การศึกษาขั้นตอนต่างๆของอุโมงค์ในหินโดยวิธี NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)

STUDY PROCESS OF A TUNNEL IN THE ROCK BY NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)

กรานน ไชยชิน

ณัฐสรร ทองเล่ม

นิชาภา อุ่มสอาด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาขั้นตอนต่างๆของอุโมงค์ในหินโดยวิธี NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)

STUDY PROCESS OF A TUNNEL IN THE ROCK BY NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)

T140460

คชานน ไชยชิน

ณัฐสรร ทองเล่ม

นิชาภา อุ่มสอาด

ว.วท.
ค117ก
2557
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 140460
วัน,เดือน,ปี 20 ส.ค. 2559
b 12739327
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY PROCESS OF A TUNNEL IN THE ROCK BY NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (NATM)

KACHANON CHAICHIN

NATTASON THONGLEM

NICHAPA AUMSA-ARD

THE THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUL'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาขั้นตอนต่างๆของอุโมงค์ในหินโดยวิธี New Austrian Tunneling Method (NATM)		
นักศึกษา	นายคชานน	ไชยชิน	รหัสประจำตัว 54010145
	นายณัฐสรรค์	ทองเล่ม	รหัสประจำตัว 54010461
	นางสาวนิชาภา	อุ่มสอาด	รหัสประจำตัว 54010705
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
ผศ.ดร ธนาดล คงสมบูรณ์	
อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 25 เดือน พค. พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องการศึกษาขั้นตอนต่างๆของอุโมงค์ในหินโดยวิธี

New Austrian Tunneling Method (NATM)

นายคชานน	ไชยชิน	54010145
นายณัฐสรร	ทองเล่ม	54010461
นางสาวนิชาภา	อุ่มสอาด	54010705
ศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาขั้นตอนต่างๆ ของอุโมงค์หินในโครงการอื่นๆ เพื่อพิจารณาถึงขั้นตอนต่างๆในการสร้างอุโมงค์ไม่ว่าจะเป็น รายละเอียดทั่วไปของโครงการ ชั้นหินในช่วงของการขุดอุโมงค์ ขั้นตอนการเจาะ ผลกระทบและปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการ ซึ่งในโครงการที่ยกตัวอย่างนี้จะใช้วิธีการก่อสร้างแบบ New Austrian Tunneling Method (NATM) ซึ่งเริ่มใช้กับการก่อสร้างอุโมงค์ภูเขาซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการก่อสร้างในชั้นหินหรือดินที่มีความแข็งแรงพอสมควร โดย NATM มีข้อดี อยู่ว่าเพิ่มความปลอดภัยในการก่อสร้าง ลดต้นทุน เวลา และสามารถใช้วิธีการก่อร้างอื่นๆ หรือวิธีก่อสร้างที่ช่วยให้การขุดเจาะเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยโครงการเหล่านี้ใช้วิธี drill and blast ซึ่งเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบอุโมงค์ของโครงการและลักษณะของชั้นหินในโครงการอื่นๆ ซึ่งเป็นหินประเภทหินแข็งที่มีความแข็ง ความสำคัญในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ การศึกษาขั้นตอนต่างๆในสร้างอุโมงค์ในชั้นหิน ซึ่งใช้เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีความซับซ้อนและยังเป็นวิธีที่มีการศึกษาอย่างจำกัดในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study process of a tunnel in the rock by New Austrian Tunneling Method (NATM)

Mr.Kachanon	Chaichin	54010145
Mr.Nattason	Thonglem	54010461
Ms.Nichapa	Aumsa-ard	54010705
Prof. Dr. Suchatvee	Suwansawat	Advisor

Academic year 2014

ABSTRACT

The special project studied to process of a tunnel in the rock of other project to consider the step to build the tunnel. Such as, the general detail of the project, shale during tunneling, the process of excavation, impacts and solutions in projects. The example projects are be use the New Austrian Tunneling Method (NATM) technique in tunnel construction which started with the construction of mountain tunnel and the right way to construction in rock or soil that is strong enough. The NATM technique advantages are increased safety in tunnel construction, reduce the cost, time and can be used to other methods or construction method makes drilling easier. Those project are using drill and blast method, that a method is appropriate with tunnel form of project and the characteristics of the rock in other projects which is kind of hard rock. The importance of research are studied process of a tunnel in the rock which using tunnel construction techniques are complex and those method have limited way in the THAILAND.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ อีกทั้งท่านได้สละเวลาอันมีค่าที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แล้วข้อต่างๆ จนทำให้โครงงานพิเศษนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์, ผศ.ดร ธนาดล คงสมบูรณ์ และอาจารย์ อุบะศิริแก้ว ซึ่งเป็นกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่างๆต่อการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้สิทธิประสาทวิชาความรู้ในด้านวิศวกรรม ทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงงานพิเศษได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้การเลี้ยงดู ดูแลเอาใจใส่ และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาเสมอมา ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดเวลาทำโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอบพระคุณ พี่ๆ ทุกท่านในบริษัท D2 CONSULT ASIA ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง ทุกๆสิ่ง ทุกๆอย่าง ตลอดเวลาที่ทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นแนวทางและเป็นประโยชน์ต่อคนรุ่นหลังต่อไป

คชานน ไชยชิน
ณัฐสรรค์ ทองเล่ม
นิชาภา อุ่มสอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป..... VII

บทที่ 1 บทนำ1

1.1 ที่มาของโครงการ.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ NATM.....3

2.1 กล่าวนำ.....3

2.2 ประวัติความเป็นมาของการก่อสร้างอุโมงค์แบบ NATM.....3

2.3 ลักษณะเฉพาะของการก่อสร้างแบบ NATM (Characteristics of NATM).....5

2.4 หลักการของการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM (Design criteria and feature of NATM).....7

2.5 กรณีศึกษาการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธี NATM.....13

2.6 รายงาน HSE เกี่ยวกับการพังทลายที่เกิดขึ้นจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM.... 23

บทที่ 3 รายละเอียดก่อนการก่อสร้างอุโมงค์.....26

3.1 การศึกษาทางเลือกในการก่อสร้างอุโมงค์.....26

3.2 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม (Feasibility Study)..... 26

3.3 การศึกษาคัดเลือกแนวอุโมงค์ (Route Selection)..... 27

3.4 งานสำรวจแนวเส้นทางเพื่อการออกแบบอุโมงค์ (Field Investigation)..... 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีเทคนิค (Geotechnical Investigation)..... 31
3.6 การสำรวจทางด้านธรณีสิ่งแวดล้อม (Geoervironmental Investigation)..... 35

บทที่ 4 วิธีขุดเจาะและออกแบบอุโมงค์ในหิน..... 36
4.1 อุโมงค์หิน (Rock Tunnel)..... 36
4.2 การออกแบบอุโมงค์ในชั้นหิน..... 42
4.3 ตัวอย่างโครงการขุดเจาะอุโมงค์ในหิน..... 45

บทที่ 5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีการแก้ไข..... 53
5.1 ภูมิประเทศ..... 53
5.2 ทรัพยากรน้ำ..... 54
5.3 ทรัพยากรดิน..... 54
5.4 คุณภาพอากาศ..... 57
5.5 เสียง..... 57
5.6 การสั่นสะเทือน..... 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ลำดับการพัฒนาวิธีการก่อสร้างแบบ NATM 4

2.2 แสดงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานี.....17

4.1 ชนิดของค้ำยันของอุโมงค์ในหิน.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ของหลักการออกแบบอุโมงค์ 8
2.2 แผนภาพหลักการออกแบบการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM 8
2.3 รูปหน้าตัดรูปแบบการขุดเจาะทั่วไปสำหรับอุโมงค์ NATM 12
2.4 แนวทางการออกแบบผนังอุโมงค์ จากการฉีด Shotcrete 14
2.5 แผนผังโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow 15
2.6 รูปตัดอุโมงค์ชั้นผู้โดยสารและชานชะลาสถานี และการติดตั้งเครื่องมือวัดการเสียรูป 16
2.7 ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ 16
2.8 การพังทลายโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow 18
2.9 แนวเส้นทางMetropolitan Inter-city Highway 18
2.10 รูปตัดตามแนวยาวอุโมงค์ Ome Tunnel 19
2.11 รูปหน้าตัดของอุโมงค์ Ome Tunnel 20
2.12 ขั้นตอนการก่อสร้างโดยวิธี NATM 21
2.13 แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างผนังอุโมงค์ 22
2.14 การติดตั้ง Installation of long span steel pipe fore-piling 22
2.15 แสดงส่วนการพังทลาย 24
2.16 แสดงรูปแบบการพังทลายที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ส่วนบนของการขุดเจาะอุโมงค์ 24
3.1 แสดงตัวอย่างปัจจัยการในการพิจารณาแนวทางเลือกโครงการ 28
3.2 แสดงตัวอย่างการเจาะสำรวจ 32
3.3 แสดงลักษณะการตรวจวัดทา 33
3.4 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาจากการเจาะสำรวจ 34
3.5 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาจากการสำรวจทาง Geophysics 34
4.1 Burleigh Drills and Carriage 1866 and Hydraulic Mining Jumbo 2004 37
4.2 Drill jumbo BTP 2 37
4.3 The Drill and Blast Cycle 38
4.4 Road header 39
4.5 Slurry Shield 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 Full-Face Rock Boring Machine and Full-face tunnel boring machine 39
4.7 New Austrian Tunneling Method (NATM) 40
4.8 ขั้นตอนการออกแบบการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM 40
4.9 การเลือกวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์หิน 41
4.10 ตัวอย่างการวางตำแหน่งของรูเจาะที่จะฝังดินระเบิด 45
4.11 ตัวอย่างการขุดเจาะโดยใช้รถขุด (Road header) 46
4.12 การค้ำยันขั้นต้นด้วยผนังคอนกรีตพ่นเสริมเหล็ก 47
4.13 แบบ drawing รูปตัดโครงสร้างอุโมงค์แสดงการขุดเจาะ 48
4.14 ภาพตัวอย่างขณะก่อสร้างอุโมงค์(Good Rock Conditions) 48
4.15 แบบ drawing รูปตัดโครงสร้างอุโมงค์แสดงองค์ประกอบระหว่างการก่อสร้าง 50
4.16 ภาพอุโมงค์ภายหลังงานติดตั้งค้ำยันอุโมงค์ชิ้นสุดท้าย 51
5.1 ลักษณะหน้าตัดตามขวางของปากอุโมงค์ 55
5.2 แนวทางป้องกันและลดผลกระทบดินถล่มบริเวณปากอุโมงค์ 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

การขยายตัวของการจราจรในประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาทางการจราจรที่หนาแน่นและ เคลื่อนตัวช้า จึงได้มีการขยายและก่อสร้างถนนสายใหม่ๆขึ้นมาเพื่อลดปัญหาเหล่านี้ในการขยายหรือการ ก่อสร้างถนนใหม่นั้น การวางแนวเส้นทางมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากสิ่งขีดขวางต่างๆ เช่น อาคาร บ้านพักอาศัย แม่น้ำ ภูเขา เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้การก่อสร้างอุโมงค์จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาอย่าง หนึ่งที่ใช้กันมาก การก่อสร้างอุโมงค์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่วิศวกรต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักวิศวกรรมงานทางสำหรับอุโมงค์ถนนทั้งส่วนของการศึกษาความเป็นได้ของโครงการ ขั้นตอนการก่อสร้างและการออกแบบเพื่อการพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์ของอุโมงค์ถนนต่อไปในอนาคต

วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีอยู่ 3 วิธี คือ การขุดเปิดและกลบ (Cut and Cover method) ในกรณีที่มีพื้นที่ในการทำงานและไม่ลึกมากนักและเหมาะสำหรับการก่อสร้างที่มีพื้นที่มาก วิธีที่ 2 คือ วิธีการขุดอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ (Shield method) สำหรับอุโมงค์ส่วนที่ลึกซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมากซึ่งวิธีนี้เหมาะกับการก่อสร้างในสภาพดินที่ไมความแข็งแรงไม่มากนักแต่ในบางพื้นที่ที่จำกัดแต่อยู่ในสภาพชั้นหินก็สามารถใช้หัวเจาะบางประเภทได้ จนมาถึงทศวรรษที่ผ่านมามีการเริ่มนำวิธี NATM (New Austrian Tunneling Method) ซึ่งเริ่มใช้กับการก่อสร้างอุโมงค์ภูเขาซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการก่อสร้างในชั้นหินหรือดินที่มีความแข็งแรงพอสมควร ซึ่งโครงการที่ศึกษานี้ได้นำวิธี NATM มาใช้ในการก่อสร้างเช่นกัน โดยวิธี NATM มีหลักการทั่วไป คือ การขุดเจาะอุโมงค์มีลักษณะแบบขั้นบันได โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น หรือ 3 ชั้น และแบ่งหน้าตัดการขุดเจาะโดยมีรูปแบบที่แตกต่าง การก่อสร้างด้วยวิธี NATM มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีอื่นๆ แต่ในความซับซ้อนนั้นมีข้อดีคือสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของการก่อสร้างให้เหมาะสมกับสภาพชั้นดินและพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างได้ตลอดเวลาระหว่างการก่อสร้าง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการก่อสร้างอุโมงค์และลดต้นทุน เวลา ในการก่อสร้างให้มากที่สุดจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพื่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ข้อดีอีกข้อของวิธี NATM สามารถใช้วิธีการก่อสร้างอื่นๆหรือวิธีการก่อสร้างที่ช่วยให้การขุดเจาะเป็นไปได้ง่ายขึ้น (auxiliary method) หลายวิธี ซึ่งในโครงการนี้ใช้วิธี Drill and Blast ซึ่งเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบอุโมงค์ของโครงการและลักษณะของชั้นหินในโครงการ ซึ่งเป็นหินประเภทแกรนิตที่มีความแข็ง

ความสำคัญในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ การศึกษาวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นหินที่มีขนาดอุโมงค์ที่มีความใหญ่เป็นครั้งแรกในประเทศไทย ซึ่งใช้เทคนิคการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีความซับซ้อนและยังเป็นวิธีที่มีการศึกษาอย่างจำกัดในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจทางด้านวิศวกรรมเบื้องต้นสำหรับอุโมงค์ในหิน ที่ใช้เทคนิค NATM ในการก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาขั้นตอนเบื้องต้นในการก่อสร้างอุโมงค์ในหินโดยวิธี NATM ในโครงการต่างๆ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้วิธี NATM ที่มีอยู่ในประเทศไทย/การศึกษาการก่อสร้างอุโมงค์ในหิน / ศึกษาขั้นตอนการออกแบบอุโมงค์ในหิน
2. เก็บรวบรวมข้อมูลและปัจจัยสำคัญจากรายงานศึกษาของโครงการต่างๆ
3. นำข้อมูลจากรายงานมาศึกษาและทำการแปลรายงานจากภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทย
4. วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด
5. เรียบเรียงข้อมูลและสรุปผล
6. จัดทำรูปเล่ม

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีในการขุดเจาะอุโมงค์หิน
- รวบรวมข้อมูลการขุดเจาะอุโมงค์ในหินเพื่อเป็นประโยชน์แก่คนรุ่นหลังต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ NATM

2.1 กล่าวนำ

การก่อสร้างอุโมงค์แบบลดการเปิดหน้าดินหรือที่เรียกว่า New Austrian Tunnelling Method (NATM) มีการพัฒนามาจากการก่อสร้างอุโมงค์ของอุตสาหกรรมเหมืองแร่หรือการก่อสร้างบริเวณภูเขาหิน ที่มีการก่อสร้างอุโมงค์ แบบไม่เต็มหน้า (Head and Bench) การก่อสร้างจะเริ่มจากด้านบนของอุโมงค์ (Head) เป็นลำดับแรก จากนั้นจึงเริ่มทำการก่อสร้างจากด้านล่าง(Bench) ตามมา ก่อนจะทำการติดตั้งการป้องกันการพังทลายของดิน ซึ่งจะเป็นไม้ หรือก่ออิฐเพื่อสร้างเป็นผนังอุโมงค์ในการรักษาเสถียรภาพสำหรับการก่อสร้าง วิธีนี้ยังเป็นการลดการเปิดหน้าดินและรักษาสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ทำให้พื้นที่ที่มีการก่อสร้างเสียหายน้อยที่สุด และเหตุการณ์สำคัญของการก่อสร้างอุโมงค์แบบNATM นี้คือการพังทลาย Heathrow express rail link station ที่ประเทศอังกฤษ จึงมีข้อกำหนดในการตรวจสอบ คือ Health and Safety Exclusive (HSE) โดยมีการตรวจสอบโดย Institution of Civil Engineering (ICE,1996) ดังนั้นในบทนี้จึงจะกล่าวถึงรายละเอียดสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ แบบ NATM ซึ่งประเทศไทยก็ได้วิธีนี้มาใช้ในหลายโครงการ เช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์ทางหลวงสายลำปาง – เชียงใหม่ , โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน

2.2 ประวัติความเป็นมาของการก่อสร้างอุโมงค์แบบ NATM

ประวัติความเป็นมาของการก่อสร้างอุโมงค์แบบ NATM มีผู้คิดริเริ่มมากมายที่มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์ ซึ่งก่อให้เกิดวิธีการใหม่ในการก่อสร้างใต้ ดินที่เรียกว่าNew Austrian Tunnelling Method (NATM) โดยเริ่มมาจาก Sir Marc Isambard Brunel ก่อนปี ค.ศ.1800 ได้มีการนำเสนอหัวเจาะวงกลม (Circular shield) สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินอ่อน ต่อจากนั้น Rizha ในปี ค.ศ. 1872 วิศวกรผู้ เชี่ยวชาญทางด้านอุโมงค์ชาวเยอรมันได้ นำเสนอการป้องกันการพังทลายของดินภายในอุโมงค์ด้วยเหล็กแทนที่การป้อง กันการพังทลายของดินด้วยไม้ ซึ่งเขาได้ให้ความเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการก่อสร้างอุโมงค์แบบ Handle ที่อาจจะพบแรงดันที่มีปริมาณค่อนข้างสูงกระทำโดยรอบระบบต่อการป้องกันการพังทลายของดินของอุโมงค์ด้วย หลักการที่กล่าวมานี้ของ Rizha จึงเป็นกุญแจสำคัญของการพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์ แบบ NATM ต่อมาในระหว่างปีค.ศ.1910 ได้มีการนำShotcrete มาใช้โดย Carl Akeley โดยShotcrete ถูกใช้ครั้งแรกในเหมืองแร่ของประเทศสหรัฐอเมริกา และแพร่หลายไปสู่แถบยุโรปในปี ค.ศ.1920 ในปีค.ศ.1948 Rabcewics ได้มีการนำเสนอแนวคิดการป้องกันการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พังทลายของดินที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้น และการป้องกันการพังทลายของดินถาวร โดยมีหลักการที่ยอมให้หินหรือดินเหนือการป้องกันการพังทลายของดินมีการเคลื่อนตัวก่อนทำการติดตั้งการป้องกันการพังทลายของดินถาวร ซึ่งน้ำหนักที่กระทำต่อการป้องกันการพังทลายของดินจะลดลง อันเนื่องมาจากแนวคิดอิทธิพลของ Engesser's arching ที่มีการตีพิมพ์ ในปี ค.ศ.1882 จากแนวคิดการป้องกันการพังทลายของดิน 2 ส่วน จึงเกิดการพัฒนานำมาสู่วิธีการก่อสร้างแบบ NATM ที่มีการนำเสนอโดย Rabcewics ในปี ค.ศ.1962 และได้รับการรับรองไปทั่วโลกใน2 ปีต่อมา การก่อสร้างใต้ดินครั้งแรกของวิธีการNATM เกิดขึ้นที่เมืองแฟรงค์ - เฟิท ประเทศเยอรมันนีในปี ค.ศ.1969

ซึ่งลำดับการพัฒนารูปแบบการก่อสร้างที่เรียกว่า New Austrian Tunneling Method (NATM) แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ซึ่งได้มีการรวบรวมงานวิจัยตั้งแต่อดีตที่มีความสัมพันธ์รองรับกับการพัฒนาการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธี NATM

ตารางที่ 2.1 ลำดับการพัฒนาวิธีการก่อสร้างแบบ NATM (Sauer, 1988-1990., Rabcewics, 1964)

ปี ค.ศ.	การพัฒนาการก่อสร้างอุโมงค์
1811	การประดิษฐ์หัวเจาะอุโมงค์ในรูปแบบวงกลมโดย Brunel
1848	การทดลองใช้ซีเมนต์ Mortar แบบแข็งตัวเร็วเป็นครั้งแรกโดย Wejwanow
1872	การเริ่มเปลี่ยนวัสดุการป้องกันการพังทลายของดินจากไม้เป็นเหล็กโดย Rziha.
1908-1911	การประดิษฐ์เครื่องผสม Shoterete โดย Akeley.
1914	การใช้ Shoterete เป็นครั้งแรกในเหมืองถ่านหินที่เมือง Denver.
1948	การแนะนำอุโมงค์ที่มีผนังอุโมงค์แบบสองชั้นโดย by Rabcewicz.
1954	การใช้ Shoterete ทำให้อุโมงค์มีเสถียรภาพมากขึ้นโดย Bruner.
1955	การปรับปรุงและพัฒนา Ground anchoring โดย Rabcewicz.
1960	การตระหนักถึงความสำคัญของระบบตรวจวัดโดย Muller
1962	Rabcewicz ได้นำเสนอการบรรยายวิธี NATM ในการประชุม XIII Geomechanics Colloquium ที่เมือง Salzburg.
1964	การนำเสนอวิธีการก่อสร้างแบบ NATM โดย Rabcewicz
1969	การใช้วิธีการก่อสร้างแบบ NATM ในเขตเมืองเป็นครั้งแรกในดินอ่อนที่ Frankurt
1980	การนำเสนอบทความที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงหลักการของวิธีการก่อสร้างแบบ NATM โดย International Tunneling Association (ITA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะเฉพาะของการก่อสร้างแบบNATM (Characteristics of NATM)

เกิดคำถามขึ้นมากมายเกี่ยวกับการก่อสร้างอุโมงค์แบบNATM เกี่ยวกับหลักการ หรือ เทคนิคที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ ประเด็นต่างๆเหล่านี้ได้รับความสนใจจากผู้คนทั่วโลกเกี่ยวกับ แนวคิดของวิธี NATM ดังนั้น ประเด็นที่เกิดขึ้นจึงถูกรวบรวมและนำมาพิจารณาถึงหลักการ และการกำหนดนิยามของวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ แบบ NATM เมื่อย้อนกลับไปสู่ต้นกำเนิดของ NATM โดย Rabcewicz (1964) ซึ่งเป็นผู้คิดค้นวิธีNATM ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับวิธีนี้ว่า วิธีก่อสร้างนี้จะทำด้วยการฉีดพ่นคอนกรีตที่ผนังอุโมงค์จนไปสิ้นสุดที่ส่วนล่างของอุโมงค์(Invert) ที่เรียกว่า Auxiliary Arch และการเคลื่อนตัวของชั้นดินที่เกิดขึ้นโดยรอบอุโมงค์จะทำการวัดการเคลื่อนตัวตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการเคลื่อนตัว และได้เน้นย้ำใน 3 ส่วนสำคัญของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี NATM ซึ่งประกอบด้วย

1) การฉีดพ่นคอนกรีตที่ผนังอุโมงค์

2) การก่อสร้างหรือการขุดเจาะอุโมงค์ ให้ ครบวงรอบโดยเร็ว

3) การตรวจวัดการเคลื่อนตัว

ซึ่งความชัดเจนเกิดขึ้นภายหลังจากที่มีการให้คำจำกัดความใหม่ของ NATM โดยคณะกรรมการของ Austrian National Committee on Underground Construction of International Tunneling Association (ITA) ในปีค.ศ. 1980 กล่าวว่า "การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM มีแนวคิดพื้นฐานที่ว่าด้วยการก่อสร้างในใต้ดินโดยรอบของชั้นดินหรือหิน ซึ่งส่วนประกอบโครงสร้างที่จะรับน้ำหนักแบกทานที่มากระทำจะเป็นรูปร่างของวงแหวนกันดินรอบผนังอุโมงค์ ที่จะเป็นการป้องกันการพังทลายของดินดินโดยรอบ"

Sauer (1988) ได้ มีการให้คำนิยามของNATM กล่าวว่า "วิธีการนี้เป็นการก่อสร้างในพื้นที่ใต้ดิน โดยการทำให้ดินมีความสามารถในการรองรับด้วยตัวของมันเองให้ได้มากที่สุด เพื่อเตรียมการให้การก่อสร้างใต้ดินได้ อย่างมีเสถียรภาพ" ผลลัพธ์ของความหมายที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มคนในประเทศออสเตรีย ซึ่งได้ กล่าวว่า NATM เป็นวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีหลักการกำหนดของเทคนิคการขุด และการป้องกันการพังทลายของดิน ซึ่งผู้สนับสนุนคำกล่าวนี้คือ Golser (1979), Brown (1990), Hagenhofer (1990), Barton (1994) Muller (1990) ได้อธิบายหลักสำคัญของNATM ซึ่งเป็นการสรุปความสำคัญในลักษณะเฉพาะของNATM ไว้ ดังนี้

1) หินหรือดินโดยรอบของการก่อสร้างอุโมงค์ เป็นแรงหลักที่มากระทำและน้ำหนักที่เกิดจากการป้องกันการพังทลายของดิน (Support) ที่มากระทำนั้นจะต้องรักษาไว้โดยปราศจากการรบกวน

2) การป้องกันการพังทลายของดินที่ใช้ต้านทานแรงที่เกิดจากน้ำหนักดินหรือหินควรทำการป้องกันโดยการใช้ การป้องกันการพังทลายของดินเพิ่มเติม ณ ตำแหน่งที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การฉีดพ่นคอนกรีตเพื่อเป็นผนังอุโมงค์ ควรบุรองอย่างบางๆเป็นชั้น และการเพิ่มความเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งควรทำโดยการเสริมเหล็กตะแกรง และการเพิ่มความหนาของผนังอุโมงค์

4) เวลาที่ใช้ในก่อสร้างครบวงรอบของอุโมงค์นั้นมีความสำคัญ ซึ่งควรทำการปิดวงรอบในทันทีเท่าที่จะเป็นไปได้

5) การทดสอบเบื้องต้นในห้องทดสอบ และการวัดค่าการเสียรูปของอุโมงค์ ควรมีการตรวจสอบ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่สุดของการก่อสร้างอุโมงค์ ในวงรอบนั้นๆ

อย่างไรก็ตามข้อสรุปของ Muller (1990) ที่ว่าเวลาที่ใช้ ในการขุดเจาะวงแหวนผนังอุโมงค์ให้ครบวงรอบโดยเร็วจะมีผลต่อการเสียรูปที่น้อยนั้น ยังไม่เป็นที่ยอมรับโดย Rabcewicz and Pacher (1975) กล่าวว่า "ในการก่อสร้างอุโมงค์ให้ครบวงรอบโดยเร็วใช้ได้กับอุโมงค์ในชั้นหินที่มีค่าความเค้นเบื้องต้นที่ต่ำ แต่ในอุโมงค์ที่มีแรงกระทำจากด้านบนที่สูงและคุณภาพของดินหรือหินที่ต่ำ มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเค้นที่มากมากระทำด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมโดยการตรวจวัดการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้น"

ข้อสรุปท้ายที่สุด ในวิธีการขุดเจาะแบบNATM ซึ่งอ้างอิงมาจากTunnels and Tunneling (1990), Will (1989), Brown (1990), Wallis (1995)ICE (1996), HSE (1996), Bowers (1997), Fowell and Bowers (1998) มีดังนี้

1) กำลังของดินหรือหิน โดยรอบขอบเขตของอุโมงค์ ควรที่จะไม่ให้มีการรบกวนสภาพดินหรือหิน ซึ่งอาจจะส่งผลให้ กำลังลดลง

2) ในการขุดเจาะต้องมีการควบคุมการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งการเคลื่อนตัวของดินในปริมาณมากจะทำให้แรงต้านทานของดินมีค่าลดลง และจะเกิดการทรุดตัวของผิวดินที่สูง ควรที่จะต้องทำการหลีกเลี่ยงกรณีที่เกิดขึ้นนี้ โดยกำลังของดินรอบๆในบริเวณที่ทำการขุดเจาะต้องมีกำลังเพียงพอ ซึ่งโดยทั่วไปการขุดเจาะในสภาพที่เป็นดินอ่อนจะต้องมีการปรับปรุงกำลังของดินเสมอ

3) การป้องกันการพังทลายของดินในขั้นแรกนั้นทำให้การยึดติดของดินหรือหินให้ดีขึ้นด้วยการฉีดพ่นคอนกรีตบางๆเป็นผนังของอุโมงค์ชั่วคราว เพื่อช่วยลดการเคลื่อนตัวของดินที่จะเกิดขึ้น จากนั้นทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ แบบถาวร

4) การก่อสร้างให้ครบวงรอบของอุโมงค์ ควรปรับตามความเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพดินหรือหินในพื้นที่ที่ก่อสร้าง

5) การทดสอบและการเก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ และดินโดยรอบ ควรมีการทำในวิธีการขุดเจาะแบบ NATM

6) ผู้ที่ออกแบบหรือควบคุมการขุดเจาะอุโมงค์ แบบ NATM ต้องมีความเข้าใจในวิธีในการขุดเจาะ และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ระยะห่างของช่วงที่ไม่มีการการป้องกันการพังทลายของดินเป็นไปได้ ควรมีระยะที่สั้นที่สุด

8) ในการขุดเจาะอุโมงค์ แบบNATM ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการขุดหรือระยะการป้องกันการพังทลายของดิน สามารถปรับเปลี่ยนได้ ตลอดเวลาขึ้นอยู่ ตามความเหมาะสมของสภาพชั้นดินที่ทำการก่อสร้างนั้น

2.4 หลักการของการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM (Design criteria and feature of NATM)

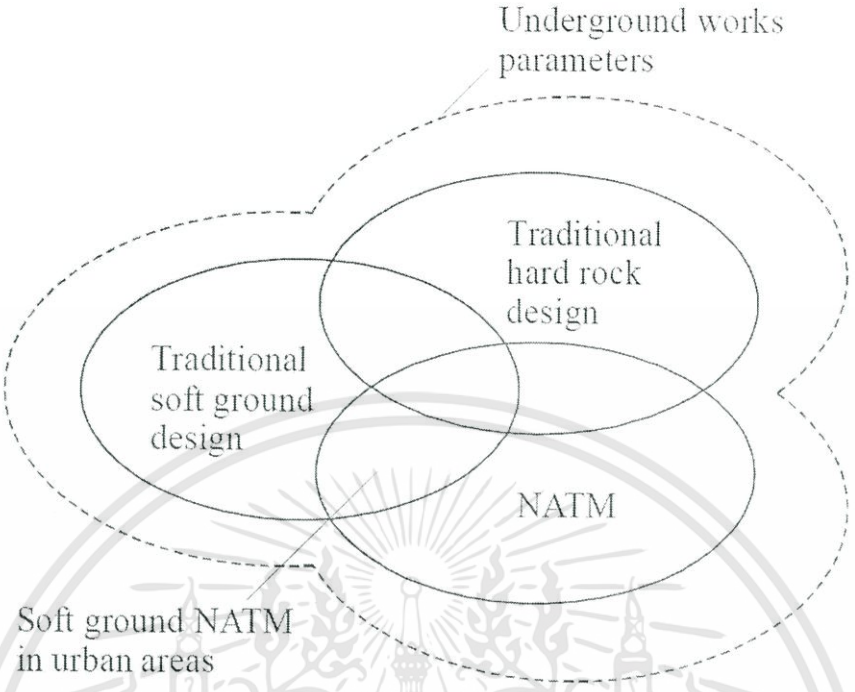
หลักเกณฑ์การออกแบบวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ NATM แบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการออกแบบ คือ

1) ปัจจัยทางด้านเทคนิคการก่อสร้างด้วยวิธี NATM ซึ่งว่าด้วยระบบการป้องกันการพังทลายของดิน (Support system) ควรทำการพิจารณาถึงองค์ประกอบทางด้านเทคนิควิธีการป้องกันการพังทลายของดินในการก่อสร้างอุโมงค์ด้วย NATM ในการนำไปประยุกต์ใช้ในดินอ่อนหรือหินที่มีกำลังต่ำ

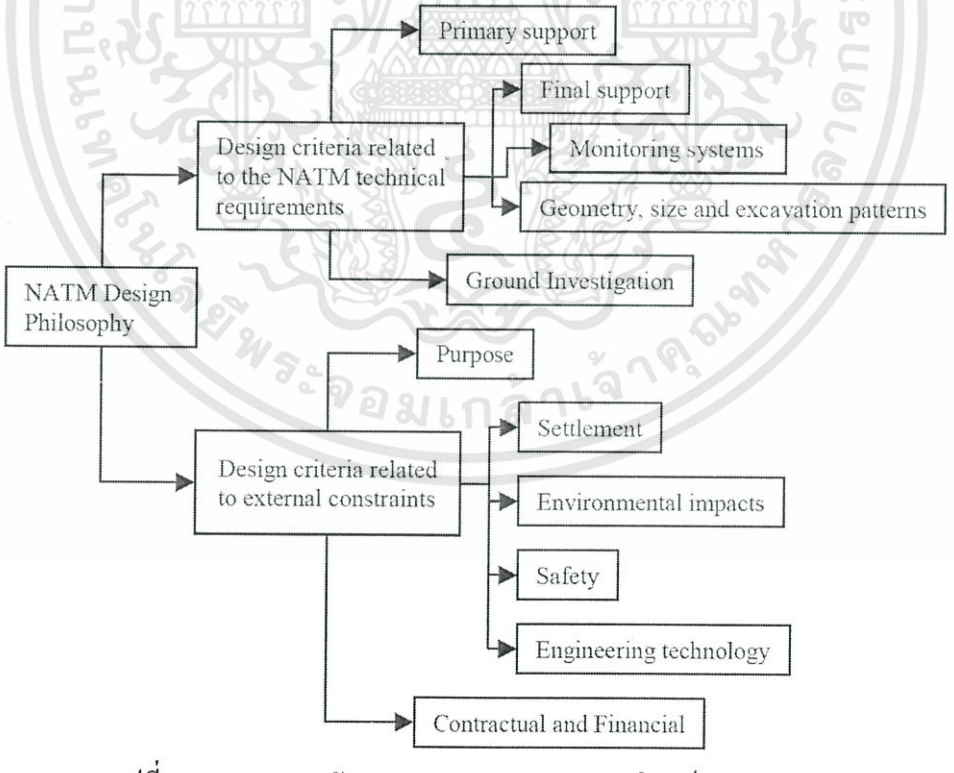
2) ปัจจัยข้อบังคับภายนอก (External constraints) ประกอบไปด้วย ปัญหาทางด้านการทรุดตัว ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ความปลอดภัย เทคนิคทางด้านวิศวกรรม ข้อจำกัดทางด้านสัญญาและข้อจำกัดทางด้านการเงินโดย Golser and Mussger (1978) ได้นำเสนอความสำคัญของการออกแบบตามสัญญาสำหรับการก่อสร้างด้วย NATM ว่าเป็นประเด็นที่สำคัญต่อราคาการก่อสร้างเป็นอย่างยิ่ง โดยสัญญาการก่อสร้างที่ถูกกำหนดมาจากผู้ว่าจ้างนั้น จะเป็นตัวกำหนดราคาการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น ถ้าต้องการราคาที่ต่ำที่สุด รูปแบบการก่อสร้างก็อาจจะต้องเปลี่ยนแปลงไปให้เหมาะสมกับปัจจัยข้อบังคับภายนอกอื่นๆเช่นกัน

The Institution of Civil Engineers (1996) ได้แบ่งประเภทของหลักการออกแบบอุโมงค์เป็น 3 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM เป็นการผสมผสานวิธีขุดเจาะอุโมงค์แบบดั้งเดิมที่เกิดขึ้นในอดีตในดินรูปแบบต่างๆมาประยุกต์ใช้ซึ่งหลักการออกแบบสำหรับการขุดเจาอุโมงค์ NATM ซึ่งรายละเอียดสำคัญที่ใช้ในการออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 โดยแต่ละรายละเอียดที่นำเสนอจะเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของหลักการออกแบบอุโมงค์ (ICE 1996)



รูปที่ 2.2 แผนภาพหลักการออกแบบการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นและถาวร (Primary and Final Support Design)

การออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นและถาวร (Primary and final support design) เป็นการออกแบบที่มีส่วนสำคัญในวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ NATM ค่าความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility) และความหนาของการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้น จะทำการเสริมด้วยลวดเหล็กตะแกรงบริเวณส่วนหน้าของการขุดเจาะอุโมงค์ NATM ทำการรักษาเสถียรภาพของดินส่วนหน้าด้วยการทำเข็มเย็บดินตามแนวราบยื่นเลยหน้าอุโมงค์ (Forepoling) และเวลาที่ใช้ในขุดเจาะให้ครบวงรอบของอุโมงค์ก็จะขึ้นอยู่กับสภาพดิน ลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง เพื่อนำไปสู่การพิจารณาการออกแบบที่มีประสิทธิภาพต่อไป การป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้น Rabcewicz ได้พูดถึงดังนี้ "เป็นการออกแบบการฉีด Shotcrete เพื่อเป็นการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้น คอนกรีตต้องมีความสามารถในการรับแรงได้มากในระยะเวลาอันสั้น และสามารถที่จะแข็งตัวได้เร็ว มีความเหนียวพอสมควรเพื่อให้มีการปิดพื้นผิวของดินที่ขุดเจาะได้สนิท" Vavrosky (1995) ได้กล่าวถึงการเคลื่อนตัวของดินและการกระจายความเค้นที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM ว่า "การออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินจะไม่ใช้การกระจายแรงของชั้นดินด้วยตัวเองแต่จะใช้การป้องกันการพังทลายของดินด้วยการเสริมแรงให้กับดินในขณะที่ดินมีการกระจายแรงอยู่" เพราะฉะนั้นการออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของดินกับความสามารถในการรับแรงของการป้องกันการพังทลายของดิน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก รูปที่ 3.3 เพื่อหาค่าการป้องกันการพังทลายของดินที่ทำให้อุโมงค์มีเสถียรภาพมากที่สุด Kuesel (1987) ได้กล่าวถึงประเด็นของขนาดและรายละเอียดของผนังอุโมงค์ ซึ่งเกี่ยวกับการพิจารณาค่าความเค้นอื่นๆที่เกี่ยวข้อง อันดันแรกคือการพิจารณาแรงดันน้ำโดยการออกแบบผนังอุโมงค์ที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย และต้องมีการป้องกันการซึมผ่านของน้ำใต้ดินในการก่อสร้างด้วย ลำดับต่อมาคือการพิจารณาการออกแบบผนังอุโมงค์ให้มีความเหมาะสมกับสภาพของชั้นดินซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะเวลาการคงตัวของดิน (Stand-up time) ซึ่งนำไปใช้ในสมการรูปแบบปิดได้(Closed-form solutions) สำหรับการวิเคราะห์อุโมงค์รูปแบบวงกลม ซึ่งอธิบายโดย Muir Wood (1975), Peck et al. (1972), Mohraz et al. (1975), Sulem et al. (1987) ส่วนการออกแบบอุโมงค์ที่มีรูปแบบไม่เป็นวงกลมหรือ NATM นั้น Watson (1997)ได้กล่าวไว้ว่า "สมการรูปแบบปิดนั้นใช้ได้ในขอบเขตที่จำกัดสำหรับการประเมินขั้นต้นในการออกแบบให้ผนังอุโมงค์รับแรงได้มากที่สุดในส่วนของผนังอุโมงค์ NATM ชั้นแรกที่เป็นส่วนของวงกลม แต่การพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากการสูญเสียความเค้นในดิน (Stress relief) ที่บริเวณผิวหน้าของการขุดเจาะหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นในขณะขุดเจาะเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงชั่วคราวในผนังอุโมงค์นั้นยังมีความผิดพลาดอยู่" การคำนวณและการวิเคราะห์การออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นหรือการฉีด Shotcrete และการออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินถาวรหรือผนังอุโมงค์โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้แบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Ito and Hisatake (1981) ได้กล่าวว่าสิ่งที่วิเคราะห์คือการประมาณค่าแรงดันของดินและการเคลื่อนตัวของการป้องกันการพังทลายของดินและการฉีด Shotcrete ในการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM โดยมีวิธีพิจารณาผนังอุโมงค์เป็นแบบ Elasto-Plastic ซึ่ง Leca and Clough (1992) ได้วิเคราะห์ผนังอุโมงค์ที่ใช้ Shotcrete โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ พวกเขาใช้วิธีการที่ง่ายสำหรับการออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นของอุโมงค์แบบ NATM โดยการประมารค่าแรงผลักดัน (Thrusts) และค่าโมเมนต์ (Moments) ในผนังอุโมงค์ ซึ่งข้อสรุปการออกแบบผนังอุโมงค์เบื้องต้นและผนังอุโมงค์ถาวร ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1) ลักษณะสภาพของดิน อาทิเช่น กำลังของดิน การคงสภาพดิน ต้องมีการกำหนดให้แนชัด เพราะจะมีผลกระทบต่อการออกแบบการป้องกันการพังทลายของดินโดยรอบ

2) น้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นโดยรอบการขุดเจาะอุโมงค์ต้องนำมาพิจารณาการระบายน้ำ หรือทำการเคลือบผิวการป้องกันการพังทลายของดินเพื่อกันน้ำที่อาจซึมผ่านเข้ามาในตัวของอุโมงค์ โดยถ้ามีการป้องกันการซึมของน้ำต้องนำค่าแรงดันมาพิจารณาในการออกแบบด้วย

3) การติดตั้งวัสดุที่ช่วยการป้องกันการพังทลายของดินเพิ่มเติม อาทิเช่น Rock bolts, Lattice girders, Spiling เป็นต้น เพื่อเป็นการเสริมกำลังของการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นหรือผนังอุโมงค์ Shotcrete การฉีดพ่น Shotcrete ควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ในการฉีดพ่น ซึ่งจะส่งผลกับค่าความสามารถในการยืดหยุ่น และความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทาน

4) การเก็บรวบรวมข้อมูลของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหนือผนังอุโมงค์ และภายในผนังอุโมงค์ รวมทั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นก็ต้องนำมาพิจารณาด้วย

5) การออกแบบในส่วนการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นควรทำการวิเคราะห์ด้วยหลักวิธีการต่างๆ เช่น Empirical method, Computation method และ Physical models เพื่อนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากแต่ละวิธีมาพิจารณาใช้ในการออกแบบ

2.4.2 หลักเกณฑ์การออกแบบสภาพทางธรณีวิทยา (Geotechnical Design Criteria)

สภาพทางธรณีวิทยาควรมีการศึกษาถึงคุณลักษณะต่างๆจากห้องทดลองและในสนาม ความสำคัญของการสำรวจมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการขุดเจาะอุโมงค์ NATM โดยที่ผ่านมาในอดีตเชื่อว่าการพังทลายนั้นมีสาเหตุมาจากการไม่ทราบสภาพทางธรณีวิทยาที่แน่นอนเพราะฉะนั้นการสำรวจและการทดสอบตัวอย่างดินต้องเป็นไปอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของดิน อาทิเช่น กำลังของดิน การคงสภาพของดิน แรงดันน้ำส่วนเกิน การระบายน้ำ ความเป็นเนื้อเดียวกันของดิน พฤติกรรมการล้า ความไม่ต่อเนื่องของช่องว่างภายในเนื้อดิน ความดันจากน้ำหนักดินข้างบน เป็นต้น ค่าเหล่านี้จะต้องทราบจากการสำรวจและทดสอบดิน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั่นก็คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบทางธรณวิทยา ในการนำมาใช้วิเคราะห์หรือคำนวณออกแบบเบื้องต้นสำหรับรูปแบบการขุดและลักษณะทั่วไปของอุโมงค์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การออกแบบเพื่อความปลอดภัยของอุโมงค์ NATM โดย HSE (Design for Safety of NATM Tunnels Produced by The HSE)

การก่อสร้างอุโมงค์ NATM ที่ผ่านมาในอดีต โครงการบางแห่งถูกกล่าวถึงอันเนื่องมาจากเกิดการพังทลายส่งผลกระทบเสียหายต่อพื้นผิวของสิ่งปลูกสร้างเหนือบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ ดังนั้นความปลอดภัยสำหรับการก่อสร้างในพื้นที่ใต้ดิน จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องอยู่ในข้อกำหนดของการพิจารณาในการออกแบบด้วย ในอดีตที่ผ่านมาภายหลังจากการก่อสร้างอุโมงค์ที่ขนานกัน 3 อุโมงค์ใน London clay ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow เกิดการพังทลายขึ้น จึงได้มีข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัยในการขุดเจาะอุโมงค์ NATM ที่เรียกว่า " The Health and Safety Executive (HSE)" โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความปลอดภัย และหลักเกณฑ์ในการก่อสร้างทั้งในช่วงก่อนการก่อสร้าง ระหว่างการก่อสร้าง ภายหลังจากการก่อสร้างอุโมงค์ NATM ดังต่อไปนี้

1) การสำรวจสภาพชั้นดิน จะต้องทำการสำรวจตลอดแนวเส้นทางการขุดเจาะอุโมงค์เพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากความไม่แน่ชัดของชั้นดินที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์

2) เทคโนโลยีทางวิศวกรรม เป็นการพัฒนาทางด้านวิศวกรรมเพื่อความทันสมัยของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ เพื่อช่วยให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

3) ความเสี่ยงที่เกิดจากการก่อสร้างอุโมงค์ NATM ในการออกแบบหรือการก่อสร้างอุโมงค์ไม่ว่าจะเป็นวิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบใด ความไม่ปลอดภัยย่อมเกิดขึ้นได้เสมอ ซึ่งปัญหานี้เป็นประเด็นที่สำคัญมากในการก่อสร้างอุโมงค์ NATM ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมให้ดีที่สุดในการก่อสร้างหรือการออกแบบรายละเอียดจะอยู่ในข้อกำหนด HSE

4) การการเก็บข้อมูลและการตรวจวัด ในหัวข้อนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการออกแบบ และการเก็บข้อมูลเพื่อการก่อสร้าง การเก็บข้อมูลจะนำมาใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบและก่อสร้างเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของวิธี NATM โดยการวิเคราะห์และการแปลความหมายของข้อมูลที่ได้มานั้นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา, ผู้ออกแบบอุโมงค์, หรือผู้ที่ควบคุมการก่อสร้างที่ชำนาญ

5) เสถียรภาพของการขุดเจาะส่วนบนของอุโมงค์ (Tunnel heading) ส่วนบนอุโมงค์NATM เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดจากการขุดเจาะด้านบนของอุโมงค์ ที่ผ่านมาจะพบว่าการพังทลายจะเกิดขึ้นขณะทำการขุดเจาะหรือภายหลังจากการขุดเจาะส่วนบนอุโมงค์ จึงต้องมีความระมัดระวังในการขุดเจาะส่วนนี้ และจะต้องมีการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างเหนืออุโมงค์ ในส่วนของผิวหน้าของการขุดเจาะต้องมีการการป้องกันการพังทลายของดินเพิ่มเติมโดยการทำเข็มเย็บดินตามแนวราบยื่นเลยหน้าอุโมงค์ การเพิ่มความเร็วในการขุด, การเพิ่มระบบระบายน้ำใต้ดิน,การลดขนาดของส่วนหน้า เป็นต้น เหล่านี้ก็สามารถช่วยให้เกิดเสถียรภาพได้มากขึ้นเช่นกัน

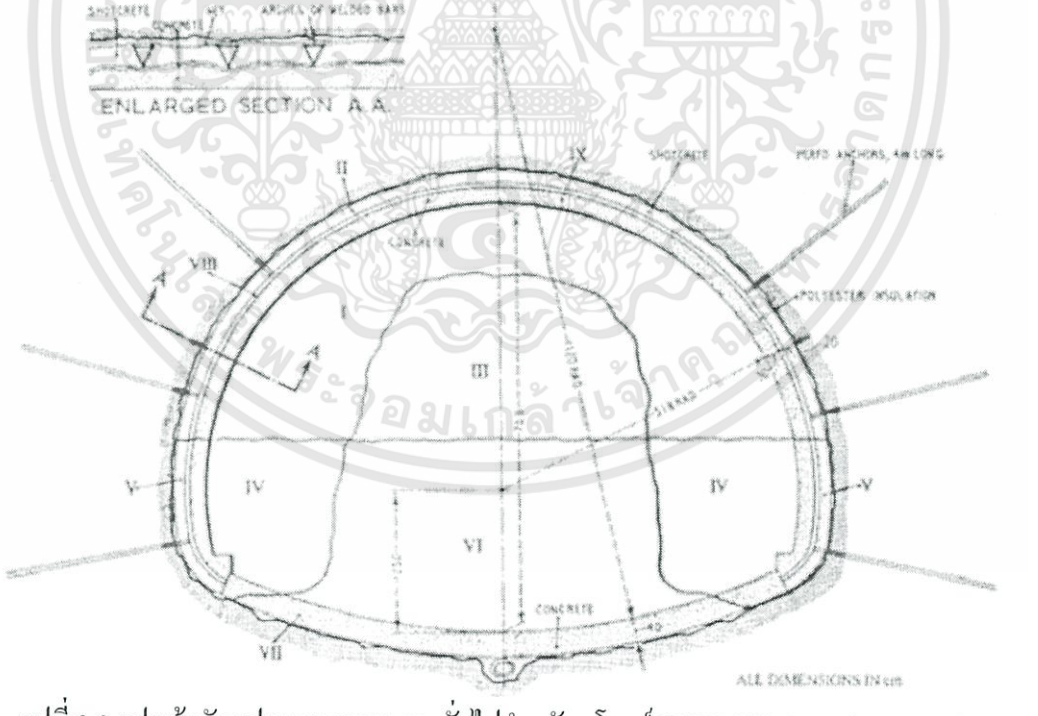
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การควบคุมการทรุดตัวของดิน การลดความเสียหายที่เกิดจากการทรุดตัวของสิ่งปลูกสร้างเหนือบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ โดยทำการควบคุมการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนอย่างมีระเบียบแบบแผน ไม่ว่าจะเป็นการขุดเจาะส่วนบนของอุโมงค์ การตรวจสอบโครงสร้างใต้ดินที่มีอยู่เดิม และการฉีด Shotcrete เป็นต้น

7) การฉีด Shotcrete ที่ผนังของอุโมงค์ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการฉีด Shotcrete ประกอบไปด้วย ความหนา, การเสริมแรงด้วยเหล็กตะแกรง เป็นต้น การออกแบบขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละโครงการ โดยสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้ในการออกแบบนั่นก็คือ การจำลองรูปแบบขึ้นมาทดสอบ และประสบการณ์ที่ผ่านมาในอดีตเพื่อประกอบการตัดสินใจในการออกแบบ

2.4.4 รูปแบบการขุดเจาะอุโมงค์NATM โดยทั่วไป

ขนาดของอุโมงค์ลักษณะทั่วไปของอุโมงค์ และรูปแบบการขุดเจาะอุโมงค์ NATM ซึ่งลักษณะทั้งหลายเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ตามสภาพทางธรณีวิทยา มีกรณีตัวอย่างมากมายโดยเฉพาะการขุดเจาะอุโมงค์ NATM ในดินอ่อนที่ไม่สามารถใช้การขุดเจาะแบบเต็มผิวหน้าของอุโมงค์ได้ ดังนั้นรูปแบบการขุดเจาะจึงต้องแบ่งการขุดเจาะเป็นส่วนย่อยจนครบวงรอบ โดยทั่วไปขั้นตอนการขุดจะมีประมาณ6 ขั้นตอนหรืออาจจะมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะทั่วไปของอุโมงค์



รูปที่ 2.3 รูปหน้าตัดรูปแบบการขุดเจาะทั่วไปสำหรับอุโมงค์ NATM (Rabcewicsz, 1965)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดทั่วไปสำหรับอุโมงค์ NATM ตัวเลขที่แสดงคือลำดับขั้นของการขุดเจาะรวมทั้งในส่วนของการป้องกันการพังทลายของดิน ขั้นตอนที่ 1 จะเริ่มขุดจากส่วนบน (I) เว้นส่วนตรงกลางเพื่อให้เป็นการป้องกันการพังทลายของดินที่ผิวหน้าของการขุดเจาะ ขั้นตอนที่ 2 จะทำการฉีด Shotcrete ที่ส่วนโค้งของผนังอุโมงค์(II) ขั้นตอนที่ 3 ขุดในส่วนตรงกลางที่เหลือจากส่วนแรกออก(III) ขั้นตอนที่ 4 ขุดด้านซ้ายและขวาของส่วนล่างอุโมงค์ออก(IV) ขั้นตอนที่ 5 ติดตั้งส่วนที่ใช้เสริมแรงให้กับShotcrete (V) ขั้นตอนที่ 6 ขุดส่วนกลางของด้านล่างอุโมงค์ออก(VI) ขั้นตอนสุดท้ายจะเทคอนกรีตลงที่ส่วนล่างของอุโมงค์(VII) ตามด้วยชิ้นส่วนที่ใช้ป้องกันน้ำซึม(VIII) และทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั้นใน

2.5 กรณีศึกษาการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธี NATM

โครงการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธีการขุดเจาะแบบNATM เกิดขึ้นมากมาย ภายหลังจากที่มีการนำเสนอหลักวิธีการนี้เกิดขึ้น ดังนั้นรายงานทางเทคนิคนี้จึงนำเสนอโครงการในต่างประเทศที่มีลักษณะการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM ที่มีลักษณะสภาพดินที่ทำการขุดใกล้เคียงกับการก่อสร้างอุโมงค์ ในประเทศไทย ที่ลักษณะดินมีสภาพเป็นดินเหนียวอ่อน(Soft clay) เพื่อเป็นการแสดงประสิทธิภาพในการขุดเจาะด้วยวิธี NATM ว่าสามารถที่จะทำการขุดเจาะในชั้นดินที่มีกำลังต้านทานที่ต่ำในประเทศไทยได้

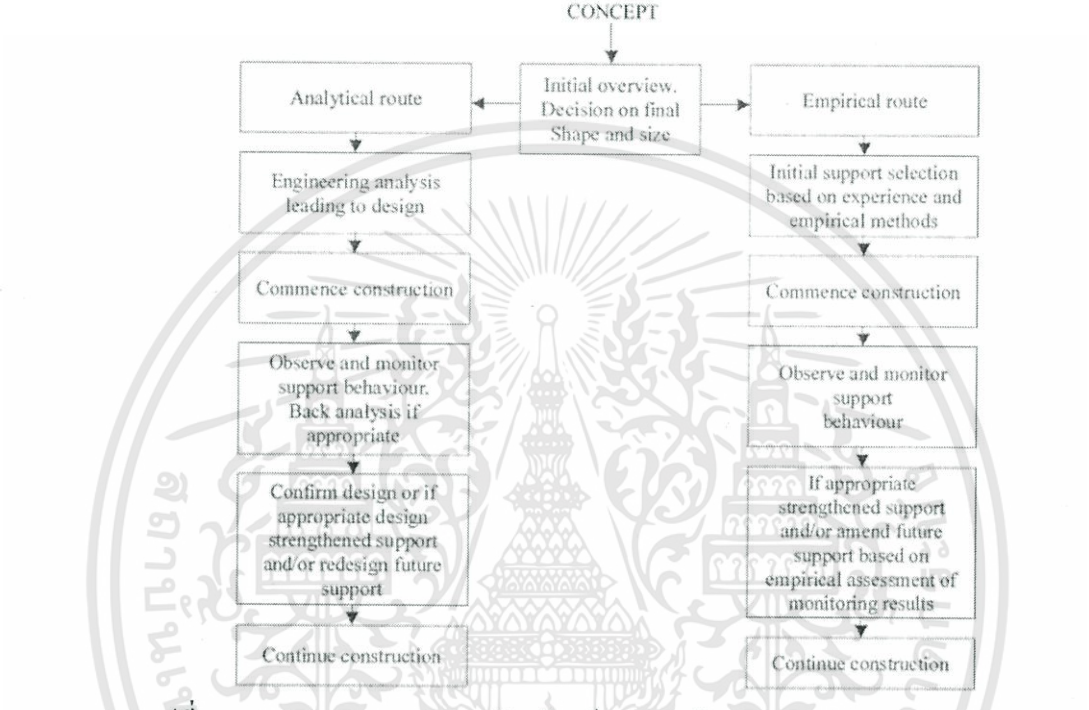
2.5.1 การก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธี NATM ในดินอ่อน

ในกรณีการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธี NATM ในดินอ่อนนั้น Muller (1978) ได้ มีการกล่าวถึงว่าการฉีดShotcrete ควรทำให้ครบวงรอบอุโมงค์โดยเร็ว เพื่อป้องกันการทรุดตัวผิวดินที่จะเกิดขึ้นเหนือพื้นที่การก่อสร้างอุโมงค์ และอีกหนึ่งเหตุผลก็คือในดินอ่อนจะมีเวลาที่สั้นมากในการคงสภาพเดิม อันเนื่องมาจากการขุดเจาะอุโมงค์เป็นการรบกวนดินทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินมีค่าลดลง ซึ่งสภาพดินในส่วนที่ใกล้กับผนังอุโมงค์ จะมีค่าหน่วยแรงที่ต่ำ และดินบริเวณนี้ก็ไม่สามารถที่จะกระจายแรงจากน้ำหนักด้านบนที่เกิดขึ้นได้ ในกรณีนี้ Brown (1990) ได้กล่าวไว้ว่า "บริเวณที่ใกล้กับพื้นผิวอุโมงค์ในดินอ่อนจำเป็นต้องมีการขุดเพื่อให้ครบวงรอบโดยเร็วเพื่อรองรับแรงที่มากระทำ และจะไม่มีการขุดเจาะในส่วนของหน้าตัดที่ยังไม่มีการติดตั้งการป้องกันการพังทลายของดินชั่วคราว"

ความสำคัญในเรื่องระยะของการขุดอุโมงค์ที่ยังไม่มีการติดตั้งการป้องกันการพังทลายของดินชั่วคราวควรสั้นที่สุดในกรณีดินอ่อน ส่วนเสถียรภาพของส่วนหน้าอุโมงค์ ต้องมีการป้องกันการพังทลายของดินบริเวณด้านหน้าเพื่อป้องกันการพังทลายที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งพิจารณาลักษณะทั่วไปและขนาดของอุโมงค์ให้เหมาะสมเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานของ ICE (1996) ในการออกแบบอุโมงค์ที่ใช้วิธีNATM ในดินอ่อน โดยอ้างอิงรายละเอียดสภาพดินLondon clay ประเทศอังกฤษ ได้กล่าวถึงผนังอุโมงค์ภายในโครงการจากการฉีด Shotcrete ที่ต้องทำการฉีดพ่นโดยเร็วเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นเหนือพื้นที่ก่อสร้างอุโมงค์ และได้นำเสนอแผนภาพที่แสดงถึงการก่อสร้างใต้ดินด้วยวิธีNATM ในดินอ่อนด้วยการฉีด Shotcrete ดังรูปที่3.8



รูปที่ 2.4 แนวทางการออกแบบผนั งอุโมงค์ จากการฉีดShotcrete (ICE, 1996)

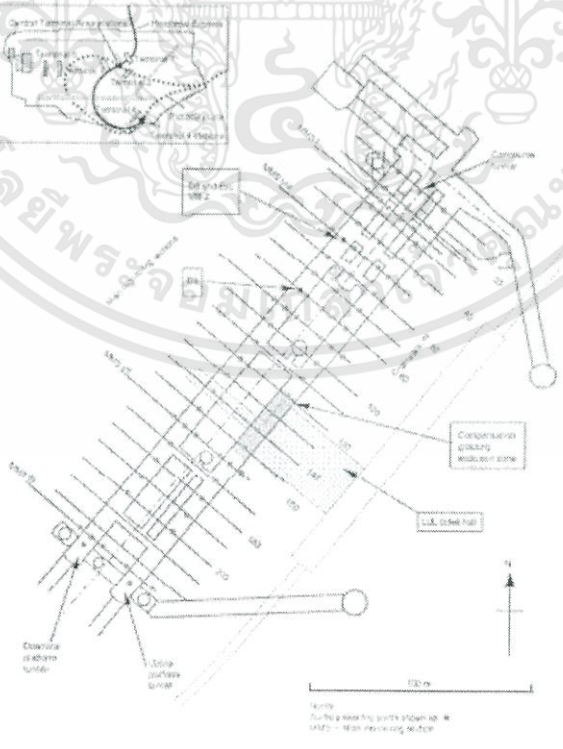
2.5.2 กรณีศึกษาการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธีNATM

2.5.2.1 โครงการก่อสร้างใต้ดินในประเทศอังกฤษ

โครงการก่อสร้างใต้ดินในประเทศอังกฤษที่นำมาเป็นกรณีศึกษานี้มีชื่อเรียกว่า "โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบินHeathrow" แสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งรายละเอียดของโครงการจะประกอบด้วย อุโมงค์ชานชะลาสถานี(Platform tunnel)มีความยาว 220 เมตร ด้วยการขุดเปิดพื้นที่หน้าตัดที่มีขนาด 62 ตารางเมตร ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 9 เมตร ในส่วนอุโมงค์ ชั้นผู้โดยสารกลาง(Concourse tunnel) มีความยาว64 เมตร ด้วยการขุ ดเปิดพื้นที่หน้าตัดที่มีขนาด 49 ตารางเมตร ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 8 เมตร โดยรูปตัดของอุโมงค์ชานชะลาสถานีและชั้นผู้โดยสารแสดงในรูปที่ 3.10 ระยะห่างของอุโมงค์ชานชะลาสถานีวัดจากศูนย์กลางของอุโมงค์ทั้งสองห่างกัน 27 เมตร และระยะจากขอบถึงขอบห่างกัน 18 เมตร ส่วนระยะห่างศูนย์กลางของอุโมงค์ชั้นผู้โดยสารกลางและอุโมงค์ชานชะลาสถานีห่างกัน 13.5 เมตร การก่อสร้างอุโมงค์สถานีปลายทางที่ 4 เริ่มก่อสร้างในวันที่ 10

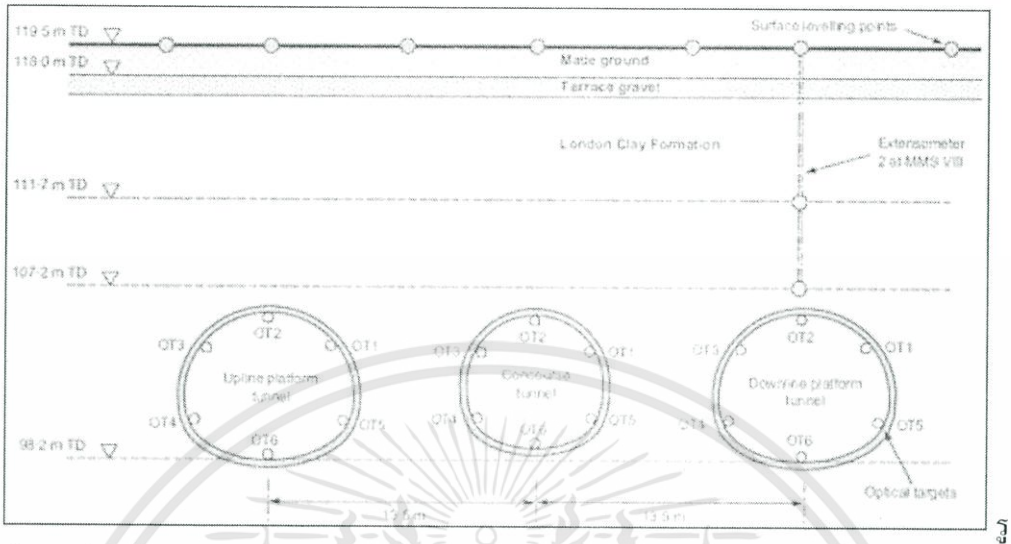
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤษภาคม 1994 แต่ก็ต้องยกเลิกโครงการลงในเดือนตุลาคมปีเดียวกัน อันเนื่องมาจากการพังทลายของการขุดเจาะด้วยวิธี NATM ที่บริเวณอุโมงค์ชานชะลาสถานี Downline ที่ระยะ 25 เมตร และอุโมงค์ชานชะลาสถานี Upline ที่ระยะ 65 เมตร โดยเริ่มการก่อสร้างจากปล่องระบายอากาศการก่อสร้างอุโมงค์ สถานีปลายทางที่4 กลับมาเริ่มโครงการอีกครั้งในการก่อสร้างอุโมงค์ชานชะลาสถานี Downline ในวันที่15 กันยายน1995 ตามมาด้วยอุโมงค์ชานชะลาสถานี Upline ในวันที่ 2 ธันวาคม 1995 ในส่วนของอุโมงค์ชั้นผู้โดยสารเริ่มในเดือนกันยายน 1996 ภายหลังจากการก่อสร้างที่เสร็จสมบูรณ์ของผนังอุโมงค์ถาวรในส่วนของอุโมงค์ชานชะลาสถานี Downline และ Upline ซึ่งอุโมงค์ ชั้นผู้โดยสารแล้วเสร็จในวันที่ 7 พฤศจิกายน 1996 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ชานชะลาสถานีได้นำหลักการขุดเจาะNATM มาใช้ ซึ่งกำหนดมา จากการบังคับด้วยรูปแบบอุโมงค์ และความจำเป็นในการควบคุมการเคลื่อนตัวที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะต่างๆของการก่อสร้างขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์สถานีปลายทางที่ 4 ใช้หลักการขุดดินแบบขั้นบันได โดยแบ่งการขุดออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ระยะในการขุดอยู่ในช่วงประมาณ 800 – 1200 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา การป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นสำหรับอุโมงค์ชั้นผู้โดยสารจะประกอบด้วย การฉีดพ่นคอนกรีต (Shotcrete) ที่มีความหนา 350 มิลลิเมตร การเสริมเหล็กตะแกรง และการติดตั้งLattice girders ในส่วนหน้าของอุโมงค์ ทำการป้องกันการพังทลายของดินด้วยการพ่นคอนกรีต (Shotcrete) ที่มีความหนา150 - 100 มิลลิเมตร ในทันทีภายหลังจากทำการขุดอุโมงค์

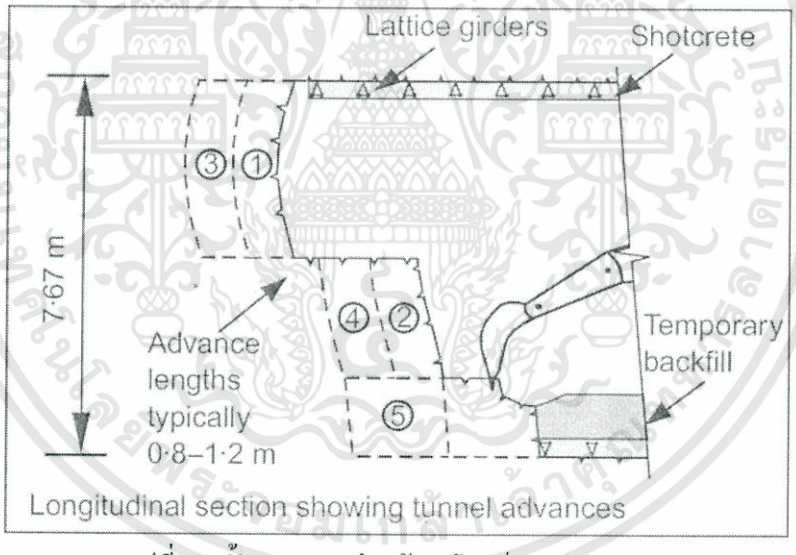


รูปที่ 2.5 แผนผังโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow (ICE, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปตัดอุโมงค์ชั้นผู้โดยสารและชานชะลาสถานี และการติดตั้งเครื่องมือวัดการเสียรูป(ICE, 1996)



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ (ICE, 1996)

กระบวนการก่อสร้างโดยทั่วไปที่ได้กล่าวมา ภายหลังจากการขุดเปิดพื้นที่จะทำการปรับสภาพพื้นที่ด้วยเครื่องมือที่ทำงานด้วยระบบอัดอากาศ (Pneumatic tool) เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการติดตั้งลวดเหล็กตะแกรงโดยรอบชั้น London clay โดยก่อนหน้านั้นต้องทำการฉีดพ่นคอนกรีต (Shotcrete) ด้วยความหนาประมาณ 50 – 100 มิลลิเมตร แผ่ กระจายโดยรอบพื้นผิวของ London clay รวมไปถึงบริเวณส่วนหน้าของการขุดเจาะอุโมงค์ ตามมาด้วยการติดตั้ง Lattice girder และติดตั้งเหล็กตะแกรงชั้นแรก ซึ่งลวดเหล็กตะแกรงจะมีความมั่นคงเพิ่มขึ้นด้วยการติดตั้งให้ซ้อนกัน และในส่วนการติดตั้ง Lattice girder ควรระวังการสั่นที่เกิดขึ้นในระหว่างการฉีด Shotcrete ซึ่งอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการป้องกันการพังทลายของดินของ Lattice girder การขุดเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow บริเวณอุโมงค์ชั้นผู้โดยสาร (Concourse tunnel) ในหนึ่งรอบการขุดที่แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง แสดงเวลาที่ใช้แต่ละขั้นตอนในตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ระยะทางโดยเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ที่สามารถทำการขุดเจาะอุโมงค์ได้ คือ ประมาณ 6 – 8 เมตร แต่อาจมีบางสัปดาห์ที่การขุดเจาะสามารถทำได้เร็วกว่านี้โดย Aldrain and Kattinger (1997) ได้กล่าวถึงส่วนอุโมงค์ชานชะลาสถานี(Platform tunnel) ในหนึ่งสัปดาห์ว่าสามารถทำการขุดเจาะได้ ระยะทางประมาณ 8 – 9 เมตร และสามารถทำการขุดได้ระยะมากที่สุดในหนึ่งสัปดาห์ประมาณ 14 เมตร

ตารางที่ 2.2 แสดงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั นตอนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานี

ปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow บริเวณอุโมงค์ชั้นผู้โดยสาร (Concourse tunnel)

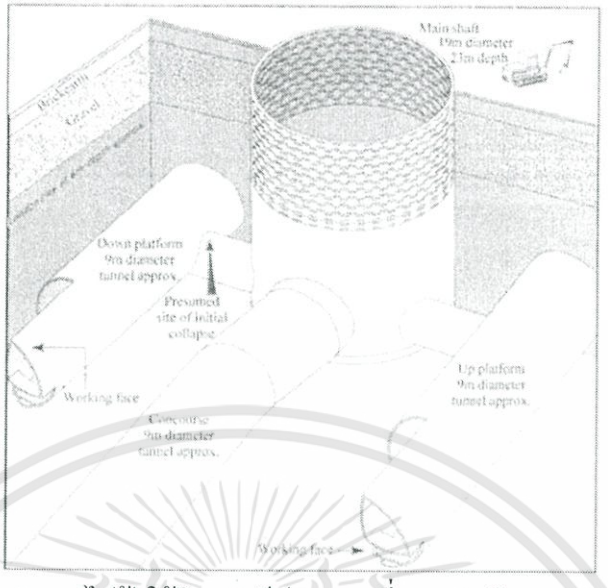
Construction activity	Average construction cycles times : min		
	Top heading	Bench	Invert
Excavation	112	84	143
Apply sealing layer	44	29	40
Fix lattice girder and mesh	41	23	38
Spray first shotcrete layer	92	32	66
Fix second layer of mesh	41	23	38
Spray second shotcrete layer	50	24	35
Total	379	215	359

สาเหตุการพังทลายของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบินHeathrow หรืออุโมงค์สถานี HEX ดังแสดงในรูปที่ 3.12 การพังทลายโดยทั่วไปจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ส่วนหน้าอุโมงค์ แต่ในอุโมงค์สถานี HEX การพังทลายเกิดขึ้นที่การป้องกันการพังทลายของดินจากการฉีด Shotcrete ในส่วนของอุโมงค์ชานชะลาสถานี (Platform tunnel) ที่จุดเชื่อมต่อกับปล่องแนวดิ่ง ความคิดเห็นจากTunnels and Tunneling (1994) ได้ กล่าวไว้ว่าที่ Heathrow การพังทลายไม่ได้เกิดขึ้นที่ส่วนหน้าอุโมงค์ ซึ่งเป็นผลดีในลำดับขั้นตอนการขุดเจาะที่จะเกิดขึ้นต่อไป

การพังทลายที่เกิดขึ้นได้ มีการเปิดเผยจากทาง British Airports Authority (BAA) เกี่ยวกับความหนาของการฉีด Shotcrete ในการก่อสร้างจริงพบว่าคอนกรีตที่ทำการฉีดพ่น ณ ส่วนล่างของอุโมงค์มีความหนา 50 มิลลิเมตร แต่ในข้อกำหนดนั้นต้องมีความหนา 300 มิลลิเมตร จาก Thompson (1999) ผลที่ตามมาจากการพังทลายที่เกิดขึ้นนี้ HSE และ ICE จึงได้จัดทำบทความพิเศษเกี่ยวกับความเข้าใจในการขุดเจาะอุโมงค์ ด้วยวิธี NATM และสาเหตุที่ทำให้เกิดการพังทลาย เพื่อเป็นข้อควรระวังสำหรับโครงการในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

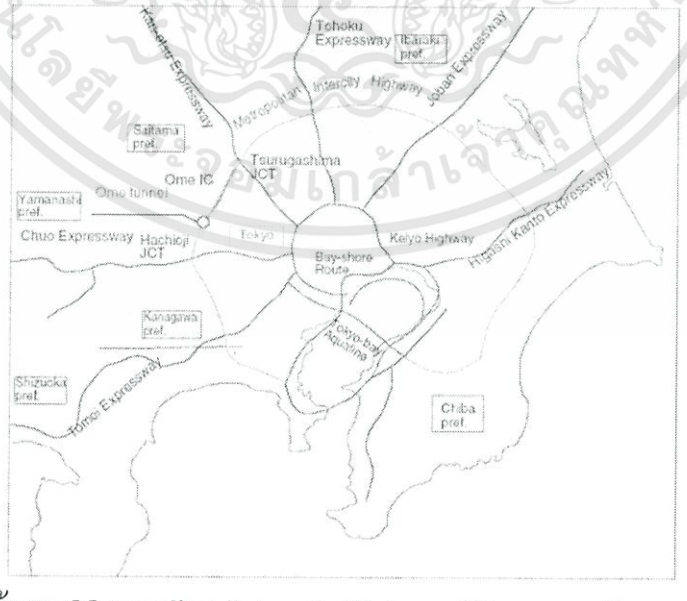
140460



รูปที่ 2.8 การพังทลายโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีปลายทางที่ 4 สนามบิน Heathrow(ICE, 1996)

2.5.2.2 โครงการก่อสร้างใต้ ดินในประเทศญี่ปุ่น

Metropolitan Inter-city Highway (Ken-O-Do) เป็นทางด่วนที่มีแนวเส้นทางครอบคลุมพื้นที่ 40 – 60 กิโลเมตรใจกลางเมืองโตเกียว และมีการเชื่อมต่อกับเส้นทางสายรองดังแสดงในรูปที่ 3.13 เส้นทางจะมีระยะทางประมาณ300 กิโลเมตรเชื่อมต่อกับทางด่วน Tomei, Chuo และ Kan-Etsu โดยวัตถุประสงค์ในการก่อสร้างแนวเส้นทางก็เพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรและตอบสนองต่อความต้องการใช้ถนนของผู้คนให้มีความสะดวกรวดเร็ว สำหรับเมืองที่มีการพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจ



รูปที่ 2.9 แนวเส้นทางMetropolitan Inter-city Highway (Haruyama, Teramoto and Taira, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

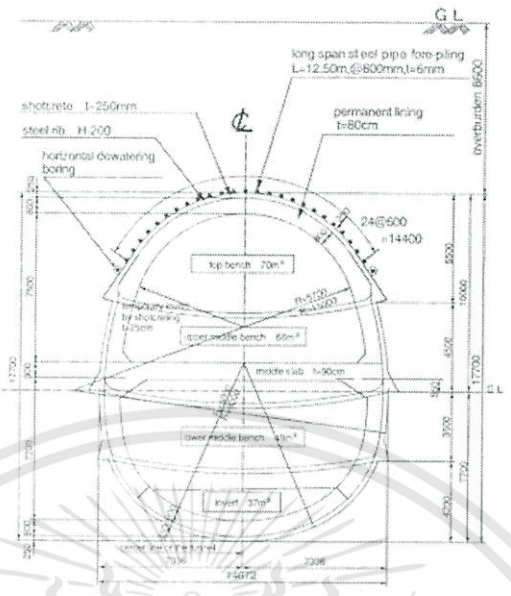
เส้นทางแรกที่ก่อสร้างมีระยะทางประมาณ 19.8 กิโลเมตร ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่าง Tsurugashima ในทางด่วนสาย Kan-Etsu และทางแยกต่างระดับ Ome ซึ่งเปิดให้บริการในเดือนมีนาคมปี 1996 และในส่วนต่อขยายจากทางแยกต่างระดับ Ome ไปสู่จุดเชื่อมต่อ Hachiouji ในทางด่วนสาย Chuo ยังอยู่ในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ Ome ความยาว 2095 เมตร เป็นอุโมงค์ส่วนแรกที่สร้างขึ้นในส่วนของทางต่างระดับ Ome โดยอุโมงค์มีลักษณะ 2 ชั้น แต่ละชั้นจะเป็นถนน 2 ช่องทาง โดยใช้วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ NATM โดยเริ่มการก่อสร้างที่ปล่องแนวดิ่งบริเวณช่วงกลางของอุโมงค์ ที่ระยะ 1056 เมตร อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านพื้นที่สภาพแวดล้อม สภาพทางธรณีวิทยา และปัจจัยทางเศรษฐกิจอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยแสดงรูปตัดตามยาวของอุโมงค์ Ome ในรูปที่ 3.14 อุโมงค์จะมีหน้าตัดขนาดใหญ่ที่ขุดเจาะผ่านชั้นดินที่ไม่มีการอัดตัวคายน้ำ และพื้นที่บางส่วนขุดเจาะผ่านพื้นที่แออัดในเมืองโตเกียว วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ นี้จะใช้ วิธีการ NATM ซึ่งจะต้องทำการควบคุมการทรุดตัวผิวดิน และป้องกันการพังทลายที่ส่วนหน้าของการขุดเจาะ เพราะถ้าไม่มีการเตรียมการผลกระทบเสียหายจะเกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้างเหนือบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ ดังนั้น การสำรวจ ศึกษา และวางแผนงานจะเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดความเหมาะสมในกระบวนการก่อสร้าง เพื่อลดผลกระทบเสียหายให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

รูปที่ 2.10 รูปตัดตามแนวยาวอุโมงค์ **Ome Tunnel (Haruyama, Teramoto and Taira, 2005)**

1) แนวเส้นทางของโครงการ

1.1) รูปตัดตามยาวของอุโมงค์ Ome Tunnel หน้าตัดตามแนวขวางของอุโมงค์ Ome ลักษณะเป็นรูปทรงไข่ (Egg Shape) มีขนาดหน้าตัดความกว้าง 15 เมตร สูง 18 เมตร และมีพื้นที่การขุดเจาะประมาณ 221 – 161 ตารางเมตร เต็มความกว้างพื้นที่ถนน โดยชั้นดินเหนืออุโมงค์มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 8.6 เมตร โดยมีการแบ่งหน้าตัดเป็น 2 ส่วน โดยพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนา 90 เซนติเมตร (ผนังอุโมงค์มีความหนา 80 เซนติเมตร) ดังรูปที่ 3.15 โดยมีการขุดเจาะมาจากปล่องแนวดิ่งทั้งสองปล่อง คือ Wakagusa vertical และ Ooido vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปหน้าตัดของอุโมงค์ Ome Tunnel (Haruyama, Teramoto and Taira, 2005)

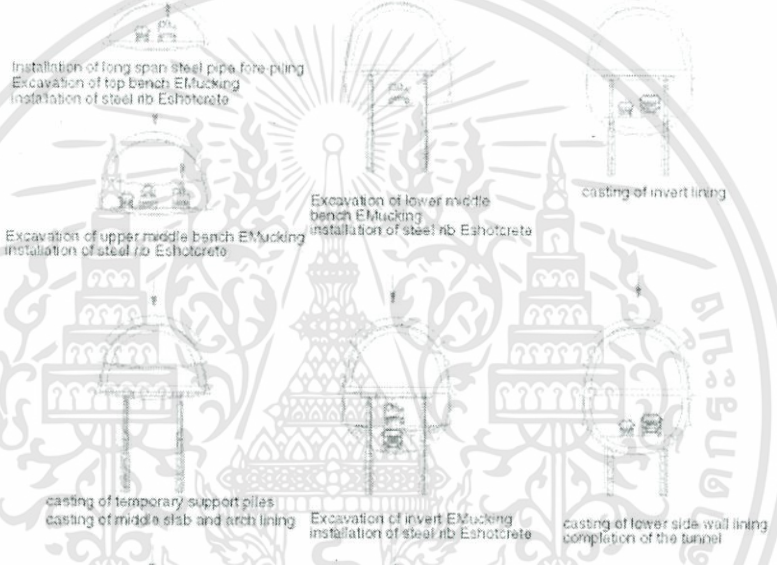
1.2) ลักษณะทางภูมิประเทศ และ สภาพทางธรณีวิทยาอุโมงค์ Ome ขุดเจาะลอดผ่านแม่น้ำ Tama ที่เป็นแนวเขตของพื้นที่ราบ Kanto และภูเขาที่อยู่ทางด้านตะวันตกของเมืองโตเกียว โดยอุโมงค์ ทั้งหมดจะขุดเจาะผ่านชั้นดินที่ไม่มีการอัดตัวคายน้ำ (Unconsolidated) ซึ่งจะเป็นชั้นดินที่มีการทับถมของทรายหรือดินตะกอนที่มีกรวดปะปนด้วย ชั้นกรวดปนทรายจะอยู่ใต้ ชั้นของOme gravel ซึ่งมีอายุมากกว่า 250,000 ปี โดยดินทั้ง 2 ชั้นนี้จะประกอบด้วยเม็ดหินกรวดหรือหินทรายที่มีขนาดคละกันตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาด 20 เซนติเมตร และตะกอนทรายเม็ดละเอียดที่มีขนาดเม็ดเล็กประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ช่องว่างบางส่วนระหว่างชั้นดินที่เกิดจากขนาดของเม็ดดินที่คละกันจะทำให้เกิดช่องว่างที่มีความต่อเนื่องในการซึมผ่านได้ของน้ำใต้ดินแม้ว่าจะมีช่องว่างระหว่างชั้นของกรวด แต่ก็จะมีทรายหรือดินตะกอนเติมอยู่ โดยค่าเฉลี่ยของค่าการซึมได้ของน้ำโดยการประมาณ คือ 10-3– 10-4 เซนติเมตรต่อวินาทีในชั้นของOme gravel ระดับน้ำใต้ดินโดยปกติจะอยู่ที่ 12 – 20 เมตรจากผิวดิน

2) ขั้นตอนการก่อสร้างโดยวิธี NATM

2.1) ขั้นตอนการก่อสร้างเบื้องต้น อุโมงค์แบ่งการขุดเจาะออกเป็น 4 ส่วน พิจารณาจากผลกระทบของพื้นที่การขุดซึ่งขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของส่วนหน้าและการแทนที่ของดินการป้องกันการพังทลายของดินเบื้องต้นสำหรับการขุดแต่ละส่วนจะทำการฉีด Shotcrete หนา 250 มิลลิเมตร และ ติดตั้ง Steel rib (H-200x200x8x12) ทุกระยะ 1 เมตร และการฉีด Shotcrete ในส่วนล่างมีความหนา 200 มิลลิเมตรควรทำการติดตั้งโดยเร็วเพื่อปิดวงรอบอุโมงค์ ในส่วนตามแนวยาวของอุโมงค์การฉีดShotcrete เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของดิน และป้องกันการพังทลายที่จะเกิดขึ้นอุโมงค์ทำการขุดเป็นลำดับแบบขั้นบันไดจากบนลงล่างดังแสดงไว้ ในรูปที่3.16 ในส่วนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

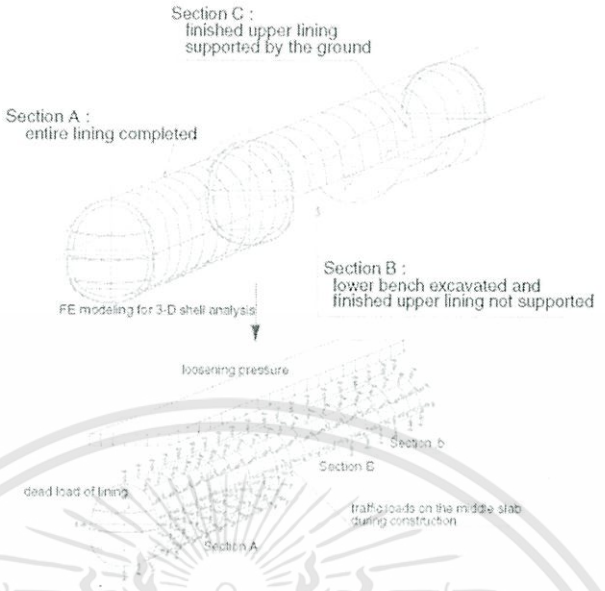
ขุด lower middle และinvert จะต้องทำการติดตั้งแผ่นพื้น และผนังอุโมงค์ด้านบนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กให้เรียบร้อยเสียก่อน ซึ่งการติดตั้งผนังอุโมงค์ด้านบนจะเป็นส่วนช่วยในการลดการทรุดตัว การพังทลายของดินเหนืออุโมงค์ การเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง และเพิ่มเสถียรภาพในลำดับขั้นตอนการขุดเจาะในบริเวณส่วนที่ต่ำกว่าการติดตั้งเสาเข็มชั่วคราวจะใช้รับน้ำหนักโครงสร้างผนังอุโมงค์ ส่วนบน เพื่อทำการขุดบริเวณโครงสร้างส่วนล่างของอุโมงค์ โดยเสาเข็มที่ใช้เป็นเสาเข็มเหล็ก(H-500x500x25x25) ทำการติดตั้งในแต่ละช่วงความยาว 9 เมตร ก่อนทำการติดตั้งแผ่นพื้นกลาง ซึ่งระยะที่กำหนดขึ้นในการติดตั้งเสาเข็มมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของดินในระหว่างการขุดอุโมงค์ส่วนบน



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการก่อสร้างโดยวิธี NATM (Haruyama, Teramoto and Taira, 2005)

2.2) การออกแบบลำดับขั้นตอนการก่อสร้างผนังอุโมงค์ ก่อนที่จะทำการก่อสร้างในส่วนครึ่งล่างของอุโมงค์ ต้องทำการวางแผนการขุดโดยปราศจากการรับน้ำหนักจากเสาเข็ม การพิจารณาในส่วนการขุด Lower middle และ Invert จะเป็นลักษณะร่องขุดภายหลังจากการก่อสร้างผนังอุโมงค์ ส่วนบนเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งผนังอุโมงค์ ส่วนบนควรมีการรองรับตามแนวยาวด้วยการอัดฉีดสารเคมีเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของดิน โครงสร้างของผนังอุโมงค์ ส่วนบนควรมีความต่อเนื่องเพื่อที่จะกระจายหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักดินที่มากระทำตลอดแนวยาวของการขุดเจาะอุโมงค์ โครงสร้างผนังอุโมงค์ทำการออกแบบโดยใช้การวิเคราะห์ 3 มิติดังแสดงในรูปที่ 3.17 ตามมาด้วยการวิเคราะห์ 2 มิติในการพิจารณาน้ำหนักที่มากระทำ ซึ่งพบว่าช่วงที่เหมาะสมในการขุดร่อง (trenching) ประมาณ 30 เมตร ความต่อเนื่องของโครงสร้างผนังอุโมงค์ส่วนบนมีความจำเป็นแม้จะมีการรองรับน้ำหนักด้วยเสาเข็มอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ทำการหล่อในที่ ดังนั้นการออกแบบผนังอุโมงค์ควรพิจารณาการรองรับน้ำหนักด้วยเสาเข็มชั่วคราวเพิ่มเติมไปด้วยในการจำลองรูปแบบการวิเคราะห์ทาง Numerical

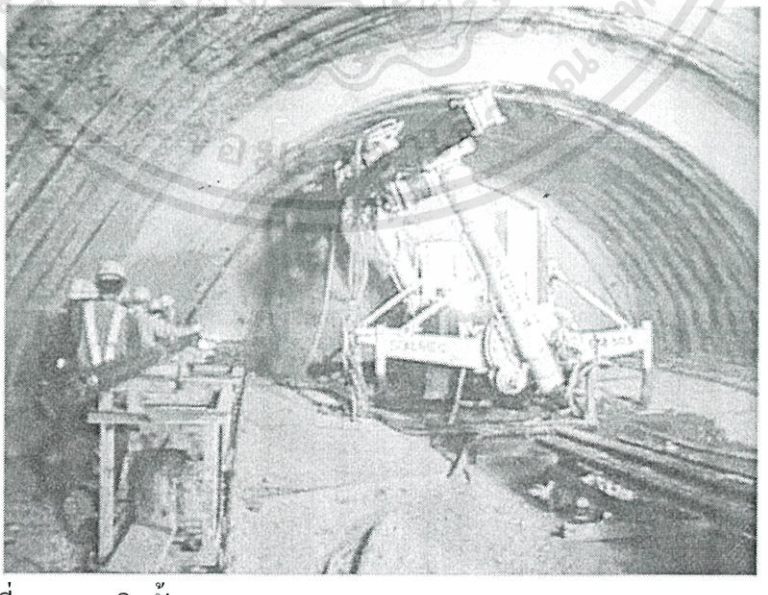
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างผนังอุโมงค์ (Haruyama, Teramoto and Taira, 2005)

3) วิธีการสนับสนุนการขุดเจาะอุโมงค์ NATM

3.1) Long span steel pipe fore-piling ด้วยการฉีดอัดสำหรับการป้องกันการพังทลายของดินในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM ที่จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพบริเวณส่วนหน้า ผนังอุโมงค์ด้านบน และควบคุมการเคลื่อนตัวของดินบริเวณส่วนหน้าในการขุดเจาะท่อเหล็กจะมีความยาว 12.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 114.3 มิลลิเมตร และมีความหนา 6 มิลลิเมตร ท่อดังกล่าวจะทำการติดตั้งที่ด้านหน้าอุโมงค์ต่ำกว่าผิวด้านบน 600 มิลลิเมตร และทำการฉีดอัดสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เครื่องเจาะชนิดพิเศษดังรูปที่3.18



รูปที่ 2.14 การติดตั้ง Installation of long span steel pipe fore-piling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วด้วยแรงดันการฉีดอัดที่ใช้ในมีค่าเท่ากับ0.5 Mpa เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินโดยรอบอุโมงค์ ก่อนที่มีการขุดเจาะส่วนบนของอุโมงค์ และการฉีดอัดซีเมนต์ควรให้มีการซึมผ่านไปยังช่องว่างในเม็ดดินให้มากที่สุด เพื่อรักษาเสถียรภาพของการขุดเจาะบริเวณส่วนบนของอุโมงค์ เช่นเดียวกัน

3.2) การควบคุมระดับน้ำใต้ดิน อุโมงค์ Ome ส่วนใหญ่ทำการขุดเจาะผ่านชั้นกรวดปนทราย ระดับน้ำใต้ดินตามธรรมชาติอยู่ ที่ระดับความลึกของส่วนบนอุโมงค์ ในระหว่างการขุดส่วนครึ่งบนของอุโมงค์ น้ำใต้ดินจะซึมเข้าสู่อุโมงค์ บริเวณส่วนหน้า ด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของส่วนหน้าอุโมงค์จะลดลง การลดระดั บน้ำ (Dewatering) จึงมีความจำเป็นในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ดังนั้นบ่อลดระดับน้ำใต้ดินต้องมีความลึกเมื่อเทียบกับการวางตัวของแนวเส้นทางอุโมงค์ ซึ่งการติดตั้งในโครงการนี้จะทำการติดตั้งในบริเวณที่ใกล้กับปล่องแนวดิ่ง แต่อย่างไรก็ ตามเป็นไปไม่ได้ ที่จะติดตั้งบ่อลดระดับน้ำใต้ดินจากผิวดิน เพราะพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินที่อัดแน่น การหาตำแหน่งที่จะติดตั้งจึงทำได้ยากในส่วนการลดระดับน้ำในแนวราบของส่วนหน้าอุโมงค์ ด้วยท่อเหล็ก(Steel pipe) จะทำการเชื่อมโยงกับ Vacuum pump เพื่อช่วยในการลดระดับน้ำใต้ดินบริเวณส่วนหน้า ซึ่งเป็นการลดระดับน้ำใต้ ดินโดยรอบส่วนหน้าอุโมงค์ ที่มีประสิทธิภาพ แต่ข้อพึงระวังในส่วนของการลดระดับน้ำใต้ดินในการขุดเจาะอุโมงค์ ก็คือ การขุดเจาะในฤดูฝน และแรงดันน้ำส่วนเกินที่จะซึมผ่านเข้ามาสู่ส่วนหน้าอุโมงค์ ทำให้การขุดเจาะอาจที่จะต้องหยุดชะงักไปได้

2.6 รายงาน HSE เกี่ยวกับการพั งทลายที่เกิดขึ้นจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM

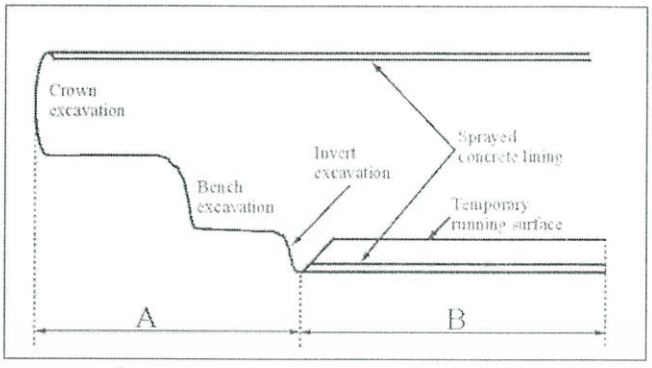
กรณีศึกษาการพังทลายที่เกิดจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM ได้ มีการศึกษาถึงเหตุผลการพังทลายที่เกิดขึ้นจากโครงการต่างๆ โดยแบ่งการพังทลายที่เกิดขึ้นออกเป็นแต่ละส่วนการพังทลายประกอบไปด้วย

1) ส่วนการพังทลายA เกิดบริเวณการขุดเจาะที่ส่วนบนของอุโมงค์ พื้นที่ระหว่างส่วนหน้าอุโมงค์ และผนังอุโมงค์ส่วนบนที่เกิดจากการฉีด Shotcrete

2) ส่วนการพังทลายB เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ผนังอุโมงค์ที่เกิดจากการฉีด Shotcrete ครบวงรอบที่ส่วนล่างของการขุดเจาะอุโมงค์ แสดงในรูปที่3.19

3) ส่วนการพังทลาย C เกิดขึ้นจากความไม่ต่อเนื่องของอุโมงค์จะเกิดห่างออกไปจากส่วนการพังทลาย A และ B ซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อกับโครงสร้างด้านบน อาทิเช่น ปล่องแนวดิ่ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนการพังทลาย(HSE, 1996)

2.6.1 รูปแบบการพังทลายจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM

การพังทลายจากการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM จะนำไปสู่ความเสียหายที่รุนแรงต่อโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ รวมทั้งมีผู้เสียชีวิต และผู้ได้รับบาดเจ็บจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยเหตุการณ์การพังทลายที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 30 ปี นับตั้งแต่ที่มีการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM เกิดมาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ปัญหาที่เกิดขึ้นจากตัวหลักวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์ NATM

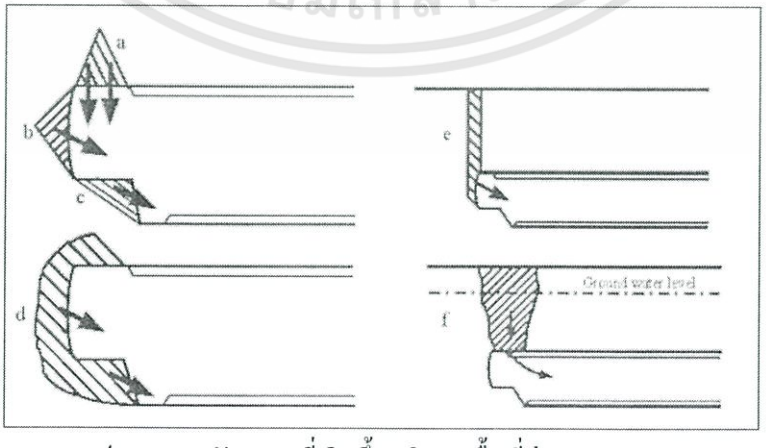
2) ความไม่ปลอดภัยอันเนื่องมาจากการขาดการวางแผนและการควบคุมที่ดี ในรายละเอียดเฉพาะของการขุดเจาะอุโมงค์ ด้วยวิธี NATM

3) มีความมั่นใจมากเกินไปในวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ NATM

4) ไม่มีการรายงานความเสียหายที่เกิดขึ้นขณะทำ าการก่อสร้าง จนบานปลายเกิดเป็นปัญหาใหญ่โตขึ้น

5) มีการใช้ วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ NATM แพร่หลายมากขึ้น อันเนื่องมาจากข้อกำหนดทางสภาพแวดล้อม อาทิเช่น ความต้องการลดพื้นที่เปิดหน้าดินเพื่อการก่อสร้าง เป็นต้น

6) วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ NATM เป็นวิธีการใหม่ จึงมีผู้ที่มีความชำนาญและความเข้าใจในเทคนิคการก่อสร้างน้อย



รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบการพังทลายที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ส่วนบนของการขุดเจาะอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยดังต่อไปนี้

พื้นที่ a เป็นการพังทลายที่ส่วนยอด ซึ่งดินจะทะลักเข้าทางด้านบนสู่อุโมงค์ พื้นที่ b เป็นการพังทลายที่ส่วนหน้า ซึ่งดินบริเวณส่วนหน้าจะทะลักเข้าสู่อุโมงค์ พื้นที่ c เป็นการพังทลายที่ส่วนล่าง ซึ่งดินจะเลื่อนตามขวาง หรือตามยาวเข้ามาภายในอุโมงค์ พื้นที่ d เป็นการพังทลายที่ส่วนหน้าเต็มพื้นที่ ซึ่งดินบริเวณส่วนหน้าและส่วนล่างจะทะลักเข้ามาภายในอุโมงค์ พื้นที่e เป็นการพังทลายแบบWashout failures พื้นที่ f เป็นการพังทลายแบบ Pipe failures รูปแบบการพังทลายแบบอื่นจะเกิดขึ้นจากการพังทลายของการก่อสร้างผนังอุโมงค์ การพังทลายจากแรงแบกทาน การพังทลายจากการเคลื่อนตัวแนวราบการพังทลายจากแรงเฉือนแรงอัด การรวมกันของแรงดัด แรงผลัก และแรงเฉือนทะลุที่กระทำต่อผนังอุโมงค์ ทั้งก่อนและหลังการครบวงรอบอุโมงค์ เป็นต้น โดยสาเหตุของการพังทลายตามรายงานของHSE (1996) จะเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1) ไม่ได้คาดการณ์เกี่ยวกับสภาพทางธรณีวิทยาไว้ล่วงหน้า
2) มีการวางแผนการขุดเจาะ และการก่อสร้างที่ผิดพลาด
3) การคำนวณหรือประมาณค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบผิดพลาด
4) มีการควบคุมการก่อสร้างที่ไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
รายละเอียดก่อนการก่อสร้างอุโมงค์

3.1 การศึกษาทางเลือกในการก่อสร้างอุโมงค์

ทางเลือกในการก่อสร้างอุโมงค์จะถูกพิจารณาต่อเมื่อ แนวถนนต้องผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น แนวเขาที่ยาวและแคบ แม่น้ำที่มีการเดินเรือขนาดใหญ่และหนาแน่น หรือพื้นที่เสี่ยงภัยต่อภัยพิบัติต่างๆ เช่นดินถล่ม น้ำท่วม หรือแผ่นดินไหว ย่านสถานีรถไฟ สนามบิน หรืออื่นๆ ที่คล้ายคลึง ข้อจำกัดด้านเขตทาง/ค่าเวนคืนและค่าก่อสร้างปกติสูงกว่าการก่อสร้างอุโมงค์ ข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย/สังคม/สิ่งแวดล้อม/การพัฒนาที่มีอยู่และที่วางแผนไว้ โดยการวางแผนและออกแบบอุโมงค์รถยนต์จะต้องดำเนินการไปพร้อมกับถนนทั่วไป ในทางเลือกต่างๆ และทำการเปรียบเทียบทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจาก ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และความจำเป็นต่อการพัฒนา

3.2 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม (Feasibility Study)

การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม มีขั้นตอนการศึกษา คือ การศึกษาคัดเลือกแนวอุโมงค์ การสำรวจและออกแบบด้านวิศวกรรมเบื้องต้น การวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐกิจและการเงิน ประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน ประเมินผลประโยชน์ที่วัดมูลค่าได้ Vehicle Operating Cost, Value of Time วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ประเมินรายได้ (กรณีเก็บค่าผ่านทาง) ศึกษารูปแบบการลงทุน ประมาณการกระแสเงินสด รวมถึงการวิเคราะห์แนวทางผลตอบแทนทางด้านการเงิน และศึกษารูปแบบการบริหารโครงการตามลำดับ แนวทางการศึกษาด้านจราจรเป็นการจำลองการจราจรและขนส่งเพื่อนำไปปรับเทียบกับตารางการเดินทางและโครงข่ายในปัจจุบันในเขตพื้นที่การศึกษาจากข้อมูลด้านเศรษฐกิจ - สังคม ปริมาณจราจร และโครงข่ายถนน ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์สภาพจราจรบริเวณแนวโครงการ เพื่อเสนอรูปแบบที่สอดคล้องกับปริมาณจราจร ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านเศรษฐกิจของโครงการ คือการนำข้อมูลปริมาณจราจร ระยะทาง ความเร็วเฉลี่ย/เวลาในการเดินทาง จากแบบจำลองจราจรมาเปรียบเทียบทั้งในกรณีที่มีโครงการและไม่มีโครงการ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ VOC, VOT, ACC มาสรุปถึงผลประโยชน์ของโครงการ และการวิเคราะห์โครงการด้านความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการทางด้านเศรษฐกิจคือ การนำผลการศึกษาด้านการออกแบบมาหาปริมาณค่าใช้จ่ายในโครงการ และการวิเคราะห์สภาพโครงข่ายทางหลวง ทั้งกรณีมีโครงการและไม่มีโครงการมาเปรียบเทียบสภาพการจราจร เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงผลตอบแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านเศรษฐกิจ โดยคำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ(EIRR) อัตราส่วนผลตอบแทนปีแรกที่เปิดดำเนินการต่อค่าลงทุน (FYRR) และอัตราส่วนผลประโยชน์ ต่อค่าลงทุน (B/C Ratio) ขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น (IEE) เป็นการกำหนดแนวทางเลือกชนิดและความรุนแรงของผลกระทบ มาตรการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลกระทบด้านสังคม และจัดลำดับความสำคัญ ว่าคุ้มค่าการลงทุนและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรงหรือไม่ ซึ่งต้องจัดทำ EIA ความรุนแรงของผลกระทบต่อเนื่อง และ พรบ. สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 เพื่อเตรียมข้อกำหนดของโครงการและจัดทำงบประมาณ ซึ่งจะเสนอแผนต่อสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมให้จัดสรรงบประมาณตามช่วงเวลาของโครงการต่อไป

3.3 การศึกษาคัดเลือกแนวอุโมงค์ (Route Selection)

การสำรวจ เพื่อการศึกษาความเหมาะสมของแนวโครงการ เป็นการศึกษาโดยใช้ข้อมูลในลักษณะทุติยภูมิ เช่น แผนที่ลายเส้น ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น เพื่อกำหนดแนวโครงการที่เหมาะสมข้อมูลการพัฒนาในพื้นที่โครงการและจะต้องสำรวจเพิ่มเติมบริเวณโครงการ เพื่อตรวจสอบอุปสรรคสิ่งกีดขวาง

3.3.1 การกำหนดรูปแบบและแนวเส้นทางอุโมงค์

แนวเส้นทางเลือกต่างๆ ของแนวเส้นทางอุโมงค์จะถูกกำหนดลงบนแผนที่ภูมิประเทศ (Base Map) ซึ่งมีหลักการในการกำหนดแนวคือ แนวเส้นทางจะต้องมีการต่อเชื่อมและกลมกลืนกับทางหลวงเดิม แนวเส้นทางอุโมงค์จะต้องมีความเหมาะสมทั้งระบบระบายน้ำ ระบบระบายอากาศ และทัศนียภาพของทางเข้า - ออกอุโมงค์ โดยให้มีผลกระทบต่อสถานที่สำคัญๆ ให้น้อยที่สุด เช่น สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ วัด และสถานที่ประกอบกิจทางศาสนา โรงเรียน สถานศึกษา เป็นต้น แนวเส้นทางอุโมงค์จะต้องหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่ได้รับการคุ้มครองทางกฎหมาย และโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่เดิม รวมทั้งผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั่วไปฯลฯ ให้มากที่สุด จะต้องหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีปัญหาทางด้านธรณีวิทยาในการก่อสร้างทั้งตัวอุโมงค์ และบริเวณปากทางเข้า - ออกอุโมงค์ เป็นสำคัญ

3.3.2 การเปรียบเทียบและคัดเลือกแนวเส้นทางอุโมงค์ที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้แนวเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับก่อสร้างอุโมงค์ ภายหลังจากกำหนดแนวเส้นทางเลือก การพิจารณาเปรียบเทียบ ข้อดี - ข้อด้อย ของแต่ละแนวเส้นทางเลือกมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเกณฑ์สำหรับการพิจารณาโดยทั่วไปจะทำการเปรียบเทียบในปัจจัยหลักสามด้านคือ ด้านวิศวกรรม ด้านค่าลงทุน และทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะมีปัจจัยย่อยในแต่ด้านเป็นดัชนีสำหรับชี้วัด ข้อดี - ข้อด้อย โดยการกำหนดค่าคะแนนความสำคัญในแต่ละด้าน รวมถึงคะแนนในปัจจัยย่อย โดยพิจารณาตามลักษณะเฉพาะพื้นที่โครงการนั้นๆ การกำหนดปัจจัยที่จะใช้ในการพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบแนวทางเลือกของโครงการนั้น โดยทั่วไปจะกำหนดปัจจัยไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สำหรับผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์จะคิด เมื่อมีความแตกต่างกันมากในแต่ละแนวทางเลือก สำหรับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมอาจจะเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่แสดงไว้ หากเป็นประเด็นสำคัญเฉพาะโครงการหรืออาจจะลดลง ถ้าหากว่าไม่ส่งผลกระทบจากการดำเนินโครงการในการให้คะแนนแต่ละปัจจัยจะพิจารณาจากความได้เปรียบ - เสียเปรียบ หรือข้อดี – ข้อด้อย โดยการให้ตัวคูณ เมื่อนำค่าตัวคูณไปคูณกับน้ำหนักคะแนนก็จะได้ผลคูณเป็นคะแนนในปัจจัยเหล่านั้นของแต่ละแนวทางเลือก เมื่อนำมารวมคะแนนในแต่ละหัวข้อของแต่ละแนวทางเลือกมาเปรียบเทียบกันแนวทางเลือกที่ได้คะแนนรวมมากที่สุดจะมีความเหมาะสมมากที่สุด ค่าตัวคูณที่จะใช้สำหรับปัจจัยแต่ละด้านกำหนดได้ 2 วิธี คือ แบบสัดส่วนโดยกำหนดให้แนวทางเลือกที่มีความได้เปรียบหรือดีที่สุดในหัวข้อนั้นๆ มีค่าตัวคูณเท่ากับ 1.00 ส่วนแนวทางเลือกอื่นจะได้ค่าตัวคูณลดหลั่นเป็นสัดส่วนกันไปตามความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการที่ใช้ประเมินค่าตัวคูณในแต่ละหัวข้อหรือแบบขั้นบันได วิธีนี้ค่าตัวคูณจะแบ่งเป็น 5 ระดับ (ตัวอย่าง) คือ มีลักษณะดีเลิศหรือไม่มีผลกระทบเลย ค่าตัวคูณเท่ากับ 1.00 มี ลักษณะดีหรือมีผลเสียเล็กน้อย ค่าตัวคูณเท่ากับ 0.75 มีลักษณะดีพอใช้หรือมีผลเสียปานกลาง ค่าตัวคูณเท่ากับ 0.50 ถ้ามีลักษณะไม่ค่อยดีนักหรือมีผลเสียมาก ค่าตัวคูณเท่ากับ 0.25 และ มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมหรือผลกระทบรุนแรง ค่าตัวคูณเท่ากับ 0.00 การให้ค่าตัวคูณในแต่ละหัวข้อจะต้องทำการประเมินระดับผลกระทบ ในแต่ละแนวเส้นทางเลือกก่อน แล้วจึงกำหนดค่าตัวคูณที่สอดคล้องกับระดับของผลกระทบดีหรือแนวเส้นทางเลือกนั้นๆ ดังรูปที่ 5 - 1 ที่แสดงตัวอย่างปัจจัยการในการพิจารณาแนวทางเลือกโครงการ

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างปัจจัยการในการพิจารณาแนวทางเลือกโครงการ

(บ.ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ และคณะ, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 งานสำรวจแนวเส้นทางเพื่อการออกแบบอุโมงค์ (Field Investigation)

3.4.1 งานสำรวจจัดทำแผนที่ (Mapping)

การดำเนินการสำรวจ เพื่อทราบสภาพภูมิประเทศพื้นที่บริเวณโครงการพร้อมทั้งจัดทำแผนที่แสดงรายละเอียดและลักษณะพื้นผิวจากผลการสำรวจ ซึ่งกรอบหลักที่เป็นเกณฑ์ทั่วไปในการสำรวจคือเกณฑ์ค่าความละเอียดของการสำรวจตามลักษณะงาน การจัดทำหมุดควบคุมทาง และหมุดควบคุมทางดิ่ง การจัดทำหมุดแนวในสนามและแสดงในแบบสำรวจภูมิประเทศ จัดทำรายละเอียดข้อมูลการสำรวจที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย การจัดเตรียมแผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ/ภาพถ่ายดาวเทียม ควรจะต้องเป็นฉบับที่ผลิตจำหน่ายล่าสุด ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมดของโครงการ มีรายละเอียดของการถ่ายภาพที่ดีเพียงพอต่อการทำแผนที่ภูมิประเทศงานสำรวจจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายทางอากาศจะถูกนำมาทำจุดบังคับภาพถ่ายฯโดยวิธีปรุจุด ตามตำแหน่งรายละเอียดบนภาพถ่ายทางอากาศและในภาคพื้นดินตรงกัน จากนั้นจะทำการสำรวจจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศภาคพื้นดินทางราบด้วย GPS โดยอ้างอิงออกจากหมุดควบคุมทางราบและสำรวจจุดบังคับฯ ทางดิ่งตามวิธี Differential Leveling ด้วยเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 โดยอ้างอิงออกจากหมุดควบคุมทางดิ่ง ค่าพิกัดทางราบและค่าระดับจะถูกนำไปขยายจุดบังคับตามกรรมวิธีของงาน Photogrammetryงานสำรวจจัดทำหมุดหลักฐานควบคุมของโครงการ หมุดหลักฐานควบคุมจะถูกจัดทำขึ้นบนโครงสร้างอาคารถาวรหรือในสถานที่ยากต่อการถูกทำลาย เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ต่อในขั้นการสำรวจออกแบบรายละเอียดและในการก่อสร้างต่อไปการสำรวจจำแนกรายละเอียดสภาพภูมิประเทศให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยรายละเอียดที่จะทำการสำรวจประกอบด้วย รายละเอียดของถนนและระบบระบายน้ำ เช่น ความกว้าง ชนิดผิวจราจร ชนิด และประเภทของอาคารระบายน้ำ ทิศทางการไหล ระดับน้ำ และอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น เขตการปกครองเท่าที่สามารถกำหนดได้ ขอบเขตและประเภทการเพาะปลูก ฯลฯ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและการสำรวจในสนาม จะถูกนำมาจัดทำเป็นแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:4,000 ที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Line) ชั้นละ 5 เมตร โดยมีเส้นแทรก (Supplementary Contours) ชั้นละ 2.5 เมตร ตลอดจนแสดงจุดแสดงความสูงของพื้นดิน (Spot Height) ทุกระยะ 200 - 400 เมตร Grid พร้อมทั้งรายละเอียดสภาพภูมิประเทศ โดยมีขั้นตอนในการจัดทำคือ ทำการขยายจุดบังคับรูปถ่ายด้วยวิธี Aerial Triangulation ทำการรังวัดจุดความสูงในภูมิประเทศ โดยวิธีอัตโนมัติ (Digital Terrain Model Collection) และใช้ Operatorในบางจุด เพื่อนำไปสร้างเส้นชั้นความสูงต่อไป ทำการถ่ายทอดรายละเอียดที่ต้องการเป็นลายเส้นและสัญลักษณ์ (Data Collection) เช่น ถนน ทางน้ำ เป็นต้น ทำการประกอบระวางแผนที่ (Map Composition)มีการสำรวจและจัดทำแผนที่ผังบริเวณ (Site Plan) ทางเข้า - ออกอุโมงค์ บริเวณที่สำคัญๆ ที่ถนนต่อเชื่อมกับอุโมงค์ ร่องน้ำและระบบระบายน้ำ โดยจัดทำเป็นแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 พร้อมเส้นชั้นความสูง 1เมตร และรายละเอียดต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องครอบคลุมพื้นที่สำหรับการออกแบบเบื้องต้น สำหรับทางเลือกของแนวอุโมงค์ที่ได้รับคัดเลือก จัดทำแบบแปลนและรูปตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามยาว (Plan & Profile) แบบรูปตัดตามขวาง(X-Section) ของแต่ละทางเลือกของแนวอุโมงค์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกแนวอุโมงค์ตลอดจนการออกแบบเบื้องต้น โดยแบบแปลนจะใช้ภาพถ่ายทางอากาศประกอบกับแผนที่ภูมิประเทศดังกล่าวข้างต้น สำหรับรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวางจะอ่านจากเส้นชั้นความสูง (Contour Line) และจุดแสดงความสูง (Spot Height) ที่ปรากฏบนแผนที่ภูมิประเทศการศึกษาและสำรวจทางเลือกของแนวอุโมงค์ สภาพธรณีวิทยา และผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดจนการออกแบบเบื้องต้น การสำรวจจัดทำแผนที่เพื่อเป็นแผนที่ฐาน (Base Map) มีขั้นตอนโดยทั่วไป

3.4.2 การสำรวจเก็บและรวบรวมข้อมูลทางภูมิประเทศ (Route Survey)

หลังจากได้คัดเลือกแนวอุโมงค์ที่เหมาะสมและกำหนดแนวเส้นทางในรายละเอียดแล้ว ที่ปรึกษาจะทำการสำรวจขั้นสุดท้าย (Final Setting Out) สำหรับแนวทางส่วนต่างๆ คือ งานสำรวจหมุดหลักฐานควบคุมของโครงการ งานสำรวจแนวทางจะทำการรังวัดในรูปแบบของวงรอบปิดและโยงเข้าหาหมุดหลักฐานควบคุมทางราบ โดยคำนวณตามหลักวิชาการสำรวจ มีความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบทางระยะไม่เกิน 1:10,000 ความคลาดเคลื่อนทางมุมไม่เกิน 10" N (N = จำนวนหมุดตั้งกล้อง) การสำรวจจะต้องสำรวจกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดโครงการจุด PI, PC, PT, TS, SC, CS ST และในช่วงที่เป็นเส้นตรงจะกำหนดจุด POT ในทุกระยะประมาณ 300 เมตร พร้อมทั้งทำหมุดหมายพยาน(Reference Points) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงงานสำรวจรังวัดหมุดหลักฐานระดับ Bench Mark, (BM) พร้อมเครื่องหมายกำกับจะต้องจัดทำไว้ทุกระยะไม่เกิน 400 เมตร ไว้ในที่ที่ยากแก่การถูกทำลาย คงทนถาวร ไม่ทรุดไม่โยกคลอน อาทิเช่น ต้นไม้ ฐานเสาไฟฟ้าฯ โดยสามารถตั้ง Staff ได้ตรงโดยไม่มีอุปสรรคมากีดขวาง ค่าระดับที่ใช้อ้างอิงจะเป็นค่าระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ที่โยงยึดออกจากหมุดควบคุมทางดิ่งของโครงการ การรังวัดระดับเข้าของหมุดหลักฐานจะใช้วิธีทำแบบเข้าวงรอบ (Closed Circuit) ความคลาดเคลื่อนจะต้องไม่เกิน 8 K มิลลิเมตร ซึ่ง K คือ ค่าระยะทางเป็นกิโลเมตรของระยะระหว่างหมุดระดับ (BM) ที่ทำการรังวัดแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยมาใช้ต่อไป การสำรวจรูปตัดตามยาว (Profile) จะต้องดำเนินการสำรวจระดับตามแนวศูนย์กลางทุกระยะ25 เมตร ในทางราบ และ 12.5 เมตร ในทางเขา และทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ สำหรับภูมิประเทศที่มองไม่เห็น เช่น พื้นดินที่อยู่ใต้น้ำ จะซอยค่าระดับทุกๆ 2 เมตร หรือตามความเหมาะสม ตลอดจนค่าระดับน้ำในวันที่ทำการสำรวจ ค่าระดับน้ำสูงสุดจะทำการสำรวจและบันทึกลงในสมุดสนาม การรังวัดค่าระดับจะต้องอ้างอิงออกจากและเข้าบรรจบหมุดหลักฐานระดับ (BM) ที่ทำการสำรวจไว้แล้วความคลาดเคลื่อนของการรังวัดเมื่อเข้าบรรจบกับ BM ที่ทราบค่าระดับความสูงแล้วจะต้องไม่เกิน12 K มิลลิเมตร โดย K คือ ระยะทางเป็นกิโลเมตรงานสำรวจรูปตัดตามขวาง (Cross-Section) ทำการสำรวจรูปตัดขวางทุกระยะ 25.00 เมตร และ12.5 เมตร ตามตำแหน่งที่สำรวจ Profile เพื่อจัดทำรูปตัดขวางอุโมงค์ โดยรังวัดตั้งฉากออกจากแนวศูนย์กลางทั้ง 2 ด้าน ครอบคลุมเขตทางและเลยออกไปอีก 5 - 10 เมตร โดยอ้างอิงเข้ากับงานสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Profile โดยอ่านค่า Staff มีความละเอียด 1.00 เซนติเมตรงานสำรวจเก็บรายละเอียดบริเวณพื้นที่ออกแบบก่อสร้างอุโมงค์ โดยเฉพาะบริเวณทางเข้า – ออก อุโมงค์ และจุดเชื่อมต่อระหว่างอุโมงค์กับถนนเดิม ครอบคลุมพื้นที่ไม่น้อยกว่าข้างละ 200 เมตร และ 100 เมตร จากจุดศูนย์กลางตามลำดับ ข้อมูลการสำรวจจะถูกจัดทำเป็นแผนที่ผังบริเวณมาตราส่วน 1:500 หรือตามความเหมาะสมที่จะประกอบด้วยจุดระดับ (Spot Elevation) และเส้นชั้นความสูง (Contour Line) ชั้นละ 0.5 - 1.00 เมตร และรายละเอียดต่างๆ คือ Station ของทางเข้า - ออกอุโมงค์ และ จุดเชื่อมต่อ Azimuth ของแนวศูนย์กลางถนนเดิม ขนาด และสิ่งก่อสร้างต่างๆ ชนิดและขนาดของผิวจราจรของถนนเดิม รูปตัดตามยาวและตามขวางของถนนเดิม และอื่นๆ ตามความจำเป็น

3.5 การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีเทคนิค (Geotechnical Investigation)

การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีเทคนิค นับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญยิ่ง เนื่องจากโครงการจะต้องก่อสร้างใต้ผิวดิน การตรวจสอบให้ได้ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา คุณสมบัติของชั้นดิน/ชั้นหิน สภาพน้ำใต้ดินและอาจจะต้องดำเนินการสำรวจข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบเฉพาะด้านตามลักษณะในการก่อสร้างอุโมงค์ คณะกรรมการอุโมงค์แห่งชาติ ของประเทศสหรัฐอเมริกา (USCommittee on Tunneling: USNC/TT) ได้เสนอแนะค่าใช้จ่ายในการสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีเทคนิคประมาณ 2% ของงบประมาณโครงการ

การศึกษาสภาพทางธรณีวิทยาในเบื้องต้น ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูล ในลักษณะข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาที่รวบรวมได้ ซึ่งจะใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนทั้งการกำหนดวิธีการก่อสร้าง รวมถึงการวางแผนการสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีเทคนิคในภาคสนาม ซึ่งการสำรวจและวิเคราะห์สภาพธรณีวิทยาเบื้องต้นจะดำเนินการ คือ รวบรวมข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลน้ำใต้ดินและข้อมูลอื่นๆ ที่สามารถจัดหาได้ รวบรวมการสำรวจทางธรณีวิทยาที่ดำเนินการไปแล้ว บริเวณโครงการ และพื้นที่ใกล้เคียง เช่น ถนน สะพาน และเขื่อน โดยเฉพาะข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ในหินชุดเดียวกันกับหินในโครงการ Site History ที่จำเป็นสำหรับแผนงาน เช่น ประวัติของการเกิดแผ่นดินไหว

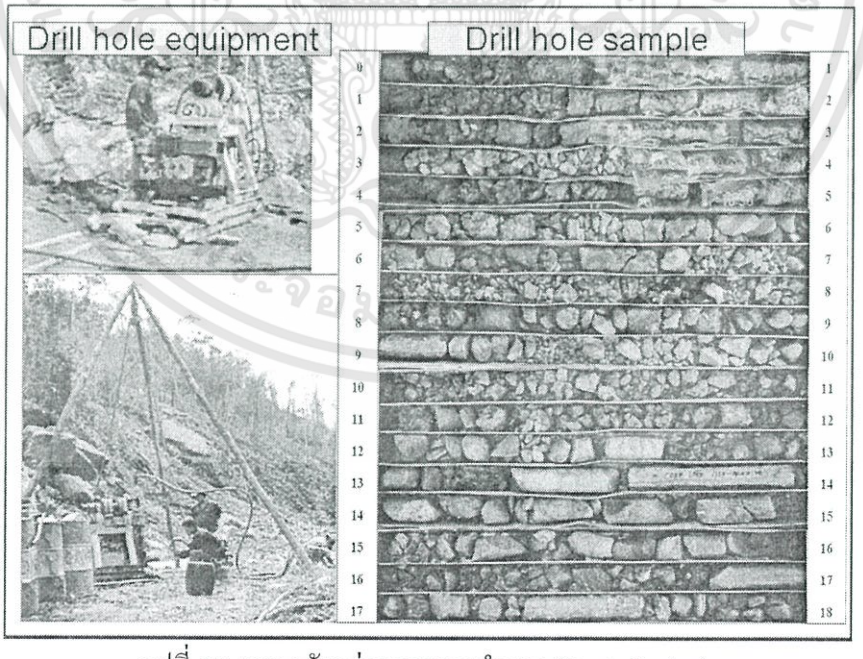
งานสำรวจภาคสนามจะดำเนินการบริเวณแนวอุโมงค์ ทางเข้า - ออกอุโมงค์ (Portal) แนวถนนที่เชื่อมต่อกับอุโมงค์ ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาพื้นผิว เช่น ลักษณะ และชนิดของดินตามแนวถนนใหม่ ชนิดหิน และขอบเขต การวางตัวของชั้นหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบบริเวณที่มีหินโผล่ เช่น รอยเลื่อนขนาดใหญ่ (Major Faults) การเลื่อนไถลและถล่มของชั้นหิน โดยเฉพาะบริเวณทางเข้า - ออกอุโมงค์ ตำแหน่งหลุมยุบ (Sinkholes) และ น้ำพุร้อน (Karstic Terrain)ถ้ำ หิน และแร่ที่มีการพองตัว (Swelling) บริเวณที่ชั้นหินมีการผุพังลงไปในระดับลึก (Zone of Deep Weathering) สภาพน้ำใต้ดิน รวมถึงการสำรวจหาแหล่งวัสดุก่อสร้าง งานสำรวจภาคสนามจะดำเนินการสำรวจตามแนวของโครงการ ซึ่งอาจจะต้องสำรวจในทางขวางตามความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการสำรวจข้อมูลในสนามจะดำเนินการเป็นสองลักษณะคือ การเจาะสำรวจ (Drilling) และการตรวจวัด(Geophysical Field Method)

การเจาะสำรวจ (Drilling) การเจาะสำรวจโดยมีจุดประสงค์ เพื่อให้ทราบข้อมูลลักษณะชั้นดิน/หิน รวมถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมและปริมาณสารเคมี เป็นการเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างชั้นดิน/ชั้นหิน รวมถึงการตรวจวัดข้อมูลในสนาม อาทิเช่น การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน การทดสอบPressuremeter Test และอื่นๆ ที่ระดับกึ่งกลางอุโมงค์ การวัดระดับน้ำใต้ดินเป็นต้น ตัวอย่างการเจาะสำรวจดังแสดงในรูปที่ 3.2

การเก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะการวางตัวของชั้นดิน/ชั้นหิน เช่น ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) เก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ทุกๆ ระยะ 1.50 เมตร ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube) และเคลือบด้วยขี้ผึ้งชนิดไมโครคริสทัลไลน์ (Microcrystalline) เพื่อป้องการสูญเสียความชื้น ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration, SPT) ทุกๆ ระยะ 1.50 เมตร ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่าง (Thin Wall Tube) ชั้นทราย (Sand) ทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration, SPT) ทุกๆ ระยะ 1.50 เมตร ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างจากการทดสอบ SPT ชั้นหิน (Rock) ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างหิน (Rock Coring) อย่างต่อเนื่องตลอดความลึกของหลุมเจาะ

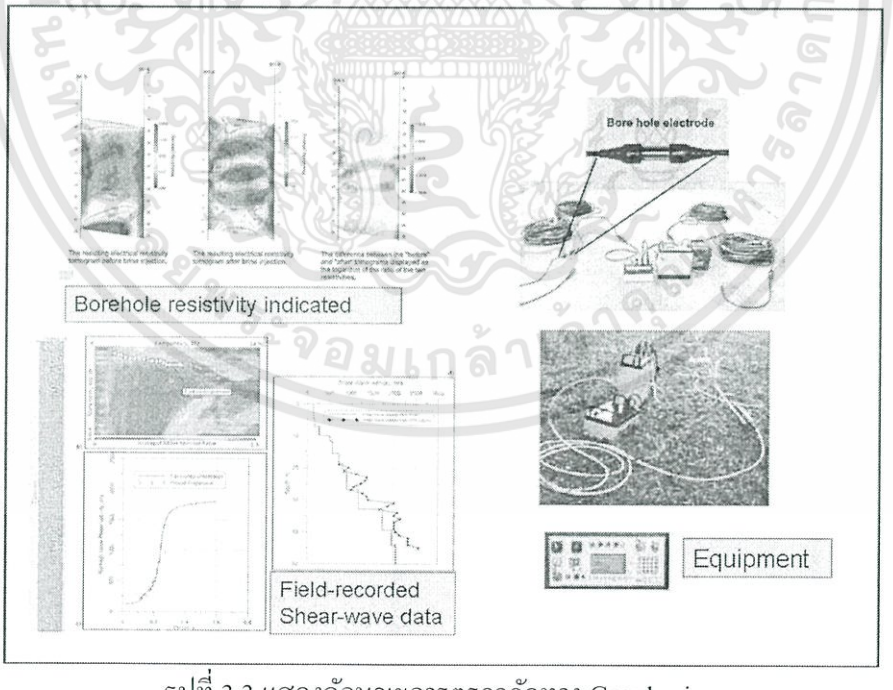


รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการเจาะสำรวจ (Rock Coring)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

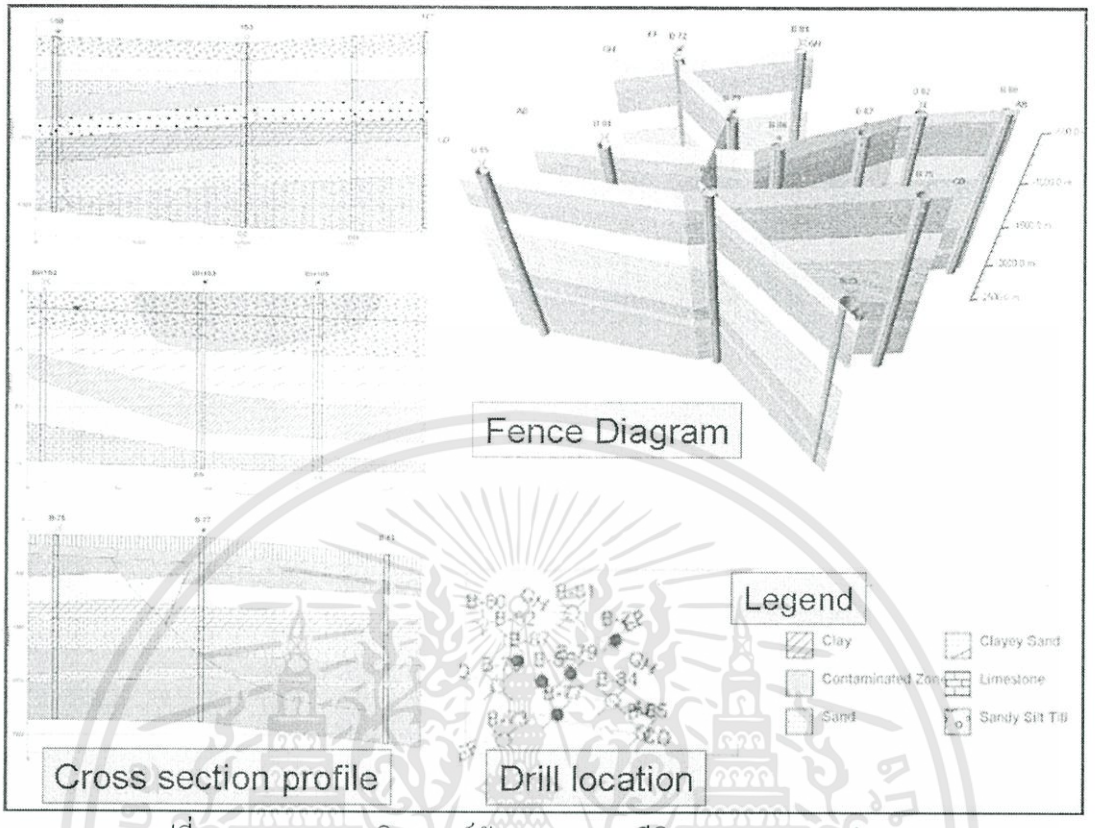
การตรวจวัด (Geophysical Field Method) เป็นการสำรวจโดยมีจุดประสงค์เพื่อทราบข้อมูลลักษณะทางธรณีของชั้นดิน/หินบริเวณโครงการ ซึ่งจะดำเนินการร่วมกับการเจาะสำรวจ หรือการติดตั้งเครื่องมือเฉพาะการตรวจวัดเพียงอย่างเดียว โดยการตรวจวัดข้อมูลในรูปแบบของคลื่นค่าความต้านทานซึ่งขึ้นกับลักษณะการตรวจวัดและเครื่องมือในการตรวจวัด ตัวอย่างการตรวจวัดทาง Geophysics ดังแสดงในรูปที่ 3.3

จากผลการสำรวจในภาคสนาม ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการและข้อมูลที่รวบรวมได้ จะนำมาพิจารณารวมกันในการสรุปลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยา จากนั้นจะแสดงบนแผนที่ฐานข้อมูลคือแผนที่ธรณีวิทยา รวมถึงแสดงรูปตัดทางยาว และทางขวาง ตามแนวอุโมงค์ โดยแสดงถึงรูปแบบการเรียงตัวของชั้นหิน (Stratigraphy) ตำแหน่งและขอบเขตของรอยเลื่อน (Fault) และลักษณะอื่นๆ ที่สำคัญทางธรณีวิทยา ซึ่งข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาที่ได้จะนำมาเป็นข้อมูลใช้ประกอบในการคัดเลือกรูปแบบและแนวอุโมงค์ ตลอดจนการกำหนดแผนงานการสำรวจในขั้นการก่อสร้าง เช่น จำนวนหลุมเจาะสำรวจ ตำแหน่ง ทิศทางการเจาะ และความลึกของหลุมเจาะสำรวจ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับการวางแผนงานก่อสร้าง โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาจากการเจาะสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาจากการตรวจวัดทาง Geophysics

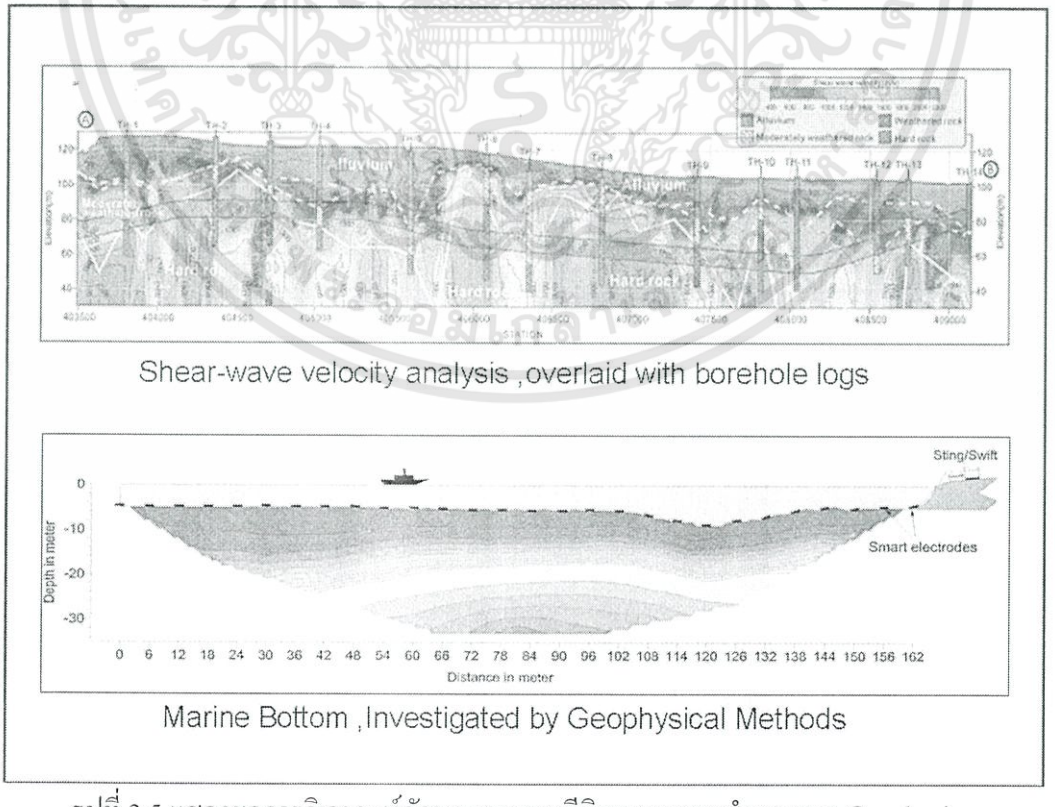


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการตรวจวัดทาง Geophysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาจากการเจาะสำรวจ



รูปที่ 3.5 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาจากการสำรวจทาง Geophysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การสำรวจทางด้านธรณีสิ่งแวดล้อม (Geoervironmental Investigation)

การสำรวจทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการดำเนินการตรวจวัด เพื่อกำหนดมาตรการในการป้องกันหรือลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะโครงการที่มีความอ่อนไหวทางด้านสิ่งแวดล้อม จะต้องมีการดำเนินการตรวจวัดคือ การตรวจวัดเสียงและความสั่นสะเทือน การเคลื่อนตัวของดิน น้ำใต้ดิน สภาพการขาดออกซิเจนและแก๊สอันตราย รวมถึงการแทรกซึมของสารเคมี ที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะทำการขุดเจาะอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
วิธีการขุดเจาะและการออกแบบอุโมงในหิน

4.1 อุโมงค์หิน (Rock Tunnel)

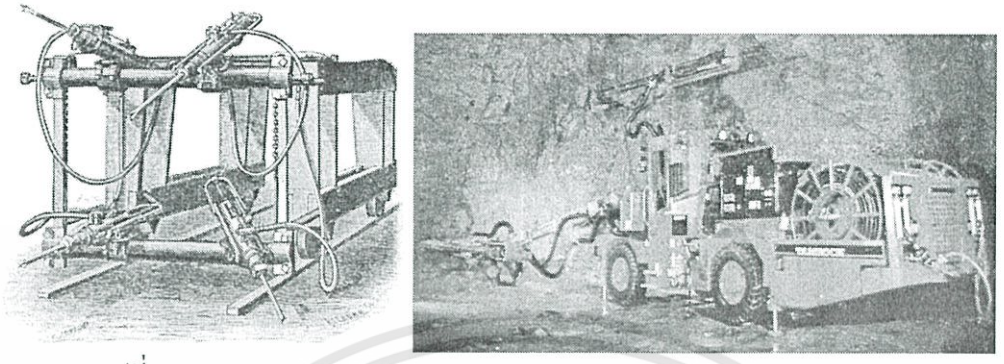
4.1.1 การก่อสร้างอุโมงค์หินโดยการเจาะและระเบิด

การเจาะอุโมงค์หินมีทั้งวิธีในการเจาะและเทคนิคในการระเบิดที่ทันสมัย หรือใช้เครื่องเจาะที่จะทำให้หินแตกและทำการขนย้ายหินออกไป การสำรวจทางธรณีวิทยาจะต้องทำโดยละเอียดและการทำค้ำยันที่ดีจะทำให้เกิดความปลอดภัยในระหว่างการก่อสร้าง โดยส่วนที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษคือ Shear Zone, Faults, น้ำ และก๊าซพิษ ซึ่งมีอยู่ในแนวอุโมงค์ ส่วนประกอบพื้นฐานของการก่อสร้างอุโมงค์หินคือ การขุดเจาะโดยวิธีการระเบิด การใช้เครื่องจักร การทำค้ำยันเบื้องต้น และการทำค้ำยันถาวร

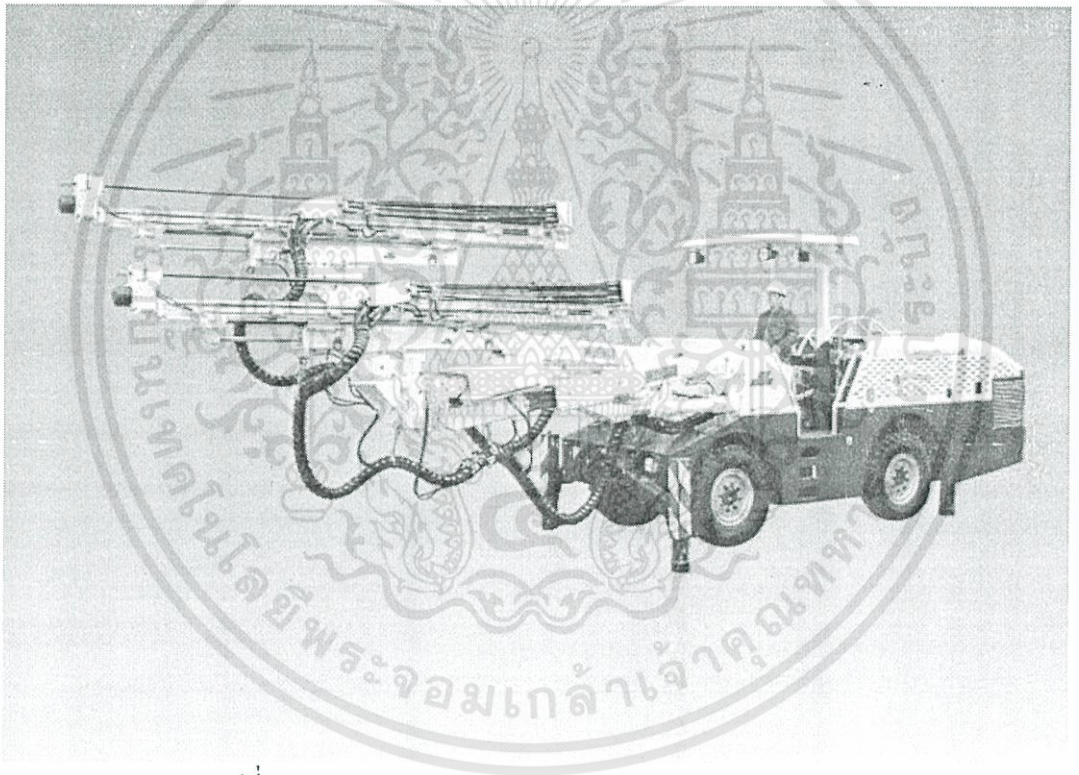
การก่อสร้างโดยการใช้วัตถุระเบิดเป็นการเจาะและระเบิดคือ การเจาะรูเล็กๆ ในรูปแบบที่กำหนด (Blasting Pattern) บริเวณในอุโมงค์ที่จะทำการระเบิด และทำการบรรจุระเบิด จำนวนและความลึกของรูที่จะทำการเจาะก็จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล จากนั้นทำการบรรจุวัตถุระเบิดในปริมาณที่กำหนดลงไปในหลุมเจาะ ทำการระเบิดแล้วทำการขนย้ายหินออกไปจากอุโมงค์ ลักษณะที่สำคัญของการก่อสร้างอุโมงค์ประเภทนี้ คือ การให้พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นโดยการระเบิดเป็นตัวกำหนดแนวอุโมงค์ในการทำเช่นนี้ได้ ข้อมูลทางธรณีวิทยา มุม ขนาด ความห่างของหลุมเจาะ และปัจจัยทางพลังงานจะต้องถูกคำนวณอย่างรอบคอบก่อนทำการระเบิด โดยวิศวกรอุโมงค์

นอกจากนี้ความก้าวหน้าในการก่อสร้างอุโมงค์หินจะเกิดขึ้นไม่ได้ หากปราศจากการพัฒนาทางด้านเครื่องจักรควบคู่กับการปรับปรุงวัตถุระเบิด Drilling Jumbo และ Hydraulic Drill เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์ที่ใช้กันมากในปัจจุบัน Drilling Jumbo คือ เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการเจาะและบรรจุวัตถุระเบิด ตกแต่งผิวหน้า และงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง การก่อสร้างเป็นการเจาะผ่านหินโดย Drilling Jumbo ไปทีละน้อย ซึ่งการเจาะแต่ละครั้งจะเรียกว่า “รอบ” ในแต่ละรอบก็จะทำการวัดว่าเจาะได้ลึกกี่เมตร ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ที่แสดงตัวอย่าง Drilling jumbo จากอดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Burleigh Drills and Carriage 1866 and Hydraulic Mining Jumbo 2004 (news.thomasnet.com)

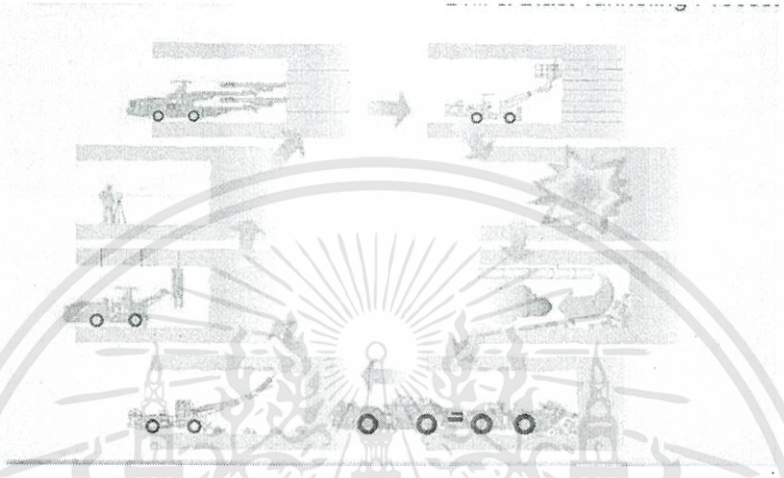


รูปที่ 4.2 Drill jumbo BTP 2 (www.mining-technology.com)

ขั้นตอนในการเจาะและระเบิดจะประกอบด้วย การเจาะ การระเบิด การระบายอากาศ การขน และการติดตั้งค้ำยัน ซึ่งรวมแล้วจะใช้เวลาประมาณ 10 - 12 ชั่วโมงต่อ 1 รอบ หรือที่เรียกว่า “Drill and Blast Cycle” ดังแสดงในรูปที่4.3 เครื่องจักรสามารถที่จะตั้งโปรแกรม เพื่อทำการเจาะรูได้อย่าง แม่นยำในรูปแบบและความลึกที่กำหนด การระบายอากาศที่ดี และเพียงพอเป็นสิ่งที่สำคัญในการสร้างสภาพแวดล้อมและสุขลักษณะที่ดีในการทำงาน เนื่องจากการสูดอากาศที่เป็นพิษในปริมาณมากและเป็นเวลานานๆ ย่อมก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย วัตถุระเบิดสมัยใหม่จะทำการออกแบบ เพื่อที่จะลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นสะเทือนของชั้นดิน ผงพิษ และการระเบิดออกนอกแนวรูปร่างที่กำหนดจะช่วยลดเวลาในการทำงาน และเพิ่มความปลอดภัยในการขนส่ง ในการเจาะอุโมงค์นั้นเครื่องเจาะ และเครื่อง Grout เป็นสิ่งจำเป็นที่จะควบคุมปริมาณน้ำในชั้นหินที่ไหล และซึมเข้าสู่อุโมงค์

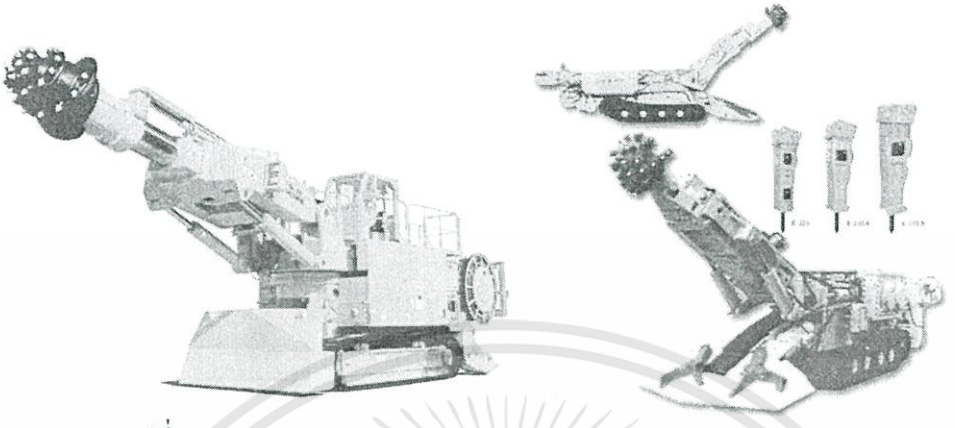


รูปที่ 4.3 The Drill and Blast Cycle (Heiniö, Matti. Rock excavation handbook for civil engineering. Sandvik, Tamrock, 1999.)

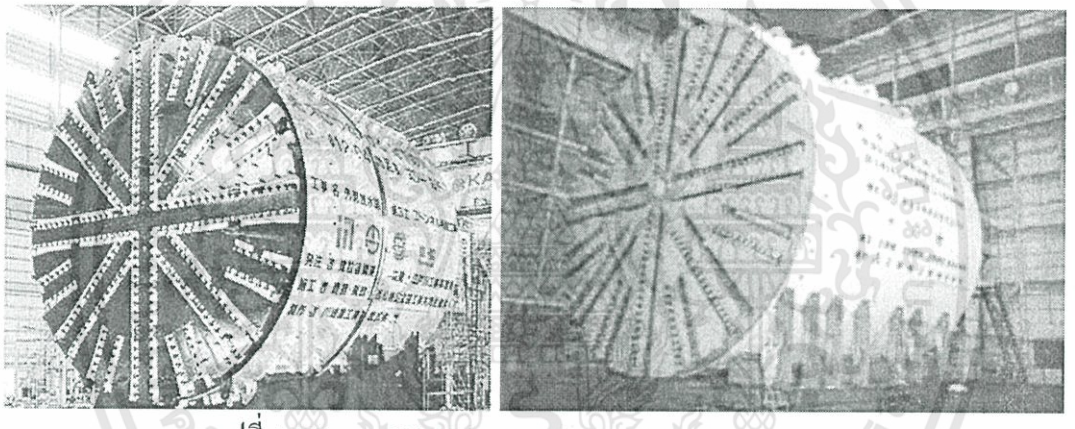
4.1.2 การก่อสร้างโดยเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะ

การก่อสร้างโดยเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะมีดังนี้Boom-Type Machine or Road Headers คือเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะที่สามารถแล่นได้ด้วยตัวเองหรือติดตั้งภายใน Shield เครื่องจักรประเภทนี้ใช้สำหรับขุดหินที่ไม่แข็งมาก หรือในดินที่มีเสถียรภาพดีดังแสดงในรูปที่ 4.4 Full-Face Shield Boring Machines เป็นเครื่องจักรสมัยใหม่ที่ใช้ในดินอ่อนและไม่มีเสถียรภาพ เครื่องจักรประเภทนี้ที่เป็นที่นิยมได้แก่ Slurry Shield (รูปที่ 4.5), Mix Shield และEarth Pressure Balanced Shield (EPB) นอกจากนี้ Full-Face Rock Boring Machine (รูปที่ 4.6) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์หินที่มีกำลังสูง การทำงานของ TBM จะเป็นการทำงานที่ต่อเนื่อง โดยจะวางแผนหยุด เพื่อทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเครื่องมือใหม่เท่านั้น TBM จะยึดตัวเองกับผนังอุโมงค์ทั้ง 2 ข้างแล้วทำการเจาะอย่างช้าๆ ฟันของหัวเจาะจะทำให้หินแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วจะถูกขนย้ายออกมา โดยสายพานลำเลียง

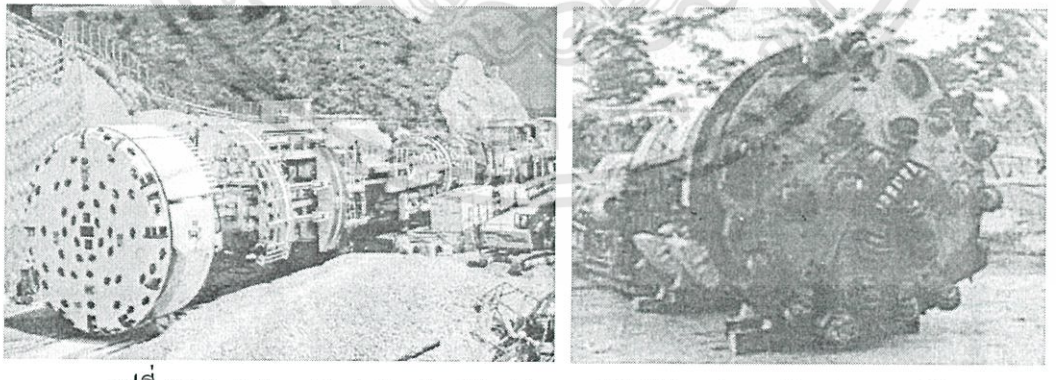
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Road header (www.mitsuimiike.co.jp and www.tavankav.com)



รูปที่ 4.5 Slurry Shield (www.khi.co.jp and www.mhi.co.jp)



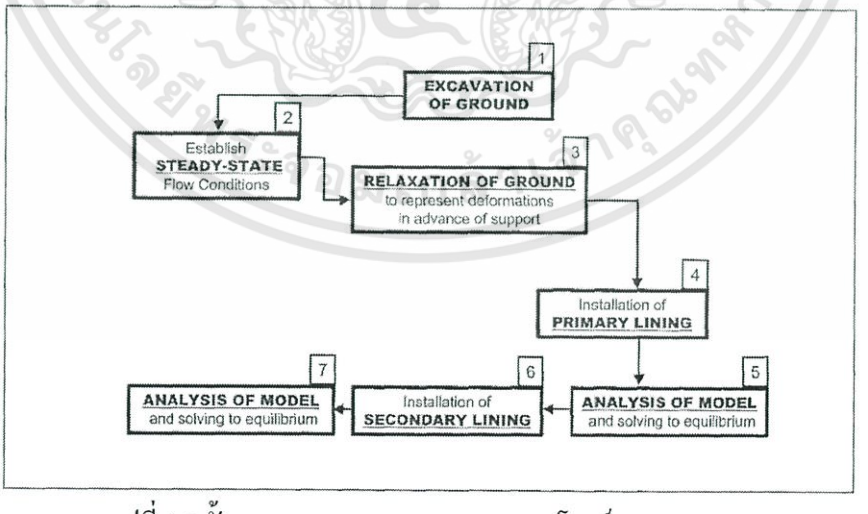
รูปที่ 4.6 Full-Face Rock Boring Machine and Full-face tunnel boring machine (www.grimsel.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 New Austrian Tunnelling Method (NATM)

New Austrian Tunnelling Method (NATM) เป็นการขุดเจาะเช่นเดียวกับ Sequential Excavation Method (SEM) หรือ Shotcrete Method ซึ่งจะทำการ Shotcrete เบื้องต้นทันทีหลังจากที่เจาะอุโมงค์แล้วในรอบนั้นๆ แล้วทำการ Shotcrete ภายหลังจากการเสริมเหล็กอีก การทำค้ำยันนี้จะต้องขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาในขณะนั้น และจำเป็นต้องมีการตรวจวัดระบบการค้ำยันโดยละเอียด เพื่อให้แน่ใจว่า Tunnel Face มีเสถียรภาพเพียงพอในการตรวจวัดค่าต่างๆ ที่รวมถึง Pre-Support Measures, Face Stabilizing Measures, Annular Support Measures และ Ground Improvement Measures

รูปที่ 4.7 New Austrian Tunneling Method (NATM)
(adopted from Moncrieff and Sawatparnich, 2007)

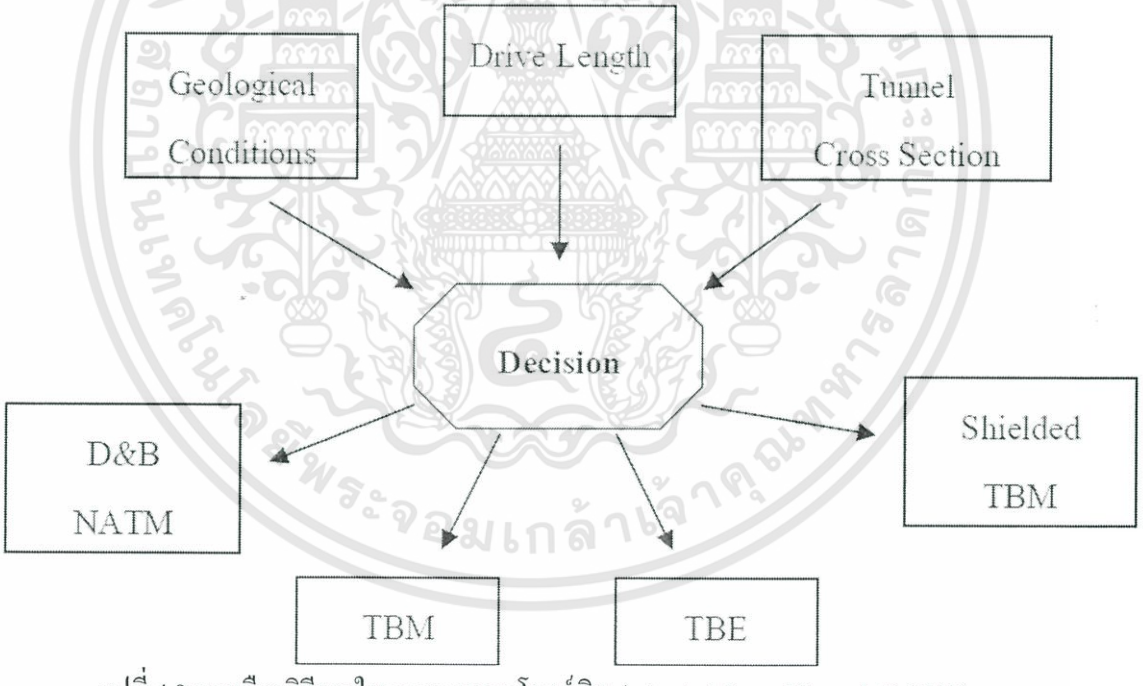


รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการออกแบบการขุดเจาะอุโมงค์แบบ NATM
(บ.ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ และคณะ, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การเลือกวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์หิน

ในการเลือกวิธีการและเครื่องจักรในการเจาะอุโมงค์หินนั้น ต้องคำนึงถึงความยาว หน้าตัด และสภาพทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ยังต้องมีการคำนวณคุณภาพของหิน ความแข็งแรง ปริมาณน้ำที่ซึมเข้าได้ รวมถึงการกร่อนของหินก็ต้องถูกนำมาพิจารณา ซึ่งในหลายกรณีจะมีการทำหลุมสำรวจก่อนที่จะทำการเจาะอุโมงค์ ดังรูปที่ 4.9 ที่แสดงการเลือกวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์หิน นอกจากนี้อุปสรรคและปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นในการเจาะอุโมงค์หิน ที่จำเป็นจะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์หินคือ การเคลื่อนตัว และเสถียรภาพของดินที่ปากทางเข้าอุโมงค์ สิ่งปกคลุมในแนวดิ่งและแนวราบที่ปากทางเข้าอุโมงค์ แสงสว่างที่ปากทางเข้าอุโมงค์ในกรณีที่ก่อสร้างในหุบเขาลึก ซึ่งจะทำให้ยากแก่การที่จะเข้าไปเจาะอุโมงค์ เขตหินปูน ทะเลสาบแม่น้ำ และหลุมลึกใต้ดิน การวัดปริมาณฉ่านหิน ก๊าซมีเทน Fault, Shear Zone และบริเวณที่เป็นจุดอ่อนรวมไปถึงการระเบิดหินที่มีความเค้นสูง ในบริเวณที่มีสิ่งปกคลุมสูง



รูปที่ 4.9 การเลือกวิธีการในการขุดเจาะอุโมงค์หิน (adopted from Moncrieff, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบอุโมงค์ในชั้นหิน

4.2.1 การออกแบบอุโมงค์หิน

เนื่องจากความไม่แน่นอนในคุณสมบัติของหิน ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณาพฤติกรรมของระดับน้ำใต้ดินรวมไปถึงขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์หิน ความไม่ต่อเนื่องกันของหิน มี 2 ชนิด คือ รอยแตก(Fractures) เป็นผลมาจากการเย็นตัวของ Magma, Tectonic Action และ Bedding Plane คือ ชั้นบางๆ ซึ่งมีความแข็งน้อยกว่าหิน และทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องกันในชั้นหิน โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบไม่จำเป็นที่จะต้องนำการเคลื่อนไหวของหิน เนื่องมาจาก Elastic มาคำนวณในการออกแบบ เพราะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนไหวของหินเนื่องมาจาก Joints และ Blocks การเคลื่อนไหวของหินมี 2 แบบที่ควรพิจารณาคือ แบบ Frictional แรงเสียดทานในการเคลื่อนไหวมาจากรูปร่างและพื้นผิวของรอยต่อและจำนวนของรอยต่อ โดยแบบ Sliding จะเกิดขึ้นบริเวณรอยแยกของหินที่มีวัสดุแทรกระหว่างรอยแยกการเสริมกำลังให้กับหิน มี 2 วิธี คือ ใช้เหล็กยึดหิน (Rock Bolts) และใช้คอนกรีตพ่น (Shortcrete) โดยค้ำยันชั่วคราวจะถูกติดตั้งทันทีหลังจากที่ทำการขุดเสร็จ และจะคงอยู่ตลอดจนกว่าฐานรากแบบถาวรจะถูกนำมาติดตั้ง ในบางครั้งค้ำยันแบบชั่วคราวอาจจะเป็นค้ำยันแบบถาวรในเวลาต่อมา การออกแบบค้ำยันสามารถใช้วิธีดังต่อไปนี้

1) การใช้สูตร Empirical เช่น Terzaghi's Rock Loads & RQD [1964], Wickman et al.'s RSR [1972], Bieniawski's Geomechanics Classification RMR [1979] และ Baton et al.'s QSystem [1974]
2) การใช้ทฤษฎีและกึ่งทฤษฎี เช่น การวิเคราะห์เหล็กยึดหิน(Rock Bolt Analyses)ใช้วิธีนี้ เมื่อรู้ทิศทางความไม่ต่อเนื่องของรอยแตกของหิน ซึ่งการวิเคราะห์เหล็กยึดหินทำได้ โดยใช้วิธี Wedge Analyses
3) การใช้วิธีขั้นพื้นฐาน (ออกแบบโครงเหล็กและคาน) เช่น การออกแบบโครงเหล็กและคานแบบ Lattice ในบางครั้งอาจจะมีการฉีดน้ำปูนเข้าไปด้วย เพื่อเติมช่องว่างระหว่างโครงเหล็กคาน และหิน ซึ่งทำให้โครงเหล็กและหินมีพันธะต่อกันดีขึ้น ดังรูปที่ 7 - 18ที่แสดงฐานรากของอุโมงค์ ซึ่งเป็นคานแบบ Lattice ควบคู่กับการฉีดน้ำปูนและการเสริมเหล็ก
4) การวิเคราะห์แบบ Geomechanics เช่น วิธีการจำกัดที่ (Confinement Method) วิธีนี้จะรวมถึงแนวคิดแบบการคลายหน่วยแรง (Relaxation) และกำลังของฐานรากเข้าด้วยกันเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างหินและฐานรากของอุโมงค์ การวิเคราะห์หน่วยแรง(Stress Analysis) โดยทั่วไปนั้น โครงสร้างบนผิวดินจะไม่ได้รับผลกระทบจากหน่วยแรงต่างๆ ใต้ดิน ในทางตรงกันข้าม โครงสร้างใต้ดิน ซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องรับแรงดันใต้ดินต่างๆ ในการขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะอุโมงค์นั้น หน่วยแรงใต้ดินจะเรียงตัวกันใหม่ ซึ่งในบางครั้งหน่วยแรงที่เกิดขึ้นใต้ดินอาจจะมีค่า มากกว่า ค่ากำลังที่รับได้ของหิน ดังนั้นในการออกแบบอุโมงค์หินนั้น ผู้ออกแบบควรพิจารณาสภาพหน่วยแรงเบื้องต้น สภาพทางธรณีวิทยา กำลังของหิน วิธีการขุดอุโมงค์ ฐานราก และรูปร่างของอุโมงค์การวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง (Continuum Analyses of Tunnel Excavations) ในการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องนั้น จะใช้สมมุติฐานโดยให้หินมีความต่อเนื่องกันโดยตลอดและใช้สมการวิเคราะห์ความต่อเนื่องของหิน โดยพิจารณาจากค่าหน่วยแรงและความเครียดในหินโดยใช้ Finite Element Method โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์คือ กำหนดความจำเป็นและจุดประสงค์ของการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง โมเดลพฤติกรรมของหิน ทำการวิเคราะห์แบบ 2 และ 3 มิติ โมเดลค้ำยันของอุโมงค์และลำดับขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ ทำการวิเคราะห์ และนำผลการวิเคราะห์มาแปลความหมาย เพื่อนำไปปรับแต่งการออกแบบค้ำยันอุโมงค์และลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง ควรทำการวิเคราะห์อีกครั้งหากมีความจำเป็น การวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuum Analysis) ในการวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่องนั้น จะใช้สมมุติฐานโดยให้หินมีความไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งทำให้หินแสดงพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่เหมือนกับการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง

4.2.2 การออกแบบค้ำยันของอุโมงค์หิน

วิศวกรอุโมงค์อาจจะพิจารณาวัสดุต่างๆ 3 แบบดังนี้ 1) คอนกรีต, 2) คอนกรีตเสริมเหล็ก ,3) ส่วนของคอนกรีต (Segments of Concrete) ซึ่งวิศวกรอุโมงค์จะเลือกแบบใดนั้นจะต้องพิจารณาจาก 1) ความจำเป็นต่อการใช้งานของอุโมงค์, 2) สภาพทางธรณีวิทยาและทางชลศาสตร์, 3) วิธีการก่อสร้างอุโมงค์และข้อสุดท้ายคือสภาพทางเศรษฐกิจ ตารางที่ 7 - 3 แสดงชนิดของค้ำยันของอุโมงค์ในหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ชนิดของค้ำยันขององุโมงค์ในหิน(อ้างจาก บ.ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ และคณะ, 2548)

Lining Type	Prominent Features
Unsupported Rock	Suitable for rock of very good quality. Must conform to in-situ stress limitations. Drying and slabbing at rock surfaces may require surface sealants to suppress long-term deterioration.
Rock Reinforcement Systems	Untensioned dowels may be suitable for good quality rock. Tensioned rock bolts more expensive, but provide greater effectiveness. Spiles used to reinforce the ground and increase stand-up time. Cement and resin grouts provide permanent anchorage and corrosion protection. Rock reinforcement often supplemented with shotcrete or mesh to contain loose rock and control spalling.
Shotcrete Lining	Will provide support and may improve leakage and hydraulic characteristics of the tunnel. It also protects the rock against erosion and deleterious action of water. To protect water-sensitive ground, the shotcrete should be continuous and crack-free and reinforced with wire mesh or fibers. As with unlined tunnels, shotcrete-lined tunnels are usually furnished with a cast-in-place concrete invert.
Segmented Systems	Segments generally composed of precast concrete or steel. Leakage often controlled through bolted compression seals. Unbolted, segmented rings with grouted annulus are suitable for some tunnels in rock.
Unreinforced Concrete Linings	This is acceptable if the rock is in equilibrium prior to concrete placement, and loads on the lining are expected to be uniform and radial; and if leakage through minor shrinkage and temperature cracks is acceptable. It is not acceptable in badly squeezing rock, which can exert non-uniform displacement loads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

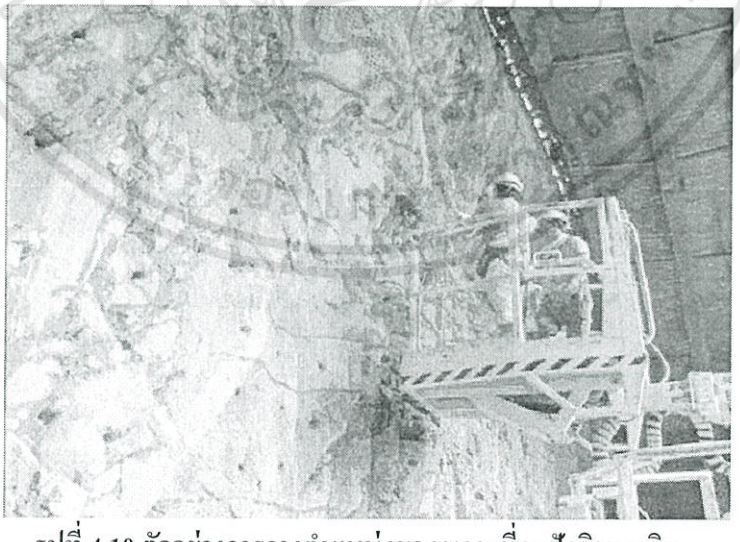
4.2.3 วิธีการขุดเจาะอุโมงค์หิน

วิศวกรอุโมงค์อาจจะพิจารณาวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ 3 แบบนี้หรืออาจจะใช้หลายๆ วิธีรวมกันเพื่อให้การก่อสร้างอุโมงค์เสร็จ มีการขุดแบบ TBM เป็นสัมผัสแบบหน้าเต็ม ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์แบบทรงกลมเท่านั้น การขุดแบบ Road Header ถ้าเป็นการขุดแบบสัมผัสไม่เต็มหน้าจะใช้ได้กับทุกหน้าตัด แต่ถ้าเป็นแบบสัมผัสหน้าเต็มจะใช้ได้กับอุโมงค์ขนาดเล็กเท่านั้น การขุดและการระเบิดเป็นสัมผัสแบบไม่เต็มหรือเต็มหน้าก็ได้ สามารถใช้ได้กับหน้าตัดอุโมงค์ทุกรูปแบบ

4.3 ตัวอย่างโครงการขุดเจาะอุโมงค์ในหิน

4.3.1 โครงการก่อสร้างทางหลวงแนวใหม่เชื่อมกะทู้-ป่าตอง

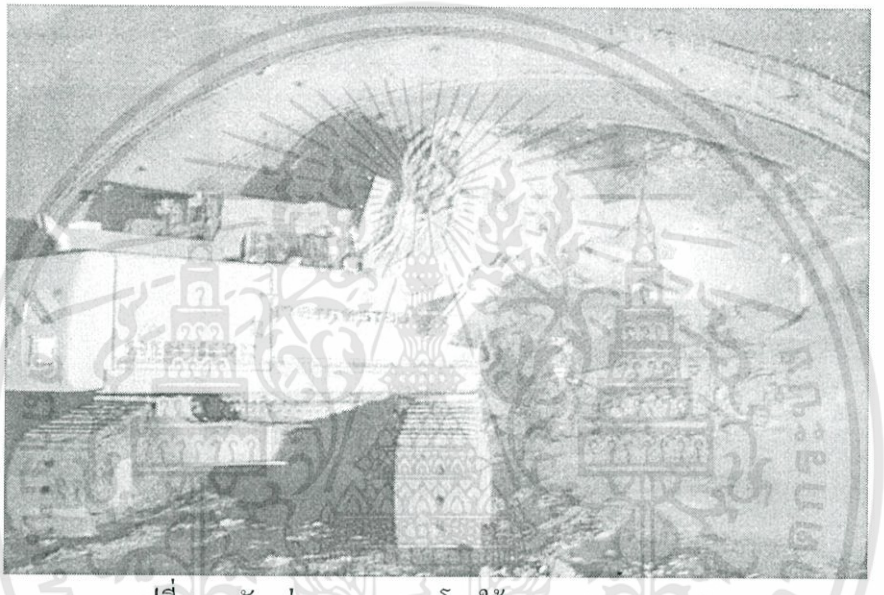
เทคนิควิธีการก่อสร้างอุโมงค์ที่เหมาะสมสำหรับโครงการ คือ การเจาะอุโมงค์โดยเทคนิค NATM คือการใช้วิธีการขุดและการระเบิด (Drill & Blast Excavation) และมีการติดตั้งเครื่องตรวจวัดทางธรณีวิทยาควบคู่กันระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้สำหรับหินที่มีความแข็งถึงแข็งมาก โดยด้านหน้าของอุโมงค์ (Tunnel face) จะถูกเจาะเป็นรูแล้วฝังดินระเบิดซึ่งได้มีการคำนวณและจัดรูปแบบของรูเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 รวมทั้งการจัดลำดับในการระเบิดให้มีความสัมพันธ์กับลักษณะการวางตัว และความแข็งแรงของชั้นหินเพื่อให้ได้รูปร่างของอุโมงค์เป็นไปตามที่ต้องการ ระยะของการเจาะรูระเบิดขึ้นอยู่กับความแข็งแรง การวางตัวของชั้นหิน และชนิดของวัตถุระเบิด ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 0.30 ถึง 0.50 เมตร



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการวางตำแหน่งของรูเจาะที่จะฝังดินระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

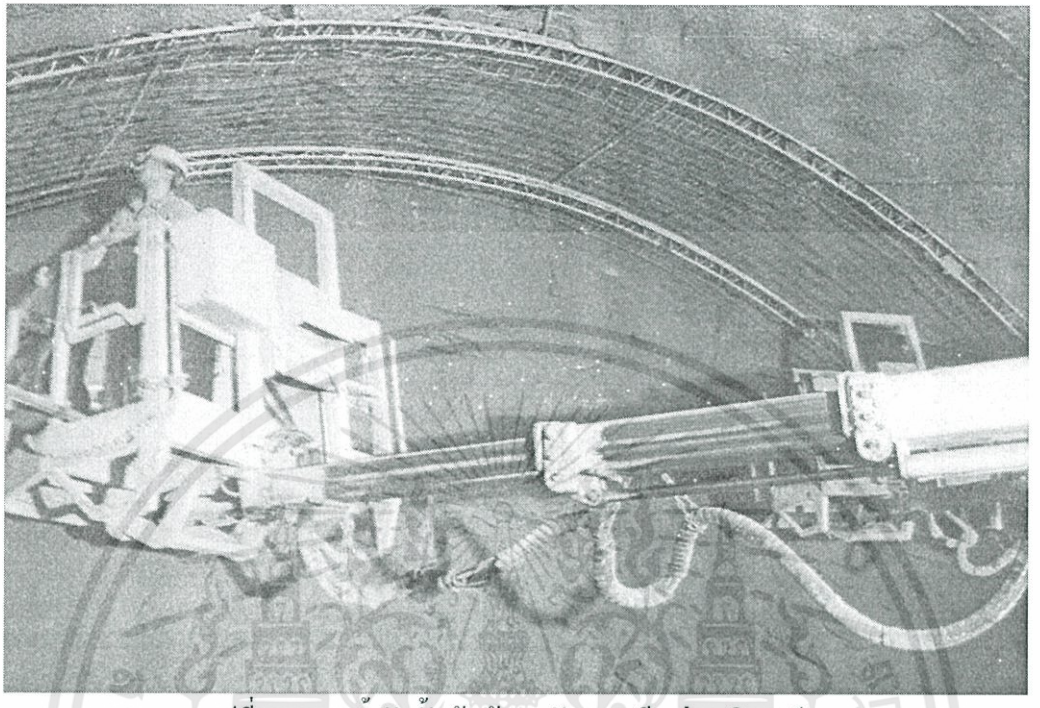
และโดยใช้เทคนิคการเสริมแรงในหิน (Rock Reinforcement) คอนกรีตพ่น (Shotcrete) สำหรับการค้ำยันขั้นต้น (InitialSupport) หรือในบริเวณที่มวลหินมีสภาพผุพังมาก ก็อาจนำเอารถขุด (Roadheader) หรือเครื่องจักรอื่นๆ มาใช้ในการขุด ทั้งนี้ โครงสร้างส่วนพื้นอุโมงค์ (Tunnel Invert) จะเลือกใช้เป็นแบบ Simple Slab ในกรณีที่มวลหินมีสภาพดีหรือในกรณีที่สภาพของมวลหินไม่ดี จะใช้พื้นอุโมงค์ที่มีลักษณะโค้ง (Curved Tunnel invert)



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการขุดเจาะโดยใช้รถขุด (Road header)

กรณีที่มวลหินผุพังมาก (Completely Weathered Rock Mass) หรือมีลักษณะเป็น Soft Ground Condition ปริมาณของการค้ำยันก็จะมากขึ้น ตามลำดับ การค้ำยันเริ่มต้นด้วยวิธีการค้ำยันชั่วคราว (Pre Support) เช่น วิธี Pre-Spilling หรือGround Pipe Arch จากนั้นจึงใช้คอนกรีตพ่นเสริมเหล็กสำหรับการค้ำยันขั้นต้น (Reinforced Shotcrete Initial Lining)ต่อด้วยระบบเสริมแรงในมวลหิน (Systematic Rock Reinforcement) การปรับปรุงเสริมความแข็งแรงหินพื้นอุโมงค์(Ground Treatment) และการก่อสร้างพื้นอุโมงค์ เพื่อปิดวงรอบโครงสร้างอุโมงค์เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการค้ำยัน

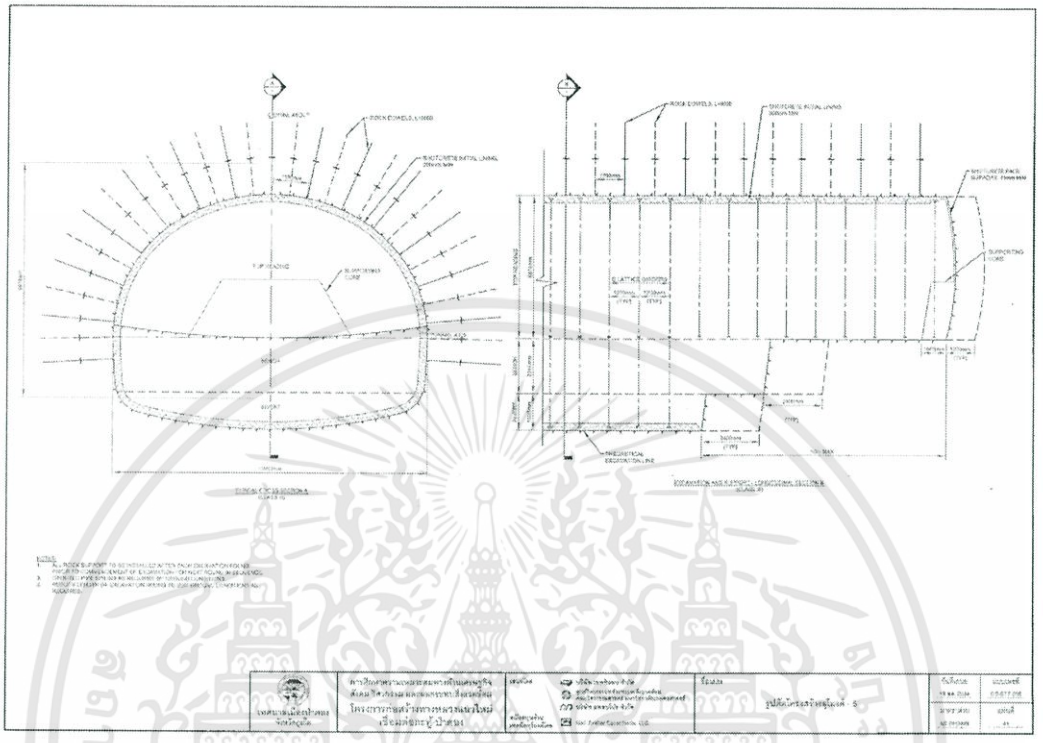
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



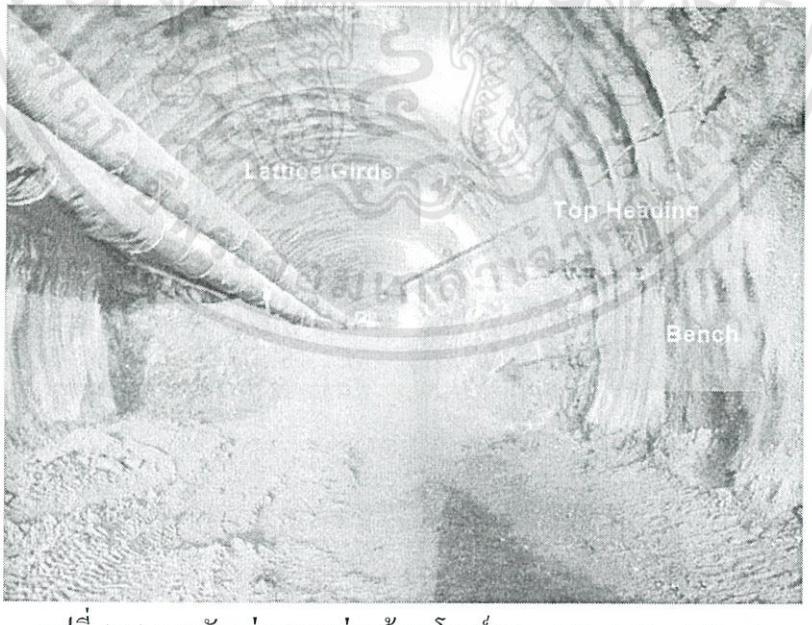
รูปที่ 4.12 การค้ำยันขั้นต้นด้วยผนังคอนกรีตพ่นเสริมเหล็ก

การขุดอุโมงค์จะดำเนินการเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากการขุดและค้ำยันส่วนบนของอุโมงค์ (Top Heading) จากนั้นขุดต่อในส่วนกลาง (Bench) และส่วนพื้น (Invert) โดยจะขุดแล้วค้ำยันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแล้วเสร็จ สำหรับระยะของการขุดในแต่ละส่วนนั้น จะต้องเป็นระยะที่ได้จากการคำนวณและออกแบบไว้ (Defined Maximum Length) โดยทั่วไปในการขุดอุโมงค์จะต้องติดตั้งค้ำยันอุโมงค์ (Lattice Girder) หรือโครงเหล็กโค้ง (Steel Arches) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นค้ำยันชั่วคราวแล้ว ยังช่วยในการควบคุมรูปร่างและขนาดของอุโมงค์ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถทำคอนกรีตพ่นได้ง่ายภาพตัวอย่างขณะก่อสร้างอุโมงค์ แสดงใน **รูปที่ 4.14** การขุดในมวลหินที่มีสภาพดี จะสามารถขุดส่วนบนของอุโมงค์นำหน้าการขุดส่วนกลางและส่วนพื้นไปได้ไกลกว่า 100-200 เมตร การขุดในมวลหินที่มีสภาพผุพังหรือมีรอยแตกมากกว่าปกติทั่วไป อาจขุดส่วนบนนำไปได้ประมาณ 40-60 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แบบ drawing รูปตัดโครงสร้างอุโมงค์แสดงการขุดเจาะ

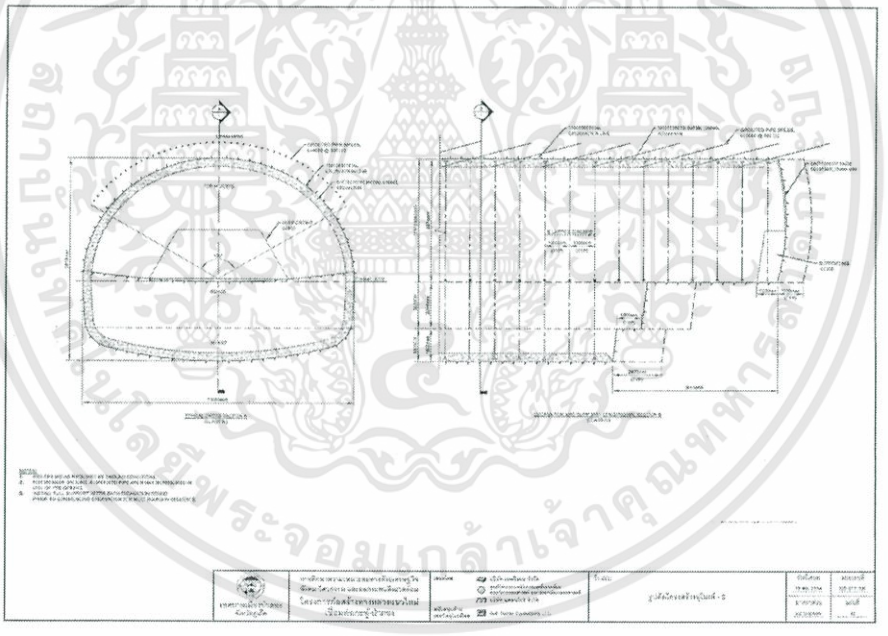


รูปที่ 4.14 ภาพตัวอย่างขณะก่อสร้างอุโมงค์(Good Rock Conditions)

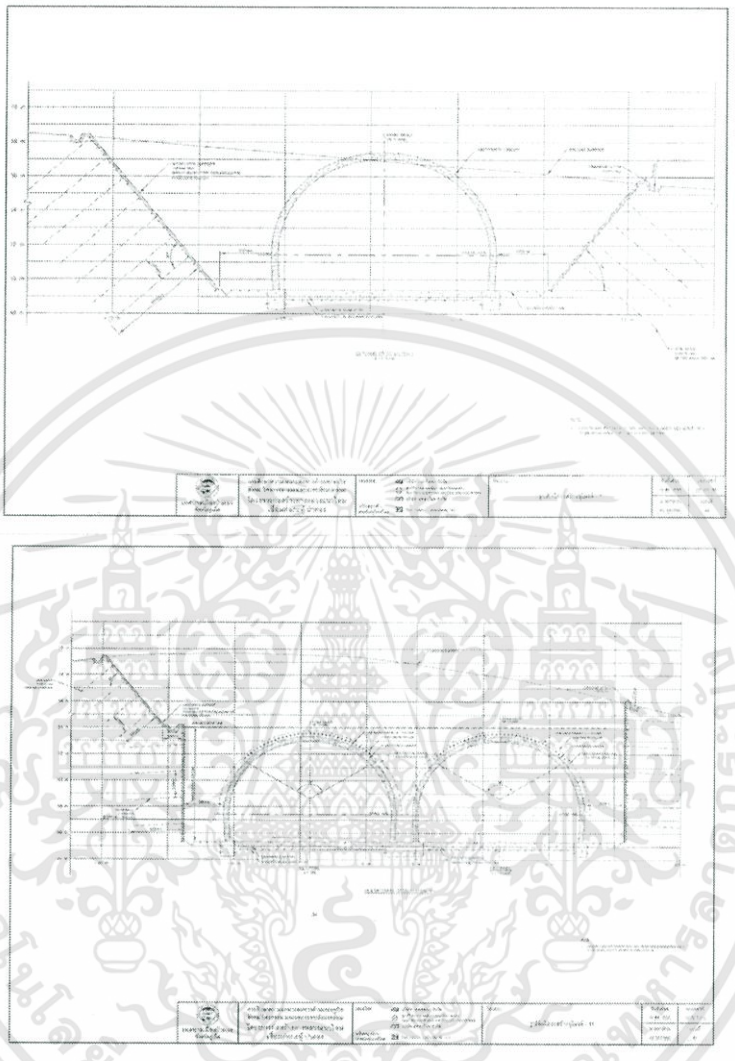
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่การขุดในชั้นประเภท Soft Ground จะยิ่งมีความเสี่ยงมากขึ้นจึงต้องรีบดำเนินการก่อสร้าง Invert Closureให้เร็วและใกล้กับความลึกของการขุดส่วนบนให้มากสุด หรืออาจก่อสร้างพื้นอุโมงค์ชั่วคราว (Temporary invert) ในส่วนของการขุดส่วนบน เพื่อให้การขุดสามารถดำเนินการต่อเนื่องได้ ซึ่งขั้นตอนการขุดอุโมงค์นี้ จะต้องดำเนินการไปพร้อมๆ กับการตรวจสอบข้อมูลสภาพชั้นหินที่พบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงวิธีการขุดและการค้ำยัน ให้มีความเหมาะสมกับสภาพจริง

สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ของโครงการ พบแนวโน้มของสภาพของหินบริเวณปากทางอุโมงค์ (Portal) มักจะอยู่ในลักษณะที่ผุพังมาก (Deeply weathered rock) ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมการดำเนินงานให้มีความปลอดภัย ตั้งแต่ขั้นตอนการเริ่มงานขุด โดยหลังจากขุดรื้อวัสดุคลุมหน้าแล้ว จะมีมาตรการเพิ่มความปลอดภัยเข้ามาเสริมด้วย เช่นGrouted Pipe Arch หรือการติดตั้งพื้นอุโมงค์แบบโค้ง (Curved Tunnel Invert) ในช่วงปากทาง
อุโมงค์



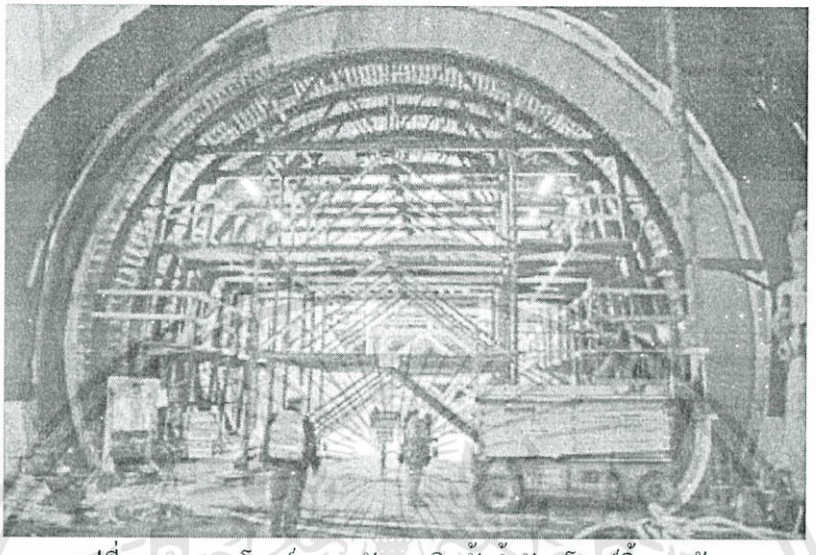
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แบบ drawing รูปตัดโครงสร้างอุโมงค์แสดงองค์ประกอบระหว่างการก่อสร้าง

เมื่อทำการขุดและติดตั้งค้ำยันตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นแล้วเสร็จ ดังแสดงใน **รูปที่ 4.16** ขั้นตอนถัดไปจะเป็นการติดตั้งระบบป้องกันน้ำ (Waterproofing System) รอบอุโมงค์ ซึ่งจะติดตั้งที่ผนังอุโมงค์ภายหลังจากการติดตั้งค้ำยันชั่วคราว สำหรับการติดตั้งผนังอุโมงค์ชิ้นสุดท้ายแล้วเสร็จ และการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์สิ้นสุดลง ระบบป้องกันน้ำประกอบด้วย ชั้นวัสดุ Geotextile ที่ใช้เป็นชั้นระบายน้ำ ติดตั้งบนผิวคอนกรีตพ่น จากนั้นปูปิดทับด้วยชั้นวัสดุทึบน้ำ(Membrane) ทั้งนี้ ผนังอุโมงค์ชิ้นสุดท้าย (Final Lining) จะติดตั้งหลังจากติดตั้งระบบป้องกันน้ำแล้วเสร็จ ซึ่งอาจเลือกใช้เป็นคอนกรีตหล่อในที่ หรือคอนกรีตพ่นก็ได้ แต่ต้องแข็งแรงและสวยงาม ทั้งนี้ จะเลือกใช้ประเภทใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพอุโมงค์ภายหลังงานติดตั้งค้ำยันอุโมงค์ชิ้นสุดท้าย

4.3.2 อุโมงค์ขุนตาน

อุโมงค์ขุนตานจะสร้างด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (Conventional Method) โดยวิธีการเจาะระเบิดจากปากอุโมงค์ทั้งสองฝั่ง เข้าหากัน เริ่มขุดเจาะและค้ำยันส่วนบนของอุโมงค์ (Top Heading) ก่อน จากนั้นจึงขุดแล้วค้ำยันส่วนล่างของอุโมงค์ (Bench) ตามเข้ามา โดยมีระยะของการขุดในแต่ละส่วนห่างกันพอสมควร และเว้นชั้นของหินตอนกลางระหว่างส่วนบนและส่วนล่างไว้หนา 1.0-1.5 เมตร เพื่อรักษาเสถียรภาพของผนังอุโมงค์ และทุกๆระยะ 15 เมตร มีการเจาะช่องตอนกลางที่เว้นไว้ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน เช่น การลำเลียงเศษดินและหินออกจากอุโมงค์ และช่วยระบายอากาศ

ค้ำยันที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นไม้ ซึ่งจะใช้แผ่นไม้กระดานบุยันกับหินด้านบน และใช้เสาไม้ค้ำยันไว้ เพื่อป้องกันหินไม่ให้ร่วงหล่นและพังทลายลงมา จากนั้นขุดขยายส่วนบน ให้มีส่วนโค้งตามที่ออกแบบไว้ แล้วก่อสร้างผนังอุโมงค์ส่วนบนด้วยคอนกรีตหล่อในที่ และค้ำยันด้วยโครงเหล็กโค้ง (Steel Arch) การขุดเจาะอุโมงค์ทั้งสองฝั่ง ทะลุถึงกันในปี พ.ศ.2458 ใช้เวลาก่อสร้าง 8 ปี

การขุดเจาะอุโมงค์ส่วนล่าง (Bench) เริ่มขุดหินส่วนกลางที่เว้นไว้ออก แล้วจึงขุดขยายผนังด้านข้างอุโมงค์ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาออกทีละด้าน แล้วเทคอนกรีตหล่อในที่ตามเข้ามา โดยมีช่องสำหรับหลบหลีก (Niche) ทุกๆระยะ 100 เมตร การก่อสร้างโครงสร้างส่วนพื้นและส่วนอื่นๆของอุโมงค์ใช้เวลาอีกประมาณ 3 ปี จึงแล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะรูระเบิดจะเว้นระยะห่างระหว่างรูตามการจัดรูปแบบ เพื่อฝังระเบิดไดนาไมต์เข้าไปในรู แล้วจุดระเบิดตามลำดับที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับหินที่เป็นก้อนขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการระเบิด จะใช้วิธีการเผาไฟให้ก้อนหินร้อนจัดแล้วจึงใช้น้ำราด เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ทำให้หินเกิดการแตกร้าวและง่ายต่อการสกัดออก

การขนย้ายเศษดินและหินในอุโมงค์โดยใช้รถรางและรถเข็นขนาดเล็กลำเลียงออกมา ซึ่งได้นำมาถมลำน้ำบริเวณปากทางเข้าอุโมงค์จนกลายเป็นที่ตั้งของตัวสถานีรถไฟขุนตาลในปัจจุบัน

เมื่อวันที่ ๑ เมษายน พ.ศ.๒๔๖๑ มีพิธีชัดรอกตัวครุฑหล่อด้วยคอนกรีตขึ้นประดิษฐานเหนือปากอุโมงค์ทั้งสองด้าน จึงถือเป็นวันที่การก่อสร้างแล้วเสร็จ รวมใช้เวลาก่อสร้างทั้งหมด ๑๑ ปี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีการแก้ไข

5.1 ภูมิประเทศ

ในการก่อสร้างเส้นทางจะมีการแผ้วถาง และตัดฟันต้นไม้ออกจากพื้นที่ก่อสร้าง รวมทั้งการปรับพื้นที่ การตัดดิน/หินและการถมดิน เพื่อก่อสร้างคันทาง กิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ จากสภาพพื้นที่สวนยางพารา และพื้นที่ว่างเปล่า ไปเป็นพื้นที่ถนน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดผ่านบริเวณที่ลาดเชิงเขา บริเวณที่เป็นปากทางเข้า-ออกอุโมงค์ ต้องมีการปรับระดับความลาดของถนนหรือคันทาง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศอย่างถาวร ทำให้สภาพภูมิประเทศเดิมที่เป็นที่ลาดเชิงเขา และมีความลาดชันกลายเป็นถนนที่มีความราบเรียบ จะมีการตัดดิน หินตามไหล่ทางที่เป็นลาดเชิงเขา ทำให้เกิดรอยด่าง (Scar) ของภูมิประเทศ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศจากเดิม ที่เป็นสีเขียวของต้นไม้ (สวนยางพารา) กลายเป็นสีของหินหรือดินเข้ามาแทน

วิธีการแก้ไข

-การตัดฟันต้นไม้และแผ้วถางพรรณพืชต้องดำเนินการเฉพาะพื้นที่ในแนวเขตทางที่จะทำการก่อสร้างเท่านั้น เพื่อให้สภาพนิเวศของพื้นที่ถูกทำลายน้อยที่สุดและเปลี่ยนแปลงเป็นบริเวณแคบโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ไม่ใช้สวนยางพารา ทั้งนี้ต้องทำการหมายแนวเขตทางที่จะก่อสร้างให้เด่นชัดพร้อมทั้งทำเครื่องหมายบนต้นไม้ที่จะตัดฟันด้วยสีตลอดแนวเขตทางที่จะก่อสร้าง สำหรับพื้นที่ที่อยู่นอกขอบเขตของการก่อสร้างห้ามตัดต้นไม้โดยเด็ดขาด และควรได้ประสานงานกับกรมป่าไม้ให้เข้าร่วมตรวจสอบขอบเขตพื้นที่ที่จะตัดฟันไม้ออกก่อนจะดำเนินการถางพื้นที่

-พรรณไม้ที่จัดเป็นไม้สงวนซึ่งจะต้องขออนุญาตก่อน จะต้องปฏิบัติตามระเบียบขั้นตอนการขออนุญาตของกรมป่าไม้ก่อนดำเนินการตัดฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ทรัพยากรน้ำ

สำหรับผลกระทบด้านอุทกธรณีวิทยา ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ระดับของอุโมงค์ อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน โดยจะส่งผลกระทบให้ระดับน้ำใต้ดินซึ่งอยู่สูงกว่า อาจลดลงได้ในช่วงระหว่างการก่อสร้างและหลังก่อสร้าง เนื่องจากอุโมงค์จะทำหน้าที่เสมือนเป็น Natural Discharge Point (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2525) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลหลุมเจาะ BH-1 และ BH-7 ที่ได้จากการเจาะสำรวจเพิ่มเติม จำนวน 2 หลุม บริเวณปากทางเข้า-ออกของอุโมงค์ ซึ่งปรากฏว่ามีระดับน้ำใต้ดิน อยู่สูงกว่าระดับอุโมงค์ โดยมีระดับความลึกจากผิวดิน 6.5 เมตร และ 7.8เมตร ตามลำดับ นอกจากจะส่งผลให้มีอัตราการไหลน้ำใต้ดินภายในอุโมงค์สูงขึ้น ซึ่งมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ยังมีความไม่ปลอดภัยระหว่างการก่อสร้างอีกด้วย เนื่องจากมวลหินมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากมวลน้ำ ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการก่อสร้างอุโมงค์ในฤดูฝนได้ ควรมีการระบายน้ำออกจากอุโมงค์อย่างเพียงพอ

วิธีการแก้ไข

-สำหรับพื้นที่ก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียงกับลำน้ำ ต้องหลีกเลี่ยงกิจกรรมการก่อสร้างในช่วงฤดูฝน

-การก่อสร้างที่บริเวณตลิ่งลำน้ำ โดยเฉพาะหากมีการขุดดินริมตลิ่ง จะต้องกำหนดขอบเขตของกิจกรรมหรือการขุดดินและใช้เข็มแบน (Sheet Pile) ตอกให้แน่นหนาแข็งแรง เพื่อป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่ง และชะล้างหน้าดินลงสู่ลำน้ำและต้องบูรณะตลิ่งให้มีสภาพดีดังเดิมหลังการก่อสร้างบริเวณนั้นแล้วเสร็จทันที

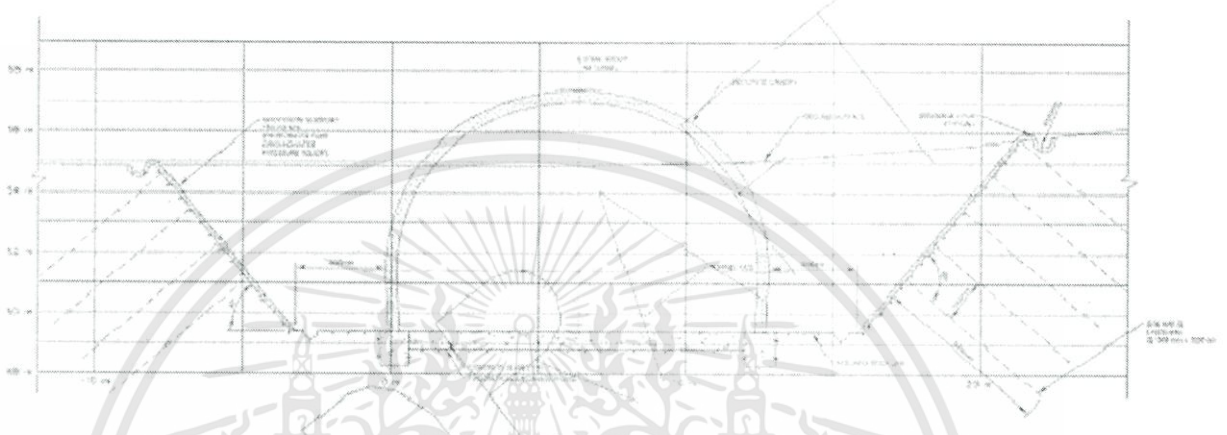
-คงสภาพพืชพันธุ์ที่ขึ้นอยู่ริมลำน้ำไว้ และปลูกพืชคลุมดินทันทีที่กิจกรรมก่อสร้างที่มีการเปิดหน้าดินแล้วเสร็จ

5.3 ทรัพยากรดิน

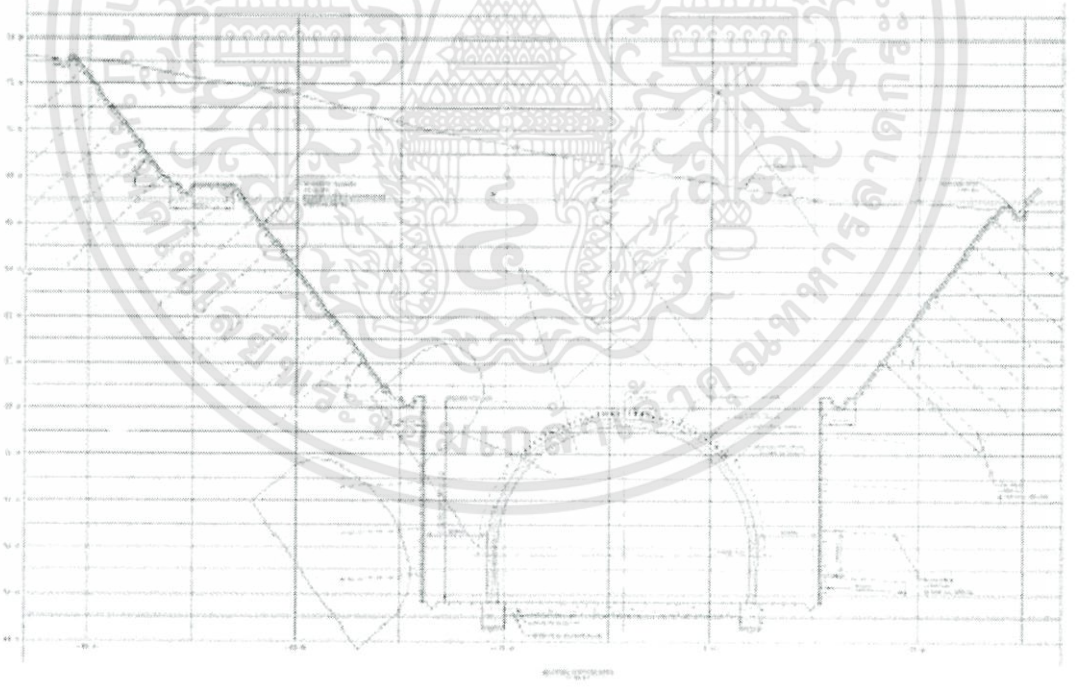
กิจกรรมระหว่างการก่อสร้าง เช่น การตัดต้นไม้ การเปิดหน้าดิน การเหยียบย่ำ รวมทั้งกิจกรรมการก่อสร้างอื่นๆ ย่อมมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่อย่างไรก็ตาม สภาพดินที่มีลักษณะเป็นดินตื้น มีหินโผล่ รวมทั้งพื้นที่ดำเนินการสำหรับการก่อสร้างและเก็บกองวัสดุ ที่จะถูกเปิดหน้าดินเป็นพื้นที่มีไม่มาก และมีระยะเวลาที่จำกัดเฉพาะช่วงการก่อสร้าง การสูญเสียหน้าดินที่จะเกิดขึ้น จึงมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาหรือพื้นที่โครงการ สำหรับการสูญเสียทรัพยากรดิน ในด้านการใช้ประโยชน์ทรัพยากรดิน เพื่อการเกษตรกรรมพบว่าเกิดขึ้นน้อย ดังนั้น ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น คาดว่าเป็นผลกระทบด้านลบระดับปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินและดินถล่ม (ภายหลังการเจาะอุโมงค์) จากผลการศึกษาสภาพปัจจุบัน ของเสถียรภาพของลาดดินและดินถล่มบริเวณพื้นที่โครงการ พบว่า พื้นที่โครงการฯ เป็นพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากดินถล่ม เนื่องจากแนวการก่อสร้างอุโมงค์ได้ตัดผ่านเข้าไปในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มสูงถึงสูงมาก ในบริเวณปากอุโมงค์เข้า-ออกเท่านั้น นอกจากนี้เสถียรภาพของลาดดินบริเวณดังกล่าว ยังอาจจะได้รับผลกระทบจากการพัฒนาโครงการฯ ร่วมด้วย



ก. เมื่อขุดดินไม่เกิน 10 เมตร



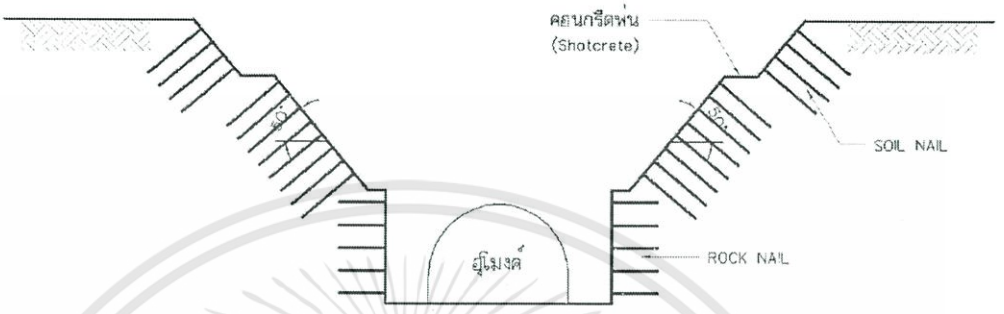
ข. เมื่อขุดดินระหว่าง 10-15 เมตร

รูปที่ 5.1 ลักษณะหน้าตัดตามขวางของปากอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ไข

-ทำการพ่น shotcrete ในบริเวณหน้าดินที่เป็นแนวขุดเจาะอุโมงค์ที่มีลักษณะเป็นทางลาด



รูปที่ 5.2 แนวทางป้องกันและลดผลกระทบดินถล่มบริเวณปากอุโมงค์

-วางแผนการก่อสร้างสำหรับกิจกรรมที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการชะล้างพังทลายของดินไว้ในช่วงฤดูแล้ง เช่น การปรับแนวคันทางโดยเฉพาะบริเวณใกล้แหล่งน้ำ การก่อสร้างโครงสร้างสะพาน เป็นต้น

-เปิดหน้าดินเฉพาะส่วนที่จะดำเนินการเท่านั้น (ครั้งละไม่เกิน 500 เมตร) โดยวางแผนการก่อสร้างให้ช่วงระยะความยาวของถนนที่จะทำการก่อสร้างสอดคล้องกับระยะเวลาที่ใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดหน้าดินในระยะทางที่ยาวเกินความจำเป็น โดยแผนงานการวางรางระบายน้ำบนลาดดินตัดและการทำ Hydro-seeding จะต้องทำควบคู่กันไปก่อนที่จะเกิดการกัดเซาะของลาดคันตัด โดยอยู่ภายใต้การดูแลควบคุมอย่างใกล้ชิดของผู้ควบคุมงาน

-ก่อสร้างรางระบายน้ำชั่วคราวและบ่อดักตะกอนชั่วคราวเป็นระยะ ๆ ตามแนวเส้นทางที่เปิดพื้นที่ก่อสร้างในแต่ละช่วงเพื่อดักตะกอนจากพื้นที่ก่อสร้างก่อนที่จะระบายน้ำลงสู่ลำน้ำและทางระบายน้ำ เพื่อลดปริมาณตะกอนที่จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำและต้องหมั่นตรวจดูแลและลอกตะกอนออกอย่างสม่ำเสมอหากว่ามีปริมาณตะกอนสูงเกินกว่าครึ่งบ่อ

-ช่วงที่มีการตัดดิน/หินลึกอาจเกิดการพังทลายหรือถล่มของดินหรือหิน (Rock fall) ดังนั้นต้องออกแบบและดำเนินการก่อสร้างให้มีระดับความลาดชันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 คุณภาพอากาศ

การพัฒนา ดังกล่าว อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ ทั้งในระยะก่อสร้างและระยะดำเนินการ โดยในระยะก่อสร้างถนน อาจมีผลกระทบเกิดขึ้นจากการปรับสภาพพื้นที่ ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญ คือ ฝุ่นละออง โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ขณะที่กำลังก่อสร้าง และเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นทางการก่อสร้างส่วนในระยะดำเนินการ

วิธีการแก้ไข

-การเปิดหน้าดินและการปรับถมดิน ควรดำเนินการเป็นช่วง ๆ เท่าที่จำเป็น และควบคุมฝุ่นละอองฟุ้งกระจายโดยการฉีดพรมน้ำเป็นประจำวันละ 2 ครั้ง

-จัดให้มีสิ่งปิดคลุมวัสดุก่อสร้างอย่างมิดชิด โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างประเภทดิน หิน ทราย เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น หรืออาจกองวัสดุในพื้นที่ที่มีผนังปิดทึบด้านบนและด้านข้างอีก 3 ด้าน

-รถบรรทุกที่ใช้ขนวัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้างจะต้องมีผ้าใบหรือพลาสติกปกคลุมส่วนการบรรทุกวัสดุให้มิดชิด และควบคุมพนักขับรถไม่ให้ใช้ความเร็วสูงโดยควบคุมความเร็วของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างไม่ให้เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทั้งในบริเวณชุมชนและบริเวณก่อสร้าง

5.5 เสียง

ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง

การก่อสร้างโครงการอาจมีผลกระทบด้านเสียงรบกวน เนื่องจากกิจกรรมของเครื่องจักรกลอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้โดยระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากเครื่องจักรชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นระดับเสียงที่เกิดจากขั้นตอนต่างๆ จากการก่อสร้าง วัดห่างจากแหล่งกำเนิด 15 เมตร (50 ฟุต) สำหรับกิจกรรมการก่อสร้างของโครงการ กิจกรรมการก่อสร้างอุโมงค์และทางยกระดับ จะเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดเสียงดังสูงสุด จากเครื่องจักรขนาดใหญ่ สำหรับการขุดและเจาะ รวมถึงขั้นตอนการทำฐานราก

จากผลการคำนวณระดับความดังเสียง ที่เกิดจากเครื่องจักรแต่ละชนิด ในขณะที่ทำงานบริเวณพื้นที่ก่อสร้างแต่ละโครงสร้าง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับความดังเสียงเกินมาตรฐาน ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2540) คือ 70 dB A พบว่า กิจกรรมการก่อสร้างทั้งหมด มีระดับความดังเสียงเกินมาตรฐาน แต่เมื่อมีระยะห่างออกมา จะทำให้มีระดับความดังเสียงลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ในช่วงที่ 2 (กม. 0+600 ถึง กม. 2+145) เป็นช่วงที่จะมีการขุดเจาะอุโมงค์ เพื่อลอดใต้ป่าเทือกเขานาคเกิด จะมีเสียงรบกวนในช่วงการเจาะอุโมงค์ในช่วงแรก และจากนั้นจะเป็นการดำเนินงานภายในอุโมงค์ ระดับความดังเสียงลดลงโดยผลการประเมินพบว่า มีระดับความดังเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินมาตรฐาน แต่ละมีค่าลดลงที่ระยะห่างจากพื้นที่ก่อสร้างประมาณ100 เมตร ซึ่งพื้นที่ที่จะก่อสร้างหรือขุดเจาะอุโมงค์ เป็นทางเบี่ยงแยกออกมาจากแนวถนนเดิมแล้ว ทำให้พื้นที่ดังกล่าวอยู่ห่างจากชุมชนมากพอสมควร ดังนั้น การก่อสร้างช่วงนี้ถึงจะมีเสียงดัง แต่จะส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบนอกในระดับต่ำ

วิธีการแก้ไข

-กำหนดให้ใช้อุปกรณ์ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ให้เสียงดังในระดับต่ำหรือมีอุปกรณ์ลดเสียง ตลอดจนให้มีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสม่ำเสมอ

-หลีกเลี่ยงการทำงานของเครื่องจักรกลที่มีเสียงดังมาก ๆ พร้อมกันในเวลาเดียวกัน

-ให้ดำเนินกิจกรรมการก่อสร้างและขนย้ายวัสดุ-อุปกรณ์ในช่วงเวลากลางวัน คือ 8.00-17.00 น. เท่านั้น

ในช่วงการใช้งาน

โครงการทางหลวงแนวใหม่เชื่อมต่อกะทู้-ป่าตอง ในระยะดำเนินการ จะมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดเสียงดัง คือ เสียงจากการจราจร และระดับความดังเสียงที่มีอยู่เดิม โดยการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์FHWA Traffic Noise Model (TNM) แบบจำลองนี้พัฒนา โดย US Department Transportation Federal HighwayAdministration โดยใช้หลักการและสมการพื้นฐาน โดย TNM Look-Up เป็นการใช้ข้อมูลในการประมวลผลจากโปรแกรม TNM Version 2.5 ซึ่งได้แบ่งประเภทของยานพาหนะเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ รถยนต์ (Automobiles) รถบรรทุกขนาดกลาง (Medium Trucks) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (heavy Trucks) รถโดยสารประจำทาง (Buses) และ
รถจักรยานยนต์ (Motorcycles)

การคาดการณ์ระดับเสียงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดให้มีปริมาณการจราจร และความเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พื้นที่ด้านข้างถนน กำหนดให้เป็นกรณีที่เลวร้าย โดยมีลักษณะแข็ง สามารถสะท้อนเสียงได้ดี และไม่มีที่กั้นเสียง (Noise Barrier) ซึ่งได้ผลการคาดการณ์ระดับความดังเสียง ในแต่ละช่วงปี พบว่า ปี พ.ศ. 2559 (ปีที่เริ่มดำเนินการ) และปี พ.ศ. 2579 มีระดับความดังเสียงเฉลี่ย เท่ากับ 73.0 และ74.2 เดซิเบล เอ ณ ระยะห่างจากขอบทาง 10 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานระดับความดังเสียงแล้ว(คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ. 2540) คือ ไม่ควรเกิน 70 dB)พบว่า ระดับเสียงจากโครงการที่มากกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ อยู่ที่ระยะห่างไม่เกิน 30 เมตร

วิธีการแก้ไข

- ใช้วัสดุที่ช่วยในการดูดซับเสียงภายในอุโมงค์
- การก่อสร้างกำแพงกั้นเสียง เพื่อลดระดับความดังเสียงให้อยู่ในเกณฑ์ ที่สามารถยอมรับ
- ใช้ whispering asphalt จะช่วยลดเสียงที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีของล้อรถกับผิวทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การสั่นสะเทือน

ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการฯ เป็นผลมาจากการใช้วัตถุระเบิดในการก่อสร้างอุโมงค์ การใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย รถบรรทุกเทท้าย (dump truck) ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักบรรทุกมากระหว่าง 10 ตัน ถึง 25 ตัน เพื่อบรรทุกดิน และหิน รวมถึงอุปกรณ์ก่อสร้าง เข้าสู่พื้นที่ดำเนินการ กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน เนื่องจากการกระแทกของแรงระเบิด และแรงกระแทกของล้อและยางกระทำต่อพื้นดิน

วิธีการแก้ไข

-ควบคุมและกำชับพนักงานขับรถขนส่งวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างให้ปฏิบัติตามกฎจราจรอย่างเคร่งครัด โดยจำกัดความเร็วและน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะ

-ซ่อมบำรุงผิวทางลำเลียงขนส่งวัสดุอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพที่ดีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดแรงกระแทกน้อยที่สุด

-ต้องออกแบบและใช้วิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับพื้นที่ก่อสร้าง เช่น ให้มีความลาดชันน้อยที่สุด มีรอยต่อน้อยที่สุด หลีกเลี่ยงการเปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

-เลือกใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักรกลที่เกิดแรงกระแทกน้อยที่สุด และต้องมีวิศวกรควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิดเพื่อตรวจสอบดูแลความสั่นสะเทือนที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ให้ดำเนินกิจกรรมที่ก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ในระหว่างเวลา 08.00-17.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ประทีป เหลือประเสริฐ, สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์, พรเกษม จงประดิษฐ์. 2552. การวิเคราะห์เสถียรภาพของอุโมงค์ NATM ในระหว่างขั้นตอนการ ขุดดินโดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์แบบ 3 มิติ.ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่14. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประทีป เหลือประเสริฐ. 2554. "การวิเคราะห์หารูปแบบการขุดเจาะและอัตราส่วนลดทอนความเค้นที่เหมาะสมต่ออุโมงค์แบบ NATM ในดินกรุงเทพฯ โดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์."วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์. 2552. วิศวกรรมอุโมงค์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

Austrian Tunnelling Method (NATM) Tunnel. A review of sprayed concrete tunnels with particular reference to London clay. **(HSE)Books**, Sudbury.

Fowell, R.J. & Bowers, K.H. 1998. NATM tunnels in the United Kingdom. **The Department of Mining & Mineral Engineering**, University of Leeds, Leeds, UK.

Golser, J. 1979. Another view of the NATM. **Tunnels & Tunnelling**, March.

Kovari, K. 1994. Erroneous concept behind the New Austrian Tunnelling Method. **Tunnels & Tunnelling**, November 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้