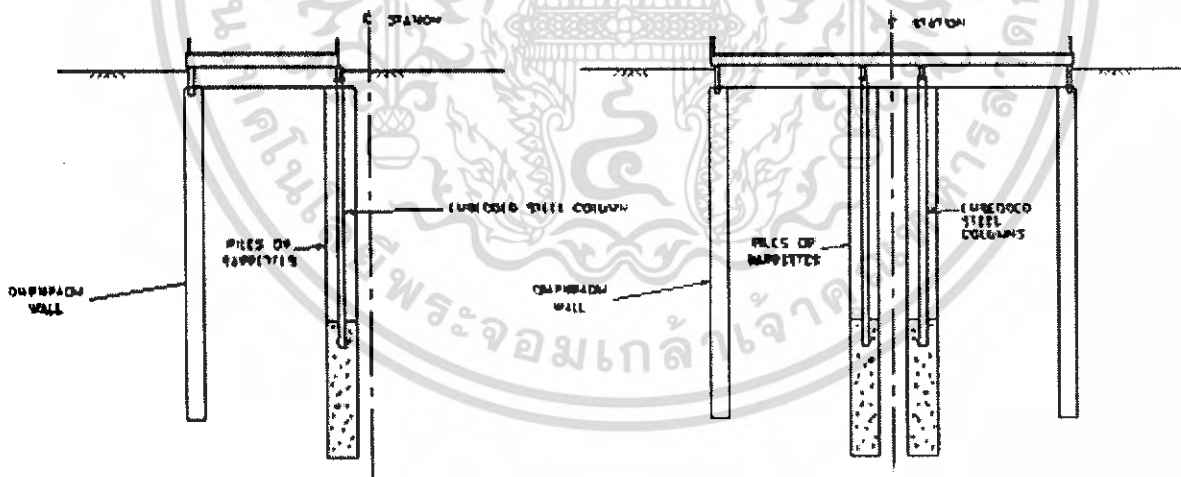
1. เคลื่อนย้ายสาธารณูปโภคต่างๆออกจากบริเวณก่อสร้าง
2. ก่อผนังกำแพงสถานีและเสาเข็มกลางสถานี (Diaphragm Wall & Barrette Pile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2. แสดงการก่อผนังกำแพงสถานีและเสาเข็มกลางสถานี (Diaphragm Wall & Barrette Pile)

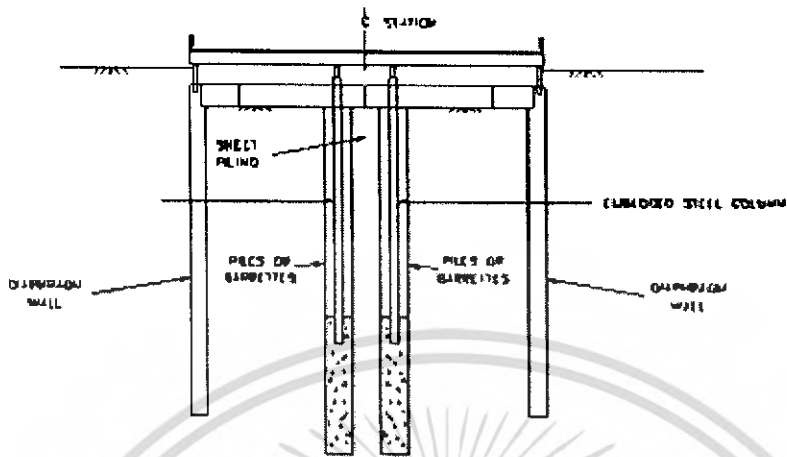
3. ติดตั้งผิวจราจรชั่วคราว (Temporary Decking)



รูปที่ 7.3. แสดงการติดตั้งผิวจราจรชั่วคราว (Temporary Decking)

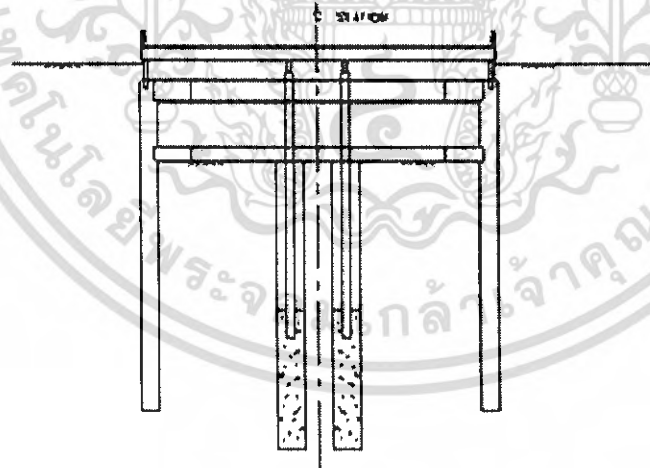
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จุดดินและก่อสร้างหลังคาสถานี (Roof Slab)



รูปที่ 7.4. แสดงการจุดดินและก่อสร้างหลังคาสถานี (Roof Slab)

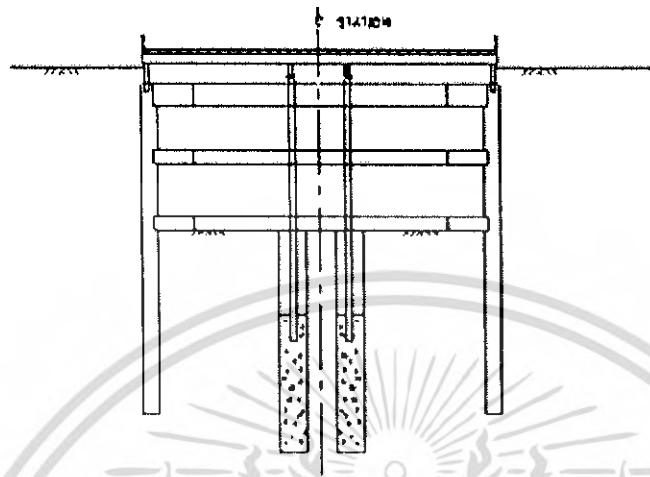
5. จุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นรองรับผู้โดยสาร (Subway Access)



รูปที่ 7.5. แสดงการจุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นรองรับผู้โดยสาร (Subway Access)

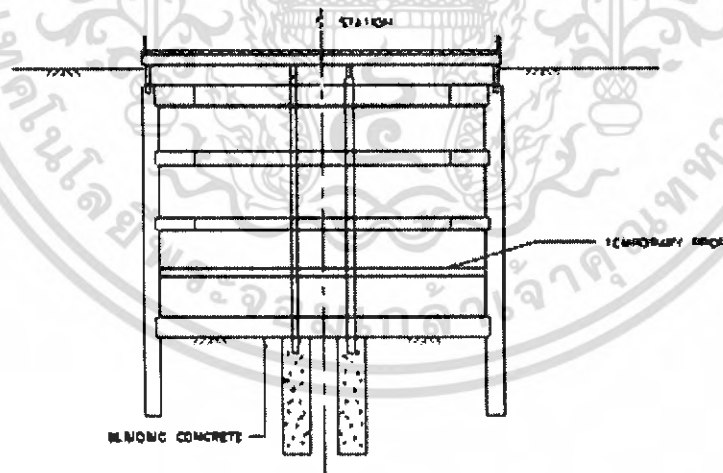
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นห้องผู้โดยสาร (Concourse Slab)



รูปที่ 7.6. แสดงการขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นห้องผู้โดยสาร (Concourse Slab)

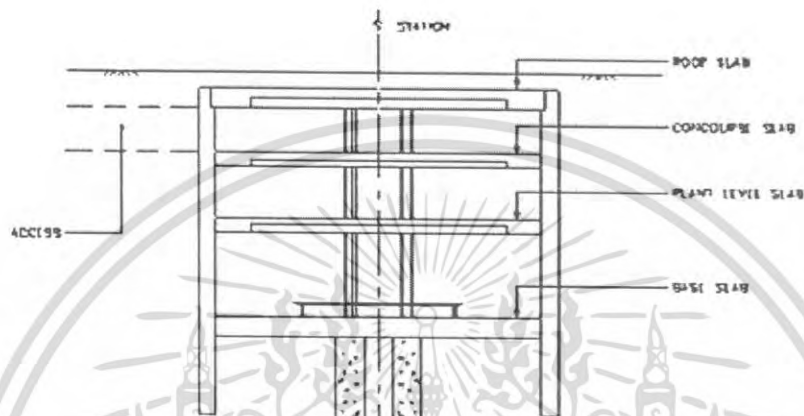
7. ขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นล่าง (Base Slab)



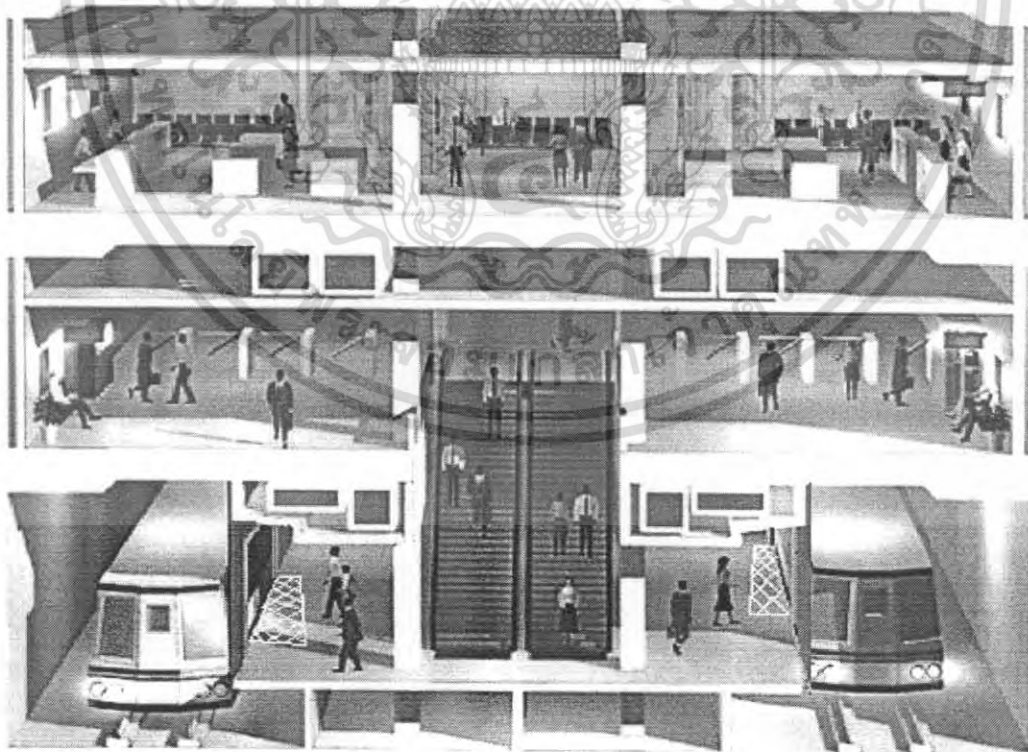
รูปที่ 7.7. แสดงการขุดดินและก่อสร้างพื้นชั้นล่าง (Base Slab)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ก่อสร้างชานชาลา (Platform)
9. งานตกแต่ง
10. ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์
11. คืบผิวถนน



รูปที่ 7.8. แสดงการคืบผิวถนน



รูปที่ 7.9. สถานที่ทำการก่อสร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

Diaphragm Wall

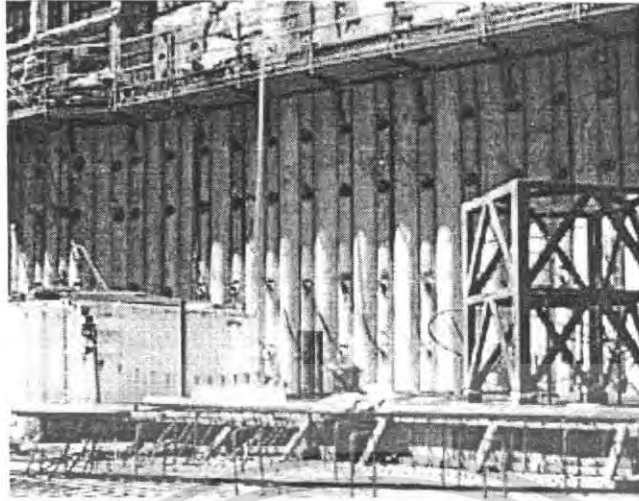
8.1. บทนำ

ในการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน หรือการขุดดินลึกสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดคือ ส่วนที่ป้องกันแรงดันด้านข้าง และโครงสร้างที่ใช้ในการป้องกัน คือกำแพงกันดิน ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภทคือ การก่อสร้างโดยใช้ระบบจมปล่องอุโมงค์ (Sinking caisson system) (รูปที่ 8.1.) ระบบเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Secant Bored Pile Wall) (รูปที่ 8.2.) และระบบกำแพงกันดินชนิดขุดหล่อในดิน (Diaphragm Wall) การพิจารณาเลือกระบบการก่อสร้างขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมและชั้นดิน บริเวณที่จะก่อสร้าง การเลือกระบบก่อสร้างที่เหมาะสมจะช่วยลดทั้งระยะเวลาการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายตลอดจนปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้างโดยโครงสร้างกำแพงกันดินที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือกำแพงกันดินประเภท Diaphragm Wall เพราะมีความสามารถในการรับ โหลดซึ่งเกิดจากแรงดันดินด้านข้างได้สูงกว่า และยังสามารถลดปริมาณการเคลื่อนตัว (Displacement) ของดิน ได้สูงกว่าระบบขุดหลุม (Flexible) และที่สำคัญคือใช้เวลาในการก่อสร้างที่น้อยกว่าวิธีอื่น



รูปที่ 8.1. กำแพงกันดินระบบจมปล่องอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2. กำแพงกันดินแบบเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง

ในการก่อสร้าง Diaphragm wall ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่นำไปใช้ เช่น กรมทางหลวง ซึ่งได้นำไปสร้างเป็นอุโมงค์ทางลอดทางแยกเพื่อแก้ปัญหาการจราจรติดขัดในทางแยก และการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ซึ่งได้นำไปใช้ในการก่อสร้างในโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายรัชมงคล ในส่วน โครงสร้างตัวผนังสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การก่อสร้างสถานีและการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดิน ในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน Hooi (2003) วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกำแพงโดยใช้โปรแกรม Plaxis เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มี และอธิบายลำดับการก่อสร้างสถานี ลำดับการก่อสร้างสถานีนี้ถูกนำมาใช้ในการขุดดินทุกสถานีโดยใช้ระบบพื้นเป็นค้ำยัน โดยเฉลี่ยแล้วหน้าตัดของสถานีรถไฟฟ้าลึก 20 เมตร กว้าง 18-25 เมตรและยาว 150-200 เมตรสถานีที่ก่อสร้างมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. ชานชาลาอยู่ตรงกลาง
2. ชานชาลาอยู่ด้านข้าง
3. ชานชาลาอยู่ซ้อนกัน

ส่วนการเลือกใช้ชนิดของแต่ละสถานีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น การวิเคราะห์สถานะดินที่ได้ฐาน ความลึกชั้นสุดท้ายที่ทำการขุด และสถานีที่ตั้งของสถานี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีแรงดันด้านข้าง (Lateral Pressure)
2. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforce Concrete Design)
3. กลศาสตร์ของดิน (Soil Mechanics)

8.3. ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน

ในการขุดดินจุดประสงค์ก็เพื่อการก่อสร้างชั้นใต้ดิน และงานฐานราก ซึ่งก็มีทั้งการใช้ฐานรองรับ และไม่ใช้ฐานรองรับ

ในกรณีที่ขุดดินแล้วไม่มีการใช้ฐานรองรับ ก็คือเป็นการขุดโดยใช้ ความมั่นคงของลาดดิน (Slope Stability) เป็นที่ช่วยไม่ให้ดินเคลื่อนตัว เพราะการใช้วิธีนี้จะไม่เป็นการขัดขวางการทำงาน เพราะไม่ต้องมีโครงสร้างใด ๆ เป็นตัวค้ำยัน และราคาที่ถูกในการก่อสร้างด้วย แต่วิธีนี้ก็ยังมีขีดจำกัดอยู่มาก เช่น พื้นที่ที่ขุด ความลึกของดินที่ขุด ชนิดของดินที่ขุด และสภาพของอาคารข้างเคียงบริเวณขุด โดยเฉพาะถ้าเป็นการขุดดินในกรุงเทพฯ จะใช้วิธีนี้ไม่ได้ เพราะเป็นดินอ่อนและอาคารข้างเคียงมีมากโอกาสที่จะมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงจะต้องมีระบบโครงสร้างฐานรองรับกำแพงกันดิน(Retaining Support) เข้ามาช่วยให้การขุดดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่ละระบบจะมีลักษณะดังนี้

8.3.1. ระบบ กำแพงเข็มพืด (Sheet-pile Wall)

กำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) เป็นระบบที่ใช้เป็น โครงสร้างรับแรงดันด้านข้างที่มีใช้งานมากในงานทั่วไปที่มีการขุดดินลึกไม่เกิน 10 เมตร ซึ่งชนิดของวัสดุที่ใช้ก็มีหลายชนิด เช่น ไม้ คอนกรีต และเหล็ก ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมมาก อีกทั้งมีการประยุกต์ให้มีระบบค้ำยัน (Bracing) ด้วย ในระบบ กำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) การก่อสร้างต้องมีการระบบยึดภายใน (Interlock) ระหว่างชิ้นซึ่งมีความหนาประมาณ 10 มม. ซึ่งจะใช้การตอกลงไปในดินให้ต่อเนื่องกัน แต่การใช้ กำแพงเข็มพืด (Sheet-pile) มีข้อควรคำนึงถึงคือ การโค้งตัวหรือการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง เนื่องจากกำแพงเข็มพืด (Sheet Pile) เป็นโครงสร้างที่เกิดการ โค้งตัวได้ง่ายเพราะมีความแข็งแกร่ง (EI) น้อย

8.3.2. ระบบ Jet-Grouted Wall

Jet-Grouting เป็นการก่อสร้างที่ใช้เทคนิคของการเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินอ่อน ทำได้โดยการฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงเพื่อลงไปปรับปรุงความแข็งแรงของดินอ่อนให้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อ Grout Cement ลงไปผสมกับดินอ่อนก็จะมีลักษณะเป็นเสาซีเมนต์ที่แข็งแรงต่อเนื่องและหนาซึ่งจะทำให้ดินมีน้ำหนักมากขึ้น ในกรณีนี้เองที่ทำให้สามารถใช้ระบบนี้เป็น ฐานรองรับ (Support) ในการขุดดินได้ ซึ่งถ้าการ Jet-Grouted หนามากก็จะทำให้สามารถใช้ป้องกันดินในการขุดดินลึกได้

8.3.3. ระบบกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)

ระบบนี้ถือว่าเป็นระบบที่ทันสมัย และกำลังเป็นที่นิยมมากในประเทศไทย ซึ่งเหมาะสำหรับงานของการขุดดินลึกเพื่อทำห้องใต้ดิน (Basement) หรือทำสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยสามารถทำได้ในทุกสภาวะ

กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบเพื่อเป็นโครงสร้างรับแรงด้านข้าง ซึ่งเกิดจากแรงดันดิน แรงดันน้ำ และแรงจาก Surcharge ต่าง ๆ โดยเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Stiffness) สูงกว่า ระบบกำแพงเข็มพืดมาก ซึ่งมีผลดีในการป้องกันการโก่งตัวและการเคลื่อนตัว และสามารถรับ โมเมนต์คดโค้งได้มาก

นอกจาก กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะเป็นโครงสร้างที่รับแรงด้านข้างแล้วยังสามารถรับน้ำหนักในแนวดิ่งได้ด้วย เปรียบเสมือนเป็นเสาที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือเรียกว่า Barrette pile หรือ เรียกง่าย ๆ ว่า Legs Diaphragm Wall ซึ่งกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) เป็นได้ทั้งโครงสร้างชั่วคราว และ โครงสร้างถาวร

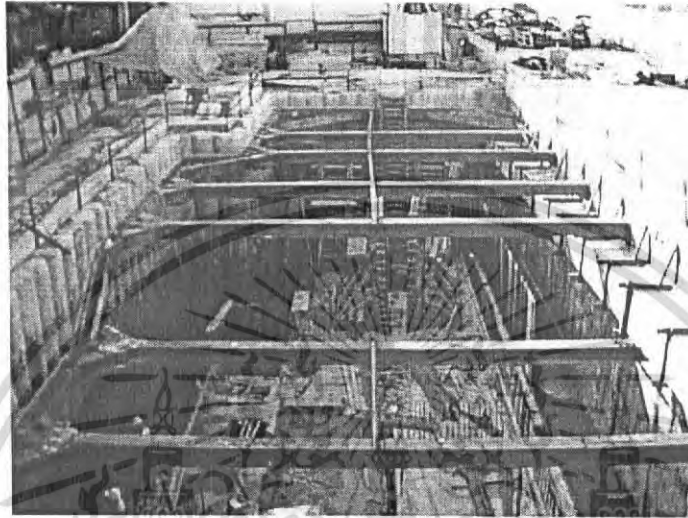
สำหรับการออกแบบและก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ในกรุงเทพฯ ได้มีการประยุกต์ระบบต่างๆที่ใช้ในการขุดดินได้ หลายวิธี ได้แก่

1. Diaphragm Wall with “Top-Down” Method
2. Diaphragm Wall with “Bottom-Up” Method
3. Diaphragm Wall with Internal Steel Strut and Preloading
4. Free Standing Diaphragm Wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4. ระบบค้ำยันของกำแพงกันดิน (Braced Cofferdams)

การติดตั้งระบบค้ำยัน (Bracing) ในเบื้องต้นจะกระทำที่ด้านบนของกำแพงเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวซึ่งเกิดขึ้นจากการขุดดิน ในกรณีที่มีระบบค้ำยันจะมีลักษณะเป็นดังในรูปที่ 8.3.



รูปที่ 8.3. การค้ำยันเบื้องต้น

ลักษณะที่สำคัญคือ การเคลื่อนตัวจะเป็นการหมุนรอบจุดบน (Top) การ โกงตัวและการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับตัวแปร (Factor) ต่างๆ ต่อไปนี้

1. ระยะของของระบบค้ำยัน (Bracing)
2. ความแข็งแรง (Stiffness) ของกำแพง
3. ความแข็งแรง (Stiffness) ของดินที่ด้านล่าง (Base) ของกำแพง

โดยปกติลักษณะการเคลื่อนตัวจะมีลักษณะเหมือน Arching Active Condition ดังนั้นการกระจายแรงดันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแรงที่กระทำต่อกำแพงจริงๆจะเป็นแบบ Parabolic

8.4.1. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแรง (Load) กระทำต่อ Strut ได้แก่

1. ความแข็งแรงทนทานและความมั่นคงของการเชื่อมต่อระหว่าง Strut, Wale และ Wall
2. มีการ Preload ต่อ Strut ก่อนหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 184 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิของค้ำยัน (Bracing) ในระหว่างและหลังการติดตั้ง (Bracing Load) จะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในการขุดดินที่ไม่ได้มีการป้องกันร่มเงา
4. ระยะห่างของการค้ำยัน (Bracing)
5. ความแข็งหรืออ่อนของดินได้ระดับที่ขุด
6. น้ำหนัก (Surcharge) ในการก่อสร้าง
7. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินบ่อยๆ

8.4.2. การออกแบบรับแรงดิน (Design Earth Pressure Diagram)

Terzaghi และ Peck (1968) ได้แนะนำให้ใช้ Earth Pressure Diagram สำหรับการออกแบบ Braced wall ซึ่ง Strut จะถูกออกแบบให้รับแรง (Load) ภายในพื้นที่ระหว่างจุด 2 จุดของ ค้ำยัน (Bracing) ด้านบน และด้านล่าง

ในกรณีของดินอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) ไคอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบขึ้นอยู่กับ Stability Number, ($N = \gamma H/S_u$) การคำนวณแรงดัน (Earth Pressure) ของดินเหนียว (Clay) จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมดของดิน (Total Weight of Soil) ซึ่งสมมติให้ดินเหนียวมีสภาพเป็นแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained) ดังนั้นแรงดันดิน (Earth Pressure) จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมด (Total Unit Weight) และค่ากำลังรับแรงเฉือนเริ่มต้น (Initial Shear Strength) ของดิน

เมื่อ Stability Number (N) มีค่า 5 – 6 จะสังเกตว่าไคอะแกรมจะเท่ากับแรงดันแรงกั้น (Rankin Pressure) ที่แสดงไว้เปรียบเทียบ ซึ่ง Peck (1969) กล่าวว่าค่า 'm' จะเท่ากับ 0.4 ในดินชนิดดินเหนียวที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitive Clay) และจะเท่ากับ 1.0 ในดินชนิด ไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Insensitive clay)

8.5. ความมั่นคงในการขุด-ตัด ดินเหนียว (Stability of Slurry Trench Cut in Saturated Clay)

ในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ขึ้นเริ่มต้นจะต้องขุดดินให้ได้ตามขนาดของ Panel ที่ต้องการ ซึ่งในการขุดดินในกรุงเทพฯส่วนมากจะเป็นดินเหนียวอ่อนที่เกือบจะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ซึ่งอาจจะมีผลกระทบจากการกระทำต่างๆในขณะเริ่มต้นขุด เช่น แรงดันดินด้านข้าง และ น้ำหนัก (Surcharge) ของฐานรากอาคารข้างเคียง, เครื่องจักรอุปกรณ์ในการก่อสร้างหรือน้ำหนักจากรถที่วิ่งบนถนนรอบๆบริเวณที่ขุดซึ่งในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำให้หลุมขุดมีเสถียรภาพโดยไม่ใช้ Bracing ซึ่งจะใช้สารละลายเบนโทไนท์ใส่ลงไปหลุมที่ขุดอยู่ตลอดเวลา และสามารถคำนวณเสถียรภาพในกรณีเช่นนี้โดยอาศัยสูตรของ Professor G.G. Meyerhof, F.ASCE. ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{Factor of Safety} = \frac{N * Cu}{[Po - P_L + (K * Cu) + S]} \quad (8.1.)$$

เมื่อ D = ความลึกของ Diaphragm Wall จากผิวดิน

B = ความกว้างของ Panel ที่ขุด

K = สัมประสิทธิ์ของ MEYERHOF

Po = D * ความหนาแน่นของดิน

P_L = D * ความหนาแน่นของสารละลายเบนโทไนท์

Cu = Undrained Shear Strength

S = Surcharge ข้างหลังหลุมที่ขุด

N = Stability Factor หาได้จาก MEYERHOF

8.5.1. การวิเคราะห์การอูด (Heave) ในระบบ Diaphragm Wall

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าเมื่อมีการขุดดินออกแล้วจะทำให้แรงในแนวตั้งลดลง ซึ่งก็จะทำให้แรงดันดินเชิงรับ (Passive) น้อยลง และจะก่อให้เกิดปัญหาการอูดของดินด้านล่าง (Bottom Heave) ขึ้นในดินอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Su) ของดินเกือบคงที่ตลอดความลึกที่ต่ำกว่าพื้นขุด แล้วจะทำให้แรงดันเนื่องจากชั้นดินด้านนอกผ่านลงมาอูดขึ้นที่บริเวณขุด แต่ถ้าบริเวณพื้นขุดมีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Su) สูงก็จะมีแรงต้านเพียงพอกับแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ ช่วยไม่ได้เกิดการอูดของพื้นขุดได้ โดยแรงดันแรงดันดินเชิงรับ (Passive) ในดินนี้ก็จะขึ้นอยู่กับค่ากำลังรับแรงเฉือน (Under Drained Shear Strength) ซึ่งสามารถพิจารณาชั้นส่วนที่พื้นล่างขุดได้

ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจจะไม่ต้องคิดแรงดันน้ำก็ได้ เพราะว่าแรงดันของน้ำ (Pore Pressure) เราถือว่ารวมอยู่ในค่าของกำลังรับแรงเฉือน (Su) อยู่แล้ว (ถือว่ามิสถานะเป็น Undrained)

สำหรับในการขุดดินออกและก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะต้องให้มี Embedment มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดันดินเชิงรับ (Passive)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการูดขึ้นด้านล่าง (Bottom Heave) ได้ และจะต้องมีการตรวจสอบค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety) สำหรับกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ด้วยคือ

$$F = \frac{NcSu + [2(B + L)h / BL] \alpha Su}{\gamma H + q} \quad (8.2)$$

เมื่อ F = ค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety)

H = ความลึกของการขุด (Depth of Excavation)

γ = ความหนาแน่นของดิน (Soil Density)

Su = ค่า Undrained Shear Strength ของดินด้านล่างและบริเวณก่อสร้าง

Q = น้ำหนัก (Surcharge Load) ที่ผิวดิน

Nc = Stability Number เมื่อ $D = H + h$

h = ระยะฝังของกำแพงใต้ระดับดินขุด (Wall Embedment Below Excavation Level)

α = Adhesion Factor สำหรับดินเหนียวอ่อน = 1

B = ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)

ในการวิเคราะห์นี้อัตราส่วน D/B เป็นอัตราส่วนที่นำไปใช้ในการหาค่า Nc ถ้า L น้อยกว่า B ก็ให้ใช้ค่า D/L ไปหาค่า Nc และถ้าเกิดว่ากำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ฝังลงไปลึกถึงชั้นดินแข็งหรือมีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Su) มากก็แสดงว่าค่าตัวประกอบความปลอดภัย จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบในด้านการูดของดินด้านล่าง (Bottom Heave) อาจจะไม่ต้องศึกษาก็ได้ถือว่าปลอดภัย

8.5.2. การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน

8.5.2.1. ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวแนวตั้ง

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าในการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากการขุดดินจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินในแนวตั้ง ซึ่งในกรณีนี้จะต่างจากการทรุดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน (Consolidation Settlement) จากประสบการณ์ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยอาศัยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Finite Element สำหรับดินชนิดดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) จะได้รูปแสดงค่าการทรุดตัวในแนวตั้งเฉลี่ย ปกติแล้วจะมีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง(ไม่รวมการ Consolidated) และจากการศึกษาที่ผ่านมามีการทรุดตัวในแนวตั้งส่วนมากจะอยู่ระหว่าง 1/2 - 3/2 เท่า ของการเคลื่อนตัวในแนวราบ และมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2/3 - 4/3 เท่า ของการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง ถ้าหากเรารู้ถึงโซนที่มีผลกระทบต่อ การเคลื่อนตัวหลังผนังใกล้ๆกับบริเวณที่ขุดดิน โดยการคาดการณ์ล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำแล้วก็จะทำให้การขุดดินเป็นไปอย่างปลอดภัย เพราะได้เตรียมการออกแบบไว้ล่วงหน้า

Peck (1969) ได้อธิบายถึงบริเวณที่มีผลกระทบต่อ การทรุดตัวของบริเวณที่ขุดดิน ซึ่งก็อาศัยจากการวัดและการสังเกตในสภาพการงานจริง และได้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการทรุดตัวในแนวตั้งที่เกิดขึ้นในดินชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soil) ประมาณได้เป็น 2 เท่า ของความลึกที่ขุดลงไปจากผิวดินส่วนดินที่เป็น ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion less Soil) เช่นพวกทราย ระยะที่มีการทรุดตัวอาจจะไม่ถึง 2 เท่าของความลึกที่ขุด โดยบริเวณที่มีการอัดตัวมากจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งก็เป็นลักษณะคล้ายๆกับการการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation) และจะเห็นได้ว่าการทรุดตัวของดินข้างหลังกำแพง นั้นจะแปรผันไปตามคุณสมบัติของดินหรือค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength)

8.5.2.2. การประมาณค่าการทรุดตัวรอบบริเวณขุดหลุมลึก (Estimate of Ground Loss Around Excavation)

Caspe (1966) ได้ศึกษาและเสนอวิธีการประมาณการทรุดตัวของดินหลังผนัง ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะอาศัยการโค้งตัวของผนังมาคิด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีของ Peck (1943) ซึ่งได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน โดยมีวิธีการประมาณการทรุดตัวดังนี้

1. วัดการโค้งตัวของด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall)
2. คำนวณปริมาตรที่โค้งตัวออกไป (Vs) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ซึ่งก็จะได้เป็นปริมาตรของดินที่เคลื่อนตัวออกไป
3. คำนวณระยะทางด้านหลังผนังที่มีผลกระทบของการทรุดตัวนี้ วิธีการหาก็เสนอโดย Caspe และต้องเป็นดินประเภท Clay-base Soil ด้วย

- หาความสูงของกำแพง (Hw)
- คำนวณหาระยะต่ำกว่าระดับขุดดิน (Dredge Line) (Hp) โดยจะใช้ $H_p = B$ ในดินที่มี $\phi = 0$ ส่วนดินที่มี $\phi > 0$ ก็ใช้ $H_p = 0.5B \tan(45 + \phi/2)$

เมื่อ B = ความกว้างของการขุดดิน
 จะได้ $H_t = H_w + H_p$ (8.3.)

- คำนวณหาระยะที่มีผลกระทบกับการทรุดตัวเป็นระยะ D

$$D = H_t \tan(45 - \phi/2) \quad (8.4.)$$

- 4. คำนวณหาผิวการทรุดตัวที่บริเวณกำแพง

$$S_w = 4V_s/D \quad (8.5.)$$

- 5. คำนวณหาระยะการทรุดตัว ระยะห่าง S_i จากผนังโดยเริ่มมาจากระยะ D ไปหากำแพงและสมมติให้การแปรผันเป็นแบบ Parabolic

$$S_i = S_w (X/D)^2 \quad (8.6.)$$

เมื่อ $X = D - i$

ตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัว (Settlement) จากกราฟการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Deflection) สมมติว่าการเคลื่อนตัวมีดังรูปที่ 8.4. เมื่อ Excavation ทำกับ 52 ฟุต และมี $\phi = 0$ ที่ระยะ -14 ฟุตลงไป

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 อินทิเกรตค่าการแอ่นตัวของกำแพง (Wall Deflection) ช่วงละ 1 ฟุต ที่ระยะ -1 ถึง -35 ฟุต และคำนวณค่า V_s

$$V_s = 2/12 * \{[(1.2+0.2)/2] + 1.3+1.4+...+0.5\} = 4.4 \text{ ฟุต}^3$$

ระยะการทรุดตัว (Settlement-Influence Distance) จะเท่ากับ 90 ฟุต คำนวณได้ดังนี้

$$H_f = 38 + 52 = 90 \text{ ฟุต} \quad D = 90 \tan 45 = 90 \text{ ฟุต} (\phi = 0)$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า Ground Settlement (S_w)

$$S_w = 4.4(4)/90 = 0.196 \text{ ฟุต} = 2.35 \text{ นิ้ว (วิธีของ Peck จะได้ 2.04)}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า Settlement ที่ระยะ 20, 40 และ 60 จากกำแพง

$$S_{20} = 2.35(70/90)^2 = 1.42 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 1.3)}$$

$$S_{40} = (50/90)^2 = 0.72 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 0.7)}$$

$$S_{60} = 2.35(30/90)^2 = 0.26 \text{ นิ้ว (Peck ประมาณ 1.3)}$$

8.5.2.3. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน (Lateral Deformation in Soil)

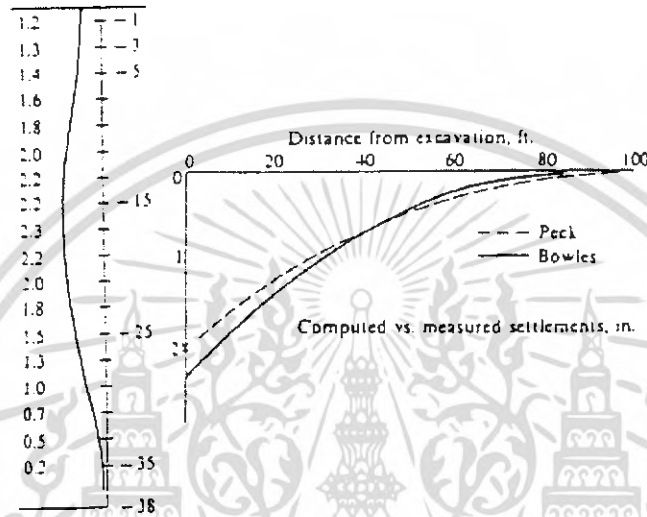
ตามปกติแล้วการทรุดตัวของแนวตั้งจะเป็นตัวที่มีผลกระทบต่อความเสียหายของโครงสร้าง และค่าการทรุดตัวก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการเคลื่อนตัวในแนวราบซึ่งค่าที่เกิดขึ้นจริงนั้นอาจจะมากกว่าค่าที่ประมาณไว้ก็ได้

การศึกษานี้จะแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน นั้นก็เป็นสาเหตุของการเสียหายได้เหมือนกัน เพราะการทรุดตัวก็เกิดจากการเคลื่อนตัวด้วยเหมือนกัน ดังนั้นค่าทั้งสองอย่างนี้ก็จะมีความสัมพันธ์ แต่ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าทรุดตัว หรือการเคลื่อนตัวจะทำให้เกิดความเสียหายมากกว่ากัน เพราะว่าในแง่ของความรู้สึกรู้สึกของวิศวกรแล้วคำว่าความเสียหายนี้ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ถือว่ามีความรุนแรงหมด ซึ่งส่วนมากแล้วงานใต้ดินจะมีการตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างเป็นส่วนมาก เพราะจะวัดได้ง่ายและแน่นอนกว่าการวัดการทรุดตัวในแนวตั้ง โดยเฉพาะในดินประเภท Heavily Over consolidated Clay ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวด้านข้างเป็นส่วนใหญ่เพราะว่าดินประเภทนี้จะมี ความเค้นในแนวราบ (Horizontal Stress) หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินนั่นเอง ซึ่งตามปกติแล้วการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณผิวของผนังและจะน้อยลงเรื่อยๆเมื่อห่างจากผนังออกไปดังนั้นรูปปร่างการโก่งตัวของผนังจะเกิดจากการกระจายการเคลื่อนตัวด้านข้าง ในมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่วัดในสนาม จะมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะเป็นไปตามลักษณะการโค้งตัวของผนัง
2. การเคลื่อนตัวจะเพิ่มตามความลึกของดินที่ขุด



รูปที่ 8.4. รูปแสดงการเคลื่อนตัวด้านข้าง

8.6. ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน

การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินใกล้กับบริเวณที่ขุดดิน ซึ่งมีสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแต่จริงๆแล้วมีความซับซ้อนมากพอสมควรที่จะทำการวิเคราะห์และแบ่งตัวแปรแต่ละอย่างเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป อย่างไรก็ตามก็จะได้อธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่คิดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างและแนวตั้งของดินด้านนอกบริเวณที่มีการขุด ดังนี้

1. เกิดจากการเคลื่อนตัวของผนัง (Displacement) ของผนังที่ใช้ ในที่นี้จะรวมไปถึงระบบของค้ำยัน (Bracing) ด้วย คือ ถ้าโครงสร้างที่มีความแข็งแรง เช่น กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm wall) ก็จะทำให้สามารถลดการเคลื่อนตัวของดินลงได้มาก และอีกอย่างหนึ่งคือการติดตั้งระบบค้ำยัน (Bracing) จะต้องดีและระยะห่างของระบบค้ำยัน (Bracing) แต่ละชั้นก็ต้องไม่ห่างกันเกินไป (รูปที่ 8.5.) เพราะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีความแปรผันโดยตรงกับระยะห่าง (Spacing) ของค้ำยัน (Bracing) และถ้าได้มีการเพิ่มความเค้น (Stress) เข้าไปกับระบบค้ำยันโดยการทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำ (Preload) ด้วยแล้วจะสามารถช่วยลดการเคลื่อนตัวด้านข้างได้เป็นอย่างดี และอีกตัวแปรหนึ่งที่น่าจะมีผลกับประเทศไทยคือ อุณหภูมิที่ร้อนมากจะทำให้เกิดความเครียด (Strain) ในระบบค้ำยัน ได้ง่ายขึ้นเมื่อรับแรงดันในแนวด้านข้างมาก

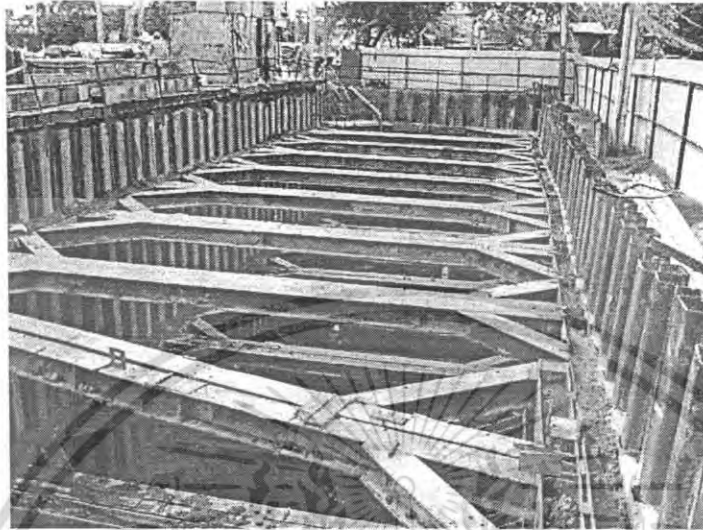


รูปที่ 8.5. การติดตั้งค้ำยันแบบครีป

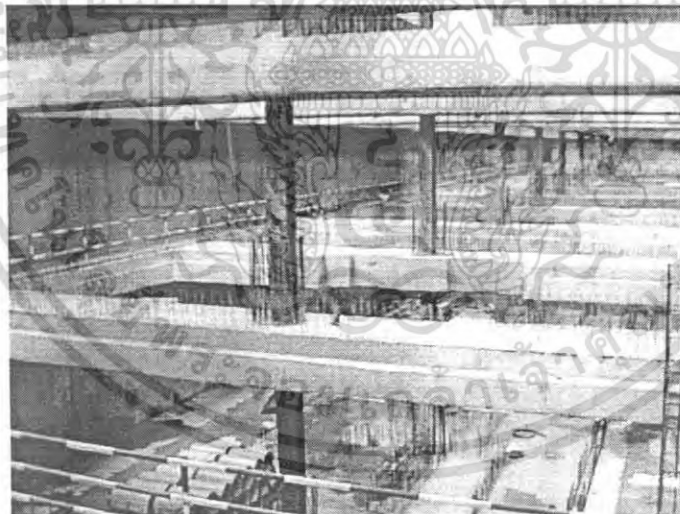
2. การเคลื่อนตัวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ของดิน เพราะค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (S_u) นี้จะเป็นความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของดินแต่ละชนิด ถ้าดินนั้นมีค่า S_u มากก็แสดงว่ามีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิด Lateral Strain มากเกินไปเมื่อมีการขุดเอาดินออกและจะไม่ทำให้เกิดการอูด หรือ Heave ขึ้นที่พื้นล่างของการขุดด้วย เพราะว่าดินที่พื้นล่างมีกำลังต้านทานแรงเฉือนได้เพียงพอ และจะทำให้แรงดัน O_h ทางด้านแรงดันดินเชิงรับ (Passive Pressure) ลดลงด้วย เพราะว่าเมื่อขุดดินออกก็แสดงว่าเป็นการลดความเค้นในแนวตั้ง (σ_v) ซึ่ง O_h ก็ลดลงด้วยตาม K_o ($K_o = \sigma_v / O_h$) ซึ่งในการก่อสร้างเราจะแก้ปัญหาในกรณีนี้ได้โดยการขุดตรงกลางของพื้นที่ขุดออกก่อน แล้วทำฐานรากตรงกลางก่อน ซึ่งน้ำหนักของฐานรากจะช่วยเพิ่มความเค้นในแนวตั้ง (Vertical Stress) ได้
3. ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (EI) ของโครงสร้างที่นำมาเป็นกำแพงกันดิน (Retaining Wall) เพราะถ้าเกิดนำโครงสร้างที่เป็นโครงสร้างแบบยืดหยุ่น (Flexible Structure) เช่น ระบบกำแพงดินแบบเข็มพืด (Sheet Pile) มาใช้ ก็จะเกิดการโก่งตัวได้ง่ายกว่าโครงสร้างที่แข็งแรง (Rigid) กว่า เช่น กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) (รูปที่ 8.6.) และมีผลให้ดินบริเวณรอบๆ ที่ขุดเคลื่อนตัวตามไปด้วย แต่โครงสร้างที่เป็นแบบยืดหยุ่น (Flexible) ก็สามารถทำให้แข็งแรง (Rigid) ได้โดยการเพิ่มระบบค้ำยัน (Bracing) เข้าไปในระบบ (รูปที่ 8.7.) เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งอาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะลดการเคลื่อนตัวได้มากกว่า กำแพงกันดินชนิดขุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) ก็ได้



รูปที่ 8.6. ระบบกำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีการค้ำยันแน่นอน



รูปที่ 8.7. การค้ำยันในกำแพงระบบ Diaphragm Wall

4. ผลกระทบด้านน้ำหนัก (Surcharge) ซึ่งจะทำให้แรงดันด้านข้างเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินได้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณจุดที่อยู่ใกล้ถนนหรือมีรถวิ่งอยู่รอบ ๆ บริเวณจุดจะต้องออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกำแพงกันดิน (Retaining Wall) และทำการให้แรงกระทำ (Preload) ตามเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านข้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของผนัง ได้อีกส่วนหนึ่ง และก่อนที่จะทำการติดตั้ง Strut นั้นก็ควรจะนำกองดิน (Earth Berm) (รูปที่ 8.8.) ไว้เป็นฐานรองรับชั่วคราว (Temporary Support) ก่อนซึ่งจะช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวได้นิดหน่อยเท่านั้น อีกทั้งต้องติดตั้งค้ำยัน (Bracing) อย่างรวดเร็วไม่ปล่อยให้เวลาล่วงเลยไปนาน ๆ เพราะการเคลื่อนตัวก็จะเกิดขึ้นเรื่อยๆตามเวลา



รูปที่ 8.8. การนำกองดิน (Berm) ช่วยในการค้ำยัน

8.7. ผลกระทบของ Wall Stiffness ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินเหนียว

ความแข็งแรงของกำแพง (Wall Stiffness) ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะตัวโครงสร้างกำแพงเท่านั้น แต่จะรวมถึงระบบค้ำยันต่างๆ และระยะห่างระหว่าง Wale ในแนวตั้งด้วย การวัดความแข็งแรงของผนังจะอยู่ในรูปของ Rowe's Flexibility Number สำหรับผนัง คือ

$$EI/L^4 \quad (8.7.)$$

- เมื่อ
- E = Modulus of Elasticity of Wall
 - I = Moment of Inertia of Wall
 - L = Vertical Spacing between Support Level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วกำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดิน (Diaphragm Wall) จะมีค่าความแข็งแรง (EI) มากกว่ากำแพงเข็มพืด (Sheet-pile) และถ้าจะมีการเทียบระยะห่างของ Wale ด้วยแล้วก็จะยิ่งมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากกำแพงเข็มพืด (Sheet-pile) มีระบบค้ำยัน (Bracing) ที่มากพอที่จะมีความแข็งแรงกว่ากำแพงกันดินชนิดชุดเจาะหล่อในดินก็ได้

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาจะเห็นได้ว่า Diaphragm Wall จะลดค่าการเคลื่อนตัวของดินอ่อนถึงดินเหนียวแข็งได้มากกว่าการใช้กำแพงเข็มพืดที่เดียว ความพยายามที่จะศึกษาถึงผลกระทบของความเพิ่มของผนังกับการเคลื่อนตัวของดินนี้ เราจะได้เขียนกราฟออกมาในรูปของ Stability Number ($N = \gamma H / S_u$) [ซึ่งเป็น อัตราส่วน ระหว่าง Overburden Stress (γH) กับค่า Undrained Shear Strength (S_u)] และค่าประกอบความแข็งแรง (EI/L^4) ซึ่งจะเป็นการหาความสัมพันธ์ของกำลัง หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดิน โดยการวัดหาความสัมพันธ์ของกำลังหรือการเคลื่อนตัวของดินจะได้ว่า

1. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างจะมีค่ามากกว่าการทรุดตัวในแนวดิ่ง ถ้าหากว่ายังไม่มีการทรุดตัวเนื่องจากขุบอัดตัว (Consolidated Settlement)
2. ค่า N ที่คำนวณได้มากที่สุดจะแปรผันตามค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) โดย H เป็นความลึกที่ขุดต่ำสุดระหว่างชั้นดินเหนียวที่กระทำกับกำแพง
3. ความแข็งแรงของ กำแพงจะมีพื้นฐานมาจากระยะห่าง (Spacing) ระหว่าง Wale ถ้า N ที่เกิดขึ้นมีค่ามากที่สุดในช่วงช่วงการขุดดิน ค่า L ก็จะคำนวณมาจากระยะห่างระหว่าง Wale และบวกเพิ่มไปอีก 2 ฟุต (Overcut) แต่ถ้า N มากที่สุดที่ระดับการขุดดิน (Base Excavation) ค่า L จะคำนวณจากระยะระหว่าง Strut ชั้นต่ำสุดกับระดับการขุดดิน

บทที่ 9

เครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค

9.1. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1

9.1.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมที่ทำการติดตั้งการวัดค่า GI มีขนาด 30*30 cm มีความลึก 80 cm ในหลุมจะปักคลุมด้วยคอนกรีตที่ผิวหน้า คอนกรีตที่ปักคลุมที่ผิวหน้าจะถูกทำลายด้วย Jack Hammer ก่อนที่จะทำการขุดพื้นผิวถนนด้วยเครื่องขุดเจาะตามขนาดที่ต้องการ

9.1.2. รายละเอียดของการติดตั้ง

การติดตั้ง GI ความลึกของหลุมจะเท่ากับความหนาของคอนกรีตที่จะกลับหลุมที่จะทำการวัดค่า ความยาวของเหล็กจะเท่ากับความสูงของหลุมที่ทำการวัดค่า

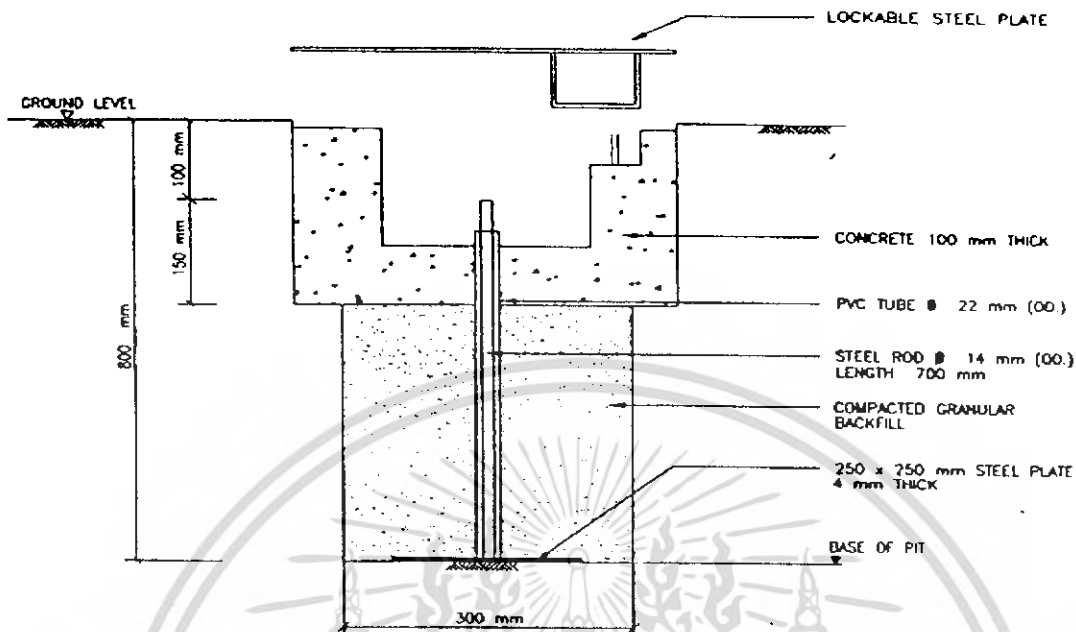
9.1.3. วิธีการเตรียมการ

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

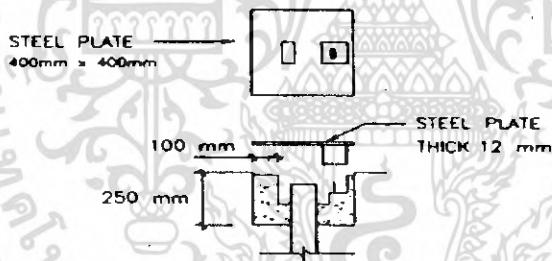
9.1.4. การติดตั้ง

หลังการก่อสร้างหลุม แผ่นเหล็กซึ่งเชื่อมติดกับเหล็กเส้นจะถูกติดตั้งที่ก้นหลุมที่ได้มีการเตรียมไว้ก่อน เหล็กเส้นจะถูกหุ้มด้วย PVC หลุมที่ขุดจะถูกกลับทับด้วยทรายหยาบ (โดยมีการบดทับบริเวณที่กลับ) ด้วยความหนา 60 cm ที่ก้นหลุม ก่อนที่จะจะใช้บล็อกคอนกรีตและใช้แผ่นเหล็กปิดทับด้านบน (ตามแบบที่แสดงในรูปที่ 9.1.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TYPICAL DETAILS OF GROUND SETTLEMENT
MARKER: SUBSURFACE TYPE 1



DETAIL OF LOCKABLE STEEL PLATE

รูปที่ 9.1. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 1

9.1.5. การจดบันทึกค่า

การจดบันทึกค่าจะถูกอ้างอิงจากระดับความลึกที่กำหนดและจะจดบันทึกหลังการติดตั้ง
อุปกรณ์ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2

9.2.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

G2 จะถูกติดตั้งบริเวณถนน การติดตั้ง G2 จำเป็นจะต้องขุดลงผ่านพื้นผิวถนนซึ่งจะมีการกลบทับ (พื้นทาง ,รองพื้นทาง) และบริเวณพื้นทางเดิม

9.2.2. รายละเอียดของการติดตั้ง

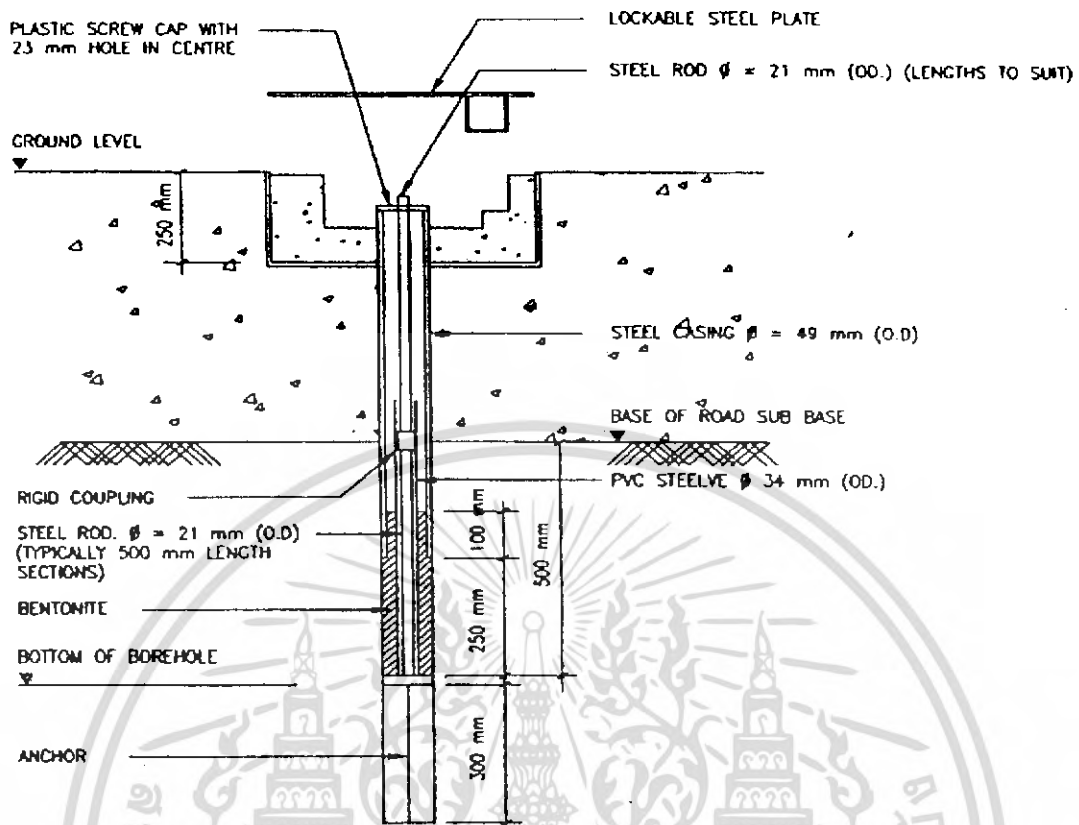
ในกรณีของพื้นผิวถนน ความยาวของเหล็กเส้นจะมีความยาวเพียงพอที่สามารถซ่อมแซมได้ ในบริเวณพื้นเดิมจะมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 cm

9.2.3. วิธีการเตรียมการ

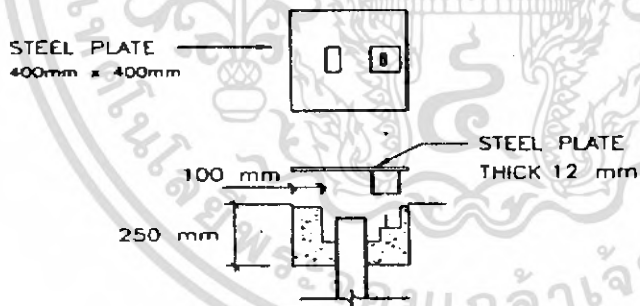
1. การจะบอกจำนวน จะใช้ตัวเลขเป็นตัวบอกจำนวน
2. ถนนและการกลบทับจะเปลี่ยนไปตามความหนาของพื้นที่และการติดตั้ง G2 ต้องการความยาวของเหล็กเส้นที่จะลงไปบริเวณพื้นเดิมไม่น้อยกว่า 50 cm ความยาวของเหล็กเส้นจะเตรียมให้มีความยาวตามความหนาของพื้นผิวถนน

9.2.4. การติดตั้ง

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



TYPICAL DETAIL OF GROUND SETTLEMENT MARKER
SUBSURFACE TYPE 2



DETAIL OF LOCKABLE STEEL PLATE

รูปที่ 9.2. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเมื่อ 199 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2.5. การจดบันทึกค่า

1. การจดบันทึกค่าจะทำการบันทึกที่จุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์
2. การจดบันทึกที่จดบันทึกหลังการติดตั้งอุปกรณ์ 1 วัน

9.3. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3

9.3.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

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

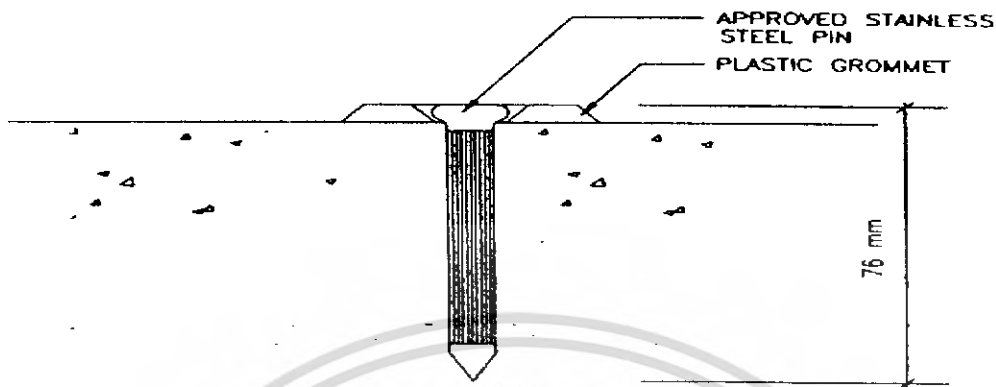
9.3.2. รายละเอียดของการติดตั้ง

เหล็กเส้นซึ่งถูกปิดด้านบนด้วย Plastic Grommet จะถูกยึดตรึงบนพื้นคอนกรีตด้วยการตอกลงไปหลุมที่ขุดเตรียมไว้

9.3.3. วิธีการเตรียมการ

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

9.3.4. การติดตั้ง



TYPICAL DETAILS OF GROUND SETTLEMENT MARKER: SUBSURFACE TYPE 3

รูปที่ 9.3. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการทรุดตัวจุดที่มีการทรุดตัววิธีที่ 3

9.3.5. การจดบันทึกค่า

การบันทึกค่าจะทำการบันทึกค่าหลังการติดตั้งอุปกรณ์ 1 วันด้วยช่างสำรวจระดับ

9.4. วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ Combined Inclinator และ การติดตั้ง Magnetic Extensometer

9.4.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

หลุมที่ทำการวัดค่า Combined inclinometer และ Extensometer จะมีขนาดเล็กที่สุด 150 mm การขุดจะใช้เทคนิคและการปรับเปลี่ยนตามสภาพของบริเวณที่ก่อสร้าง

9.4.2. รายละเอียดของการติดตั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งเสร็จภายในหลุม มีเป้าหมายที่จะสำรวจระดับโดยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งตามความยาวของอุปกรณ์ ผู้ที่ทำการขุดเจาะจะทำการบันทึกค่าความยาวทั้งหมดของท่อเหล็กและบันทึกตามลำดับอุปกรณ์ที่ติดตั้งตามความยาวของท่อเหล็กที่ใช้

9.4.3. วิธีการเตรียมการ

1. เตรียมความยาวของ Inclinometer ให้มีความยาวเพียงพอต่อการติดตั้งอุปกรณ์ โดยให้วางอุปกรณ์ เอนลงและตรวจสอบความเสียหาย หากอุปกรณ์มีความเสียหายให้ติดตั้งอุปกรณ์ตัวใหม่เข้าไป อุปกรณ์ ที่ต่อพ่วงจะถูกติดตั้งตามความยาวของท่อและติดตั้ง โดยการทาบยางเรซินชนิดหนึ่งเพื่อให้ อุปกรณ์ติดกับตัวท่อ ตำแหน่งที่ติดตั้งติดตั้งเป็นครึ่งหนึ่งของอุปกรณ์ การติดอุปกรณ์จะใช้วัสดุที่กัน น้ำปิดทับด้วย
2. ใช้กาวน้ำและหมุดยึดติดตั้งอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่ตำแหน่งที่ต้องการ มีตำแหน่งอย่างน้อยที่สุด 0.5 m เหนือฐานของอุปกรณ์ ตรวจสอบที่ติดตั้งตามความยาวท่อนก่อนที่จะนำไปติดตั้งจริงๆ
3. ที่ปลายของ Inclinometer ถูกตรึงที่ปลายความยาวท่อหลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า ตามตำแหน่งต่างๆ ที่ปลายท่อทำด้วยยางเรซินชนิดหนึ่งและถูกทาบภายในท่อด้วย ทำการปิดปลายท่อด้วยหมุดยึดและปิดผนึกด้วยวัสดุกันน้ำ
4. แม่เหล็กคือ ไนลอนที่มีครวมกัน โดยมีการปรับความยาวให้เท่ากับ 1 m ต่อ 1 ขา มัดเชือกไนลอนรอบ 3 ขาและมัดเชือกที่ตะขอข้อต่อหมุน ดึงเชือกที่ผูกที่ขาให้แน่นตึงแต่ที่ขาต้องมีพื้นที่เพียงพอให้ Inclinometer ผ่านลงไป ในหลุมเจาะได้ ให้เชือกสามารถข้ามผ่านหลังอุปกรณ์แม่เหล็กและผ่าน ตะขอข้อต่อหมุน ทำอย่างนี้อีก 6 ครั้ง ทำตามขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมากับการติดตั้งแม่เหล็กทุกตัว
5. ขนาดของระยะห่างของพื้นที่จะมีลักษณะเฉพาะ แม่เหล็กสามารถทำการวัดค่าและจะติดตั้งกับ Inclinometer และจะไม่ทำการติดตั้งที่เหนือหรือต่ำกว่าจุดที่กำหนดเพราะจะมีผลต่อการหลุดตัว พื้นที่ตำแหน่งต่ำสุดของท่อ จะไม่มีการย้ายตำแหน่งของแม่เหล็กระหว่างการติดตั้ง
6. การผูกมัดเครื่องมือวัดอากาศ มีความยุ่งยากที่การกำหนดความลึกที่จะติดตั้ง จึงกำหนดให้มีความลึก ประมาณ 5-3 m สำหรับการทำงานที่ผิวหน้า การทำสัญลักษณ์ให้เป็นสีจะทำให้ง่ายต่อการ บันทึกค่าเพื่อไม่ให้เกิดความซับซ้อนในการบันทึกระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดอากาศจะ ติดตั้งที่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่มีการขันน็อตหรือแหวนกันหลวมและไม่มีปลอกวางเครื่องมือวัดอากาศ

ระหว่างขาแม่เหล็กและ Inclinomater มัดเชือกในลอนตามยาวและเลื่อนปลอกลงมาปิดที่เครื่องมือ วัดอากาศระวังไม่ให้มีอะไรมาขวางเชือก

- วาง Inclinomater ลงไปในหลุมตามคำแนะนำและวางลงไปตามทิศทางเดียวกันความลึกของหลุมเจาะเป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งของแม่เหล็ก ตัวอย่าง ถ้าหลุมเจาะมีความลึก 30 m มีแม่เหล็ก ทุกๆ 3 m จะมี 10 จุดที่ต้องติดตั้งความยาวที่ฐานมีความยาว 0.5 m จากฐาน

การวัดค่าความยาวจากฐาน 2.5 m บวก 0.5 m เป็นความยาวที่แนะนำจากหลุมเจาะ ตำแหน่งแรกของแม่เหล็กจะถูกติดตั้งที่ตำแหน่งนี้ การวัดค่าและการติดตั้งจะทำตามที่กล่าวมาขึ้นต้น จนสุดความยาว

9.4.4. การติดตั้ง

- ถ้าหากหลุมเจาะถูกสร้างด้วยที่เจาะชั่วคราวโดยที่ที่เจาะสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่มีกั้นหมุนหัวเจาะ การหมุนหัวเจาะสามารถทำให้เกิดการบิดขึ้นในการติดตั้ง ส่วนความเหมาะสมของการฉีดน้ำปูนจะทำให้ผิวหน้าจนถึงกันหลุม ความแข็งแรงขึ้นอยู่กับความระมัดระวังของวิศวกร
- การฉีดน้ำปูนจะทำให้เสร็จก่อนการติดตั้งอุปกรณ์
- ความยาวของเทปที่ติดแม่เหล็กในหลุมเจาะตรวจสอบให้หลุมอยู่ในแนวเดียวกันยึดเชือกตามวิธีเดียวกับการผูกติดกัน
- การติดตั้งจะต้องทำให้ท่อสามารถลดยน้ำได้และจะต้องระบายน้ำเข้าไปใน Inclinomater ด้วย ภายในท่อจะติดตั้งแผ่นทองเหลืองในชั้นพื้นแล้วต้องทำการตรวจสอบเชือกให้มีความปลอดภัยจนกระทั่งน้ำปูนแข็งตัว
- เมื่อชั้นพื้นของหลุมขุดเจาะถูกเจาะ โดยเครื่องขุดเจาะชั่วคราวที่สามารถเคลื่อนย้ายได้เราจะเคลื่อนย้าย แท่นขุดเจาะให้ถึงความลึกที่สุด
- การถอนแท่นขุดเจาะจะถอนอย่างช้าๆ และให้แน่ใจว่าท่อที่ใช้เป็นตัวตัดผ่านเข้าไปในแท่นที่ใช้ขุดเจาะ จะไม่มีการเคลื่อนไหวแท่นขุดเจาะมากเกินไป เคลื่อนแท่นขุดเจาะให้มากเพียงพอกับการติดแม่เหล็กไฟฟ้า แม่เหล็กไฟฟ้าดึงออกก่อนที่ทำการบันทึกเป็นรหัสแถบสี
- หลังการติดตั้งเสร็จทำความสะอาดเครื่องตัดที่อัดอากาศและชั้นนีโอทให้แน่นอีกครั้ง ดึงลูกสูบออก และ แทนที่ด้วยนีโอท เครื่องตัดก็พร้อมที่จะใช้งาน
- Inclinometer จะต้องตรวจสอบความยาวที่ใช้ในการติดตั้งและขณะที่ถอนแท่นขุดเจาะทั้งหมดออก
- ด้านบนของท่อต้องทำความสะอาดด้วยน้ำและปิดด้วย

10. วันหลังการติดตั้ง บริเวณด้านบนของหลุมเจาะจะฉีคน้ำปูนตามที่กำหนด ท่อจะถูกทำความสะอาด สะอาดด้วยน้ำเปล่าและปิดด้านบนด้วย Counterweight จะถูกเคลื่อนย้ายเพื่อที่จะใช้ในการติดตั้งครั้งต่อไป

9.4.5. การจดบันทึกค่า

การบันทึกจะถูกบันทึกตามลักษณะเฉพาะ ประกอบด้วยลักษณะของหลุมเจาะ ชั้นพื้นดินที่อ่านได้ ซึ่งบันทึกสูงสุด 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 เสียงจากอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถบันทึกค่าที่อ่านได้จากเสียงแรก คือ ที่ “จุดปลาย” และค่าที่อ่านค่าที่ได้ยินครั้งที่สองคือ “จุดเริ่มต้น”
4. เริ่มต้นดึงเครื่องมือตรวจสอบในท่อ อ่านค่าอีกครั้งจากอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
5. พิจารณาพื้นที่จากค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

9.5. วิธีการติดตั้ง Vibrating Wire Piezometer

9.5.1. การก่อสร้างหลุมที่ทำการวัดค่า

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

9.5.2. รายละเอียดของการติดตั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งในหลุมเจาะที่ได้เตรียมไว้ ระดับความลึกของหลุมเจาะจะถูกตรวจสอบและบันทึกเมื่อเริ่มทำการติดตั้งอุปกรณ์ ผู้ที่ทำการขุดเจาะสามารถทำการบันทึกความยาวทั้งหมดของแต่ละหลุมเจาะในหลุมขุดเจาะ

9.5.3. วิธีการเตรียมการ

วัสดุเซรามิกจะถูกเอาออกจาก Piezometer และจะถูกก่อน 24 ชม .ก่อนการติดตั้ง

9.5.4. การติดตั้ง

ตรวจสอบความลึกของหลุมเจาะอีกครั้ง และบันทึกค่าระดับความลึกของน้ำในหลุมเจาะ ทั้งหมดนั้นอยู่กับโครงการ การฉีดน้ำปูน , Bentonite หรือ ทราย,ที่บริเวณนั้นของหลุมเจาะจะถูกกลบด้วยทราย หลังจากนั้นจะติดตั้งด้วย The Vibrating Wire Piezometer เซรามิกจะถูกติดตั้งที่ตัว Piezometer ในส่วนนั้นจะอยู่ใต้น้ำ หลังจากกลบด้วยทรายแล้วเราจะใส่ bentonite ด้วย และเราจะใส่วัสดุแบบพิเศษลงไปอีกด้วย

9.5.5. การจดบันทึกค่า

การบันทึกค่าจะบันทึกค่าตามลักษณะการใช้งานของผู้ใช้

บรรณานุกรม

- กอร์วี นาคจรุง และพิชัย ไสยวัน , 2547. การศึกษาการออกแบบและปัญหาการก่อสร้างกำแพงกันดินไดอะแฟรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- โครงการทางวิศวกรรม, 2541. การศึกษาการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร.
- ชัชว ไซวงศ์เหล็ก, วิรัช ประนัดเด และ ศิริพงษ์ นาคทอง, 2546. การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างผนังอุโมงค์ส่งน้ำขนาดใหญ่ในกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.
- ทเนส เขมवास และ สรรเสริญ ชิดทอง, 2547. การพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- น้ำทิพย์ วิภาวิน, 2547. การจัดการความรู้. สถาบันส่งเสริมการจัดการความรู้เพื่อสังคม (สคส.).
<URL: <http://www.kmi.or.th>>
- ปิยะณัฐ แสงจันทร์, 2546. การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่ออุโมงค์ใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พรชิตา วิเชียรปัญญา, 2547. การจัดการความรู้ : พื้นฐานและการประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ธรรมมลการพิมพ์.
- พิชากร ศรีจันทร์ทอง และพิทยา ตั้งอารยทรัพย์, 2546. การพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใต้ดินสายแรกของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิสุทธิ์ โชติคิด และสมเกียรติ เพชรโสม , 2547. การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างผนังอุโมงค์ใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์, แหลมทอง เหล่าคงถาวร และ วสันต์ชัย ชวศิริกุลชล, 2536. การออกแบบผนังอุโมงค์ใต้ดินสำหรับดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.
- องค์การรถไฟฟ้ามหานคร, สรุปสาระสำคัญโครงการรถไฟฟ้ามหานคร.

องค์การรถไฟฟ้ามหานคร, 2541. เอกสารเรื่องการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้า
มหานคร ระยะแรก สายสีน้ำเงิน.

ION Joint Venture, 2542. Method Statement For Excavation and Strutting of Station Box Station
13&14 (Metropolitan Rapid Transit Authority, Bangkok)

ION Joint Venture, 2542. Method Statement For Construction of Entrance 13.3 (Metropolitan Rapid
Transit Authority, Bangkok)

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.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งานข้อมูล

1. ข้อมูลทางธรณีวิทยา Geotech

เมื่อเราทำการเปิดเว็บไซต์ www.tunnelplanet.com จะพบหน้าจอหลักดังรูปที่ 1 แล้วคลิก Engineering จะเข้าสู่หน้าจอดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดการใช้งานดังนี้



รูปที่ 1 แสดงหน้าจอของเว็บไซต์ www.tunnelplanet.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา

ภาพตัดขวางแสดงลักษณะทางธรณีวิทยา ของชั้นดินสำหรับสัญญาส่วนใต้

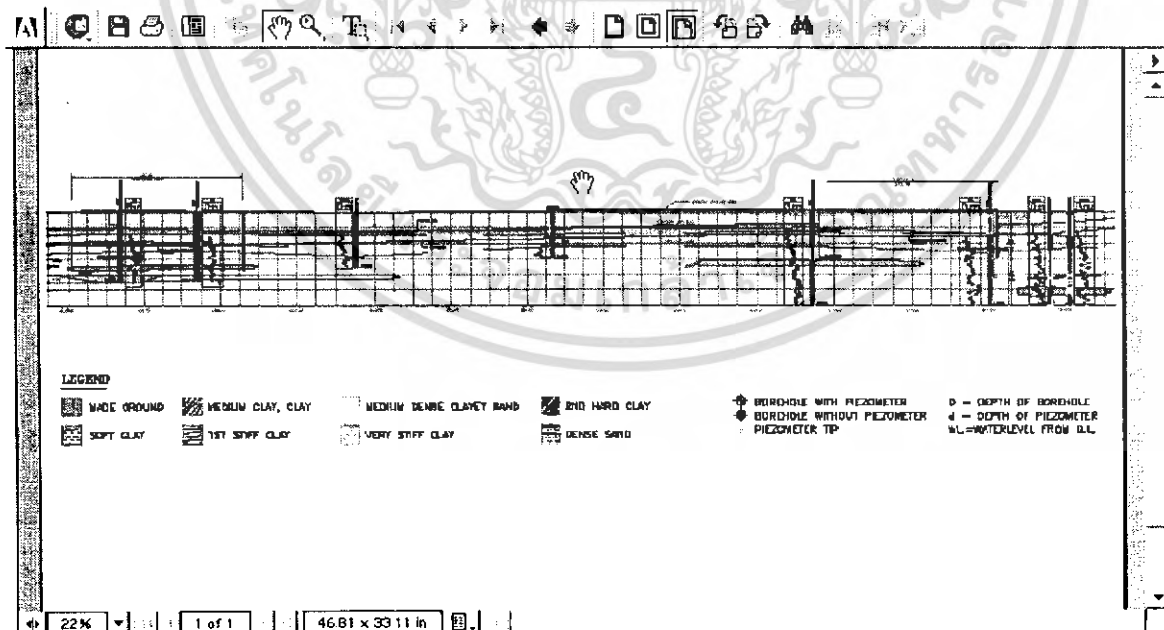
- + สถานีหัวเสาโทง
- + สถานีสามย่าน
- + สถานีสีลม
- + สถานีลุมพินี
- + สถานีปอนโก
- + สถานีศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์
- + สถานีสุขุมวิท
- + สถานีเพชรบุรี
- + พระราม 9

ภาพตัดขวางแสดงลักษณะทางธรณีวิทยา ของชั้นดินสำหรับสัญญาส่วนเหนือ

- + บางซื่อ
- + กำแพงเพชร
- + จตุจักร
- + พหลโยธิน
- + ลาดพร้าว
- + รัชดาภิเษก
- + สหวิสาร
- + หัวขวาง
- + ศูนย์วัฒนธรรม

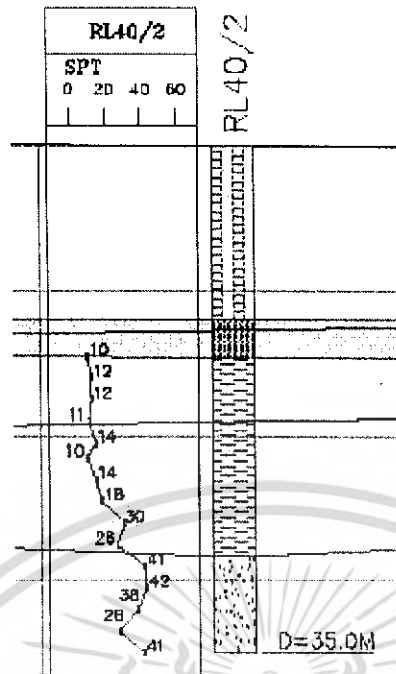
รูปที่ 2 แสดงหน้าจอหลัก ของข้อมูลทางธรณีวิทยา Geotech

1. เมื่อผู้ใช้คลิกเลือก Geotech ก็จะพบกับหน้าจอ ดังรูปที่ 2 จากหัวข้อ Geotech สามารถเลือกดูข้อมูลทางธรณีวิทยาของสถานีที่ต้องการได้ ดังแสดงในรูปที่ 3
2. จากภาพสามารถที่จะเลือกดูค่าต่างๆ ที่ต้องการทราบด้วยการขยายตามขนาดที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงข้อมูลทางธรณีวิทยา Geotech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ภาพขยายของข้อมูลทาง Geology

2. Instrument

จากหน้าจอหลักดังรูปที่ 1 ให้คลิกหัวข้อหลัก Engineering จะเข้าสู่หน้าจอตั้งรูปที่ 2 แล้วให้คลิกเลือกหัวข้อ Database หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ 5 แล้วให้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ ซึ่งดังต่อไปนี้

- Extensometer
- Inclinator
- Settlement Array
- Settlement Point
- Vibrating Wire Piesometer

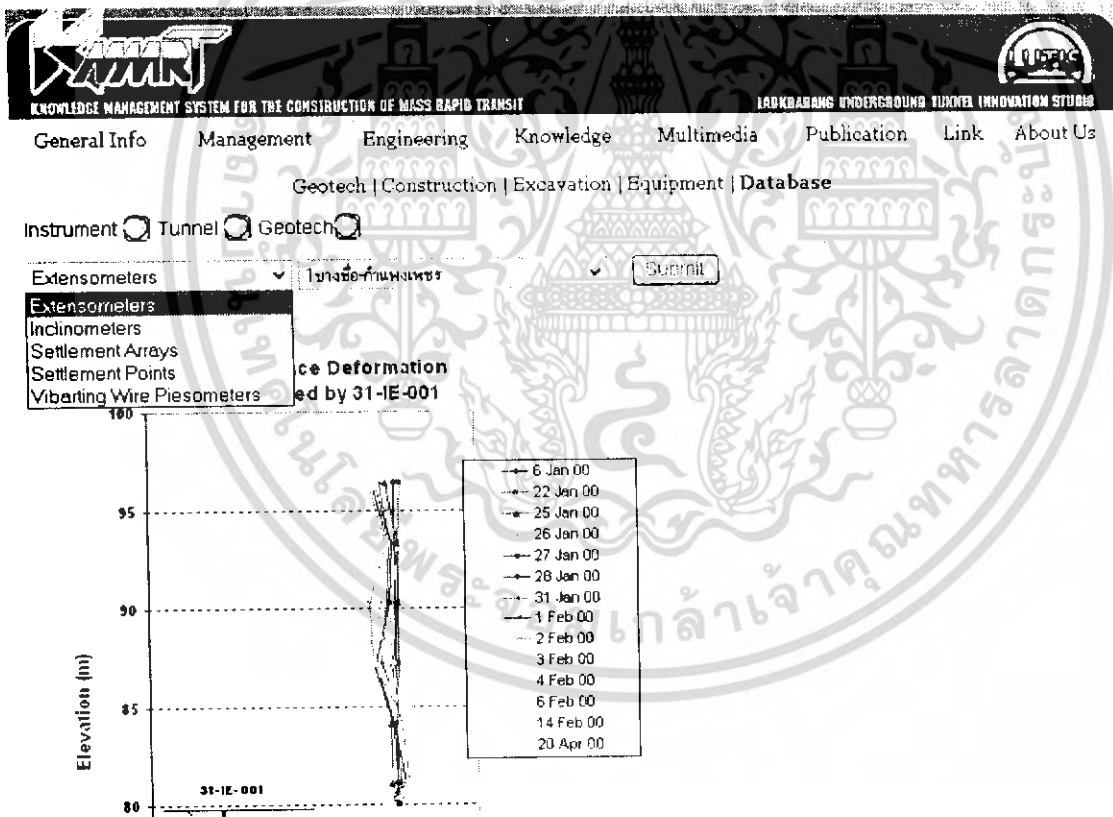
เมื่อทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ ให้ทำการเลือก Zone ตามต้องการ ซึ่งมี Zone ดังนี้

1. บางซื่อ-กำแพงเพชร
2. กำแพงเพชร-หมอซิด
3. หมอซิด-พหลโยธิน
4. พหลโยธิน-ลาดพร้าว
5. ลาดพร้าว-รัชดา
6. รัชดา-สุทธิสาร
7. สุทธิสาร-ประชาราษฎร์บำเพ็ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

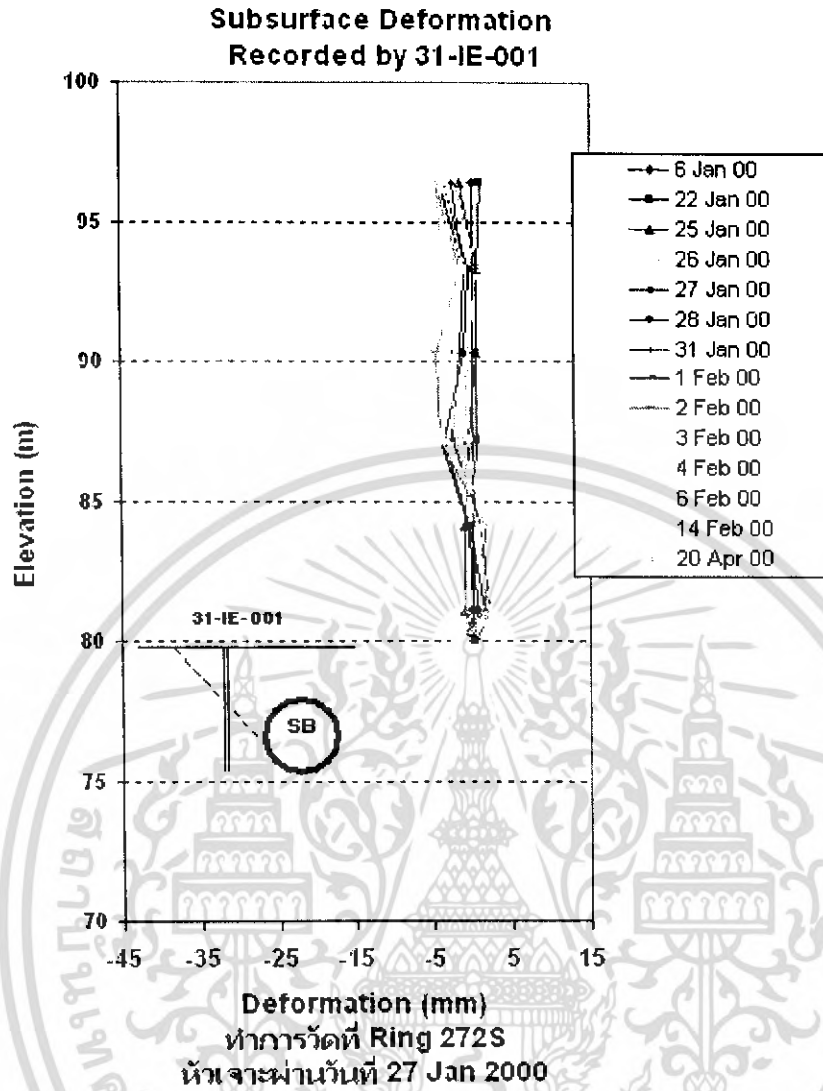
8. ประชากรายกัรน้ำเพ็ญ-เท็ยนร่วมนิตร
9. เท็ยนร่วมนิตร-พระราม9
10. พระราม9-เพชรบุรี
11. เพชรบุรี-สุขุมวิท
12. สุขุมวิท-ศูนย์การประชมแห่งชาตีสรรกิต์
13. ศูนย์การประชมแห่งชาตีสรรกิต์-คลองเคค
14. คลองเคค-สวนลุมพินี
15. สวนลุมพินี-สีลม
16. สีลม-สามย่าน
17. สามย่าน-หัวลำโพง

เมือทำการเลือก พารามิเตอร์และ Zone ให้คลิกที่ Submit หน้าจจะแสดงภาพตั้งรูปที่ 6 และแสดงข้อมูลรายละเอียดของภาพตั้งรูปที่ 7



รูปที่ 5 แสดงหน้าจอหลัก Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงภาพของข้อมูล Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Settlement	Type
1999-03-23	0	23-G2-001
1999-05-09	-15.8	SS-4T-14
1999-05-10	-19.1	SS-4T-14
1999-05-11	-20.8	SS-4T-14
1999-05-12	-20.8	SS-4T-14
1999-05-13	-24.1	SS-4T-14
1999-05-14	-25.7	SS-4T-14
1999-05-15	-27.0	SS-4T-14
1999-05-16	-28.2	SS-4T-14
1999-05-17	-28.6	SS-4T-14
1999-05-18	-29.9	SS-4T-14
1999-05-19	-29.1	SS-4T-14
1999-05-20	-30.7	SS-4T-14
1999-05-21	-32.4	SS-4T-14
1999-05-22	-32.4	SS-4T-14
1999-05-23	-31.5	SS-4T-14
1999-05-24	-31.5	SS-4T-14
1999-05-25	-31.1	SS-4T-14
1999-05-26	-31.1	SS-4T-14

รูปที่ 7 แสดงข้อมูลรายละเอียด Instrument

3. Tunnel Parameter

จากหน้าจอหลักดังรูปที่ 1 ให้คลิกหัวข้อหลัก Engineering จะเข้าสู่หน้าจอดังรูปที่ 2 แล้วให้คลิกเลือกหัวข้อ Database หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ 8 แล้วให้คลิกที่หัวข้อย่อย Tunnel แล้วให้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ ซึ่งดังต่อไปนี้

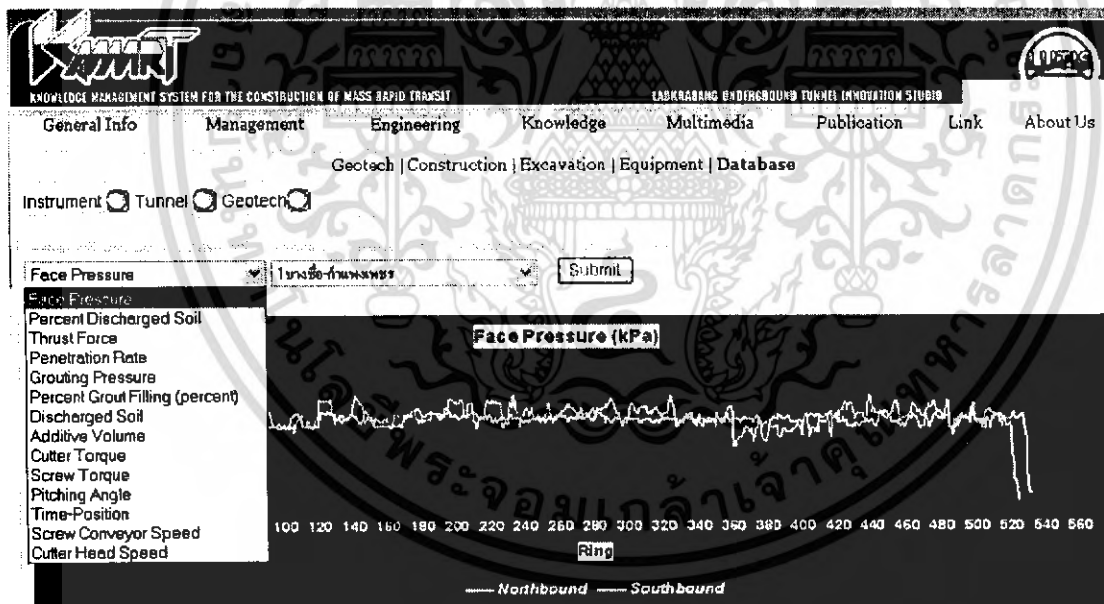
1. Face Pressure
2. Percent Discharged Soil
3. Thrust Force
4. Penetration Rate
5. Grouting Pressure
6. Percent Grout Filling
7. Discharged Soil
8. Additive Volume
9. Cutter Torque
10. Screw Torque
11. Pitching Angle
12. Time-Position
13. Screw Conveyor Speed
14. Cutter Head Speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ ให้ทำการเลือก Zone ตามต้องการ ซึ่งมี Zone ดังนี้

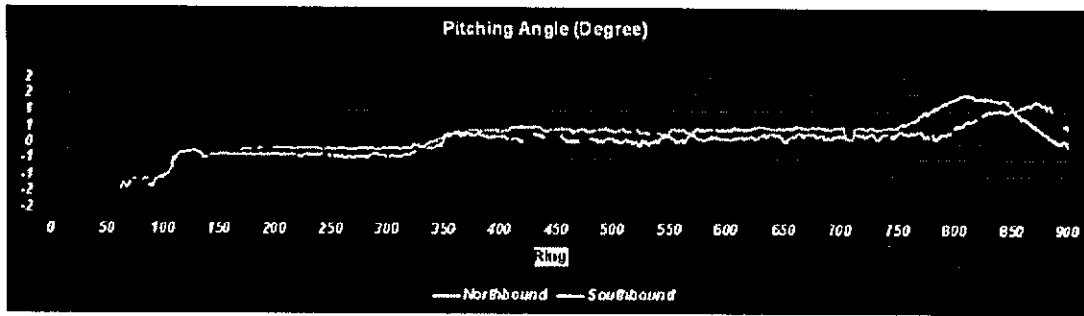
- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. บางซื่อ-กำแพงเพชร | 2. กำแพงเพชร-หมอชิต |
| 3. หมอชิต-พหลโยธิน | 4. พหลโยธิน-ลาดพร้าว |
| 5. ลาดพร้าว-รัชดา | 6. รัชดา-สุทธิสาร |
| 7. สุทธิสาร-ประชากรราษฎร์บำเพ็ญ | 8. ประชากรราษฎร์บำเพ็ญ-เทียนร่วมมิตร |
| 9. เทียนร่วมมิตร-พระราม 9 | 10. พระราม 9-เพชรบุรี |
| 11. เพชรบุรี-สุขุมวิท | |
| 12. สุขุมวิท-ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ | |
| 13. ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์-คลองเตย | |
| 14. คลองเตย-สวนลุมพินี | 15. สวนลุมพินี-สีลม |
| 16. สีลม-สามย่าน | 17. สามย่าน-หัวลำโพง |

เมื่อทำการเลือก พารามิเตอร์และ Zone ให้คลิกที่ Submit หน้าจอจะแสดงภาพและรายละเอียดดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 แสดงหน้าจอหลัก Tunnel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date	Pitching_Angle
2000-01-12	-0.61
2000-01-12	-0.55
2000-01-13	-0.4
2000-01-13	-0.32
2000-01-13	-0.3
2000-01-13	-0.27
2000-01-13	-0.31
2000-01-13	-0.36
2000-01-14	-0.42

รูปที่ 9 แสดงภาพของข้อมูลและรายละเอียด Tunnel

ซึ่งค่าพารามิเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

1. Face Pressure (kPa) - ค่าแรงดันที่ตำแหน่งด้านหน้าของเครื่องขุดเจาะ
2. Discharged Soil Percent (%) - เปอร์เซ็นต์ของปริมาณดินที่ขุดได้เทียบกับเทียบกับปริมาณของดินในอุโมงค์
3. Thrust Force (Ton) - ค่าแรงทั้งหมดของ Hydraulic Jack บน Lining ในระหว่างการขุดเจาะ
4. Penetration Rate (mm/min) - ค่าความเร็วของหัวเจาะที่เคลื่อนที่
5. Grouting Pressure (kPa) - แรงดันที่ปลายของท่อที่ฉีดน้ำปูนระหว่างที่มีการฉีดน้ำปูนไปในช่องว่าง
6. Grout Filling Percent (%) - เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำปูนที่ใช้กับช่องว่าง
7. Discharged Soil Volume (m³) - ปริมาณดินที่วัดได้ในการขุดเจาะแต่ละ Ring
8. Additive Volume (m³) - ปริมาณของ Bentonite หรือ โฟมที่ฉีดเข้าไปในหัวเจาะ
9. Cutter Torque (Ton-m) - ค่าแรงบิดของหัวเจาะ
10. Screw Torque(Ton-m) - ค่าแรงบิดของสกรูลำเลียงดิน
11. Pitching Angle(Degree) - องศาของมุมที่เทียบระหว่างหัวเจาะกับแนวระดับ
12. Time-Position (YYYY-MM-DD) – วันที่ทำการวัดค่า
13. Screw Conveyor Speed(rpm) - ความเร็วของการลำเลียงดิน
14. Cutter Head Speed (rpm) - ความเร็วในการหมุนของหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Site Map

www.tunnelplanet.com

+ **General Information** ผู้ใช้บริการทั่วไป

[ประวัติความเป็นมา](#) | [เส้นทางให้บริการ](#) | [รายละเอียดการใช้งาน](#) | [บริการอื่นๆ](#) | [มาตรการความปลอดภัย](#)

+ **Management**

[โครงสร้างองค์กร](#) | [ข้อมูลโครงการ](#) | [บริษัทที่เกี่ยวข้อง](#) | [เกณฑ์การคัดเลือกบริษัทที่ปรึกษา](#)

+ **Engineering**

+ [Geotect](#)

+ [Construction](#)

[คำนิยาม](#) | [มาตรฐานการก่อสร้าง และการออกแบบ](#) | [การสำรวจ](#) | [ขั้นตอนการออกแบบ](#) | [ขั้นตอนก่อนการก่อสร้าง](#) | [ขั้นตอนการก่อสร้าง](#)

+ [Excavation](#)

+ [Equipment](#)

+ [Database](#)

+ **Knowledge**

[ปัญหา Station Section](#) | [ปัญหา Entrance Section](#) | [ปัญหา Tunnel Section](#) | [ปัญหาอื่นๆ](#)

+ **Multimedia**

+ **Publication**

+ **Link**

+ **About Us**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้