



ขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน
PROCESS AND TECHNIQUE IN SUBWAY CONSTRUCTION



โดย
นาย ประภัสสร ชาญณรงค์
นาย ภูวนัย ตันตือลงการ

วัน เดือน ปี..... 19 ธ.ค. 2539
เลขทะเบียน..... 034987
เลขเรียกหนังสือ..... T 39 287 24

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCESS AND TECHNIQUE IN SUBWAY CONSTRUCTION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ ขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน

นักศึกษา นาย ประภัสสร ชาญณรงค์ รหัสประจำตัว 34.104203

นาย ภูวนัย ตันตือลงการ รหัสประจำตัว 34.105258

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง

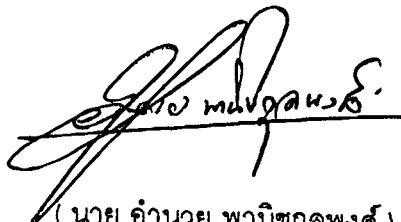
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ สมชาย สำลีรางค์กุล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นาย อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน
PROCESS AND TECHNIQUE IN SUBWAY CONSTRUCTION

โดย นาย ประภัสสร ชาญณรงค์

นาย ภูวนัย ตันตือลงการ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ สมชาย สำรี้รงค์กุล

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นหนึ่งในสามฉบับของโครงการพิเศษเรื่อง “ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน” ซึ่งจะประกอบด้วยหัวข้อดังนี้คือ รูปแบบและชนิดต่าง ๆ ของอุโมงค์, ขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้าง และระบบบริการต่าง ๆ ภายในอุโมงค์ โดยที่โครงการฉบับนี้ได้กล่าวถึง ขั้นตอนและเทคนิคในการขุดเจาะอุโมงค์ การก่อสร้างอุโมงค์ สถานี โรงซ่อมบำรุง ตลอดจนปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างการก่อสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจถึงขั้นตอนและเทคนิคต่าง ๆ ในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และศึกษาค้นคว้ารายละเอียดต่าง ๆ เพิ่มเติม เพื่อปรับปรุงโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ดียิ่งขึ้น

นอกจากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โครงการพิเศษฉบับนี้ยังได้แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างระบบขนส่งมวลชนใต้ดิน กับระบบขนส่งมวลชนลอยฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้ เพื่อแก้ปัญหาจราจรที่อยู่ในสภาพวิกฤตดังเช่นในปัจจุบันนี้ โดยเกิดผลกระทบน้อยที่สุด

ABSTRACT

This special project is one of the three on “subway” project. There are three major parts mentioned in the text. Firstly, the differences of type and aspect of the tunnel. Secondly, how the tunnel was built, what kind of technique and material were used. Lastly, services that supported the construction. In this project, details on each of them has been analyzed and explained in depth in order to achieve an understandable research and new development of its construction of the subway, for instance, how they built the station, problems that caused any inconvenience for workers and so on.

However, there is evidence showed the comparison between the transportation of the subway and sky-train. On the other hand, the decision was given to the minister of transport, which way would be better to solve the horrific congestion of the traffic in the present day without any affects that will cause later on.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณแก่บุคคลดังต่อไปนี้

อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล, อาจารย์ สมชาย สำรวิรงค์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. แดง เจริญสุวรรณ, อาจารย์ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาค
วิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและเอื้อเพื่อเอกสารข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น
Prof.Dr. Felix E.H. Haser ที่คอยแนะนำและเอื้อเพื่อข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น
คุณ วีรพงษ์ สุวัฒนพงษ์ ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสารข้อมูลต่าง ๆ
บริษัท คริสเตียนี แอนด์ นิลเสน, สำนักงานชาวช่าง ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเพื่อข้อมูล
ต่าง ๆ
บิดามารดาและญาติพี่น้องทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงการ
พิเศษฉบับนี้
เพื่อน ๆ ทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือในทุก ๆ อย่างที่เกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

นาย ประภัสสร ชาญณรงค์
นาย ภูวนัย ตันตือลงการ
คณะผู้จัดทำ

20 เมษายน 2538

สารบัญ

เรื่อง	เลขหน้า
บทที่ 1	
บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
3. ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	1
4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	
การเลือกเส้นทางในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน	3
2.1 หลักในการพิจารณาเลือกเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน	4
บทที่ 3	
การสำรวจตามแนวเส้นทาง	5
3.1 การสำรวจ	5
-การสำรวจก่อนการก่อสร้าง	5
-การสำรวจระหว่างการก่อสร้าง	19
-การสำรวจภายหลังการก่อสร้าง	20
3.2 การจัดแบ่งประเภทของดินในการขุดเจาะ	21
3.3 การปรับปรุงคุณภาพดิน	28
-Ground Water Lowering	28
-Grouting	30
-Freezing the Ground Water	31
-Compressed Air	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	เลขหน้า
บทที่ 4	
บ่อก่อสร้าง (Shafts)	33
4.1 ประเภทของ Shafts	33
4.2 วิธีการก่อสร้าง Shafts	38
บทที่ 5	
การก่อสร้างอุโมงค์ในหิน	42
5.1 การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drilling and Blasting	42
5.2 การขุดเจาะโดยวิธี Tunnel Boring Machine	52
บทที่ 6	
การก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน	63
6.1 การเลือกระบบในการขุดเจาะอุโมงค์	63
6.2 วิธีที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน	66
6.2.1 การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธีการขุดและถมกลับ (Cut and Cover Method)	66
6.2.2 วิธีการเจาะอุโมงค์ (Tunneling)	69
6.2.2.1 การเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี NATM	72
6.2.2.2 วิธีการขุดแบบ Heading and Bench Excavation	72
6.2.2.3 การใช้ Shield ในการขุดเจาะอุโมงค์	75
บทที่ 7	
การติดตั้งผนังอุโมงค์ (Lining)	104
7.1 ผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Lining)	104
7.2 ผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining)	105
7.3 ผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ (Segmental Lining)	111
7.4 การพิจารณาเลือกชนิดของผนังอุโมงค์	115
7.5 การติดตั้งแผ่นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	เลขหน้า
บทที่ 8	
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	121
8.1 หลักเกณฑ์ในการกำหนดที่ตั้งสถานี	121
8.2 รูปแบบของสถานี	121
8.3 องค์ประกอบของสถานี	122
8.4 เทคนิคในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	123
บทที่ 9	
โรงซ่อมบำรุง-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน	131
9.1 องค์ประกอบของโรงซ่อมบำรุง-เก็บรักษารถไฟฟ้าใต้ดิน	131
9.2 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานีโรงซ่อมบำรุง-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน	132
บทที่ 10	
ปัญหาต่าง ๆ ในการขุดเจาะอุโมงค์	133
10.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติ	133
10.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่มนุษย์สร้างขึ้น	135
บทที่ 11	
บทสรุปและข้อเสนอแนะของโครงการพิเศษ	139

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก.
- ภาคผนวก ข.
- ภาคผนวก ค.
- ภาคผนวก ง.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
3-1 ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่บริเวณ VICTORIA HARBOUR, HONGKONG	8
3-2 ตัวอย่างแผนที่แสดงแนว ROUTE ของรถไฟฟ้าใต้ดิน	9
3-3 วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการสำรวจชั้นดินหรือชั้นหิน	10
3-4 แสดงแนวเส้นทาง(ROUTE)ในการเจาะอุโมงค์ CHANNEL TUNNEL	11
3-5 ตัวอย่างและวิธีการที่ใช้ในการสำรวจในโครงการ CHANNEL TUNNEL	12
3-6 แสดง ROTARY DRILLS ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะภายใต้ผิวดิน (COURTESY OF INGERSOLL-RAND COMPANY)	14
3-7 การขุดและการเก็บตัวอย่างดินโดยวิธี TEST PITS	15
3-8 การเจาะและการเก็บตัวอย่างดินโดยวิธี WASH SAMPLE BORING	16
3-9 แสดง BORING-LOG ของดินบริเวณที่ตั้งโครงการสีลมคอมเพล็กซ์	17
3-10 ตัวอย่าง SOIL PROFILE ในกรุง AMSTERDUM	18
3-11 แสดงตัวอย่าง CROSS SECTION ของแนวเส้นทาง(ROUTE) ที่ทำการขุดเจาะ	18
3-12 เวลา STAND-UP ของกล่องทดสอบ	24
3-13 การบวมในดินเหนียวที่สมบูรณ์	27
4-1 แสดงลักษณะของ SHAFT	34
4-2 ลักษณะของ SHAFT	34
4-3 แสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นภายใน SHAFT (ในรูปเป็น SHAFT ในโครงการ CHANNEL TUNNEL)	35
4-4 FIRST SHAFT	36
4-5 แสดงวิธี SINKING METHOD	37
4-6 การก่อสร้าง SHAFT ด้วยวิธี RAISING METHOD	41
5-1 แสดงขั้นตอนในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING	44
5-2 รูปแบบทั่วไปในการขุดเจาะแบบ FULL FACE	46
5-3 ลักษณะการเจาะรู (DRILLINGS) เพื่อทำการระเบิด	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่

หน้าที่

5-4	ลักษณะการเจาะรู (DRILLINGS) เพื่อทำการระเบิด	47
5-5a	แสดงการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING แบบ FULL FACE และ PARTIAL FACE	48
5-5b	แสดงการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING แบบ FULL FACE และ PARTIAL FACE	48
5-6	เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะ	49
5-7	เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะ	50
5-8	รูปแสดงความก้าวหน้าในการขุดเจาะอุโมงค์ในหินตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน	52
5-9	ลักษณะและส่วนประกอบหลัก ๆ ของ TBM	53
5-10	TBM	55
5-11	ลักษณะการเคลื่อนที่ของ TBM	56
5-12	TBM ที่ใช้ในโครงการ CHANNEL TUNNEL	57
5-13	การลำเลียงขนย้ายเศษหิน (MUCKING) จากการขุดเจาะ	59
6-1	การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี CUT AND COVER	68
6-2	การขุดอุโมงค์ด้วยวิธี SHIELD TUNNELING ในดินแข็ง	70
6-3	ระบบการทำงานของ SHIELD TUNNELING METHOD	70
6-4	ระบบการทำงานของ SHIELD TUNNELING METHOD	71
6-5	การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี NATM	73
6-6	ชนิดและระบบของ SHIELD	76
6-7	รายละเอียดของ SHIELD MACHINE	77
6-8	การเจาะอุโมงค์โดยใช้ SHIELD และทางเข้าออก	78
6-9	รายละเอียดในการใช้ SHIELD ก่อสร้างอุโมงค์ LINCOLN ได้แม่น้ำ HUDSON ในเมือง NEW YORK	79
6-10	ส่วนประกอบและการทำงานของ SHIELD	81
6-11	TYPICAL DRUM EXCAVATOR	82
6-12	OSCILLATING ARM EXCAVATOR	82
6-13	RIPPER BUCKET EXCAVATOR	84
6-14	รายละเอียดของ SLURRY SHIELD MACHINE	85

ภาพที่	หน้าที่
6-15 ระบบการทำงานของ SLURRY SHIELD MACHINE	86
6-16 ระบบการขุดเจาะแบบ SLURRY SHIELD ในญี่ปุ่น	87
6-17 EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD	88
6-18 ระบบการทำงานของ EPBS	90
6-19 รายละเอียดและผังแสดงการทำงานของ HYDROSHIELD	92
6-20 ส่วนประกอบของ HYDROSHIELD	94
6-21 การขุดเจาะอุโมงค์แบบ HYDROSHIELD ของเยอรมัน	95
6-22 แสดงส่วน HEAD และ NOZZLE ของระบบ HYDROSHIELD	99
6-23 ผังแสดง SHIELD ชนิดต่าง ๆ	100
6-24 ลักษณะของ OPEN-FACE SHIELD	102
6-25 OPEN-FACE SHIELD	102
6-26 SHIELD หน้าตัดรูปพิเศษ	103
7-1 ผังอุโมงค์ชั่วคราวชนิดโครงเหล็ก (STEEL RIBS)	106
7-2 การติดตั้ง STEEL RIBS	107
7-3a แสดงการยึดต่อของโครงเหล็กที่ใช้ทำผนังอุโมงค์	108
7-3b แสดงการทำผนังอุโมงค์ด้วยวิธี SHOTCRETE	108
7-4 การทำ SHOTCRETE	109
7-5 รูปแบบต่าง ๆ ของวิธี SHOTCRETE	110
7-6 ผนังอุโมงค์สำเร็จรูปแบบชิ้นส่วนประกอบ (SEGMENTAL LINING)	112
7-7a ผนังอุโมงค์มาตรฐานแบบ CONCRETE SEGMENT	114
7-7b ผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ (FROUTED SMOOTH BORE CONCRETE)	114
7-7c ผนังอุโมงค์แบบ EXPANDED CONCRETE	114
7-8 ชิ้นส่วนผนังอุโมงค์สำเร็จรูป	117
7-9 การเคลื่อนย้ายผนังอุโมงค์แบบสำเร็จรูป (SEGMENT HANDLING SYSTEM)	118
7-10 แสดงการติดตั้งผนังอุโมงค์	119
7-11 ตัวอย่างการติดตั้งผนังอุโมงค์ในโครงการ CHANNEL TUNNEL	120
8-1 การสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER	125
8-2 การสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER	126

ภาพที่	หน้าที่
8-3 การก่อสร้างสถานีด้วยหัวเจาะอุโมงค์	127
8-4 รูปการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในญี่ปุ่น	128
8-5 รูปการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในญี่ปุ่น	129
8-6 การก่อสร้างสถานีด้วยวิธี NATM	130
8-7 ตัวอย่างการก่อสร้างสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER	130
10.1 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเจาะอุโมงค์เปรียบเทียบกับ กรณีของ CUT AND COVER	137
10.2 การขุดเจาะอุโมงค์ใกล้โครงสร้างอื่น ๆ	138



บทที่ 1

บทนำ

1) ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทยเจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้ประชาชนมีกำลังซื้อเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณรถยนต์ส่วนตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดตามมา ในขณะที่ถนนที่มีอยู่ไม่เพียงพอและที่จะตัดใหม่ก็ไม่ทันต่อการเพิ่มของจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มจำนวนขึ้น ยิ่งส่งผลให้การจราจรเลวร้ายยิ่งขึ้น การตัดถนนนั้นเหมือนกับ การแก้ปัญหาที่วิ่งตามปัญหา ดังนั้นทุกฝ่ายจึงมองหาระบบการขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ แต่ก่อนปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ระบบหนึ่งที่ถูกฝ่ายมองเห็นว่าจะสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้ดีที่สุด ระบบนั้นก็คือ ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินนี้สามารถตอบปัญหาดังกล่าวได้ทั้งหมดที่ทุกฝ่ายต้องการ

ด้วยเหตุนี้ ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน จึงได้รับความสนใจจากทุกฝ่าย ขณะที่ความรู้เรื่องระบบรถไฟฟ้าใต้ดินนั้น ในเมืองไทยยังไม่มีกรรวบรวมความรู้เรื่องระบบรถไฟฟ้าใต้ดินขึ้นเลย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องรวบรวมความรู้ด้านนี้ขึ้นมาเพื่อให้ผู้สนใจได้ศึกษาหาความรู้ทำความเข้าใจ และเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปได้

ในหนังสือโครงการพิเศษนี้ จึงได้รวบรวมและกล่าวถึง ขั้นตอนและเทคนิคต่าง ๆ ในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน , รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพ ฯ , ปัญหาต่าง ๆ ในการก่อสร้าง รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น การก่อสร้างสถานี , โรงซ่อมบำรุง เป็นต้น

2) วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อรวบรวมขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทั่ว ๆ ไป
2. เพื่อรวบรวมขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
3. ศึกษารายละเอียดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น โรงซ่อมบำรุง , ปัญหาต่าง ๆ ในการก่อสร้าง
4. ศึกษาโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพ ฯ

3) ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ศึกษาจากแหล่งข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งผู้มีประสบการณ์ในงานก่อสร้างอุโมงค์ ตลอดจนเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4) ขอบเขตของโครงการพิเศษ

รวบรวมและศึกษาข้อมูลจากเอกสาร บริษัท องค์กรต่างๆ ในประเทศไทย ที่ศึกษาและมีประสบการณ์ในเรื่องระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งการรวบรวมนี้จะรวบรวมขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โรงซ่อมบำรุง ปัญหาต่างๆ ในการก่อสร้าง รวมทั้งโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพ ฯ เพื่อให้เป็นแนวทางแก่ผู้ที่สนใจได้เข้าใจถึงขั้นตอนและเทคนิคต่างๆ ในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน และเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไป

5) วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

- 1) วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการหาเอกสารตามห้องสมุดต่างๆ เช่น ห้องสมุดAIT หรือ สมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นต้น และขอความอนุเคราะห์เอกสารจาก บริษัท องค์กรที่สนใจและศึกษาระบบรถไฟฟ้าใต้ดินอยู่ เช่น องค์กรรถไฟฟ้ามหานคร การทางพิเศษแห่งประเทศไทย บริษัทธนชาติ (มหาชน) จำกัด บริษัท CHRISTIANI & NIELSEN (THAI) LTD. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเบื้องต้น
- 2) ปรีกษาและขอคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ เช่น จาก Prof. Dr. Felix E.H. Haser และจากอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มากับข้อมูลที่ได้จากกลุ่ม Service System และกลุ่มระบบตัวรถไฟฟ้า รวมกัน

6) ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบว่าขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมีอะไรบ้าง
- 2) ทราบว่าในแต่ละขั้นตอนในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดินมีระบบอะไรบ้าง
- 3) ทำให้ผู้สนใจเข้าใจภาพของขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าใต้ดินได้ดียิ่งขึ้น
- 4) ทราบถึงระบบรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพ ฯ
- 5) เป็นแนวทางที่จะศึกษาค้นคว้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การเลือกเส้นทางในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

แนวเส้นทางของอุโมงค์รถไฟใต้ดิน ขึ้นอยู่กับการคำนึงถึงการจราจรและการวางแผนผังของเมือง สิ่งจำเป็นก็คือต้องคำนึงถึงทำเลที่ตั้งของสถานีและจุดเข้าออกของโครงข่ายถนน รวมทั้งแผนผังของเมือง ด้วยเหตุนี้ การจัดวางเส้นทางตามผังเมืองจะทำให้เกิดเส้นทางที่เป็นแนวโค้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมของอุโมงค์ จะยากลำบากเป็นพิเศษในกรณีของอุโมงค์รถไฟใต้ดินที่ต้องวางไปตามแนวถนน ซึ่งบางครั้งเส้นทางจะโค้งมาก ดังนั้นรถไฟใต้ดินควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ลึกพอที่จะสามารถลดแรงต้านทานทางโค้งลง และทำให้รถไฟแล่นด้วยความเร็วที่ปลอดภัยได้

ตารางเปรียบเทียบข้อมูลด้านความเร็วและรัศมีความโค้งน้อยที่สุดของรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีชื่อเสียงบางแห่ง

เมือง	ความเร็วตามตารางเวลา(กม/ชม)	ความเร็วสูงสุดที่คำนวณได้(กม/ชม)	รัศมีความโค้งน้อยที่สุด Rmin(เมตร)
นิวยอร์ก	29.6	38.8	100
ปารีส	45.5	41.6	75
ลอนดอน	34.8	60.8	241
เบอร์ลิน	24.6	47.2	201
กลาสโกว์	22.4	38.4	201
ซิดนีย์	33.4	81.4	103
ฮัมบูร์ก	29.6	47.0	180
สตอร์คโฮล์ม	30.4	70.5	201

(ที่มา : หนังสือ "The Art of Tunnelling" ข้อมูลอ้างอิงถึงปี ค.ศ. 1954)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 หลักในการพิจารณาเลือกเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน

สำหรับเส้นทางที่กำหนดขึ้นในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน มีแนวทางในการกำหนดเส้นทาง ดังนี้

1. เป็นเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นมากจนเกิดสภาพการจราจรติดขัด
2. เป็นเส้นทางที่ผ่านย่านประชากรหนาแน่นมาก หรือเป็นย่านธุรกิจ สำนักงาน ศูนย์การค้า
3. สามารถขนถ่ายประชากรจากที่อยู่อาศัยบริเวณชานเมืองไปยังตัวเมืองซึ่งเป็นแหล่งการทำงาน ธุรกิจ ย่านการค้า ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ
4. ปลายเส้นทางจะผ่านไปยังย่านที่มีแนวโน้มความเจริญจากการขยายตัวของเมืองในอนาคต
5. สามารถที่จะเชื่อมต่อกับเส้นทางของโครงการอื่นได้อย่างสะดวก
6. ปลายเส้นทางสามารถขยายเส้นทางต่อไปได้ในอนาคต
7. มีความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคการก่อสร้าง ที่เกี่ยวเนื่องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่
8. ไม่เป็นอุปสรรคต่อการรุกคืบเส้นทางที่มีปัญหา โดยหลีกเลี่ยงปัญหาการเวนคืนที่ดินให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
9. เส้นทางที่มีปัจจัยต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกับเส้นทางของโครงการที่เคยทำมาแล้ว
10. เป็นเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย เพื่อสะดวกในการเดินทางในจุดหมายต่าง ๆ ที่จุดตัดของเส้นทางมีมาก

บทที่ 3

การสำรวจตามแนวเส้นทาง

การสำรวจตามแนวเส้นทาง (route) ก่อนที่จะดำเนินการขุดเจาะหรือก่อสร้างอุโมงค์นั้นนับว่าเป็นหัวใจสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามแนวเส้นทางนั้นจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบในการขุดเจาะอุโมงค์รูปแบบต่างๆ ในการก่อสร้าง เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ ตลอดจนการคาดคะเนปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง การสำรวจตามแนว route จะได้ข้อมูลในเรื่องต่อไปนี้

- ลักษณะเส้นทาง, ความสูงต่ำของพื้นที่
- คุณสมบัติของดินหรือหินที่จะทำการขุดเจาะ
- ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการก่อสร้าง
- ข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

3.1 การสำรวจ

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะใช้ในการออกแบบตลอดจนวางแผนในการก่อสร้างและการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น การสำรวจตามแนวเส้นทางที่จะก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การสำรวจก่อนการก่อสร้าง
 - 1.1 การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น
 - 1.2 การสำรวจชั้นดินหรือหิน
2. การสำรวจระหว่างการก่อสร้าง
3. การสำรวจภายหลังการก่อสร้าง

1. การสำรวจก่อนการก่อสร้าง

การสำรวจก่อนการก่อสร้างเป็นการสำรวจเบื้องต้นก่อนที่จะทำการก่อสร้างเป็นการหาข้อมูลเพื่อวางแผนในการก่อสร้าง ต้องพิจารณาสภาพบริเวณใกล้เคียง ระบบสาธารณูปโภคซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการขุดเจาะอุโมงค์ ระดับน้ำใต้ดิน ประวัติของแนวเส้นทางนั้นย้อนหลัง โดยอาจพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกับแผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลดังกล่าวจะทำให้สามารถดำเนินการตรวจสอบและศึกษา ลักษณะภูมิประเทศตามแนวบริเวณที่ Route ผ่าน ซึ่งมีหลักในการพิจารณาดังนี้

- แนว Route ผ่านแนวเส้นเดิม สามารถดำเนินการตรวจสอบทั้งทางแนวราบ,แนวตั้งตลอดจน ลักษณะภูมิประเทศ พร้อมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อวางแผนการสำรวจขั้นต่อไป

- แนว Route เป็นแนวเส้นทางใหม่ ต้องกำหนดแนว Route ลงในแผนที่หรือภาพถ่ายทางอากาศ แล้วทำการศึกษาดูตรวจสอบ Route ที่ได้ทำการเลือกไว้

1.1 การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น

เป็นการศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ ตามแนว Route ที่ได้เลือกไว้ ซึ่งจะใช้แผนที่, ภาพถ่ายทางอากาศ (Air Photos) ข้อมูลการเจาะสำรวจจากบริเวณพื้นที่ข้างเคียง เป็นต้น

ข้อมูลดังกล่าวต้องใช้ร่วมกับข้อมูลที่มีอยู่ก่อนแล้ว เช่น แผนที่บริเวณใกล้เคียงแนวที่ Route ผ่าน, ผังแสดงระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน เป็นต้น

แผนที่เป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นมากสำหรับการวางแผนในการสำรวจ และหาข้อมูลทางธรณีวิทยา เพื่อการวางแผนในการขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งอาจจะหาได้จากแผนที่เดิมที่มีอยู่แล้ว หรือทำแผนที่ขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ในการก่อสร้างโดยเฉพาะ

1.2 การสำรวจชั้นดินหรือหิน

ขั้นตอนนี้นับได้ว่าเป็นหัวใจของการสำรวจ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนนี้จะใช้ในการออกแบบ ผังอุโมงค์ รูปแบบการขุดเจาะ ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ในการก่อสร้าง

การสำรวจชั้นดินหรือหินตามแนว Route ที่ต้องการเจาะจะแบ่งเป็นส่วน ๆ แล้วจึงค่อยทำการสำรวจโดยอาจใช้การตรวจสอบโดยวิธีต่าง ๆ เช่น Test pits, Augering, Seismic เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์ก็คือเพื่อหาคุณสมบัติของดินหรือหิน การวางตัวของชั้นหินหรือดิน ตลอดจนข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบ และวางแผนในการก่อสร้าง

โดยปกติโครงการขนาดกลางและขนาดใหญ่ทั่วๆ ไป ค่าสำรวจชั้นดินหรือหินจะอยู่ราวๆ 0.5-1 % ของราคาก่อสร้างทั้งโครงการ แต่อาจจะมีข้อยกเว้นสำหรับชั้นดินที่มีลักษณะแปรปรวนมาก ๆ หรือ สำหรับการสำรวจเพื่อวัตถุประสงค์ในการค้นคว้าและวิเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วการสำรวจชั้นดินหรือหินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือการสำรวจพื้นผิวดิน (Surface Surveys) และการสำรวจใต้ผิวดิน (Subsurface Surveys)

1.2.1 การสำรวจพื้นผิวดิน (Surface Surveys) เป็นการศึกษาจากแผนที่ภูมิประเทศ, แผนที่ทางธรณีวิทยา และจากข้อมูลที่ได้จากบริเวณใกล้เคียง รูปถ่ายทางอากาศ นอกจากนี้ยังอาจใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์เพื่อใช้ในการสำรวจพื้นผิวตามแนว Route ที่จะขุดเจาะอุโมงค์ เช่น วิธี Seismic, Radar เป็นต้น การสำรวจขั้นนี้ ถือว่าเป็นเพียงการสำรวจและตรวจสอบขั้นต้นหากต้องการทราบรายละเอียดและคุณสมบัติของดินเพิ่มเติม ต้องทำการสำรวจใต้ดินต่อไป

1.2.2 การสำรวจใต้ผิวดิน (Subsurface Surveys) เป็นการศึกษาเพื่อหาขอบเขตและธรรมชาติของชั้นดินชั้นหินที่อยู่ลึกต่ำกว่าระดับผิวดิน เพื่อหาระดับน้ำใต้ดิน และเพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของชั้นดินและชั้นหิน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการพิจารณาออกแบบผนังอุโมงค์ และวิธีดำเนินงานที่เหมาะสม การสำรวจใต้ผิวดินแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

- การเจาะสำรวจขั้นต้น (Preliminary exploration)
- การเจาะสำรวจเพื่อหารายละเอียด (Detailed exploration)

การเจาะสำรวจขั้นต้นเพื่อต้องการทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินต่าง ๆ (Soil Profile) ระดับน้ำใต้ดิน และกำลังของดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอย่างคร่าว ๆ ก่อน จำนวนและระยะห่างของหลุมที่เจาะขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ

การเจาะเพื่อหารายละเอียดเป็นการสำรวจต่อจากการเจาะสำรวจขั้นต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการเจาะสำรวจในขั้นนี้จะทำการขุดเจาะและเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำในมวลดิน การยุบอัดตัวของดิน ดัชนีต่างๆ และความชื้นได้ของดิน ตลอดจนคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบผนังและวิธีการก่อสร้างอุโมงค์

การเจาะสำรวจดินจะให้รายละเอียดได้เฉพาะในแนวตั้ง ณ บริเวณหลุมเจาะเท่านั้นดังนั้นควรวางแผนการสำรวจในแนวราบด้วยเพื่อหารายละเอียดของดินบริเวณที่ต่อเนื่องกันด้วย

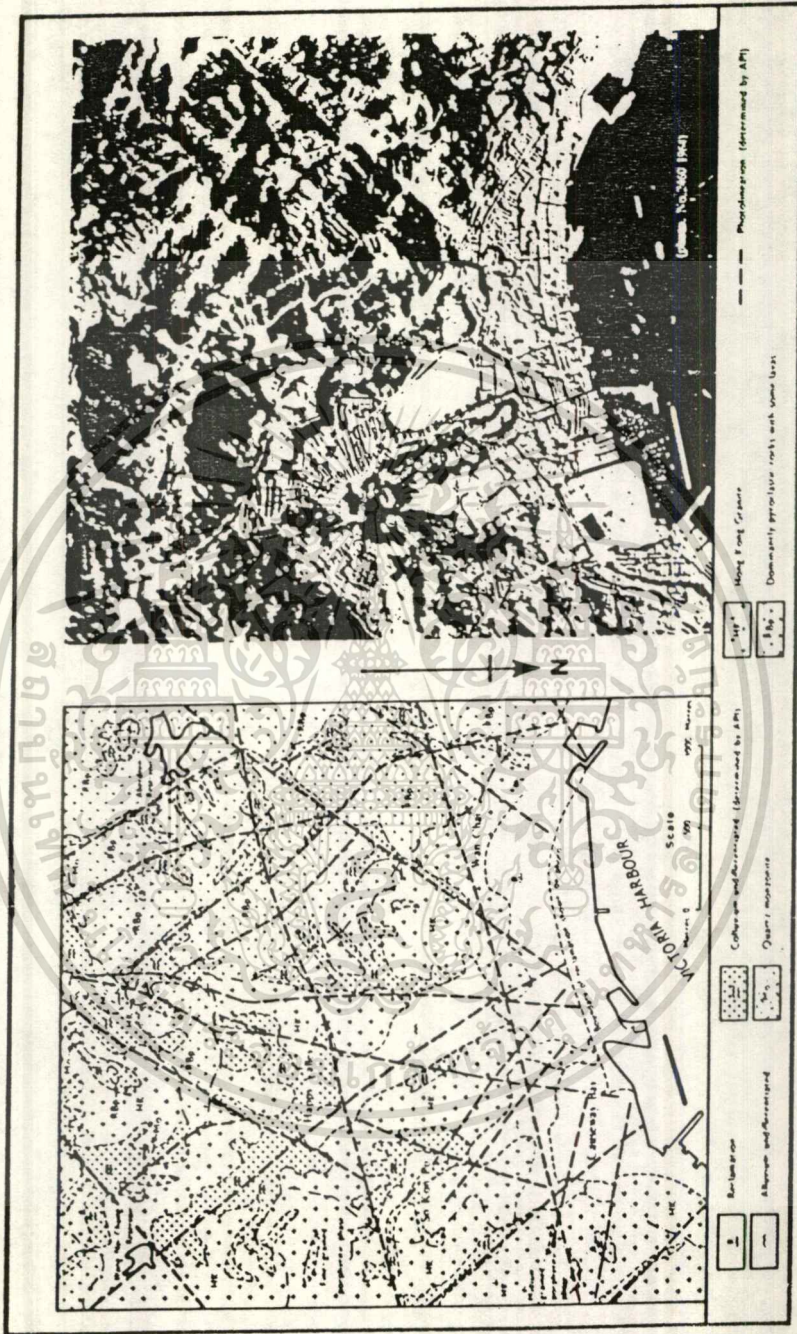
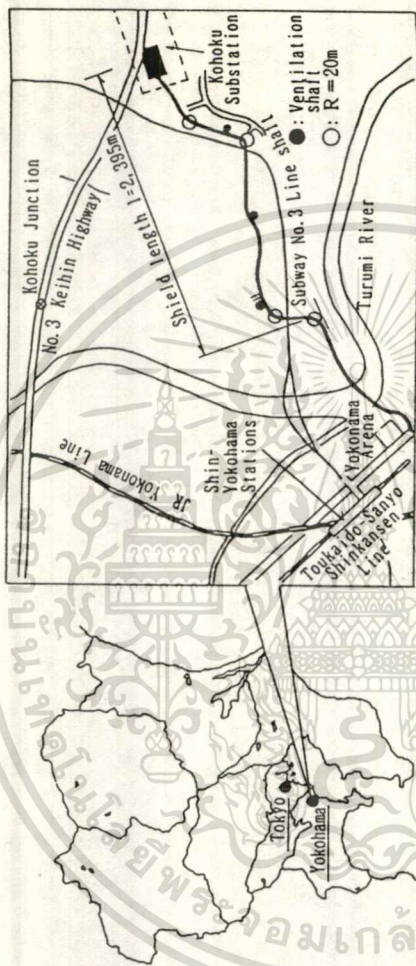


Figure 6.1 Air photo mapping of lineations and zones of rock, soil, and fill; Victoria Harbour, Hong Kong. (Geotechnical Control Office, 1984.)

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่บริเวณ

VICTORIA HARBOUR, HONGKONG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-2 แสดงตัวอย่างแผนที่ตั้งแนว ROUTE ของรถไฟฟ้าใต้ดิน

Geophysical methods (after Dunning, 1970 and Griffiths *et al.*, 1969.) Magnetic, Gravity and Radiometric Surveys measure natural forces and are susceptible to such features as buried pipelines, old mine shafts, industrial waste and the like. In built-up areas these can severely interfere with a survey. (See also British Standard BS 5930: 1981.)

Method	Field Operations	Quantities Measured	Computed Results	Applications
Seismic	Reflection and refraction surveys using. <i>on land</i> , several trucks with seismic energy sources, detectors, and recording equipment; <i>at sea</i> , one or two ships. Data-processing equipment in central office. Two-man refraction team using a sledgehammer energy source.	Time for seismic waves to return to surface after reflection or refraction by sub-surface formations.	Depths to reflecting or refracting formations, speed of seismic waves, seismic contour maps.	Exploration for oil and gas, regional geological studies. Superficial deposit surveys, site investigation for engineering projects, boundaries, material types and elastic moduli.
Electrical and Electromagnetic	Ground self-potential and resistivity surveys, ground and airborne electro-magnetic surveys, induced polarization surveys.	Natural potentials, potential drop between electrodes, induced electromagnetic fields.	Anomaly maps and profiles, position of ore-bodies, depths to rock layers.	Exploration for minerals; site investigations.
Radar	Ground survey 2-man, Portable micro-wave source.	Induced reflections from surfaces in ground.	Depths to reflecting surfaces.	Shallow engineering projects: frozen ground at depth.
Gravity	<i>Land surveys</i> using gravity meters; <i>marine surveys</i> gravity or submersible meters.	Variations in strength of Earth's gravity field.	Bouguer anomaly and residual gravity maps; depths to rocks of contrasting density.	Reconnaissance for oil and gas; detailed geological studies.
Magnetic	Airborne and marine magnetic surveys, using magnetometers. Ground magnetic surveys.	Variations in strength of Earth's magnetic field.	Aero- or marine magnetic maps or profiles; depth to magnetic minerals.	Reconnaissance for oil and gas, search for mineral deposits; geological studies at sites.
Radiometric	Ground and air surveys using scintillation counters and gamma-ray spectrometers; geiger counter ground surveys.	Natural radioactivity levels in rocks and minerals; induced radioactivity.	Iso-rad maps, radiometric anomalies, location of mineral deposits.	Exploration for metals used in atomic energy plant.
Bore-hole Logging	Seismic, gravity, magnetic, electrical and radiometric measurements using special equipment lowered into bore-hole.	Speed of seismic waves, vertical variations in gravity and magnetic fields; apparent resistivities, self-potentials.	Continuous velocity logs; resistivity & thickness of beds; density; gas and oil, and K, Th, U content. Salinity of water.	Discovery of oil, gas, and water supplies; regional geological studies by bore-hole correlation. Applicable to site investigations

รูปที่ 3-3 วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการสำรวจชั้นดินหรือชั้นหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A winding route

At their closest points, the coasts of Britain and France are about 34 kilometres apart. The Tunnel, to follow the best route through the sea bed, will be 38 kilometres from coast to coast. On land there will be a total additional 12 kilometres of tunnelling.

The route from above

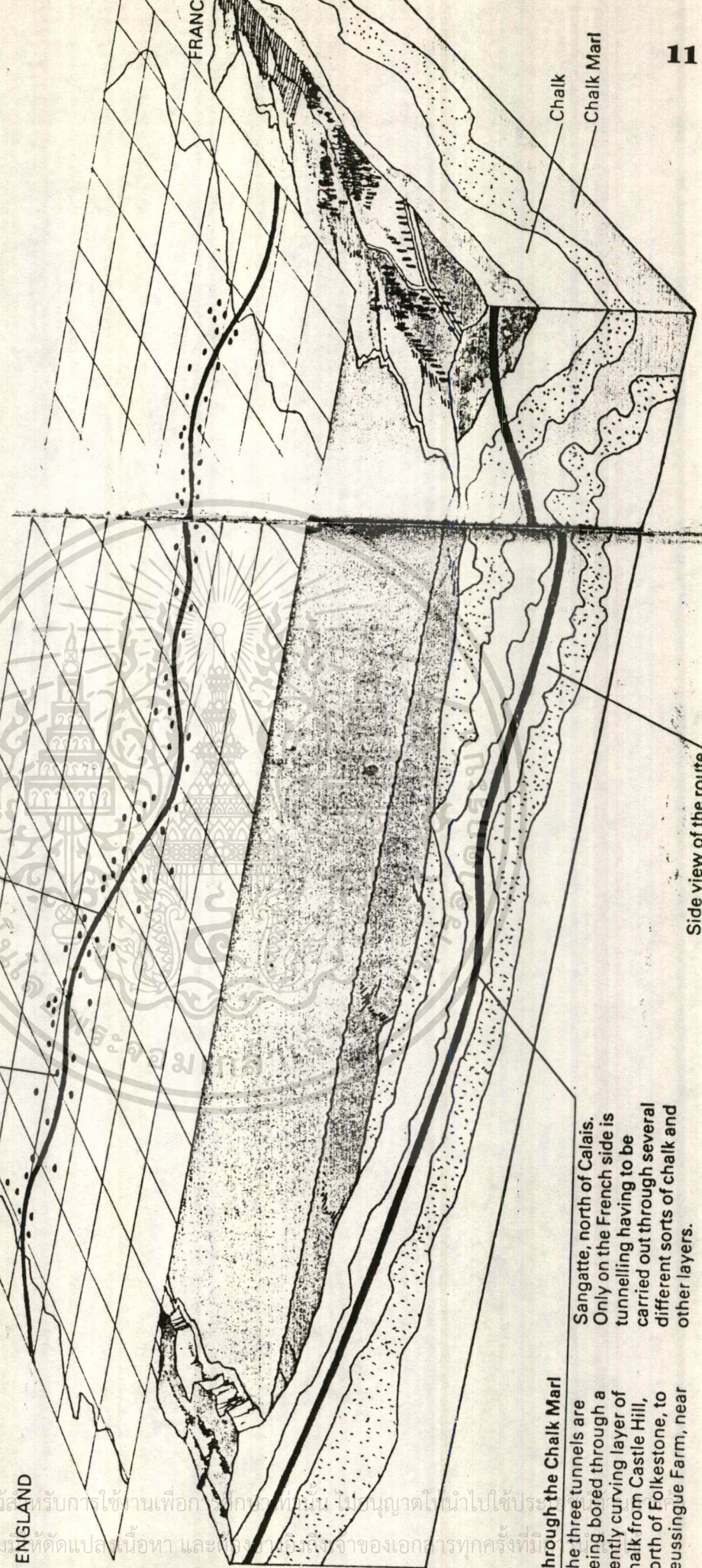
Bore holes

ENGLAND

FRANCE

รูปที่ 8-4 แสดงแนวเส้นทาง(ROUTE)

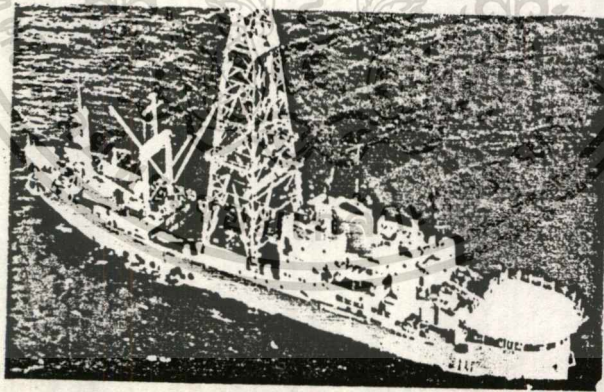
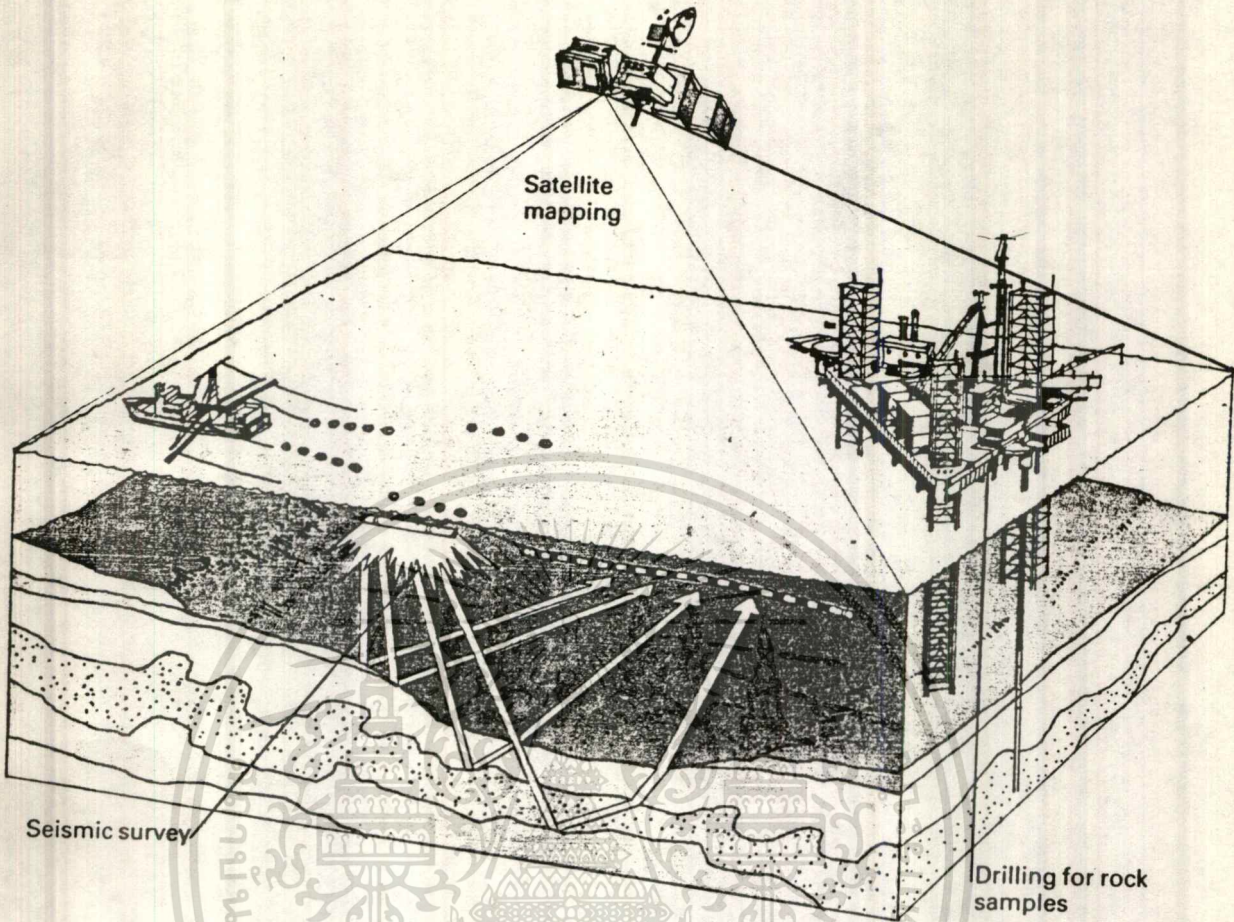
ในการเจาะอุโมงค์ CHANNEL TUNNEL



Side view of the route

Through the Chalk Marl
The three tunnels are being bored through a gently curving layer of chalk from Castle Hill, north of Folkestone, to Beussingue Farm, near

Sangatte, north of Calais. Only on the French side is tunnelling having to be carried out through several different sorts of chalk and other layers.



A drilling ship boring for samples.

รูปที่ 8-5 ตัวอย่างวิธีการที่ใช้ในการสำรวจ
ในโครงการ CHANNEL TUNNEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

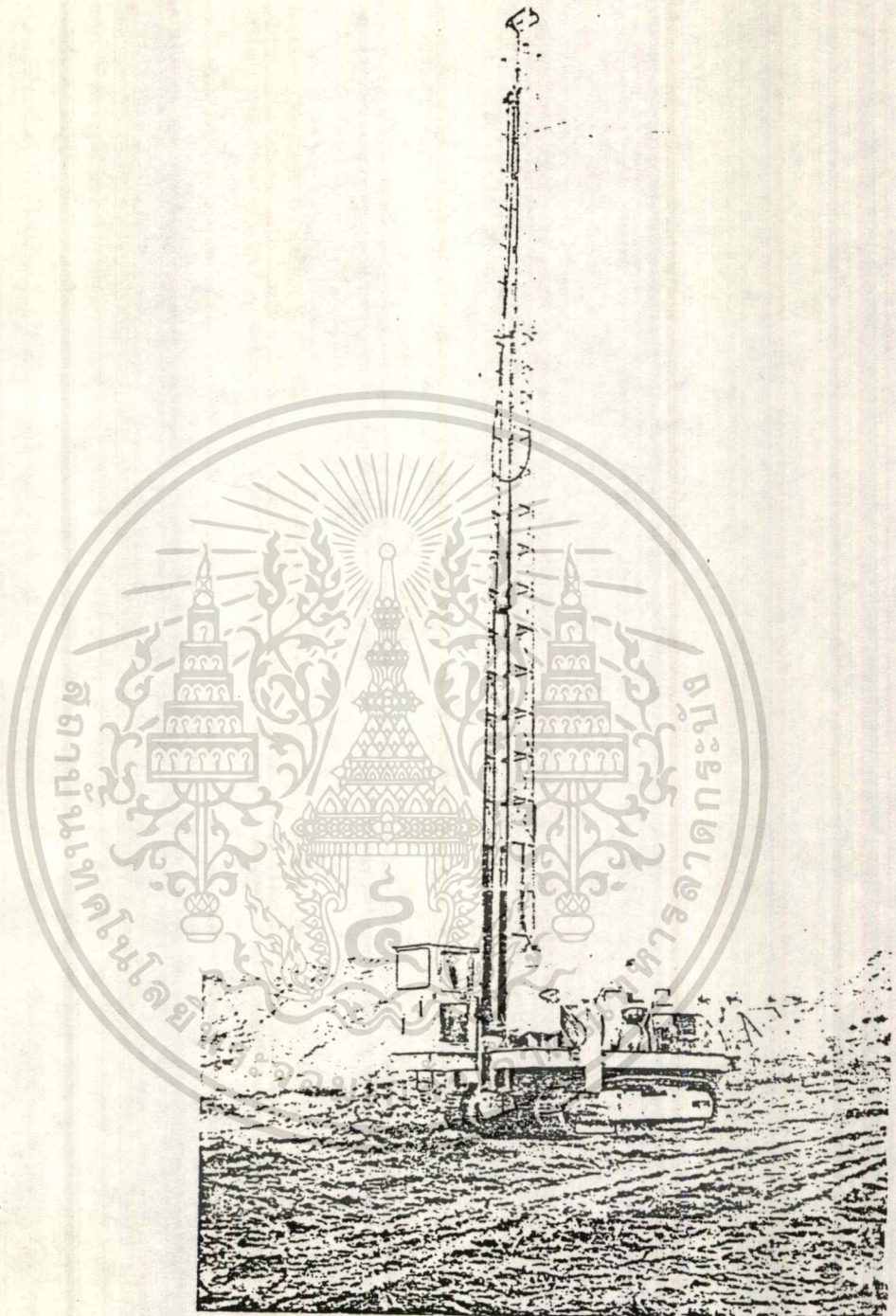
วิธีเจาะและเก็บตัวอย่างดิน (Soil Sampling)

เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้ดินซึ่งจะทำให้ดินมีกำลังและคุณสมบัติแตกต่างกันไป การเจาะดินเพื่อเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์และทดสอบต้องกระทำด้วยความระมัดระวังโดยที่จะต้องให้เกิดความกระเทือนต่อดินที่จะนำมาทดสอบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะว่าดินมีความไวตัวมาก เมื่อเกิดแรงกระเทือนก็จะทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไปได้ ค่าที่วิเคราะห์หรือทดลองได้ก็จะผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้นการเจาะและเก็บตัวอย่างดินจึงต้องมีวิธีการที่เหมาะสมกับงาน ซึ่งมีวิธีการต่าง ๆ กัน ดังนี้

1. โดยการขุดและเก็บตัวอย่างดินจากบ่อทดสอบ (Test Pits) ตัวอย่างดินที่เก็บได้เรียกว่า Pits sample วิธีนี้ทำได้เฉพาะที่ตื้น ๆ ลึกไม่เกิน 6 เมตร หรือเมื่อดินที่ต้องการอยู่ไม่ลึกนัก เพราะถ้าลึกเกินกว่านี้จะได้ไม่สะดวกเพราะต้องทำค้ำยันกันดินพัง และมีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดิน ค่าใช้จ่ายก็จะสูง การเก็บตัวอย่าง ทำโดยขุดดินให้เป็นบ่อรอบบริเวณดินที่ต้องการจะเก็บจากบ่อแล้วแต่งก้อนดินให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 20 ถึง 30 ซม. เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นแล้วนำส่งไปยังห้องทดสอบที่อยู่ใกล้บริเวณที่ก่อสร้างโดยต้องระมัดระวังให้ดินได้รับความกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

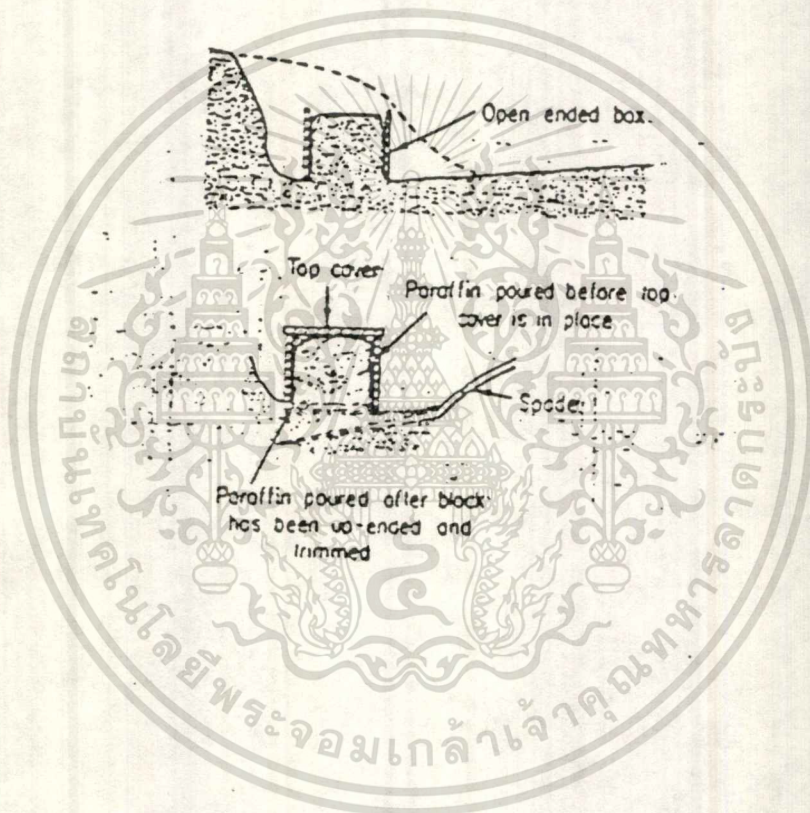
2. โดยใช้สว่านมือ (Hand Auger) เจาะและเก็บตัวอย่างดิน เหมาะสมกับดินอ่อนหรือดินที่มีความเหนียวแน่นมาก วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้วและสะดวกสำหรับการขุดเจาะด้วยแรงคนหรือเครื่องมือที่มีความลึกไม่มากนัก (ประมาณ 4-6 เมตร) เพื่อสำรวจและจำแนกประเภทของดินเท่านั้น เพราะดินตัวอย่างที่ได้จะถูกรบกวนทำให้การทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ผิดไป ในกรณีที่ต้องเจาะดินลึกกว่านี้จะต้องระวังไม่ให้ดินรอบหลุมเจาะพังโดยตอกปลอกหรือท่อเหล็กลงไป

3. โดยการเจาะฉีดล้างหาตัวอย่าง (Wash Sample Boring) วิธีการคือทำการตอกปลอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 2.5 นิ้ว ยาวท่อนละ 1.5 เมตรลงไปก่อนเพื่อป้องกันดินพัง ดินภายในปลอกเหล็กนี้จะถูกกระแทกและตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยหัวเจาะ (Auger Bit หรือ Chopping Bit) ที่ปลายของก้านเจาะ (Drill Rod) ซึ่งมีรูภายในขนาด 1 นิ้ว เมื่อทำการเจาะถึงระยะที่ต้องการแล้วใช้น้ำฉีดดันลงไปตามก้านเจาะ น้ำที่ฉีดไหลออกตรงปลายหัวเจาะจะละลายดินให้เป็นโคลนแล้วย้อนกลับขึ้นมาข้างบนทางช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับปลอกเหล็ก น้ำโคลนที่ไหลย้อนขึ้นมาจะไหลลงสู่ถัง ซึ่งน้ำโคลนที่ได้นี้จะตกตะกอนในถังที่ได้เตรียมไว้

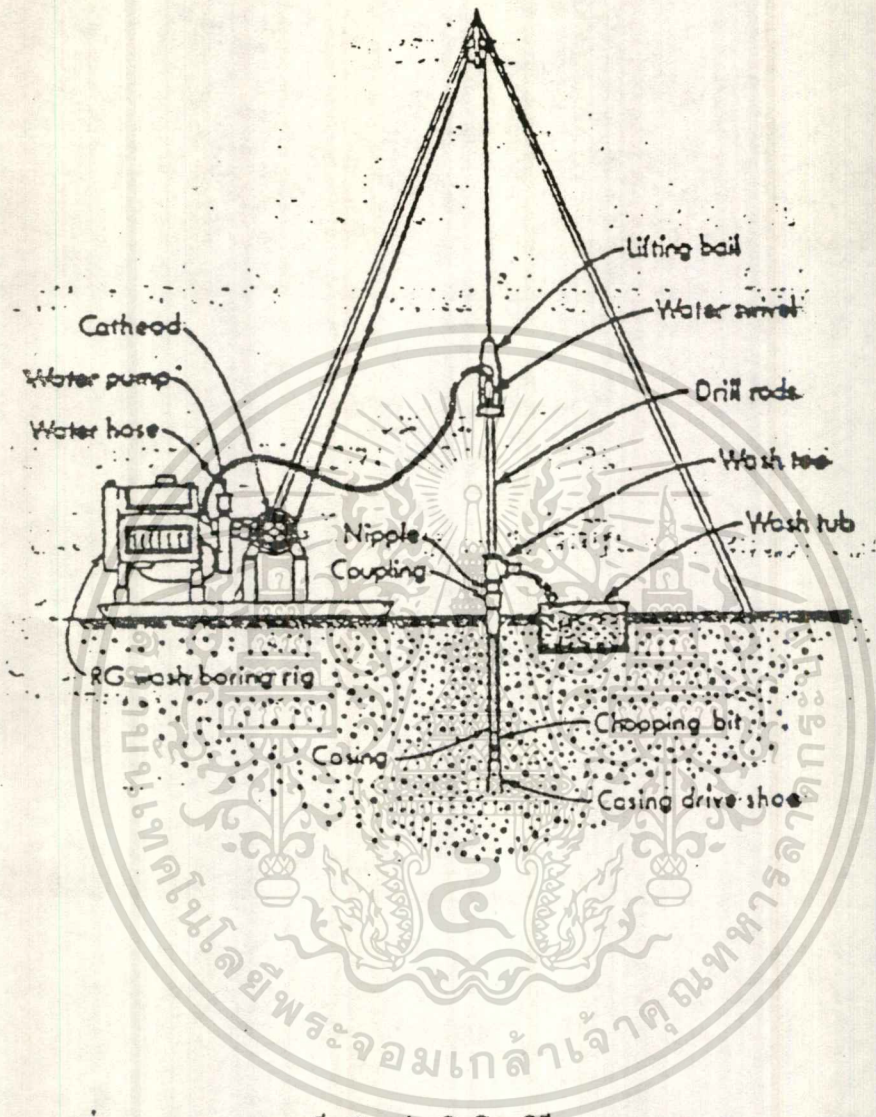


รูปที่ 3-6 แสดง ROTARY DRILLS ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะ
 ภายใต้วินาที(COURTESY OF INGERSOLL-RAND COMPANY)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 การขุดและเก็บตัวอย่างดินโดยวิธี TEST PITS



รูปที่ 8-8 การเจาะและเก็บตัวอย่างดิน โดยวิธี WASH SAMPLE BORING

LOG OF BORING No. BH-1

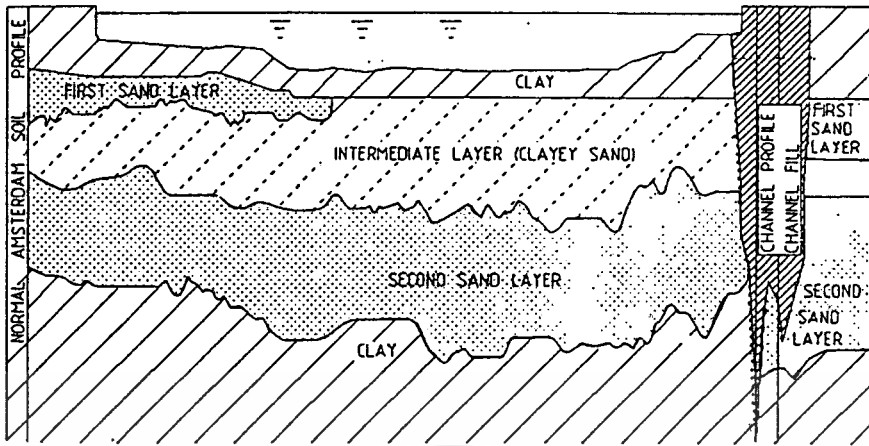
PROJECT NAME. SILOM COMPLEX	LOCATION. SILOM ROAD, BANGKOK
OWNER	

DEPTH, M ELEVATION, M	SAMPLE No	TYPE OF SAMPLE SAMPLE TEST RECOVERY	DESCRIPTION OF MATERIAL	Natural Water Content x Plastic Limit Δ Liquid Limit (%)					Qu/2 Qv Qp/2 (t/m ²)				SPT, N (Blow/m)				
				20	40	60	80	100	2.5	5	25	50	20	40	60	80	
			Fine to coarse sandy CLAY with broken concrete. li-grey. 1.5 m														
1	ST	III	Silty CLAY trace fine sand, li-grey & brown, medium stiff. (CH) 2.5 m	1.3						1.3							4.13
2	ST	III															
3	ST	III	CLAY with shell fragment and fine sand seam, dark grey, soft to medium stiff. (CH)														
4	ST	III															
5	ST	III															
6	ST	III															
7	ST	III															
8	ST	III															
9	ST	III	Silty CLAY trace fine sand, li-greyish li-brown, stiff to very stiff. (CH)														
10	SS	IV															
11	SS	IV															
12	SS	IV															
13	SS	IV															
14	SS	IV	Clayey fine to coarse SAND trace to some gravel, brown, dense. (SC) 21.0 m														
15	SS	IV	Silty CLAY trace to some fine sand, whitish li-grey, hard. (CH) 22.8 m														
16	SS	IV	Clayey fine SAND, brown & li-grey, dense. (SC) 24.0 m														
			Silty CLAY with fine sand seam and pocket, brown, hard. (CL) 25.0 m?														

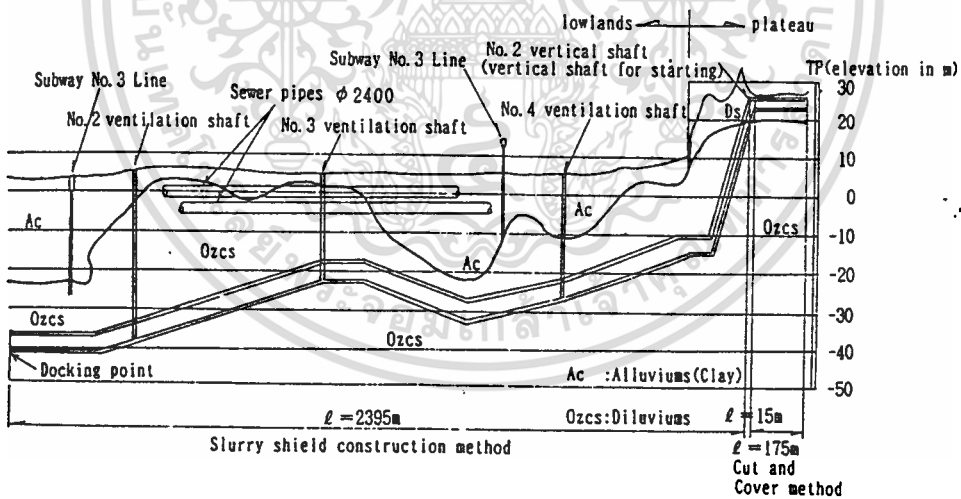
WATER LEVEL OBSERVATIONS	
W.L.	W.S. OR W.D.
W.L.	B.C.R. A.C.R.
W.L.	-1.2 m 24 HRS. AFTER BORING.

STS.
Engineering Consultants Co., Ltd.
BANGKOK.

BORING STARTED. 21/9/88	
BORING COMPLETED. 2/10/88	
RIG. JOY	FOREMAN. AR
DRAWN. CCJ	APPROVED. CK
JOB No. 1761	SHEET. 1/4



รูปที่ 8-10 ตัวอย่าง SOIL PROFILE ในกรุง AMSTERDAM



รูปที่ 8-11 แสดงตัวอย่าง CROSS SECTION ของแนวเส้นทาง (ROUTE) ที่จะทำการขุดเจาะอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเจาะหาตัวอย่างแห้ง (Dry Sample Boring) วิธีนี้คล้ายกับวิธีการเจาะฉีดล้างหาตัวอย่างคือ ใช้สว่านเจาะคว้านดินออกก่อน เมื่อถึงระดับที่ต้องการจะเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกรับดิน (Sampling Spoon) ตีที่ปลายก้านเจาะแล้วกดกระบอกรับดินลงในดิน หมุนให้ดินขาดแล้วดึงก้านเจาะขึ้น วิธีนี้ใช้กันมากเพราะได้ตัวอย่างดินที่แน่นอนไม่เปลี่ยนจากสภาพเดิม (Undisturbed Sample)

5. การเจาะด้วยใบสว่านหมุนด้วยเครื่องยนต์ (Power Auger) ใบสว่านเกลียว (Flight Auger) จะถูกหมุนลงไปในชั้นดินพร้อมกับการกดด้วยระบบไฮดรอลิก ส่วนเศษดินจะถูกดึงขึ้นมาล้างข้างบน ใบสว่านจะมีหลายขนาดตั้งแต่ 0.5-2.0 เมตร การเจาะแบบนี้จะใช้ไม่ได้กับดินทราย

ส่วนวิธีการต่างๆที่ใช้ในการขุดเจาะและเก็บตัวอย่างในหินก็มีหลักการคล้ายคลึงกันเพียงแต่เครื่องมือในการเจาะจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องมาจากความแข็งของหินนั่นเอง

ภายหลังการเก็บตัวอย่างดินหรือหินแล้วต่อไปคือการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินหรือหินนั้นเพื่อใช้ในการออกแบบผนังอุโมงค์ ตลอดจนวางแผนในการก่อสร้างและเลือกรูปแบบในการขุดเจาะอุโมงค์เช่นปริมาณน้ำใต้ดิน, ประเภทของดิน, การทรุดตัวของดิน เป็นต้น

2. การสำรวจระหว่างการก่อสร้าง

นอกจากจะมีการสำรวจข้อมูลก่อนทำการก่อสร้างแล้ว ในระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์อาจต้องมีการสำรวจหาข้อมูลเกี่ยวกับสภาพดินเพิ่มเติมเพื่อที่การขุดเจาะสามารถดำเนินไปได้โดยไม่มีปัญหา และเมื่อมีการขุดเจาะสภาพและพฤติกรรมของดินเมื่อมีการเจาะผ่านอาจให้เกิดปัญหาในระหว่างการขุดเจาะได้ จึงต้องมีการสำรวจเพิ่มเติม เพื่อการวางแผนการแก้ไขปัญหานั้นที่อาจจะเกิดขึ้น และเพื่อความปลอดภัยในระหว่างการก่อสร้าง

การสำรวจในระหว่างการก่อสร้างอาจใช้วิธีการทำอุโมงค์ที่ใช้เจาะนำร่อง (Pilot Tunnel) หรือใช้วิธีการขุดเจาะทั่วไป แล้วแต่ความเหมาะสม และความละเอียดในงาน

- PilotTunnels เป็นอุโมงค์เจาะนำก่อนที่จะทำการขุดเจาะอุโมงค์หลัก ซึ่งโครงการใหญ่ ๆ หลายโครงการจะใช้วิธีนี้ เช่น โครงการ Channel Tunnel ซึ่งเป็นอุโมงค์ลอดใต้ช่องแคบ ระหว่างอังกฤษกับฝรั่งเศส เป็นต้น

การใช้ PilotTunnel มีข้อดีหลายอย่างกว่าการใช้วิธี Drillholes เพียงอย่างเดียวคือจะให้รายละเอียดของชั้นใต้ดินหรือหินที่ทำการเจาะอุโมงค์ได้ละเอียดกว่านอกจากนี้ยังสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับระดับน้ำใต้ดิน, ปริมาณน้ำใต้ดิน ลักษณะเสถียรภาพของดิน ในระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์ได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ Pilot Tunnel มีข้อดีหลายอย่างกว่าการใช้วิธี Drillholes เพียงอย่างเดียวคือจะให้รายละเอียดของชั้นใต้ดินหรือหินที่ทำการเจาะอุโมงค์ได้ละเอียดกว่านอกจากนี้ยังสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับระดับน้ำใต้ดิน, ปริมาณน้ำใต้ดิน, ลักษณะเสถียรภาพของดิน ในระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์ได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ Pilot Tunnel ยังช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน ก่อนจะทำการขุดเจาะอุโมงค์หลัก และระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์หลักด้วย เช่น การปรับปรุงคุณภาพดินหรือหินด้วยวิธี Grouting, Drainage เป็นต้น ทำให้ความเสี่ยงหรือปัญหาในการขุดเจาะอุโมงค์ลดน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย

- Drillholes เป็นการขุดเจาะหารายละเอียด เช่นเดียวกับการขุดเจาะก่อนที่การก่อสร้างจะเริ่มขึ้น โดยทำเพื่อเก็บรายละเอียดหรือข้อมูลต่าง ๆ เพิ่มเติม เพื่อช่วยแก้ปัญหาในระหว่างการก่อสร้าง

3. การสำรวจภายหลังการก่อสร้าง

เป็นการสำรวจระหว่างการใช้งานของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเพื่อพิจารณาว่าเป็นไปตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ หรือมีจุดบกพร่อง ก็ต้องมีการสำรวจเพื่อการแก้ไข

3.2 การจัดแบ่งประเภทของดินในการขุดเจาะอุโมงค์

การจัดประเภทของดินในงานขุดเจาะอุโมงค์จะใช้การแบ่งโดยพิจารณาจากพฤติกรรมของดินในระหว่างการขุด ซึ่งดินจะถูกจัดแบ่งออกเป็น firm, ravelling, flowing, squeezing, และ swelling การแบ่งประเภทของดินนี้สามารถช่วยประเมินความยากง่ายของดินที่ต้องการจะขุดได้ และจะช่วยบอกถึงอุปสรรคต่างๆที่จะต้องพบในการขุด แต่เราไม่สามารถระบุความยากง่ายของดินที่ต้องการจะขุดได้ล่วงหน้าก่อนที่จะทำการขุดดินนั้น เว้นเสียแต่เราได้เคยมีประสบการณ์ในการขุดดินลักษณะเดียวกันนั้นมาแล้ว เพราะว่าการจัดประเภทดินของ Terzaghi นี้ไม่ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดินเลย แต่จะขึ้นอยู่กับวิธีการในการก่อสร้างอุโมงค์ตัวอย่างเช่นทรายที่มีพฤติกรรมแบบ flowing จะสามารถทำให้เปลี่ยนพฤติกรรมเป็นแบบ running หรือ ravelling ก็ได้ โดยวิธีการ pre-drainage หรือ วิธีการอัดอากาศ (air compressed) ดังนั้นการจัดแบ่งประเภทของดินของ Terzaghi จึงไม่สามารถช่วยในการออกแบบผนังอุโมงค์ได้

ในปี 1970 Brandt ได้พยายามคิดแปลงการจัดประเภทดินสำหรับการขุดอุโมงค์ของ Terzaghi ให้เข้ากับระบบการจัดประเภทดินแบบ Unified Soil Classification แต่อย่างไรก็ตามมีดินบางกรณีที่ไม่สามารถจัดประเภทตามนี้ได้

ในปี 1969 Deere et ได้พยายามทำการจัดประเภทดินในทำนองเดียวกัน ซึ่งมีการพิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดิน และตัวแปรตามธรรมชาติต่าง ๆ ของดินด้วย

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการจัดประเภทของดินใน site สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งหนึ่งในปัญหาหลัก ๆ ในการออกแบบผนังอุโมงค์คือ การหาข้อมูลเกี่ยวกับสภาพดินอย่างถูกต้องตามพฤติกรรมของดินในการขุดเจาะอุโมงค์ ดินจะถูกแบ่งออกเป็น 6 ชนิดดังนี้

1. Firm
2. Ravelling
3. Running
4. Flowing
5. Squeezing
6. Swelling

ในคืน Firm อุโมงค์จะถูกสร้างโดยไม่นำเอาการเคลื่อนที่ของคืนชนิดต่าง ๆ มาคิด

ในคืน Ravelling จะมีก้อนคืนเริ่มตกลงมาจากผิวคืน ในบางจุดระหว่างช่วงเวลาการเคลื่อนที่ของคืน

ในคืน Rummig การเคลื่อนที่ของคืนอาจจะมีมุมถึง 34 องศา เพราะการกระทำโดยการเคลื่อนที่ของ Rummig และการเคลื่อนที่นี้จะไม่หยุดจนกว่ามุมเคลื่อนที่ของคืนจะเท่ากับ 34 องศา ถ้าคืน Rummig มีแรงยึดเกาะก็จะมี การเคลื่อนที่เพียงช่วงสั้นๆ

ในคืน Flowing คืนมีสภาพคล้ายของเหลวหนาและแตกต่างจากคืน Rummig โดยคืนจะไหลเข้ามาในอุโมงค์ได้โดยรอบและจะไม่หยุดไหลจนกว่าคืนจะเต็มอุโมงค์

ในคืน Squeezing คืนจะเข้ามาในอุโมงค์อย่างช้า ๆ โดยปราศจากรอยแยก และคืนที่หายไปที่ เป็นสาเหตุของการสั้น

ในคืน Swelling จะเข้าไปในส่วนของอุโมงค์อย่างช้าๆ เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรของคืน

ชนิดและสาเหตุของ Ravelling

คืน Ravelling ที่มีมากคือ คืนร่วน, ทรายเป็ยก, ทรายและคืนผสมกันและมีทรายละเอียดหรือคืนเหนียวปน

ทรายเป็ยกมีแรงยึดเกาะบนผิวหน้าเป็นแผ่นบางๆของน้ำรอบๆจุดที่ติดกัน แรงยึดเหนี่ยวจะสิ้นสุดทันทีที่มีเคาทรายถูกดึงแยกออกจากกัน ในกรณีที่กระบวนการ Ravelling จะเกิดเหมือนวัสดุไม่มีแรงยึดเกาะในสภาพเดียวกับทรายและทรายปนคืนผสม ทรายละเอียด คืนเหล่านี้เรียกว่าคืน

Cohesive-running ซึ่งอยู่ระหว่าง Rummig และ Ravelling

ในทรายและทรายปนคืนจะมีแรงยึดเกาะจากกำลังของคืนระหว่างที่อุโมงค์กำลังขุด และ Stress รอบ ๆ คืนมีน้อย คืนเหนียวสามารถรับความชื้นได้ง่าย แต่จะทำให้กำลังของคืนลดลงและถ้าคืนมีรอยแตกก็จะเริ่มการ Ravel ในช่วงเวลาสั้น ๆ หลังจากการขุดเพราะรอยแตกที่มีอยู่

เวลา Stand-up ของคืน Ravelling

คืน Ravelling เป็นคืนที่มีการไหลภายในเวลาไม่กี่วันหรือไม่กี่ชั่วโมงหลังจากการขุด เวลา Stand up ของคืน จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของคืนเพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นกับความกว้างของผนังคืนด้วย เช่น ทรายละเอียดมีแรงยึดเกาะน้อย

กล่องทดสอบ ใช้ในการตรวจสอบหน่วยเวลา Stand-up ของดินที่กำลังขุดอุโมงค์อยู่ กล่องที่ใช้ทดสอบมีขนาด 1 ลูกบาศก์ฟุตจะถูกขุดเข้าไปในผนังที่จะทดสอบ โดยอยู่ในระดับโดยประมาณของอุโมงค์ที่จะขุดต่อไปเวลาที่ใช้ในการขุดจนกระทั่งดินด้านบนของอุโมงค์เริ่มตกลงมา เราเรียกว่าหน่วยเวลา stand-up , Rs

ดิน Running

ดิน Running คือดิน Ravelling ที่มีหน่วยเวลา Stand-up (Rs) เท่ากับศูนย์ทันทีที่ค้ำยันที่มีความชันมากกว่า 34 องศา เมื่อดิน Running ถูกเอาออก ดินก็จะเริ่มวิ่งและจะไม่หยุดจนกว่ามุมความชันของกองดินจะเท่ากับ 34 องศา

ความสามารถในการวิ่งขึ้นกับ coarse-sand และ gravel ที่วางเหนือระดับน้ำ ทรายชั้นละเอียดที่วางเหนือระดับน้ำจะมีคุณสมบัติของดิน Running ที่มีแรงยึดเกาะ และภายใต้ระดับน้ำ ดิน Running จะถูกสมมุติเป็น ดิน flowing เว้นแต่การไหลของน้ำเข้าในอุโมงค์จะถูกกันโดย แรงอัดอากาศไว้

ข้อแตกต่างระหว่างดิน Running และดิน Flowing

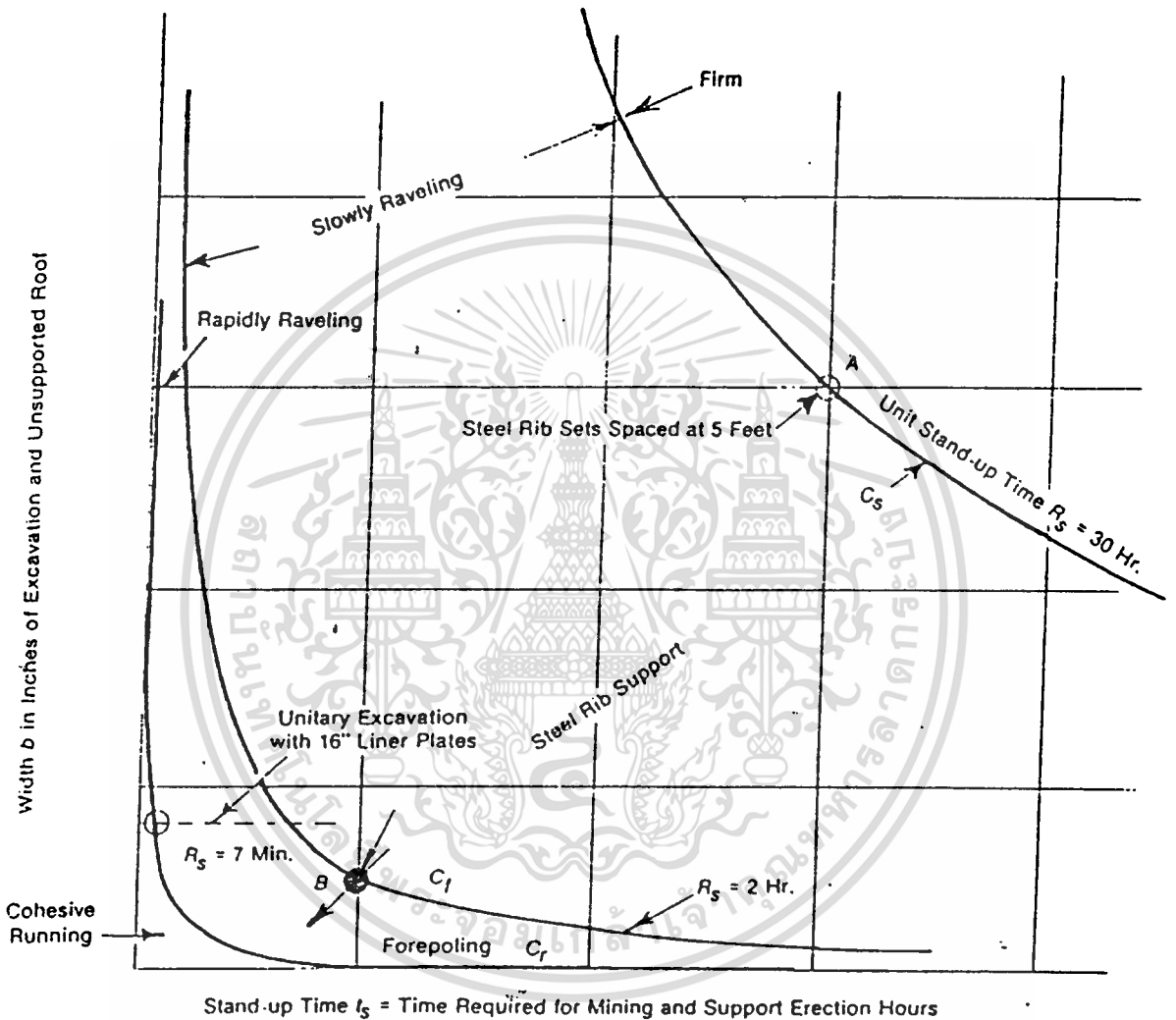
ดินที่ไม่มีแรงยึดเกาะเช่น ทรายสะอาด จะถูกพบในกรณีที่เป็น Running หรือ Flowing ถ้าอุโมงค์อยู่เหนือระดับน้ำได้ดิน ดินจะวิ่งหรือไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งท้ายสุดกำลังรับแรงกดของดิน Running จะสามารถใส่ค้ำยันหลังคาโดยวางค้ำยันบนฐานรากได้แต่ดิน Running ไม่สามารถวางได้ เพราะดินจะไหลออกจากใต้ฐานรากและเข้าไปในอุโมงค์ทำให้ฐานรากยุบลงในดิน

ดิน Flowing

ดินรอบ ๆ อุโมงค์จะไม่ถูกจัดเป็นดิน Flowing ยกเว้นเมื่อมีน้ำเข้ามาในอุโมงค์ ทำให้กรณีการ Flowing จะพบได้เพียงในอุโมงค์ที่มีการอัดอากาศภายใต้ระดับน้ำ เมื่อแรงอัดอากาศไม่เพียงพอ กรณีของการ Flowing จะเกิดในอนินทรีย์เคมีละเอียด, ทรายละเอียด, ทรายสะอาดและ gravels ส่วนในสารอินทรีย์จะเกิดการ flowing หรือ squeezing ก็ได้

พฤติกรรมของดิน Flowing

พฤติกรรมของดิน Flowing ในอุโมงค์ขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวและการซึมผ่านได้ของดิน รวมทั้งแรงดันของน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3-12 เวลา STAND-UP ของกล่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรายและกรวดที่มีส่วนผสมของดินเหนียวอยู่ในสถานะระหว่าง Ravelling และ Flowing ถ้า การซึบ ได้มีค่าต่ำเพราะส่วนผสมของดินเหนียว จะทำให้มีน้ำซึมออกจากผนังทำให้ดินนุ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มีดินเข้าไปในอุโมงค์ ดังนั้นถ้าดินมีปริมาตรต่ำการ Ravelling จะถูกคิดว่าเป็นการ Flowing แทน ในทรายหรือกรวดที่หยาบและสะอาดที่มีส่วนผสมของน้ำด้วยจะไหลเข้าไปในอุโมงค์อย่างรวดเร็ว

สารอินทรีย์ที่นุ่มละเอียดจะไหลเข้าไปในอุโมงค์อย่างช้า ๆ และรูปตัดของอุโมงค์ก็ยังคงรูปอยู่ เนื่องจากแรงยึดเกาะ เพราะว่าการก่อสร้างอุโมงค์ในดิน Flowing มีความยุ่งยากเนื่องจากดินจะเกิดการไหลเข้ามาในอุโมงค์อยู่ตลอด จึงต้องทำการก่อสร้างภายใต้แรงกดอากาศ ซึ่งแรงกดอากาศจะเปลี่ยนดิน Flowing เป็นดิน Ravelling ดิน Running หรือดิน Squeezing โดยที่ดินเม็ดหยาบจะเปลี่ยนเป็นดิน Flowing ทรายหรือทรายสะอาดจะเปลี่ยนเป็นดิน Running หรือดิน Running ที่มีแรงยึดเกาะ

ดิน Squeezing

ดิน Squeezing จะเจอเฉพาะในดินเหนียวอ่อนและปานกลาง โดยที่ส่วนไม่มีค้ำยันจะเข้ามาในอุโมงค์อย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่องตลอด

การเอาค้ำยันออกทำให้ส่วน Linning เกิดแรงกดด้านบนลงมายังส่วนที่ไม่มีค้ำยันของอุโมงค์ การเคลื่อนตัวอย่างกึ่งยึดหยุ่นของLinning จะเกิดขึ้นเสมอระหว่างการขุดอุโมงค์จากการเปลี่ยนแปลงอันนี้ ปริมาณของดินที่เอาออกจากอุโมงค์มีมากกว่าปริมาณของอุโมงค์ที่สร้างไว้ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของผิวดิน

ในดิน Ravelling แบบช้าๆ และดินแข็ง การเปลี่ยนแปลงปริมาณดินมีผลเล็กน้อยซึ่งขึ้นกับการยุบตัวของผิวดินแต่ละแห่ง

ในดิน Running และ ดิน Flowing น้ำหนักของดินที่อยู่ข้างบนจะมีผลต่อการทำงานในอุโมงค์ซึ่งการเคลื่อนตัวอย่างกึ่งยึดหยุ่นมีผลต่อการไหลของดินเข้ามาในส่วนเปิดของอุโมงค์

ถ้า Linning รับน้ำหนักมากกว่า 2 เท่า ก็จะเกิดการเคลื่อนตัวกึ่งยึดหยุ่นขึ้นขณะที่ค้ำยันถูกดึงออกดินก็จะโค้งตัวเข้ามาในอุโมงค์ แต่การเคลื่อนตัวก็จะหยุดทันทีที่หยุดการขุด

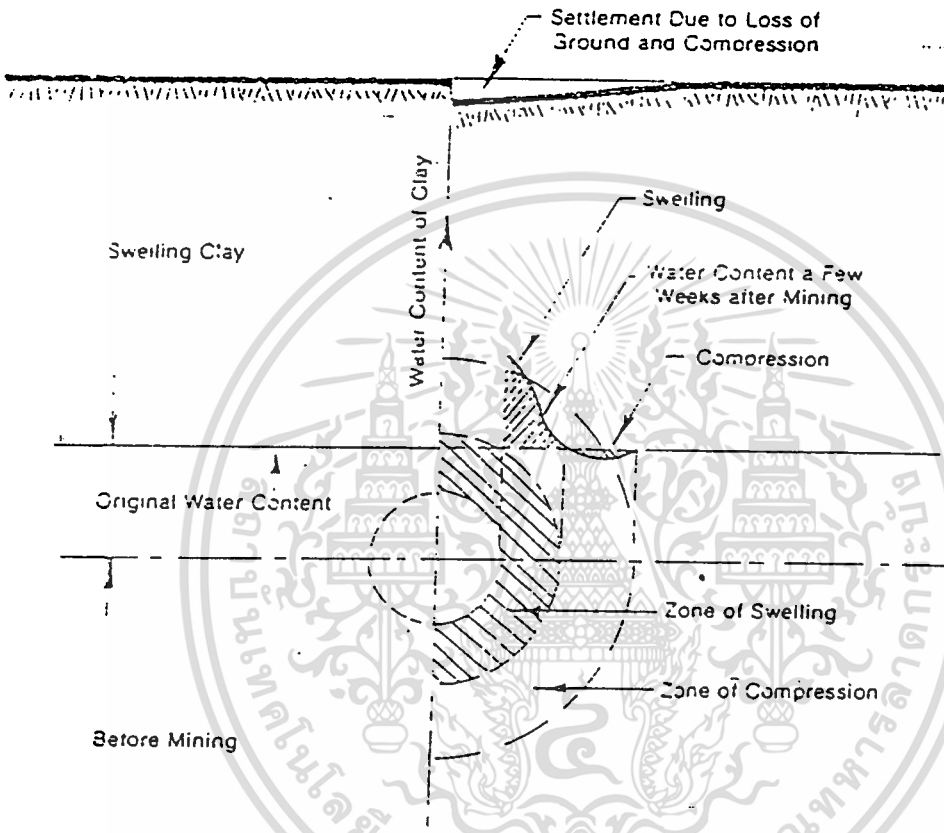
ถ้า Linning รับน้ำหนักเกิน 1.5 เท่าของความสามารถของมัน การเคลื่อนที่ตัวแบบกึ่งยึดหยุ่นจะเกิดขึ้นในอัตราคงที่ ทำให้ดินเหนียวเข้าไปในอุโมงค์ถ้าหยุดการขุด แต่ดินก็ยังมีการเคลื่อนตัวอีก เราเรียกว่าการล้น ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานอุโมงค์

ดิน Swelling

ดิน Swelling ใช้ดินเหนียวแข็งที่ตัวทันทีที่เข้าไปในอุโมงค์ปริมาณที่เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มปริมาณของน้ำ

ในอุโมงค์ดิน (100ฟุตหรือน้อยกว่าวัดจากผิวพื้นดิน) ปรากฏการณ์การบวมจะเกิดในดินเหนียวที่มีการอัดมาก่อนอย่างหนักโดยแรงกดชั่วคราวซึ่งน้ำหนักจะเป็นชั้นของน้ำแข็งซึ่งละลายหรือชั้นตะกอนหนาๆ ซึ่งถูกกัดเซาะออกไป เมื่อมีแรงกดมากกระทำกับดินอย่างเต็มที่ ความเค้นในดินเหนียวจะมีค่าสูงทั้งแนวตั้งและแนวนอน เมื่อน้ำหนักกดลดลง ทำให้ความเค้นในทางตั้งก็จะน้อยลงและความเค้นทางอนก็จะน้อยลงด้วยแต่เป็นในปริมาณน้อย

เมื่ออุโมงค์ถูกขุด ดินเหนียวทั้ง 2 ด้านจะรับน้ำหนักบรรทุกของมันแล้วยังรับน้ำหนักบรรทุกของอุโมงค์ด้วย ซึ่งส่งผ่านไปให้ดินเหนียวในรูปแรงกระทำต่อส่วนโค้ง และทำให้ดินเหนียวบริเวณผนังอุโมงค์เริ่มไม่ยึดกัน การเพิ่มความดันของการสนับสนุนจะทำให้น้ำออกจากดินเหนียว ซึ่งแรงกดถูกลดโดยการขยายตัวของอุโมงค์เพราะการขยายตัวนี้ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ลดลง ถ้าอุโมงค์ถูกขุดอย่างขาดความระมัดระวังการยุบตัวเนื่องจากดินหายไประยะสำคัญมาก



รูปที่ 3-13 การบวมในดินเหนียวที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การปรับปรุงคุณภาพดิน (Ground Control and Improvement)

ในบางกรณี สภาพดินตามอุโมงค์ไม่เหมาะสม ทำให้การขุดเจาะไม่สามารถทำได้ นอกจากจะต้องมีวิธีการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพดินเสียก่อน ซึ่งส่วนใหญ่จะพบใน Flowing Ground หรืออุโมงค์ในดินเหนียวอ่อน ซึ่งเสถียรภาพของ Face มีค่าน้อย ซึ่งอาจพบเป็นแนวยาวหรือเฉพาะที่ก็ตาม เมื่อเราต้องทำ Ground Control การเลือกวิธีการที่จะใช้ขึ้นกับชนิดและขอบเขตของสภาพดินที่เป็นปัญหา ระยะห่างของอุโมงค์กับอาคารและสิ่งสาธารณูปโภคบริเวณใกล้เคียง และปริมาณสภาพดินทำนองเดียวกันนี้ที่พบในหน้าตัดอื่น ๆ อีกว่ามีการพบซ้ำมากนักน้อยเพียงไร

วิธีการที่ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพของดิน

1. Ground Water Lowering
2. grouting
3. Freezing the Ground Water
4. Compressed Air

ทุก ๆ วิธีสามารถใช้ใน Flowing Ground ได้ แต่ส่วนมากมีเพียงวิธี Compressed Air เท่านั้นที่สามารถใช้ลดปัญหา Face Stability ของอุโมงค์ในดินเหนียวได้ ลักษณะโดยทั่วไปของวิธีการ Ground Control เหล่านี้คือค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ค่าใช้จ่ายนี้จะอยู่ในขอบเขตที่พอสมควรถ้าศักยภาพของปัญหาและความจำเป็นของการทำ Ground Control ได้ตระหนักไว้ตั้งแต่แรกในระหว่างขั้นตอนการออกแบบอย่างไรก็ตามมีข้อห้ามอยู่ว่าถ้าเราไม่ได้ประเมินปัญหาของสภาพดินก่อนทำการก่อสร้างจะทำให้วิธีการทำ Ground Control ไม่เหมาะสมกับวิธีการขุดเจาะอุโมงค์และการทำ Lining

1. Ground Water Lowering

เป็นขบวนการควบคุมระดับน้ำใต้ดินก่อนเริ่มงานขุดเจาะอุโมงค์ ในอุโมงค์ระดับตื้นสามารถทำได้โดยการติดตั้ง Deepwell หรือ Well-Point System เพื่อ Draw Down (การลดระดับน้ำใต้ดินโดยน้ำใต้ดินจะไหลเข้าสู่ Weel Point ที่เจาะไว้ เนื่องจากความต่างของแรงดัน) ระดับน้ำใต้ดินให้ต่ำกว่าระดับส่วนล่างสุดของอุโมงค์ทันที ที่ระดับน้ำใต้ดินลดลงถึงระดับที่ต้องการแล้ว ระบบปั๊มจะต้องทำงานอย่างต่อเนื่องจนกว่า Final Lining จะติดตั้งเสร็จ

ความเหมาะสมของดินชนิดต่างที่จะใช้วิธี Dewatering Method (วิธีการลดระดับน้ำ)

Medium to Coarse Sands เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ Well-Point ขณะที่ Fine-Grained Pervious Soils อาจจะทำกรลดระดับน้ำโดยใช้ Vacuum Well-Point ในทางปฏิบัติ การลดระดับน้ำโดยใช้ Well-Point แบบ Single stage จะจำกัดความลึกไว้ประมาณ 15 ฟุต การลดระดับน้ำในดินที่ลึกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากๆ ประมาณ 100 ฟุต สามารถทำได้โดยใช้ Eductor Well-Point แต่พลังงานที่ใช้จะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะประหยัดมากกว่าถ้าเราใช้วิธี Groundwater Control แบบอื่น เช่น Deep Wells

ระยะห่างระหว่าง Well-Points ที่อยู่ใกล้กันมากๆ ในดินที่หิบน้ำมากๆ อาจจะต้องเป็นชุดของ Well-Point ขนาดใหญ่ ซึ่งจะประหยัดกว่าหรือการเพิ่มระยะห่างระหว่าง Well และลดจำนวน Well ลงเนื่องจากความแออัดบนผิวดินเหนือแนวอุโมงค์

วิธี Ground Water Lowering อาจทำให้ดินเม็ดละเอียดไหลออกมาพร้อมกับน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาดินทรุดได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ Filter ที่เหมาะสมกรองน้ำที่ไหลออกมาจาก Well การทรุดตัวอาจเกิดขึ้นในดินที่เกิดจากการทับถมอัดตัวแน่น เนื่องจากการเปลี่ยนน้ำหนักของดินจากการลดระดับน้ำใต้ดินลง เนื่องจากบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการ Dewatering Process จะกินอาณาบริเวณกว้างมากกว่า บริเวณที่ติดตั้ง Wells ดังนั้นจำเป็นจะต้องคอยตรวจสอบความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลนี้เพื่อเป็นการเตือนล่วงหน้าว่าจะเกิดการทรุดตัวของอาคารข้างเคียง

การทำ Ground Water Lowering ในดิน เช่น Fine Sand จะต้องใช้ Filter ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของ Sand ซึ่งดินเม็ดละเอียดนี้การไหลของน้ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะช้า แต่สามารถทำให้ไหลได้เร็วโดยการใช้ Vacuum Wells และการทำ Ground Lowering ใน Coarse Silts สามารถทำได้โดยการใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Electro-Osmosis ในปัจจุบันการขุดอุโมงค์ในดินอ่อนสามารถทำได้ Advance Rates (อัตราก้าวหน้า) ที่น้อยที่สุดคือ 50 ฟุต ต่อสัปดาห์ (โดยวิธีขุดแบบ Hand-Mining) ถึงกว่า 300 ฟุตต่อสัปดาห์ (โดยใช้ TBM) อัตราก้าวหน้าขนาดนี้ไม่สามารถทำได้โดยวิธี

Ground Water Control เพราะอย่างน้อยที่สุดต้องใช้เวลาถึงหนึ่งสัปดาห์เพื่อติดตั้ง Dewatering Control System จะเสร็จลุล่วงต้องใช้เวลา 3 ถึง 4 สัปดาห์ก่อนที่จะเริ่มงานขุดเจาะอุโมงค์ ในช่วงที่เกิดปัญหาได้ ถ้าไม่ได้ทำการออกแบบไว้ล่วงหน้า งานขุดเจาะอาจต้องหยุดชะงักเพื่อทำการออกแบบติดตั้งระบบ (โดยหลักแล้วที่จะใช้ TBM แทน) ค่าใช้จ่ายของ Ground Water Control จะขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตอนแรกกับค่าเช่ารายเดือน ค่า Operating Cost และเป็นการไม่เหมาะสมที่คำนวณค่าใช้จ่ายออกมาเป็นต่อหน่วยความยาวของอุโมงค์ เพราะการออกแบบระบบ Dewatering ในตำแหน่งต่าง ๆ จะไม่เหมือนกัน

2. Grouting

เป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินโดยการฉีดสารละลาย สารแขวนลอย หรือ Emulsion เข้าไปในช่องว่างของดินโดยใช้แรงดันสูง พกสารที่ฉีดเข้าไปนี้เราเรียกว่า Grouts ทั้งนี้ที่ คุณสมบัติของ Grout เกิดเปลี่ยนแปลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน จะทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปสาร Grouts จะช่วยลดคุณสมบัติการซึมได้และเพิ่ม Strength ของดิน

สาร Grout ที่ดีที่สุดและเก่าแก่ที่สุดคือ ซีเมนต์ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยของปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ ในน้ำ สารแขวนลอยนี้จะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งหลังทำการฉีด และยังมีกรใช้สาร Grout เป็นสารแขวนลอยซึ่งเป็นการผสมของดินเหนียวและซีเมนต์ด้วย

Emulsion คือน้ำมันดิน (Bituminous) ที่ได้จากขบวนการ Shell-Pem Process Emulsion หลังจากถูกฉีดเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นสารคล้ายวุ้นที่มีค่าความซึมได้ต่ำ แต่มี Strength ไม่สูง Chemical Grout ส่วนใหญ่เป็นพวก Silica Gel หรือ Chrome-Lignin ซึ่งหลังจากทำการฉีดจะทำให้ดินมีความที่บ้น้ำและให้ Strength ปานกลาง ในไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการคิดค้น Chemical Grouts ออกมาอีกหลายชนิด ซึ่งมีหลายชนิดที่ใช้ได้ผลดี มีราคาไม่สูงและไม่มีพิษ

Grouts จะทำให้เกิดผลดังต่อไปนี้กับดิน

1. ทำให้ดินมีความแน่นมากขึ้น โดยการไหลเข้าไปแทรกตามช่องว่าง (โดยปกติเป็นพวก ซีเมนต์ และ Clay-Cement Grout)
2. ช่วยอุดช่องว่างและทำให้ดินโดยรอบแน่นขึ้น (Cement Grouts และ Cement Sand Grouts)
3. แทรกซึมไปตามรูต่าง ๆ ในดินและยึดประสานเม็ดดินเข้าด้วยกัน (ได้แก่ Chemical Grouts และ Cement Grouts ใน Coarse Soils)
4. ช่วยลดความสามารถการซึมได้ (Pemeability) (Grouts ชนิดต่าง ๆ จะทำได้ดีต่าง ๆ กัน)

Cement Grouts จะใช้在地ที่มีเม็ดหยาบกว่า Medium Sands เพราะอนุภาค ซีเมนต์ ซึ่งมีขนาดเท่า Silt ไม่สามารถเข้าไปในช่องว่างของ Medium Sand หรือ Fine Sand ได้

สารละลาย Emulsions และสารละลายเคมีสามารถใช้ได้กับดินช่วง Fine Sand แต่แรงดันและเวลาในการฉีด ที่ต้องการจะขึ้นกับค่าความหนืดของสารละลาย Grouts เหล่านี้สามารถใช้ดินเม็ดหยาบได้ แต่ถ้าดินนั้นสามารถใช้ Cement และ Clay-Cement Grouts ได้ก็ไม่ควรใช้ Chemical Grout เพราะแพงกว่า

โดยทั่วไป มันยากมากที่จะทำการ Grout ในดินที่มีค่าความซึมได้ต่ำเพราะ น้ำจะไม่สามารถระบายออกได้ ซึ่งดินแบบนี้เหมาะกับการทำ Compressed Air มากกว่า

การ Grout จะทำได้โดยการปั๊มสาร Grout ไปตามท่อ ถ้าเป็นไปได้เราจะทำการ Grout โดยจะเจาะฝังท่อ Grout จากผิวดินลงไปในแนวดิ่ง เพื่อไม่เป็นการรบกวนการทำงานเจาะอุโมงค์ การ Grout จะต้องทำให้เสร็จก่อนที่งานขุดเจาะจะถึงบริเวณนั้น

ในอุโมงค์ระดับลึก หรือที่ซึ่งบนผิวดินมีสิ่งกีดขวาง เราจะทำการ Grout ที่ Tunnel Face เราจะทำการฝังท่อเข้าไปใน Face ในแนวระดับแล้วทำการ Grout ให้เสร็จก่อนแล้วจึงทำงานขุดเจาะ จึงทำให้อัตราการขุดเจาะอุโมงค์ล่าช้า การ Grout เป็นขบวนการทางธรณีวิทยาที่ต้องอาศัยความชำนาญพิเศษ ซึ่งอาจเกิดการแปรเปลี่ยนได้มากเนื่องจากการจัดวางตำแหน่ง Grout Pipes การควบคุมแรงดันที่ใช้ Grout และจำนวนสาร Grout ที่ฉีดเข้าไป ซึ่งสารจำพวก Chemical Grout จะมีเวลาในการเซตตัว ความหนืด และ Final Strength แปรผันในช่วงกว้าง

จากเหตุผลต่าง ๆ เหล่านี้งาน Grout จึงต้องอาศัยผู้รับเหมาที่มีความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษอาจเกิดความเสียหายกับอาคารข้างเคียงได้ถ้ามีการพยายามปั๊มสาร Grout ปริมาณมากเข้าไปในดินโดยใช้แรงดันสูง

ค่าใช้จ่ายที่ผู้รับเหมาคิดในการทำงาน Grout นอกจากเป็นค่า ปริมาณสาร Grout ที่ใช้ก็จะเป็นค่า Lump Sums ของงานขนย้าย ค่าท่อต่อหน่วยความยาวท่อ และค่า Grout ต่อตันของสาร Grout ที่ใช้

3. Freezing

การสามารถยับยั้งการไหลของน้ำใต้ดินได้โดยใช้วิธี Freezing น้ำ ซึ่งจะต้องตระหนักไว้ว่า น้ำเท่านั้นที่แข็งตัว แต่ดินไม่แข็งตัว

การ Freezing สามารถควบคุมน้ำใต้ดินได้ก็จริงแต่แพงและใช้เวลามาก วิธีนี้จะจำกัดกับดินที่มีปริมาณไม่มากนัก ซึ่งวิธี Ground Water Control แบบอื่นไม่สามารถทำได้ เช่น Silt ที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินและอยู่ใกล้ผิวดิน ซึ่งการ Grout และ Water Lowering ไม่สามารถทำได้ใน Fine Silt และวิธี Compressed Air ไม่สามารถใช้ได้กับดินที่อยู่ใกล้ผิวดินเกินไป

เราสามารถทำการ Freezing ฝังท่อไปในดินแล้วใช้สารทำความเย็นที่อุณหภูมิทำให้ไหลหมุนเวียนไปตามท่อ เช่นเดียวกับการ Grout เราจะทำการฝังท่อลงไปในแนวดิ่งจากผิวดิน หรือฝังท่อในแนวระดับจาก Tunnel Face สารทำความเย็นที่ใช้ได้แก่ Calcium Chloride Brine แต่ถ้าต้องการให้ได้ผลเร็วก็นำไนโตรเจนเหลวแทน

การคำนวณขนาดท่อ ระยะห่างและระยะเวลาที่ต้องการใช้ความรู้ด้าน Heat Flow การ Freezing ได้ถูกนำมาใช้กับงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ 150 ฟุต เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ฟุต ในแถบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abbotsford, British Columbia ดินเป็นแบบ Fine Grained Silt ที่ระดับน้ำใต้ดิน 15 ฟุตจากผิวดิน และ อยู่ใต้โครงสร้างขนาดเล็ก Calcium Chloride Brine ถูกฉีดเข้าไปในท่อแนวดิ่งในหลุมลึก 40 ฟุต ซึ่งห่าง กัน 4 ฟุต 3 แถว ค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น \$170,000

4. Compressed Air

ทำโดยการอัดอากาศด้วยความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ในระหว่างงานขุดเจาะเพื่อ ป้องกันน้ำ Sand Gravel และ Soft Materials อื่น ๆ ไหลเข้ามาใน Face เราจะต้องออกแบบความดัน อากาศในอุโมงค์ให้สมดุลกับแรงดันน้ำรอบอุโมงค์ ความดันนี้จะขึ้นกับค่าที่ได้จากการทำ Piezo Metric Observation ในระหว่างการเจาะอุโมงค์

สำหรับในดินเหนียวอ่อน เราจะใช้วิธี Compressed Air เพื่อเพิ่ม Face Stability แม้ว่าจะไม่มีน้ำ ไหลเข้าไปในอุโมงค์

สำหรับอุโมงค์ที่ใช้ Compressed Air จะต้องมีส่วน Bulkhead (เป็นช่องที่จะให้คนอยู่ทำงานใน ส่วนหัวเจาะ) และ Air Lock เพื่อใช้ปรับความดัน Air Lock จะประกอบด้วยช่องซึ่งมีประตูกันอากาศ (Airtight Door) แต่ละด้านซึ่งประตูทั้ง 2 นี้ไม่สามารถเปิดพร้อมกันได้ความดันใน Air Lock จะต้อง สม่าเสมอ และเท่ากับความดันด้านนอกประตูแรกที่เปิดออก และหลังจากฉีดประตูแรกแล้ว จะทำการ ปรับความดันเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากับความดันด้านนอกประตูที่สองจะเปิดออก ในอุโมงค์ขนาด ใหญ่จะติดตั้งประตูสำหรับคนและลำเลียงสิ่งของแยกออกจากกันเพื่อลดปริมาณการอัดอากาศ หรือ อาจมีการติดตั้ง Emergency Air Lock อีกชั้นหนึ่งด้วย

บทที่ 4

บ่อก่อสร้าง (Shafts)

Shafts คือช่องทางใต้ดินที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอุโมงค์ เช่น ใช้สำหรับเป็นจุดเริ่มต้นของการขุดอุโมงค์ในแนวราบ ใช้เป็นช่องทางการขนส่งหรือลำเลียงวัสดุอุปกรณ์ระหว่างภายในอุโมงค์กับผิวดิน ใช้เป็นช่องทางระบายอากาศ ใช้ทำเป็นสถานีสำหรับผู้โดยสารใต้ดิน ใช้เป็นทางขึ้นลงเพื่อเปลี่ยนเส้นทาง หรือแม้กระทั่งใช้เป็น Shopping Centre ระหว่างทางลงสู่สถานีใต้ดิน

Shafts เป็นส่วนสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ เพราะเป็นการก่อสร้างที่จะต้องดำเนินการก่อนที่จะทำการขุดอุโมงค์ในแนวราบ การก่อสร้าง Shafts จะเป็นการขุดและวางแนวอุโมงค์ในแนวตั้งแบ่งตามประโยชน์ใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

1. Working Shafts เป็น Shafts ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์หรืออำนวยความสะดวกในการขุดเจาะอุโมงค์ในแนวราบ โดยใช้เป็นช่องทางการขนส่งหรือลำเลียงวัสดุอุปกรณ์สำหรับขุดเจาะอุโมงค์และลำเลียงเศษดินหรือหิน ที่ได้ทำการขุดเจาะแล้วจากภายในอุโมงค์ออกสู่ผิวดิน

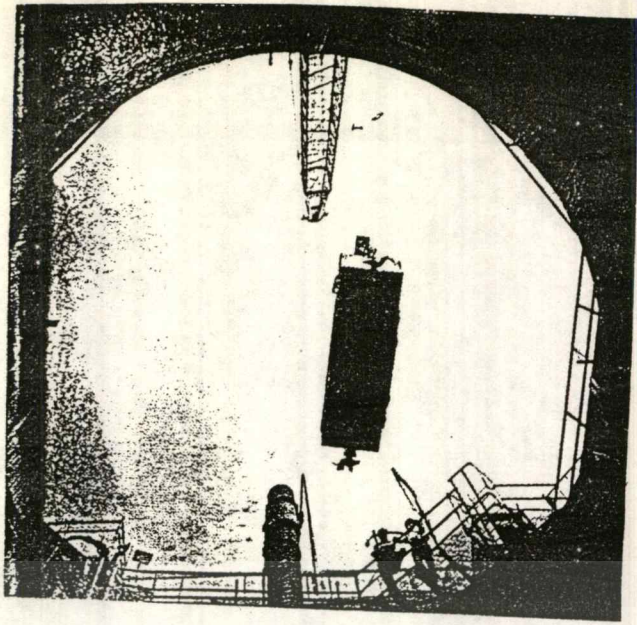
2. Station Shafts เป็น Shafts ที่สร้างขึ้นสำหรับการสร้างสถานีรถไฟใต้ดิน โดยจะต้องมีที่พักระหว่างทางขึ้นลงระหว่างผิวดินกับสถานี ทำให้ Station Shafts มีขนาดใหญ่มาก

4.1 ประเภทของ Shafts

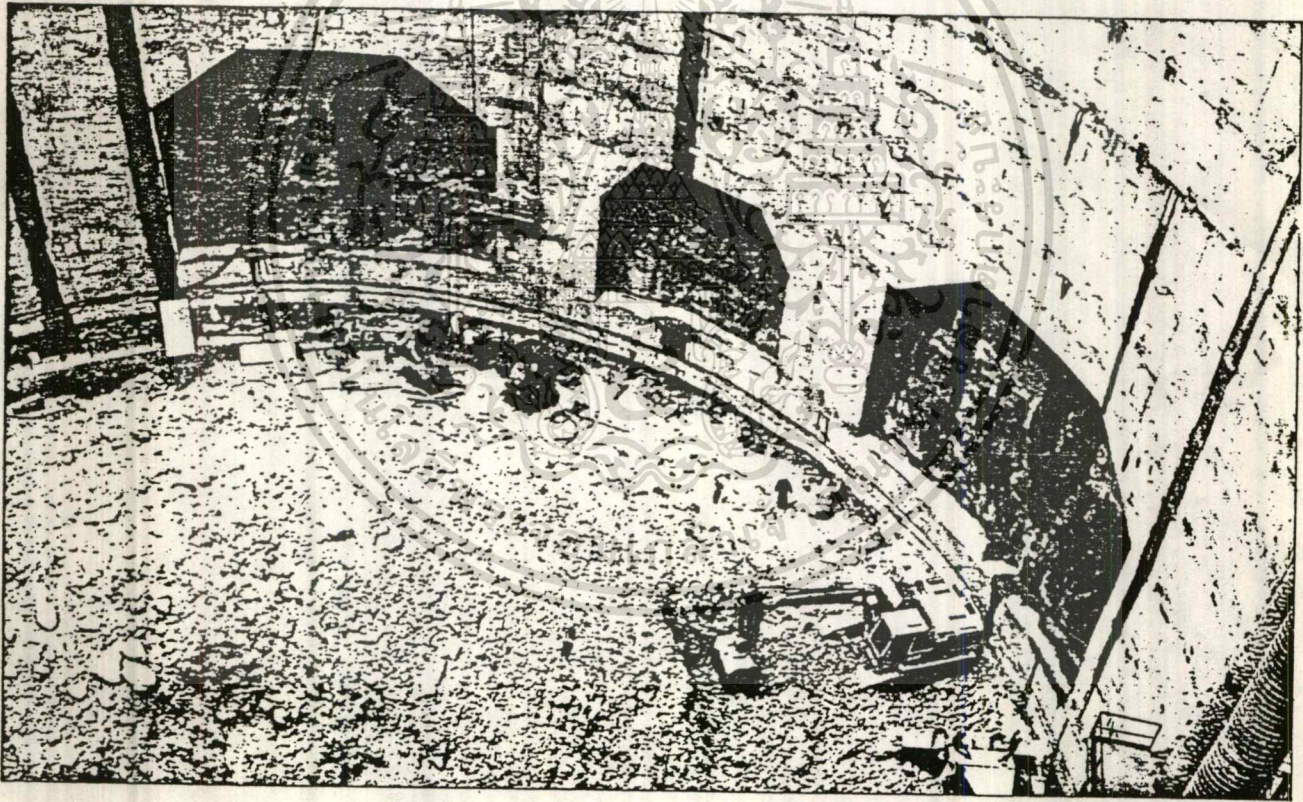
1. Deep Shafts ส่วนมากมักเป็นการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับทำเหมืองแร่ อุโมงค์สำหรับการทดลองปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ หรือใช้เป็นห้องใต้ดินสำหรับเก็บอาวุธ เก็บก๊าซธรรมชาติและก๊าซปิโตรเลียม

2. Shafts สำหรับสิ่งก่อสร้างใต้ดิน เช่น รถไฟใต้ดิน ทางเดินรถไฟใต้ดิน ซึ่งจำเป็นต้องมี Shafts สำหรับเป็นช่องทางการระบายอากาศ เป็นลิฟท์สำหรับขนส่งวัสดุอุปกรณ์

3. Shafts ที่สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการขุดอุโมงค์ โดยจะเป็นการแบ่งอุโมงค์ออกเป็นช่วงสั้น ๆ ทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น หรืออาจจะขุด Shafts ตรงกลางระหว่างแนวอุโมงค์ที่จะทำการขุด จากนั้นจึงติดตั้งเครื่องจักรสำหรับขุด 2 เครื่อง โดยให้ขุดออกจาก Shafts ไปแต่ละข้างจะสามารถทำให้เวลาและระยะทางในการก่อสร้างสั้นลงได้มาก



รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะของ SHAFT



รูปที่ 4-2 ลักษณะของ SHAFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Grout

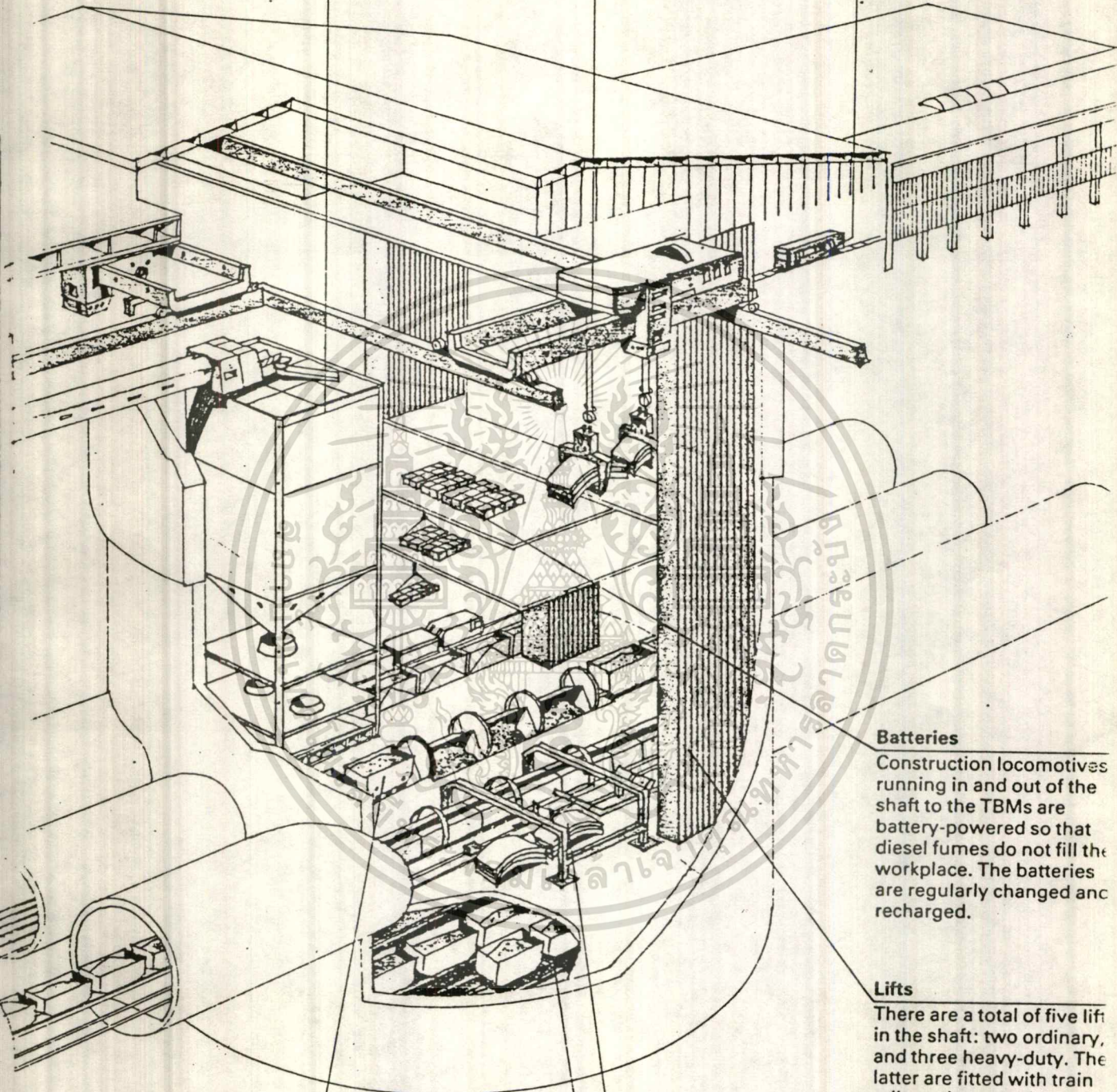
As soon as sections of tunnel lining are installed, the joints between them are filled with grout. This is made on site and pumped into a giant container in the shaft, through 340 metres of tubing.

Overhead cranes

There are two main crane systems. The largest, with a lifting capacity of 430 tonnes, is used to install the TBMs. The other system can carry loads of up to 60 tonnes. It is used to place tunnel linings in the shaft.

Manriders

Teams of 25 workers at a time travel from the changing rooms alongside the shaft to the worksite lifts in small trains, known as draisines or "manriders".



Batteries

Construction locomotives running in and out of the shaft to the TBMs are battery-powered so that diesel fumes do not fill the workplace. The batteries are regularly changed and recharged.

Lifts

There are a total of five lift in the shaft: two ordinary, and three heavy-duty. The latter are fitted with train rails so that manriders can drive straight into them and exit directly into the railway system at the base of the shaft.

Spoil from the face

Rock and earth are carried from the workfaces by trains to hoppers. These channel them on to conveyors leading to the crushers.

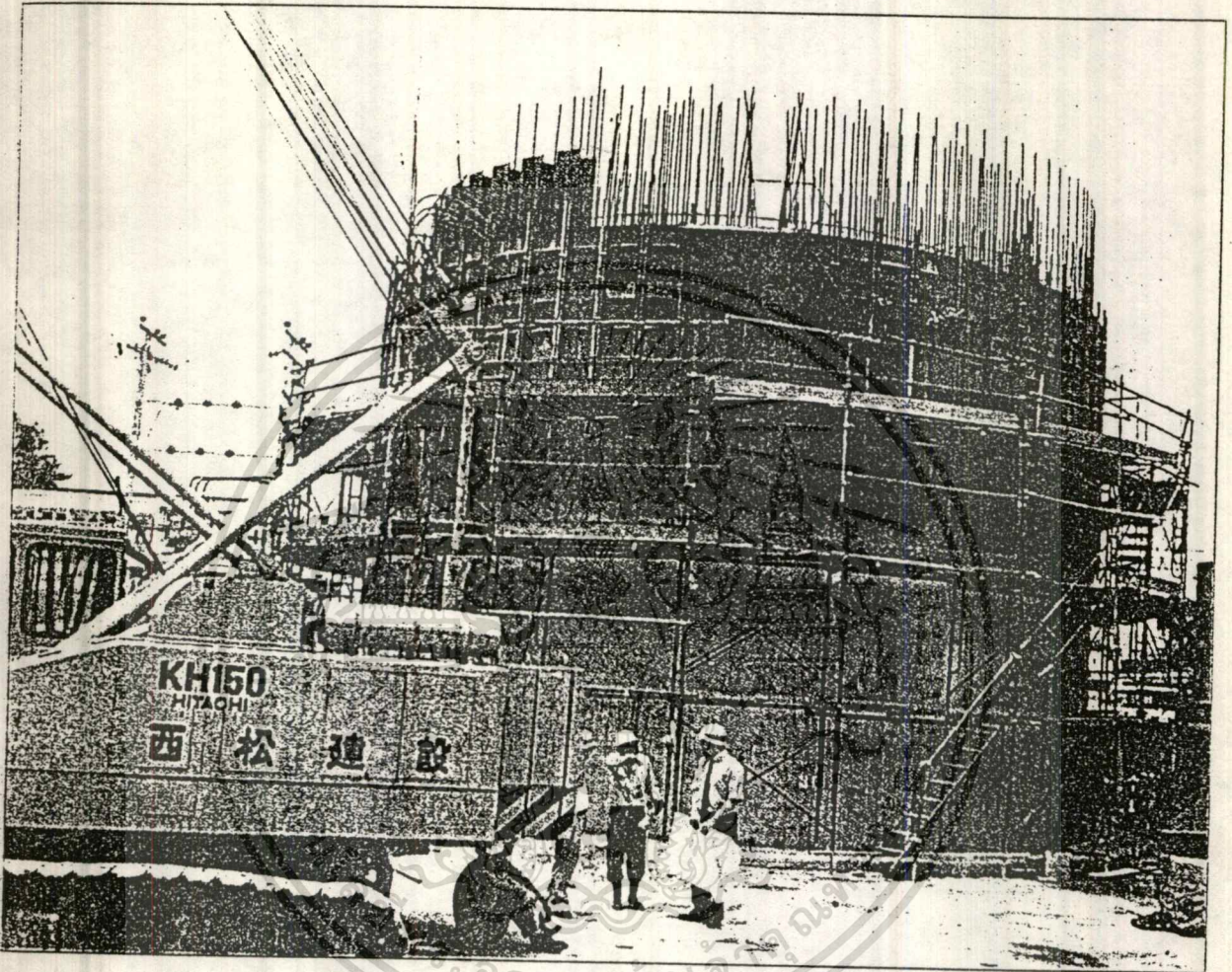
Tipped into crushers

Spoil is dumped into crushing machines beneath the working platform, where it is mixed with water and pumped out of the shaft.

Tunnel linings

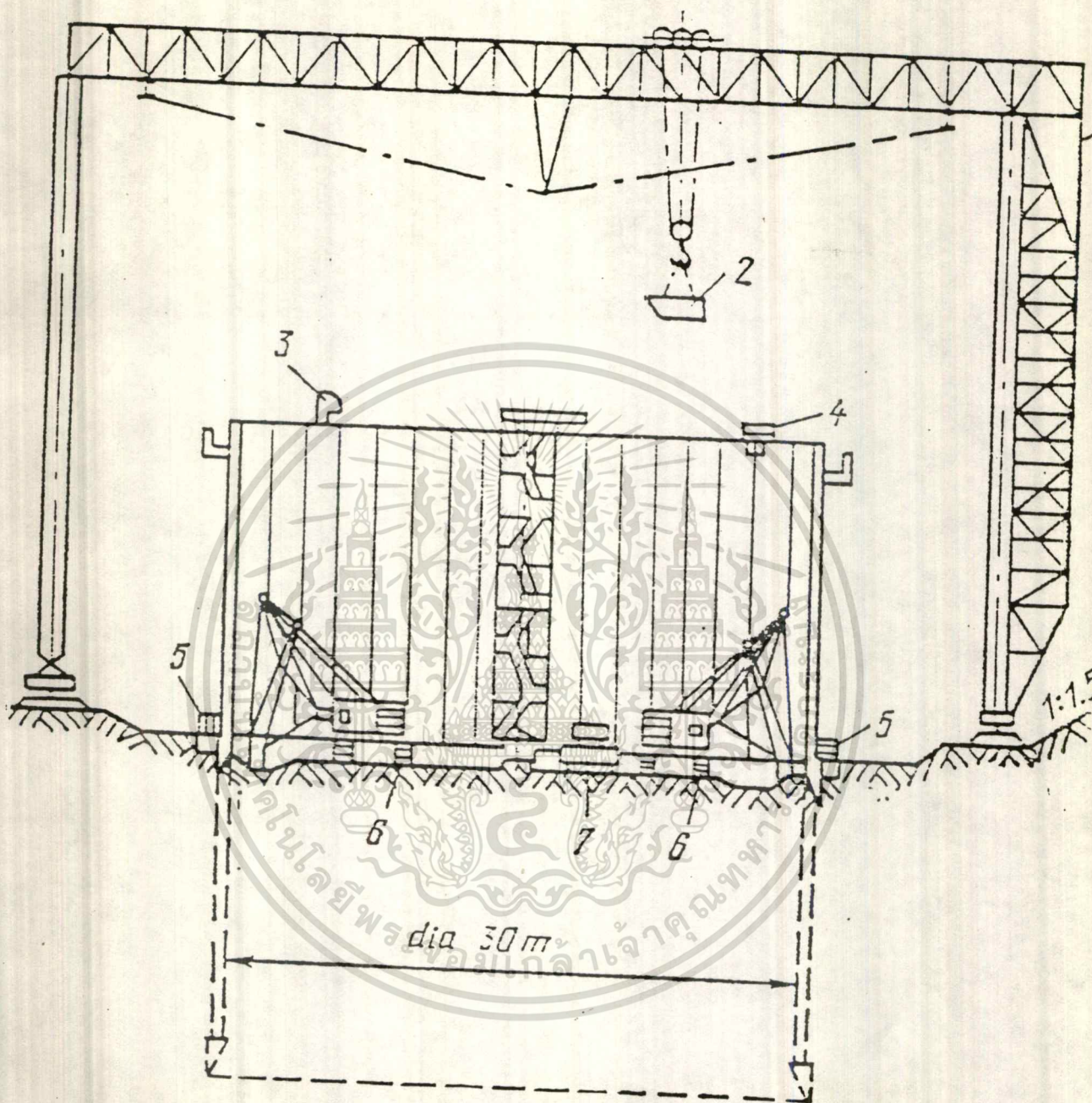
Special flat-trailer wagons are used to carry concrete and iron lining sections to the workfaces, where they are installed mechanically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4-3 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นภายใน SHAFT ต่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ(ในรูปแบบ SHAFT ในโครงการ CHANNEL TUNNEL) ที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 FIRST SHAFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงวิธี SINKING METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการก่อสร้าง Shafts แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีการก่อสร้าง Shafts จากระดับผิวดินลงไปแบ่งออกเป็น 3 วิธีที่นิยมคือ

1.1 วิธีการก่อสร้าง Shafts โดยการขุดดินลงไปให้มีความลึกและขนาดของ Shafts ตามต้องการ แล้วทำการเทคอนกรีตจากข้างล่างขึ้นมาข้างบนโดยใช้ Slip Form วิธีนี้เหมาะสำหรับ Shafts ที่มีระดับดินหรือลึกปานกลาง

ข้อดี คือในครั้งหนึ่งจะทำเพียงอย่างเดียว โดยในขั้นตอนการขุดก็จะขุดจนเสร็จ แล้วหลังจากนั้นจึงค่อยทำการเทคอนกรีต และในการเทคอนกรีตก็สามารถเทจากข้างล่างขึ้นสู่ข้างบน

ข้อเสีย คืออาจมีการพังทลายลงมาของดิน ถ้าไม่ติดตั้งค้ำยันและระบบระบายน้ำที่ดีพอ

1.2 Shaft Sinking เป็นวิธีการก่อสร้าง Shafts โดยให้โครงสร้างของ Shafts ค่อย ๆ จมลงไปในขณะที่กำลังทำการขุดดินออกจาก Shafts จนได้ความลึกตามที่ต้องการ

ข้อจำกัดของการก่อสร้างด้วยวิธีการนี้คือ

- เมื่อการขุดไม่สามารถดำเนินไปจนถึงล่างสุดของบ่อได้ อันเนื่องมาจากวัสดุ เช่น หินหรือดินที่จะต้องขุดผ่านนั้นมีคุณสมบัติไม่ดีพอ อาจทำให้เกิดการพังทลายได้
- พื้นที่ในการก่อสร้างถูกจำกัด ทำให้จำนวนคนและขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ถูกจำกัดไปด้วย
- การเคลื่อนที่ทำได้ในแนวตั้งอย่างช้า ๆ เท่านั้นโดยใช้ Hoist เป็นอุปกรณ์ในการช่วยยก

วิธีและขั้นตอนในการขุดดิน แบ่งได้เป็น

ก. วิธีการขุดโดยใช้ Hand-Held Drill จะขุดได้ลึกครั้งละ 5 ฟุต แต่ถ้าใช้ Drill Jumbo จะขุดได้ลึกครั้งละ 10 ฟุต เมื่อขุดเสร็จแล้วจะเอาอุปกรณ์ออกจากหลุมแล้วทำการระเบิดหลุม จากนั้นจึงเริ่มเอาอุปกรณ์ตักโคลนลงไป ถ้า Shafts มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 17 ฟุต จะใช้เครื่องตักโคลนแบบ Crydermans ถ้าขนาดใหญ่ขึ้นก็จะขุดโดยใช้ Fornt-End Loader สำหรับ Shafts ที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ จะใช้เครื่องตักโคลนชนิด Crawler ด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งจะใช้ Bucket ตักดินออก เมื่อตักดินเสร็จก็จะใช้ค้ำยันค้ำเอาไว้ และเริ่มขุดที่ระดับลึกลงไปอีก หลังจากขุดดินเสร็จจะมีการตรวจความเรียบร้อยของ Shafts จึงจะเริ่มการเทคอนกรีต โดยใช้ Slip Form และลำเลียงคอนกรีตด้วยท่อส่งคอนกรีต

ข. วิธีการขุดดินและเทคอนกรีตสลับกันโดยมักจะทำในสภาพหินที่พังทลายง่าย เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาในเรื่องค้ำยัน โดยเมื่อขุดเสร็จได้ช่วงหนึ่งก็จะทำการเทคอนกรีตเลย ซึ่งขั้นตอนใน

การก่อสร้างก็จะสลับกันไประหว่างการขุดและการเทคอนกรีต จนได้ความลึกตามที่ต้องการ วิธีนี้นิยมใช้กับ Shafts ที่มีความลึกมาก

ค. วิธีการขุดและเทคอนกรีตพร้อมกัน วิธีนี้จะเร็วกว่าวิธีการขุดและเทคอนกรีตสลับกันแต่จำเป็นจะต้องใช้แรงงานมากกว่า และอุปกรณ์ที่ใช้จะยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากกว่า แต่วิธีการทำงานจะคล้ายกับวิธีขุดและเทคอนกรีตสลับกัน จะแตกต่างกันแค่เพียงการขุดดินกับการเทคอนกรีตจะดำเนินไปพร้อมกัน

1.3 Blind-Shaft เป็นวิธีการก่อสร้าง Shafts โดยใช้เครื่องมือในการขุดเจาะที่มีลักษณะคล้ายกับ เครื่องมือในการขุดเจาะอุโมงค์ (TBM) แต่จะแตกต่างกันตรงที่ Blind-Shaft จะทำการขุดเจาะในแนวตั้ง โดยจะมีอุปกรณ์พิเศษในการนำเศษหินและหินที่ขุดขึ้นมา

ข้อจำกัดของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้คือ

- เมื่อการขุดไม่สามารถดำเนินไปจนถึงล่างสุดของบ่อได้
- พื้นที่ในการก่อสร้างถูกจำกัด
- ขนาดของ Shafts ต้องไม่ใหญ่มากนัก เพราะถ้า Shafts ที่ต้องการมีขนาดใหญ่ จะมีปัญหาในการกำจัดดินที่ขุดออกมา

ถ้าหาก Shafts ที่ต้องการนั้นมีขนาดใหญ่ ก็จะสามารถทำการขุดด้วยวิธี Blind-Shaft ได้ แต่จะต้องทำการขุดถึง 2 ขั้นตอน คือในขั้นตอนแรกจะทำการขุดนำร่องโดยจะมีขนาดไม่ใหญ่นักด้วยเครื่องมือขุดเจาะ และในขั้นตอนที่ 2 จะใช้วิธีคว้านให้ช่อง Shafts กว้างขึ้นด้วยเครื่องคว้าน

2. วิธีการก่อสร้าง Shafts จากระดับล่างขึ้นสู่ผิวดิน

Shaft Raising เป็นวิธีการก่อสร้าง Shafts โดยการขุดเจาะจะเริ่มจากด้านล่างขึ้นสู่ผิวดิน ดังนั้นเศษดินหรือหินที่ได้ทำการเจาะหรือระเบิดจะตกลงมาจากผิวน้ำที่กำลังขุดโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อย่างอื่นมาช่วยแต่อย่างใด ในการขุดดินหรือหินจะต้องเหนือ Platform และการลำเลียงดินหรือหินที่ตกลงมาจากการขุดจะต้องทำในด้านข้าง

ข้อจำกัดของการก่อสร้างด้วยวิธีการนี้คือ

- สภาพของดินหรือหินที่จะขุดต้องไม่ถล่มง่าย
- จะต้องมีพื้นที่เพียงพอในการเริ่มต้นขุด และเก็บหรือลำเลียงหินที่ตกลงมา เช่นใช้อุโมงค์ในแนวราบที่ทำการขุดเจาะเสร็จแล้ว เป็นจุดเริ่มต้นในการทำ Shaft Raising และลำเลียงเศษดินหรือหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี คือเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดสำหรับ Shafts ขนาดเล็ก หรือ Shafts นาร่องของ Shafts ขนาดใหญ่ เพราะไม่จำเป็นต้องมีขบวนการจำกัดโคลนออก เนื่องจากหินที่ถูกเจาะหรือระเบิดจะตกลงมาจากผิวหน้าที่กำลังขุดโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อย่างอื่นมาช่วย

ข้อเสีย คือการขุดดินหรือหินจะต้องทำเหนือ Platform ทำให้การเคลื่อนย้ายคนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ช้าและยุ่งยาก

วิธีการทำ Shaft Raising ที่นิยมแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

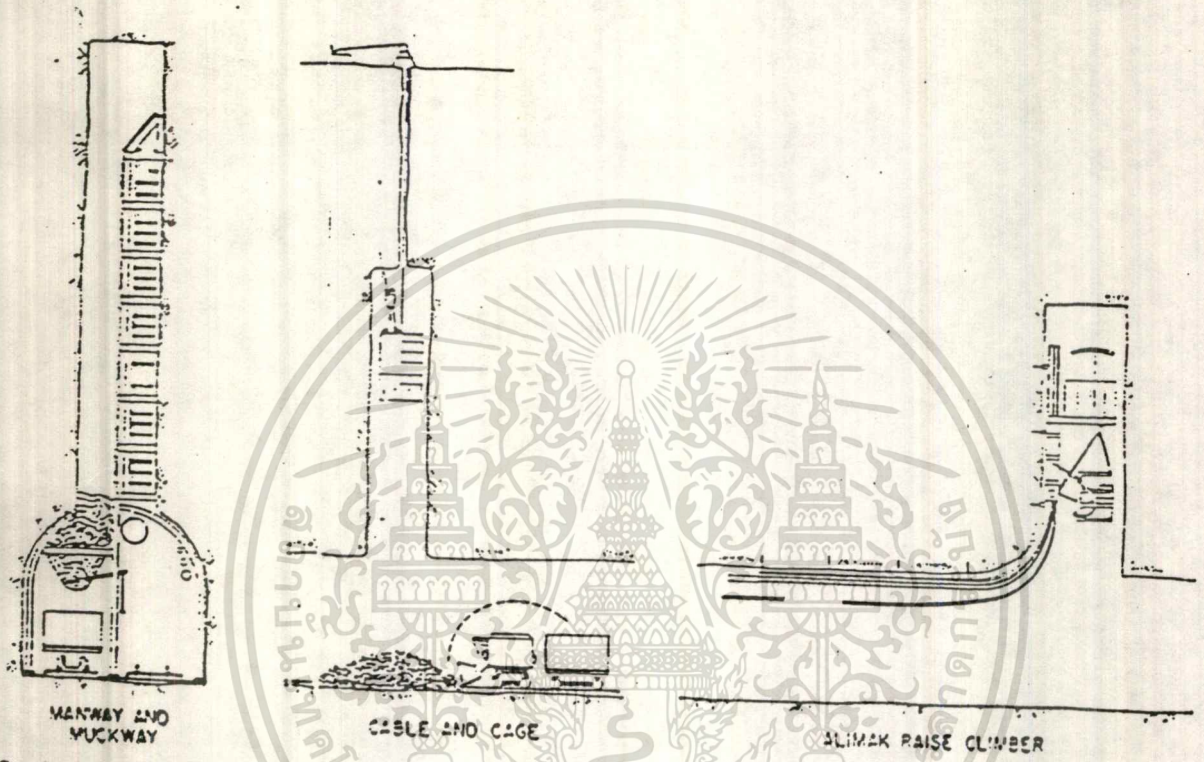
ก. Manway and Muckway Method วิธีนี้ Shafts จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยไม่ค้ำยัน ส่วนหนึ่งจะเป็นรางสำหรับเศษดินหรือหินที่ขุด อีกส่วนหนึ่งจะเป็น Platform และบันไดสำหรับขึ้นสู่ผิวหน้าด้านบน

สำหรับ Shafts ที่ขุดนาร่อง จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุดประมาณ 6-8 ฟุต และยอมให้เศษหินหรือดินที่ขุดตกลงสู่ Platform ด้านล่าง ถ้าจำเป็นต้องให้พื้นที่ใต้ Shafts ปราศจากสิ่งของ ก็จะทำกรเก็บดินหรือหินไว้ในรางโดยควบคุมประตูที่ใต้รางนี้ด้วยระบบ Hydraulics ดังนั้นเมื่อมีการถ่ายหินหรือดินได้ประตูนี้ การทำงานจะสะดวกขึ้น ในกรณีที่ Shafts อยู่เหนืออุโมงค์ที่มีขนาดเล็กก็จำเป็นต้องขยายขนาดอุโมงค์ให้ใหญ่ขึ้น เพื่อใช้ติดตั้งห้องสำหรับเก็บหินหรือดินที่ขุดได้นี้

การทำงานของคนงานจะทำบน Platform เพื่อทำการเจาะผนัง Shafts หลังจากเจาะเสร็จแล้วคนงานจะปีนลงมาอยู่ในที่ปลอดภัยและทำการระเบิดหิน จากนั้นเป็นการระบายอากาศออก และคนงานจะปีนกลับขึ้นไปเพื่อทำความสะอาด Platform และเอาเศษหินหรือดินออกทางด้านล่าง จากนั้นจะเริ่มติดตั้งระบบค้ำยันและเริ่มเจาะรอบต่อไปตามลำดับที่กล่าวมาข้างต้น

ข. The Cable and Cage Method จะเริ่มโดยการเจาะรูขนาด 6 นิ้ว ตามแนวศูนย์กลางของ Shafts ลงมาจากผิวด้านบนและใช้ Hoist เป็นตัวห้อยสายเคเบิลผ่านรูนี้ เพื่อทำการยก Cage โดยจะมีคนงานยืนทำงานอยู่บนหลังคาของ Cage เพื่อทำการเจาะหิน จากนั้น Cage จะเลื่อนลงด้านล่างโดยใช้คนงานอยู่ในที่ปลอดภัยแล้วจึงทำการระเบิดหินเมื่อระบายอากาศและฝุ่นผงเสร็จ คนงานจะกลับไปเริ่มทำการเจาะใหม่ โดยหินที่ตกลงมาจากการระเบิดจะถูกขนออกไปตามอุโมงค์

ค. The Alimak Raise-Climber Method วิธีการนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วย Platform และ Man-Cage Elevator เคลื่อนที่ไปบนรางที่ติดกับผนังด้านข้างของ Shafts หรือผนังด้านบนของ Shafts สำหรับ Shafts ที่มีลักษณะเอียง ขนาดของ Alimak ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของคน รางที่ Cage เคลื่อนที่ไปนั้นจะติดท่อ 4 ท่อซึ่งจะเป็นท่อที่ช่วยถ่ายเทอากาศ ปรับความดันอากาศ ลำเลียงน้ำ และส่งกระแสไฟฟ้า



Drawing 13 Shaft-raising methods.

รูปที่ 4-6 การก่อสร้าง SHAFT ด้วยวิธี RAISING METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การก่อสร้างอุโมงค์ในหิน

การก่อสร้างอุโมงค์ในหินได้มีมานานแล้วตั้งแต่ยุคอดีต โดยมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา ตั้งแต่ใช้แรงคน จนมาถึงปัจจุบันนี้มีการใช้เครื่องจักรที่ทันสมัยที่ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ในหิน โดยทั่วไปวิธีการที่ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ในหินจะใช้วิธี Drilling and Blasting และใช้ Tunnel Boring Machine

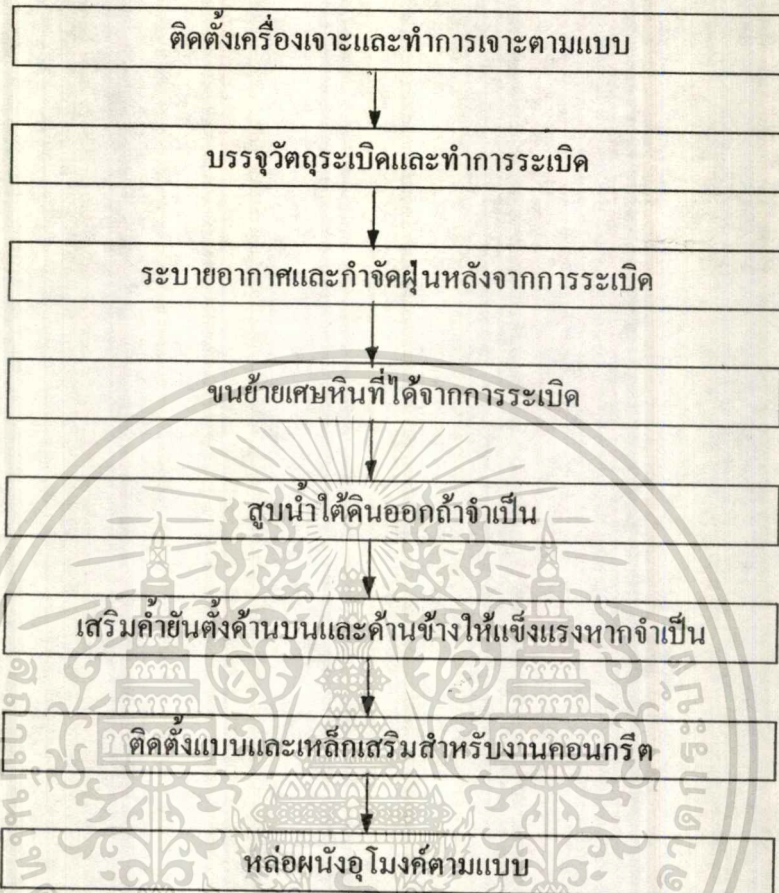
5.1 การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drilling and Blasting

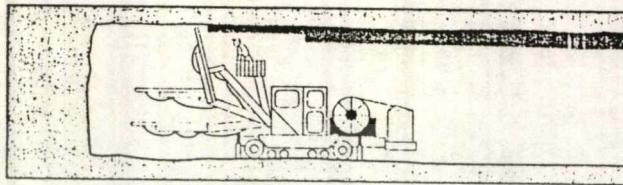
การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drilling and Blasting เป็นวิธีการที่ได้มีมาตั้งแต่ยุคอดีต และได้รับการพัฒนาและปรับปรุงมาตลอด ซึ่งวิธีการนี้จะนิยมใช้กับหินหรือดินแข็ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก แต่ก็มีข้อจำกัดในการใช้หลายประการ

ในการขุดเจาะอุโมงค์ในหินหรือดินที่แข็ง จำเป็นที่จะต้องทำให้หินหรือดินนั้นร่วนซุย หรือ คลายตัวให้เกาะกันหลวม ๆ เสียก่อน ด้วยการเจาะรูหลาย ๆ รูเข้าไปในเนื้อหิน (Drilling) หรือทำการระเบิดโดยใช้วัตถุระเบิด (Explosives) เครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในการขุดเจาะในชั้นหินหรือดินแข็งนั้นมีหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้จะต้องพิจารณาถึงขนาดของโครงการ ลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของหิน ความลึกและขนาดของรูที่เจาะ ลักษณะชั้นหินที่ต้องการจากการขุดเจาะ เช่น ต้องการเป็นมวลรวมหรือเป็นก้อนขนาดใหญ่ เป็นต้น

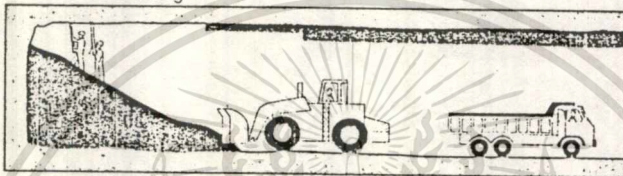
ขั้นตอนในการขุดเจาะอุโมงค์ โดยวิธี Drilling and Blasting

การที่จะเริ่มทำการขุดเจาะอุโมงค์ จะต้องมีการออกแบบลักษณะการขุดเจาะตลอดจนการระเบิดให้เหมาะสมกับสภาพหินที่จะทำการขุดเจาะเป็นอย่างดี รวมทั้งมีการวางแผนควบคุมกับงานระบบอื่น ๆ เช่น ระบบลำเลียงขนย้ายเศษหิน เป็นต้น ส่วนขั้นตอนของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drilling and Blasting มีขั้นตอนดังนี้

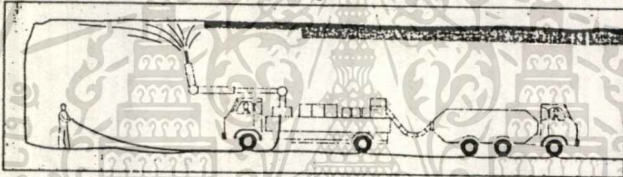




1. Drilling for rockbolts and the next round.
2. Blasting



3. Scaling and mucking out the last round.



4. Shotcreting the two previous rounds.

รูปที่ 5-1 แสดงขั้นตอนในการขุดเจาะอุโมงค์
ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drilling and Blasting

1. เกิดเสียงดัง
2. อาจเกิดอันตรายเนื่องจากแรงระเบิด
3. ควบคุมการใส่ระเบิดได้ลำบาก เพราะไม่มีทฤษฎีใดที่ใช้ในการควบคุมได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง 100% ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์
4. เกิดฝุ่นละอองหรือก๊าซพิษซึ่งอาจทำอันตรายต่อคน
5. ผิวอุโมงค์ที่ได้ไม่เรียบเท่าที่ควร สิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้ทำผนังอุโมงค์ (Lining) เกินกว่าที่ควรจะเป็น
6. ใช้ได้เฉพาะกับหินหรือดินแข็ง

การเลือกรูปแบบการขุดเจาะ (Selecting the Drilling Pattern)

รูปแบบของการขุดเจาะรูเพื่อใส่วัตถุระเบิด จะแตกต่างกันไปตามชนิดและขนาดของเครื่องขุดเจาะที่ใช้ ความลึกของรู ชนิดของหิน ขนาดสูงสุดของเศษหินที่ต้องการและปัจจัยอื่น ๆ

ถ้าต้องเจาะรูเพื่อผลิตมวลรวม (Aggregate) ควรใช้รูปแบบในการขุดเจาะเพื่อผลิตเศษหินชั้นที่สามารถขนย้ายด้วยรถขุด (Excavator) ได้ หรือมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าเครื่องบดอัดหินได้ โดยไม่ต้องระเบิดหินเสริมในภายหลัง บางครั้งค่าใช้จ่ายอาจสูงเกินไป จนต้องยอมระเบิดหินให้ได้เศษหินชิ้นใหญ่กว่าที่ต้องการ เพื่อลดค่าใช้จ่าย

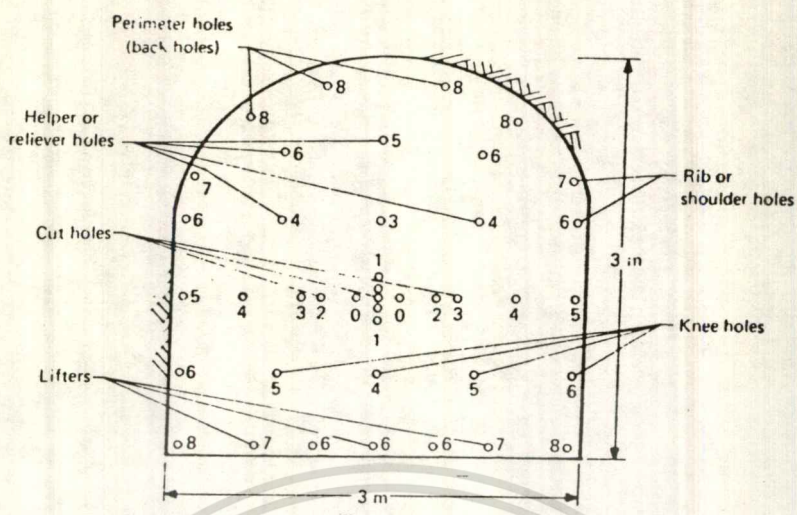
การเจาะรูเล็กชิดกัน เพื่อให้วัตถุระเบิดกระจายอย่างทั่วถึง ทำให้ได้ขนาดหินใกล้เคียง อย่างไรก็ตามถ้าการเจาะรูชิดกันทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเกินกว่าประโยชน์ที่ได้รับจากขนาดหินที่สม่ำเสมอแล้ว รูปแบบการเจาะรูเล็กชิดกันนี้ย่อมไม่เหมาะสม

การเจาะรูขนาดใหญ่ ทำให้บรรจุวัตถุระเบิดได้มากขึ้นต่อรู ระยะการเจาะรูก็สามารถห่างกันได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายลง

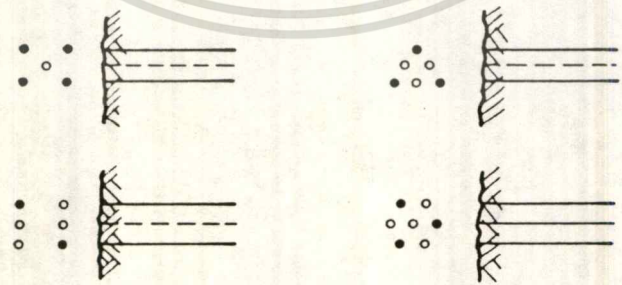
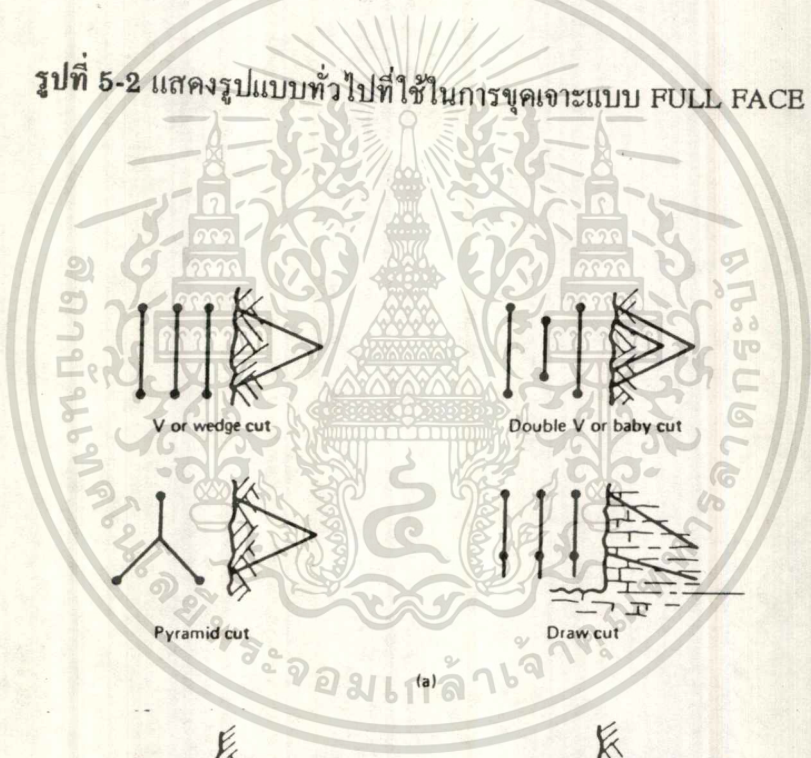
ในการวางแผนการขุดเจาะและระเบิดหิน ควรพิจารณาปัจจัย 3 ประการดังนี้

1. ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยความลึกของรู
2. น้ำหนักของวัตถุระเบิดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของหิน
3. น้ำหนักของวัตถุระเบิดต่อหนึ่งหน่วยความลึกของรู

ปัจจัยทั้งสามนี้อาจประมาณค่าได้ก่อนเริ่มงานขุดเจาะ และระเบิดหิน อย่างไรก็ตามหลังจากขุดเจาะขั้นต้นไปแล้ว ตัวเลขเหล่านี้อาจปรับใหม่เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด

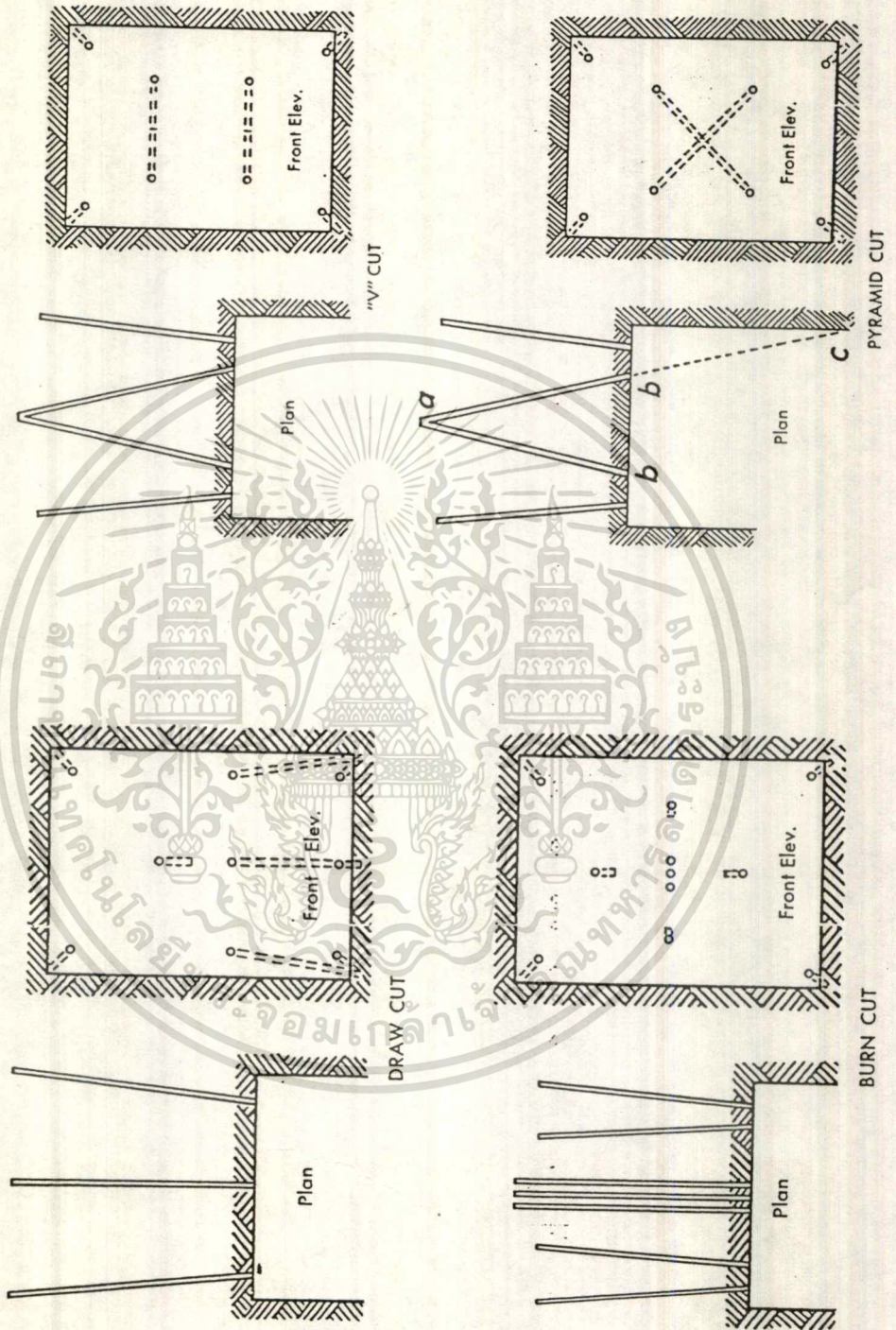


รูปที่ 5-2 แสดงรูปแบบทั่วไปที่ใช้ในการเจาะแบบ FULL FACE



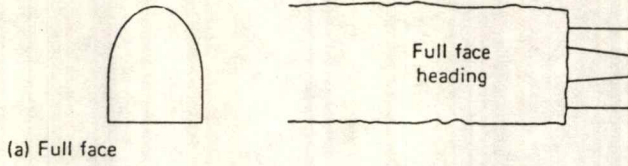
รูปที่ 5-3 ลักษณะการเจาะรู (DRILLINGS) เพื่อทำการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

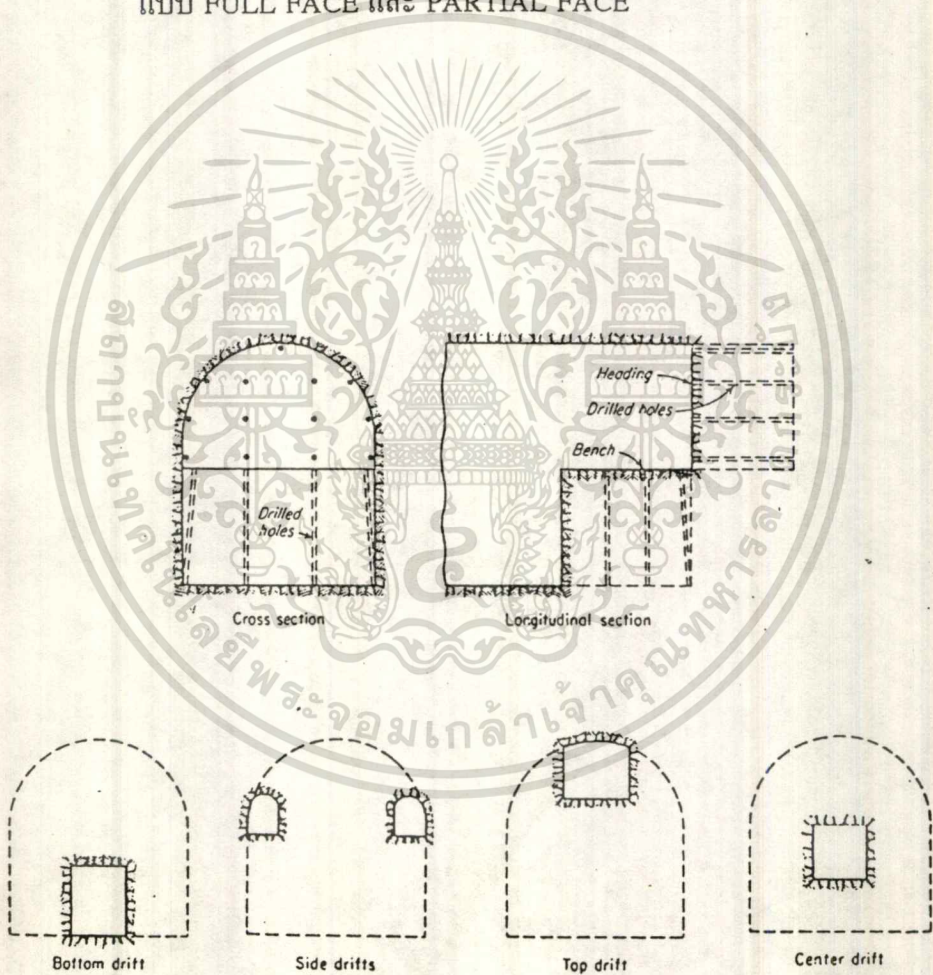


รูปที่ 5-4 ลักษณะการเจาะรู (DRILLINGS) เพื่อทำการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

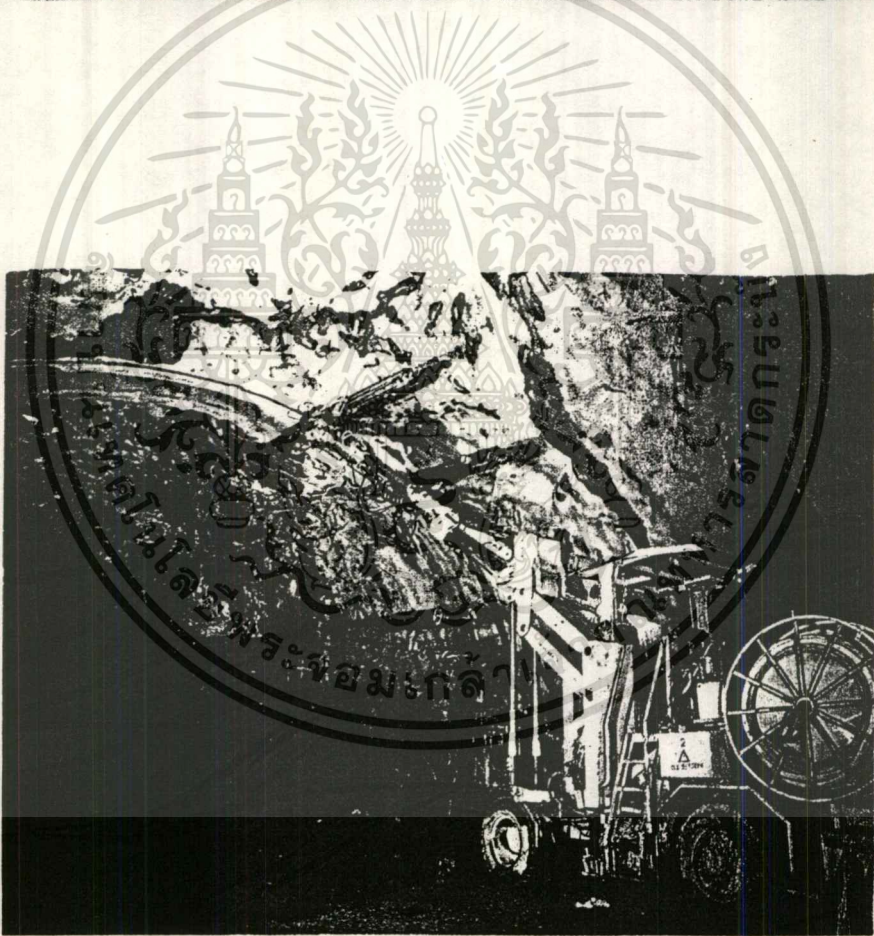
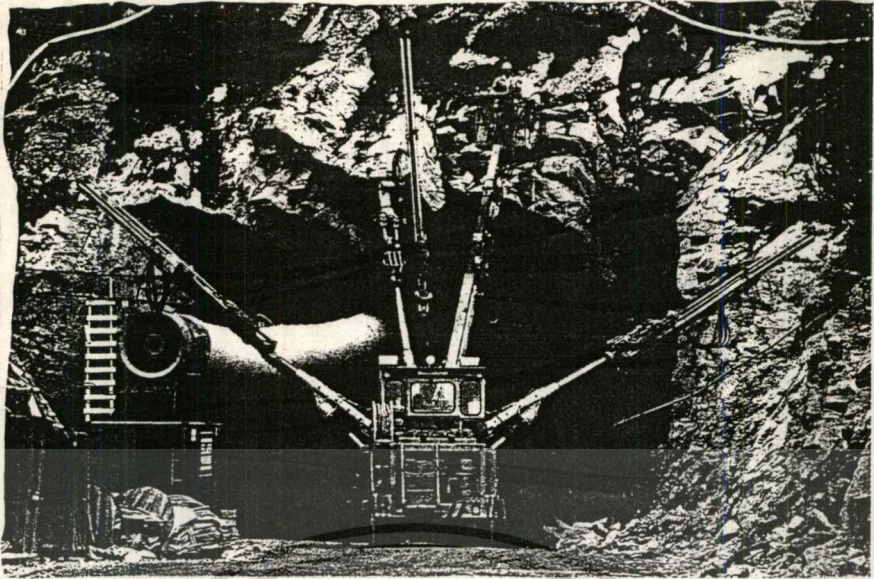


รูปที่ 5-5a แสดงการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING
แบบ FULL FACE และ PARTIAL FACE



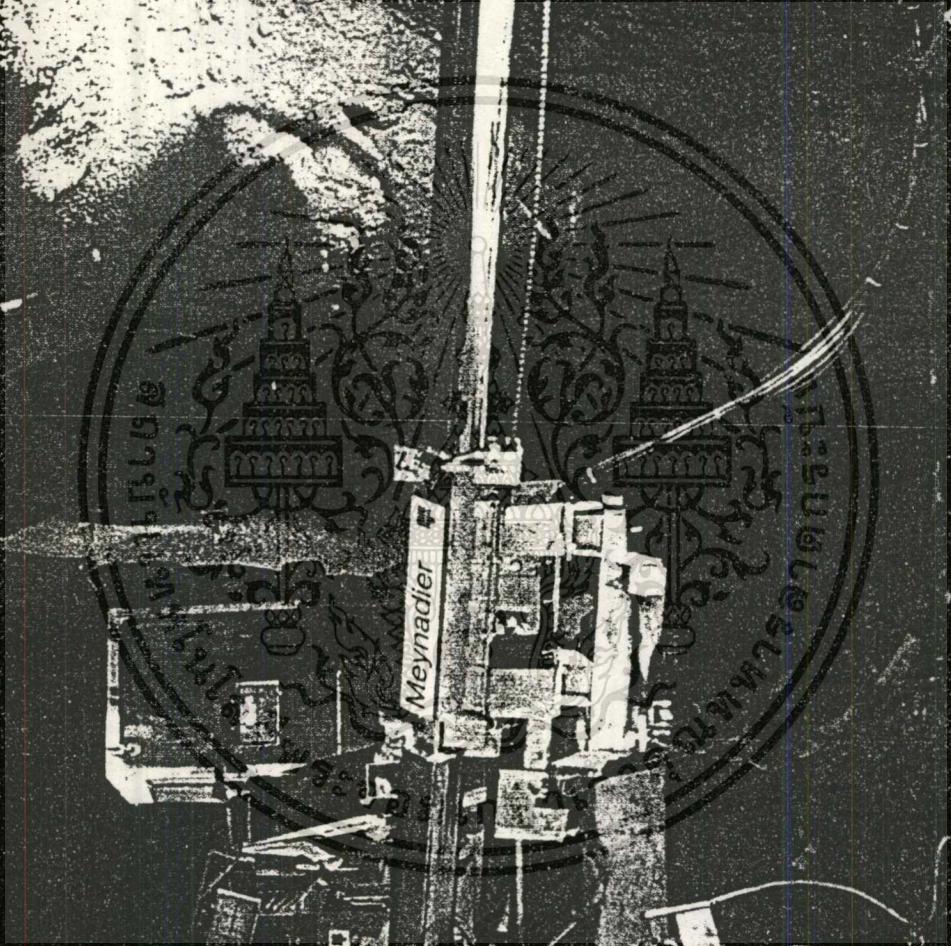
รูปที่ 5-5b แสดงการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี DRILLING AND BLASTING
แบบ FULL FACE และ PARTIAL FACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-6 เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 เครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเจาะ

อัตราการขุดเจาะหิน

อัตราการขุดเจาะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและขนาดเครื่องขุดเจาะที่ใช้ ความแข็งแรงของหิน ความลึกของรู รูปแบบการขุดเจาะ เวลาพักคอย งานอื่น ๆ เป็นต้น เครื่องขุดเจาะที่ใช้เครื่องอัดลม อัตราการขุดเจาะจะแปรเปลี่ยนมากตามความดันของลมอัด นอกจากนี้อัตราการขุดเจาะยังขึ้นอยู่กับว่ามีเครื่องขุดเจาะที่พร้อมจะใช้งานได้เมื่อต้องการหรือไม่ เพราะเครื่องขุดเจาะถูกใช้งานมาก อาจสึกหรอและเสียได้ ทำให้เกิดความล่าช้าต่องาน

การระเบิดอุโมงค์

ลักษณะการระเบิดอุโมงค์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1. Full Face เป็นการระเบิดอุโมงค์แบบเต็มหน้าตัด ซึ่งจะมีการเจาะรูเต็มหน้าตัดอุโมงค์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในขั้นตอนแรกจะมี Cut Holes เป็นรูที่เจาะบริเวณส่วนกลางของหน้าตัดอุโมงค์ที่จะทำการเจาะ ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างรูถี่กว่าชนิดอื่น ต่อมาคือ เจาะ Helper Holes เพื่อช่วยในการระเบิด และจะ Perimeter Holes รอบ ๆ ขอบหน้าตัดอุโมงค์ และสุดท้ายคือ Lifter Holes เพื่อทำให้หินหล่นลงข้างล่าง เมื่อทำการระเบิด

2. Pantial Face เป็นการระเบิดอุโมงค์แบบที่ละส่วนจนเต็มหน้าตัด ซึ่งไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัว การเจาะรู (drillings) เพื่อระเบิดมี 2 ลักษณะ คือ Agle-Cut รูที่เจาะน้อยกว่าแบบ Parallel-Cut ซึ่งแบบ Agle-Cut จะต้องการจำนวนรูที่เจาะน้อยกว่าแบบ Parallel Cut แต่การเจาะทำได้ยากกว่าและให้ Error มากกว่า

ลักษณะรูแบบ Parallel Cut จะประกอบด้วย Burn-Cut และ Cylinder Cut โดยจะมีบางรูปล่องทิ้งไว้โดยไม่บรรจุระเบิด ใช้ปริมาณระเบิดมากกว่า วัตถุระเบิดที่ใช้ในการระเบิดหินส่วนใหญ่จะเป็นไดนาไมท์ (Dynamite)

แรงสั่นสะเทือนจากการระเบิด

ระดับความสั่นสะเทือนจากการระเบิด จะต้องได้รับการควบคุมไม่ให้เกิดปัญหากระทบต่อโครงสร้างและอุโมงค์ ตลอดจนสภาพผนังรอบ ๆ การเจาะ (Dowding, 1985)

การทำนายระดับความสั่นสะเทือนจากการระเบิดนั้นมักจะมีผิดพลาดอยู่บ่อย ๆ อันเนื่องมาจากความไม่รู้ถึงสภาพอันหลากหลายของชั้นหินนั้น ทำให้เราจำเป็นต้องตรวจจับความสั่นสะเทือนรวมทั้งต้องมีการทดสอบการระเบิด เพื่อปรับปรุงการระเบิดให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เครื่องมือในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

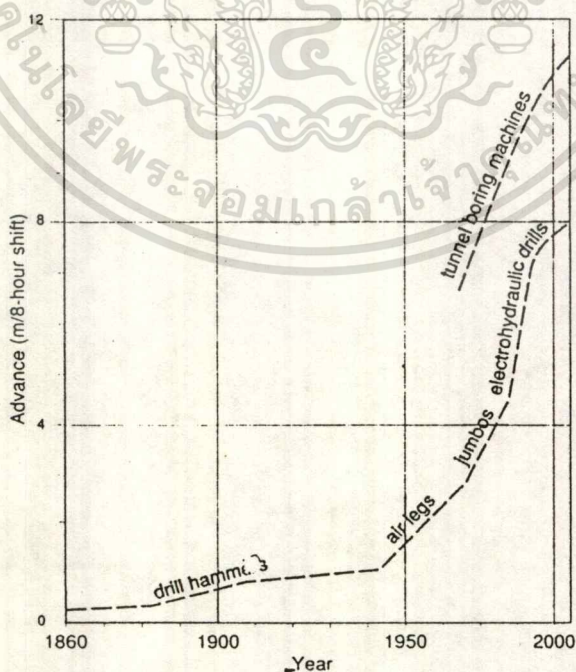
ตรวจวัดความสั่นสะเทือนในการระเบิด เรียกว่า Seimograph ซึ่งใช้ในการตรวจบันทึกลักษณะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น (Bollinger, 1971, Dosing, 1985)

ระดับความสั่นสะเทือนสามารถจะทำให้ลดลงได้ โดยจำกัดขอบเขตการระเบิด อย่างไรก็ตามราคาในการเจาะก็ย่อมเพิ่มขึ้นเนื่องจากหลุมที่จะเจาะจะเพิ่มขึ้น และหากไม่มีการควบคุมขอบเขตของการระเบิด การสั่นสะเทือนจะลดลง แต่ปัญหาที่ตามมาคือ แรงอัดอากาศที่พุ่งออกไปพร้อมกับเศษหินที่แตกกระจายทำให้เกิดอันตราย จึงไม่นิยมใช้วิธีควบคุมขอบเขตการระเบิดนี้

5.2 การขุดเจาะโดยวิธี Tunnel Boring Machine

การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี TBM นี้เป็นเทคโนโลยีในการขุดเจาะอุโมงค์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเมื่อไม่นานมานี้ ซึ่งสามารถทำการขุดเจาะอุโมงค์ได้ทั้งในสภาพที่เป็นดินแข็งหรือหิน โดยปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเจาะอุโมงค์โดยใช้วิธี Drilling and Blasting ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้กันมาตั้งแต่ยุคแรก ๆ

เครื่องเจาะ TBM นี้สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดเจาะโดยใช้วิธี Drilling and Blasting ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้รับการปรับปรุงพัฒนาตลอดมา จนเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในปัจจุบันนี้



รูปที่ 5-8 รูปแสดงความก้าวหน้าในการขุดเจาะอุโมงค์ในหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและส่วนประกอบของ TBM

เครื่องเจาะ TBM ของแต่ละบริษัทที่ผลิตออกมา อาจมีความแตกต่างในรายละเอียดปลีกย่อย แต่ส่วนประกอบหลัก ๆ ของ TBM มีดังนี้

Cutting Tools เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตัด มีความคมและแข็งมาก ซึ่งในการเจาะจะต้องใช้ให้เหมาะสมกับสภาพดินหรือหินที่ต้องการเจาะ ซึ่งจะมีหลายชนิด

Cutting Head เป็นส่วนของหัวเจาะ ซึ่งขณะเจาะส่วนนี้จะหมุนและเจาะเข้าไปในบริเวณที่จะทำการเจาะ โดยที่ Cutting Tools จะติดอยู่กับส่วนนี้

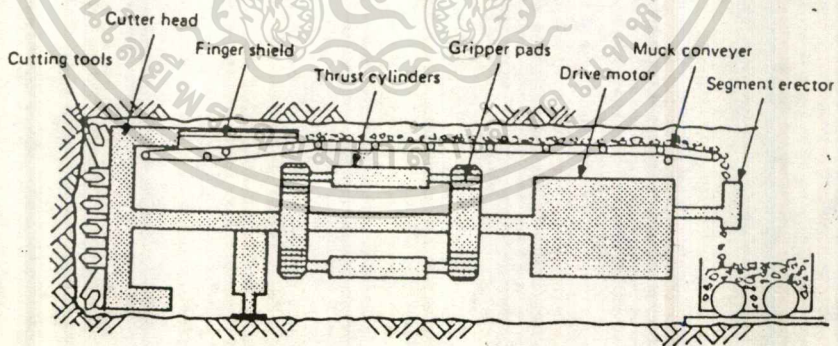
Finger Shield เป็นส่วนที่ไว้ใช้คอยค้ำผิวด้านบนของการขุดเจาะ

Trust Cylinders เป็นตัวขับเคลื่อนให้หัวเจาะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่อทำการเจาะโดยส่วนนี้จะติดอยู่กับ Gripper Pads

Drive Motor เป็นมอเตอร์ที่ทำหน้าที่คอยหมุนส่วน Cutting Head ซึ่งจะสามารถปรับความเร็วในการหมุนได้

Muck Conveyor ระบบสายพานที่ใช้ในการลำเลียงเศษดิน และเศษหินที่ได้จากการขุดเจาะ

Segment Erector เป็นชิ้นส่วนของผนังอุโมงค์ ซึ่งจะทำการติดตั้งภายหลังจากการขุดเจาะไปสักระยะหนึ่ง



รูปที่ 5-9 ลักษณะและส่วนประกอบหลัก ๆ ของ TBM

ลักษณะของ TBM จะเป็นหัวเจาะทรงกระบอก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 1.5-12 เมตร ซึ่งอาจจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่านี้แล้วแต่การออกแบบและความเหมาะสมในการใช้งาน

รัศมีในการเลี้ยวของ TBM ขึ้นอยู่กับความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ TBM โดยทั่วไปรัศมีที่แคบที่สุดประมาณ 30 เมตร แต่ส่วนใหญ่จะมีรัศมีในการเลี้ยวประมาณ 60 เมตร

TBM บางชนิดสามารถเปลี่ยนทิศทางขณะที่กำลังเจาะอยู่ แต่โดยทั่วไปจะต้อง Reset ทิศทางใหม่ เมื่อสิ้นสุดแต่ละจังหวะ

ความลาดเอียงมากที่สุดในการทำงาน คือ 45 องศา สำหรับการขุดเจาะแบบเอียงขึ้น (Decline) และ 18 องศา สำหรับการเจาะเอียงลง

อัตราการหมุนของ Cutter Head อยู่ในช่วง 8-18 รอบ/นาที

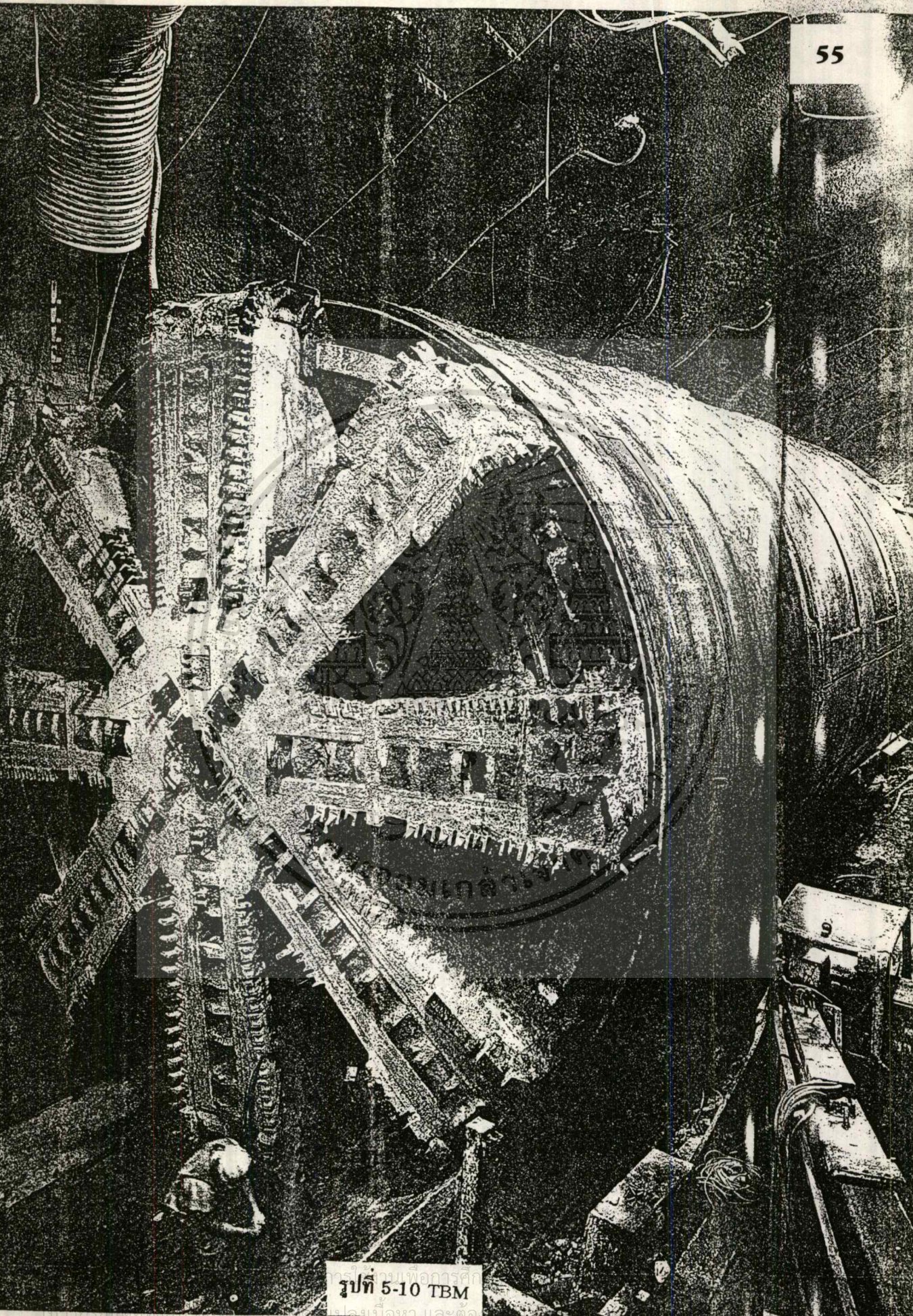
การทำงานของ TBM

การทำงานของ TBM จะดำเนินการภายหลังจากการสร้าง Shaft เสร็จสิ้นแล้ว เมื่อนำ TBM วางไว้ตรงตำแหน่งที่จะเริ่มทำการเจาะ แล้วทำการเจาะตามแนว Route ที่ได้วางไว้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อ TBM เริ่มทำการเจาะอุโมงค์แล้วเศษดินหรือหิน (Muck) ที่ได้จากการขุดเจาะจะถูกส่งจากส่วนผิวหน้าของการขุดเจาะ (Tunnel Face) มายังส่วนหลังของ TBM โดยระบบสายพานลำเลียง (Muck Conveyor) หรืออาจจะเป็นระบบท่อ (Pipeline) แล้วทำการขนเศษดินหรือหินดังกล่าวไปทิ้ง

การเจาะอุโมงค์ในลักษณะของ TBM ดังกล่าว เราอาจเรียกได้ว่าเป็นลักษณะของการขุดเจาะแบบ Full-Face ซึ่งจะใช้ในกรณีที่มีการขุดเจาะเป็นรูปวงกลม

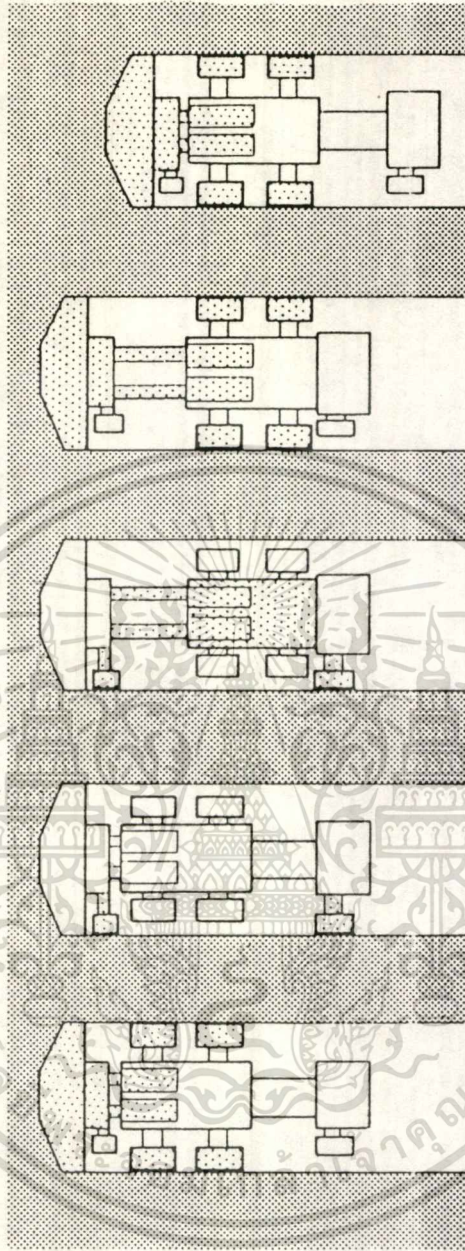
ภายหลังจากการขุดเจาะไปถึงระยะหนึ่งก็จะทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ (Lining) โดยการนำชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ ซึ่งได้รับการออกแบบและเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาดำเนินการติดตั้ง โดยที่จะมีแผ่นยางกันน้ำซึมคอยกันระหว่างชิ้นส่วน ส่วนการยึดติดกันระหว่างชิ้นส่วนจะยึดติดกันด้วย Bolt โดยที่ TBM ก็ยังดำเนินการขุดเจาะไปข้างหน้า

หากการขุดเจาะผ่าน ไปยังชั้นที่มีความแข็งมากขึ้น ก็ย่อมจำเป็นที่จะเปลี่ยนส่วนของ Cutting Tools (ใบมีดตัด) เป็นแบบที่ใช้สำหรับความแข็งที่มากขึ้นตาม



รูปที่ 5-10 TBM

เมื่อใช้เครื่องจักรขุดเจาะดินและหินแข็ง ๆ จะใช้เครื่องจักรขุดเจาะดินและหินแข็ง ๆ และต่อ

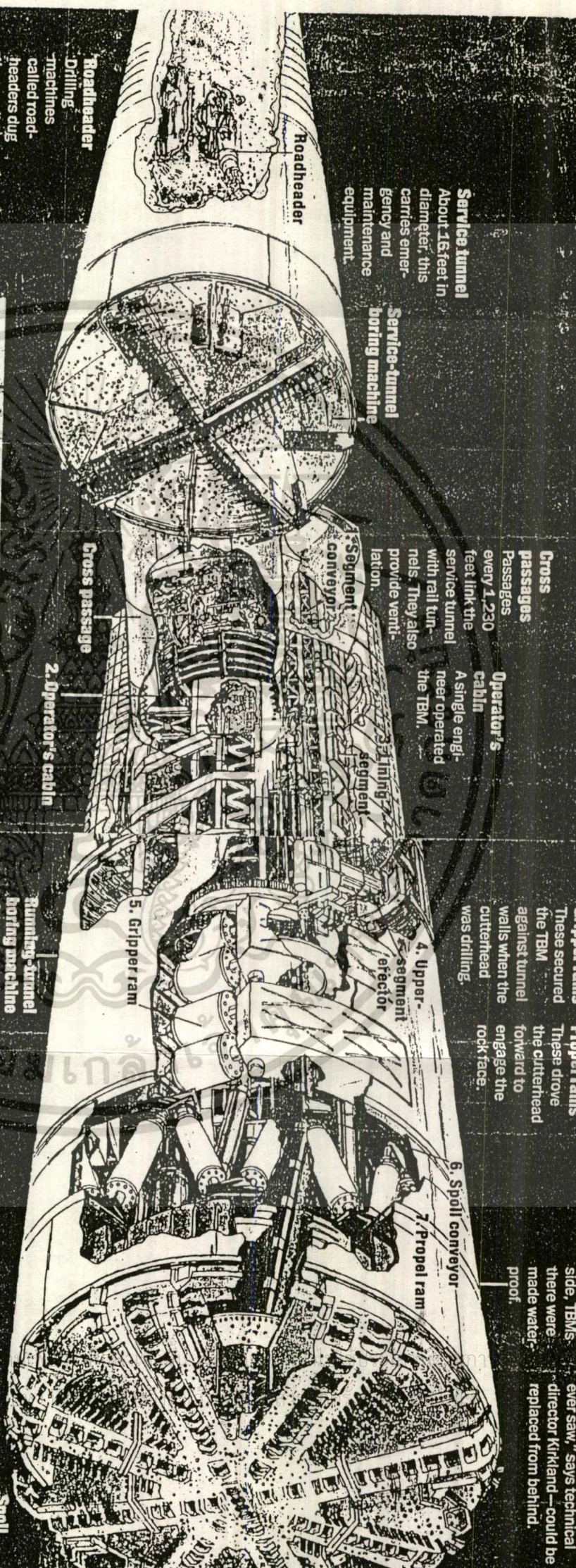


รูปที่ 5-11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ TBM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cutting through

"This is actually an easy tunnel. It's just a long, long way," Peter Bermingham, an engineer on the project, said. The tunnel boring machines did the heavy work, digging two running tunnels and a service tunnel. Each TBM operated as a self-contained tunnel-processing plant. As it burrowed through rock, it simultaneously moved spoil back to cars and lined the hole with precast concrete segments. Boring took three and a half years.



Service tunnel
About 16 feet in diameter, this carries emergency and maintenance equipment.

Service-tunnel boring machine

Cross passages
Passages every 1,230 feet link the service tunnel with rail tunnels. They also provide ventilation.

Operator's cabin
A single engineer operated the TBM.

Gripper rams
These secured the TBM against tunnel walls when the cutterhead was drilling.

Propel rams
These drove the cutterhead forward to engage the rock face.

Cutterhead
Studded with tungsten teeth, the cutterhead chewed through fractured chalk 15 feet of rock an hour. The teeth—"biggest dentures you ever saw," says technical director Kirkland—could be replaced from behind.

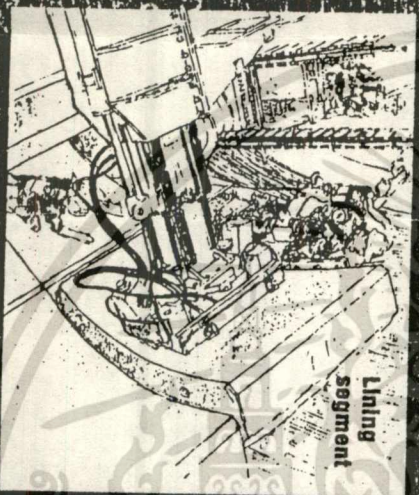
Headheader

Drilling machines
called road-headers dug the small cross passages that connect the three tunnels.

Tunnel boring machine (TBM)

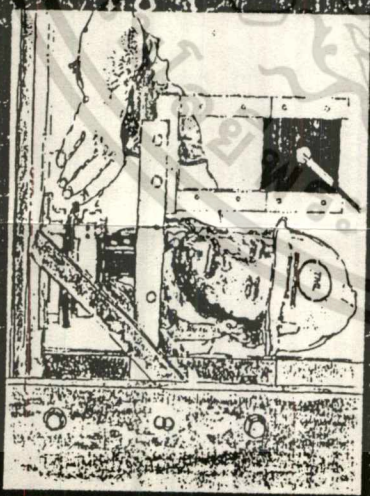
Each TBM stretched two football fields in length. The 11 machines cost a total of 90 million dollars. To save time and money, a TBM started from each end and worked toward the middle.

Fans
Dust-extraction unit



Lining segment

Installation of lining
As each section was dug, a segment erector lifted curved sections of iron or concrete and fitted them together in a ring to line tunnel walls. Grouting or gaskets sealed the joints.



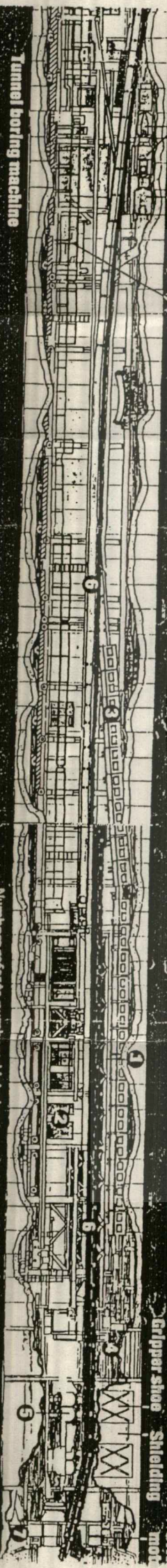
Running-tunnel boring machine

Laser guidance
A computerized laser-guidance system kept the TBMs on course, ensuring their meeting halfway under the Channel. A narrow drill probed the rock ahead. The service tunnel, first to be completed, took exactly three years to dig.

Spoil
Conveyor belt removed spoil. Digging produced ten million cubic yards, enough to fill London Wembley Stadium nearly 20 times.

Tunnel boring machine

Numbers refer to numbered labels above.



Gripper shoe Shielding

Drive motor

Cutterhead

อัตราการทำงานของ TBM

ในการที่จะพิจารณาอัตราในการทำงานของ TBM นั้น จะพิจารณาได้จาก

1. Penetration Rate (m/h) เป็นอัตราการขุดเจาะของ TBM ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร็วในการหมุนของหัวเจาะ ซึ่งจะถูกจำกัดโดยความสามารถของใบมีด อัตรานี้จะมามีค่ามากขึ้นในบริเวณดินอ่อน เช่น หิน Shale จะมีค่า Penetration Rate ประมาณ 7.3 m/h ในขณะที่หินปูน (Sedimentary Rock) จะมีค่าระหว่าง 2.1-2.8 m/h

2. Advance Rate (m/month, m/h) เป็นอัตราเฉลี่ยของระยะทางที่ TBM ทำการเจาะไปได้ต่อระยะเวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งจะรวมทั้งเวลาในการเจาะและงานอื่น ๆ ซึ่ง Advance Rate จะเป็นตัวที่ใช้ในการประเมินมูลค่าของงานขุดเจาะอุโมงค์

ตัวอย่างค่าเฉลี่ยสำหรับเครื่องเจาะ TBM ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9.5 เมตร ซึ่งใช้ในโครงการ TARP ใน CHICAGO เมื่อปี 1970 คือ 914 m/month ต่อมาในปี 1983 Nelson และ O'Rourke สามารถทำอัตราได้ถึง 0.82 m/h ระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์ 6 อุโมงค์ โดยรวมระยะทางทั้งสิ้น 22.9 กิโลเมตร ในชั้นหิน Sedimentary

Robbins (1976) แนะนำว่าควรเจาะอุโมงค์ในอัตราที่คงที่ตลอดงาน แทนที่จะเจาะด้วยอัตราที่สูงในบริเวณที่ขุดเจาะง่าย และติดขัดอย่างมากในบริเวณที่ลักษณะดินหรือหินมีสภาพไม่ดี

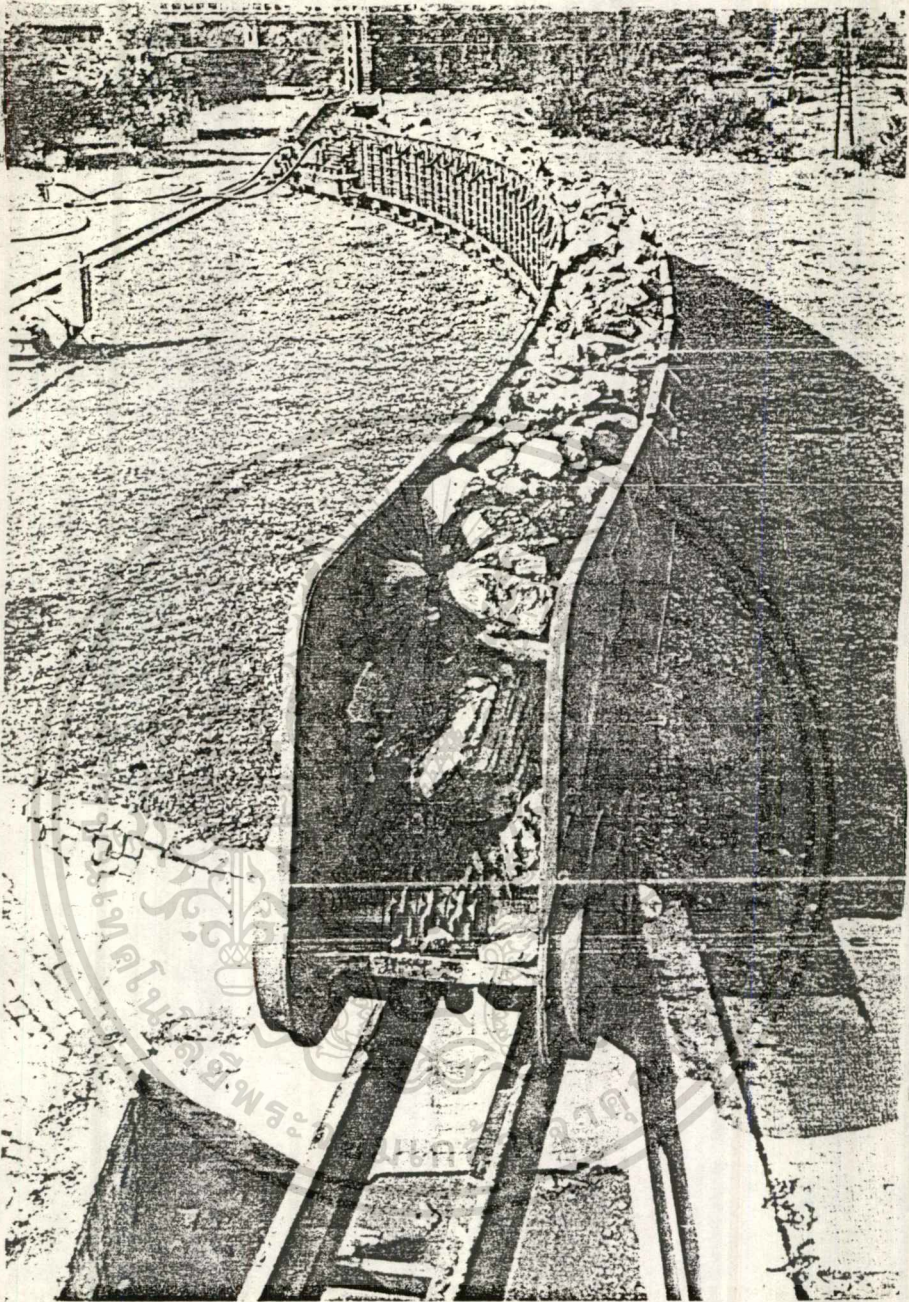
การเปลี่ยนใบมีด

ในปี 1970 ราคาในการเปลี่ยนใบมีดตัด (Cutting Tools) อยู่ระหว่าง \$40,00-\$70,000 เนื่องมาจากการเปลี่ยนชุดของ Cutters ของ TBM ที่ใช้ในการขุดเจาะชั้นหิน Sedimentary (สำรวจ โดย Nelson & O'Rourke)

การเปลี่ยนใบมีดจะกระทำทุก ๆ 100 ชั่วโมง และทุก ๆ 300 m ของการขุดเจาะ

การขนย้ายเศษหิน (Mucking)

หมายถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายเศษดินหรือหินที่ถูกขุดแล้วออกจากอุโมงค์ ซึ่งความสามารถในการขนย้ายเศษหิน (Muck) ออกจากอุโมงค์นี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราในการขุดเจาะ ความล่าช้าในการขนเศษหินจากการขุดเจาะพบว่าบ่อยครั้งกินเวลาถึง 40% ของเวลาในการขุดเจาะทั้งหมด ดังนั้นในงานเจาะอุโมงค์จึงควรที่จะมีระบบการขนย้ายเศษหินจากการขุดเจาะที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5-13 การลำเลียงขนย้ายเศษหิน (MUCKING) จากการขุดเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบในการขนย้าย (Mucking System) จะประกอบด้วย ระบบที่ใช้สายพานลำเลียง (Conveyor) จะมีการขนย้ายในช่วงระยะทางสั้น ๆ โดยจะทำการเคลื่อนย้ายเศษหินมาจากส่วน Cutting Head ผ่านไปยังรถรางหรือรถขนส่งวัสดุซึ่งจะทำการบรรทุกเศษหินดังกล่าวออกไปจากอุโมงค์อีกที่หนึ่ง

ระบบในการลำเลียงวัสดุ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ

1. Discontinuous System เป็นระบบที่ใช้ในระยะเวลาทางการลำเลียงขนย้ายเป็นระยะทางไกล เช่น รถราง รถขนส่ง ซึ่งหากเส้นผ่านศูนย์กลางการขุดเจาะหรืออุโมงค์มีขนาดเล็กมักจะนิยมใช้ระบบรถราง ซึ่งสามารถบรรทุกคนงานและวัสดุต่าง ๆ ไปยังหน้างานได้

2. Continuous System เป็นกรลำเลียงเศษวัสดุ หรือเศษหินที่ได้จากการเจาะผ่านทาง Conveyor (สายพานลำเลียง) ท่อ (Pipeline) แต่มีข้อจำกัดคือ เศษ Muck จะมีลักษณะที่เหลว และขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีการฉีดหรืออัดเศษ Muck ให้มีขนาดเหมาะสมกับ Pipeline

ในการขุดเจาะอุโมงค์ความสามารถในการลำเลียงเศษหินสามารถคำนวณได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ และจากอัตราการขุดเจาะทั้งหมด

โดยทั่วไปพบว่าอัตราการขุดเจาะในหินที่แข็ง จะมีค่ามากกว่าอัตราการขุดเจาะในหินที่มีความแข็งน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น อัตราการขุดเจาะในหิน Shale มีค่าประมาณ 30-70 m³/h ในขณะที่อัตราการขุดเจาะใน Hard Rock มีค่าเพียง 5-10 m³/h

Mixed-Face เป็นสภาพที่มีความแตกต่างระหว่างชั้นที่มีการขุดเจาะ (ขุดเจาะผ่านชั้นดินหรือหินแข็งหลาย ๆ ชั้น) โดยที่บริเวณ Mixed Face จะประกอบด้วยชั้นของหินที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยอาจเป็น Hard Rock และ Soft Rock หรือไม่ก็เป็นรอยต่อระหว่างชั้นหินและชั้นดิน ซึ่งถ้าหากเรามีได้ทำการสำรวจบริเวณที่จะทำการขุดเจาะอย่างละเอียดแล้วนั้น ก็อาจทำให้เกิดปัญหาในเรื่องความเสียหายของ Cutting Tools และยังอาจนำมาซึ่งความคลาดเคลื่อนในการขุดเจาะจากแนวเส้นทางที่ได้วางไว้แล้วก็เป็นได้

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Tunnel-Boring Machine

1. ชนิดของดินหรือหินที่เจาะผ่าน ย่อมมีผลโดยตรงต่ออัตราการขุดเจาะเนื่องจากความแข็งของชั้นหินที่จะทำการขุดเจาะ หากชั้นที่เจาะผ่านมีความแข็งมาก อัตราการขุดเจาะของ TBM ย่อมน้อยกว่าชั้นหินที่มีความแข็งน้อยกว่า
2. ระดับและปริมาณน้ำใต้ดิน ข้อจำกัดที่สำคัญในการขุดเจาะโดย TBM คือหากมีน้ำไหลทะลักเข้ามาในระหว่างการขุดเจาะ TBM จะไม่สามารถดำเนินการขุดเจาะต่อไปได้ นั่นคือหากมีระดับและปริมาณน้ำใต้ดินมาก จะทำให้อัตราการขุดเจาะของ TBM ลดลง
3. กำลัง TBM ต้องมีกำลังที่เพียงพอสำหรับการขุดเจาะ เพื่อให้การขุดเจาะดำเนินไปตามอัตราที่ต้องการ
4. ความชำนาญในการทำงาน หากการทำงานมีความชำนาญแล้ว ทุก Process ในการเจาะย่อมดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ
5. วิธีการลำเลียงเศษหินออกไป จะต้องสัมพันธ์กับปริมาณการขุดเจาะ ซึ่งหากการลำเลียงเป็นไปได้อย่างเชื่องช้า ไม่สามารถลำเลียงเศษหินออกไปได้ทันกับปริมาณเศษหินที่เจาะ ย่อมทำให้เสียเวลาในการรอกการลำเลียงเศษหินออกไปก่อน
6. การค้ำยัน ในระหว่างการขุดเจาะ หากผนังที่ได้เจาะผ่านไม่สามารถ Support ตัวเองได้ย่อมต้องมีการค้ำยัน (Bracing) ไว้เพื่อความปลอดภัย ซึ่งหากใช้พื้นที่ส่วนนี้มาก ย่อมมีผลต่อการทำงานอย่างแน่นอน

ข้อได้เปรียบของการใช้ TBM เปรียบเทียบกับวิธี Drilling and Blasting

1. ดำเนินการขุดเจาะได้รวดเร็วกว่า
2. ผิวของอุโมงค์ที่ได้จากการเจาะจะเรียบ และได้ขนาดตามแบบที่ต้องการ
3. ลดการพังทลายของดินหรือหินแข็งเหลือ 5% ในขณะที่การขุดเจาะโดยวิธี Drilling and Blasting จะมีการพังทลาย 20%
4. ใช้ปริมาณคอนกรีตในการทำผนังอุโมงค์น้อยกว่า เนื่องจากผิวอุโมงค์ที่ได้มีลักษณะเรียบกว่า
5. ดินหรือหินบริเวณรอบ ๆ ถูกรบกวนน้อยกว่าวิธี Drilling and Blasting มาก จึงไม่จำเป็นต้องทำระบบค้ำยันมาก
6. ลดปัญหาและอันตราย เนื่องจากการที่เศษหินร่วงใส่หรือก๊าซพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เนื่องจากขั้นตอนการขุดเจาะและการขนดินออกสามารถดำเนินไปได้พร้อมกัน จึงทำให้ประหยัดเวลาลงและได้ปริมาณงานมากขึ้น

8. TBM มีขนาดการใช้พื้นที่ในการขุดเจาะไม่มากนัก ทำให้เหลือพื้นที่ว่างสำหรับการทำงานอื่นได้อย่างสะดวก เช่น การทำผนังอุโมงค์ การติดตั้งค้ำยัน เป็นต้น

9. คุณสมบัติการรับกำลังของหินไม่ถูกกระทบกระเทือน เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการระเบิดหิน

10. จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบในด้านราคา พบว่า การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี TBM จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการก่อสร้างด้วยวิธี Drilling and Blasting

ข้อเสียเปรียบของการใช้ TBM

1. ค่าใช้จ่ายถึงแม้จะประหยัดกว่าวิธี Drilling and Blasting ก็ยังจัดอยู่ในราคาที่ค่อนข้างแพง โดยค่าใช้จ่าย (Dollars) ประมาณ 4,000-6,000 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (ฟุต)²

2. ราคาค่าใบมีดสำหรับตัดค้อนข้างแพง

3. ถ้าเป็นการขุดเจาะอุโมงค์ในช่วงสั้น ๆ ใช้ TBM จะไม่คุ้ม

4. การก่อสร้างด้วยวิธี TBM จะต้องมีข้อมูลต่างๆ อย่างสมบูรณ์แบบ ซึ่งบางครั้งประสบการณ์อาจจะไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจ

5. การใช้วิธีขุดเจาะใน TBM เหมาะสมกับโครงสร้างอุโมงค์ที่เป็นวงกลม

บทที่ 6

การก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินมีประวัติยาวนานเกือบร้อยปีห้าสิบปี โดยเริ่มที่กรุงลอนดอน เป็นแห่งแรก เทคโนโลยีการก่อสร้างอุโมงค์ได้พัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ โดยเฉพาะในช่วง 30 ปีหลังนี้ ได้ก้าวกระโดดอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นและประเทศแถบยุโรปตะวันตก จนอาจกล่าวได้ว่าในปัจจุบันเรามีเทคนิคและวิธีการที่สามารถเจาะอุโมงค์ในดินอ่อนทุกประเภทได้อย่างปลอดภัย และ ณ วันนี้เมืองใหญ่ทั่วโลกกว่า 90 แห่งได้มีรถไฟฟ้าใต้ดินใช้ในพื้นที่ส่วนในของเมือง

6.1 การเลือกระบบในการขุดเจาะอุโมงค์

การเลือกระบบเพื่อใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อน สามารถที่จะขุดเจาะโดยใช้ Hand mine (ขุดโดยใช้คนหรือเครื่องจักรในการขุด เช่น Back hole) หรือโดยใช้ Tunnelling machine โดยใช้ Shield ซึ่งมีหลายระบบ เกณฑ์การเลือกวิธีการขุดอุโมงค์ที่เหมาะสม 2 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและพฤติกรรมที่คาดไว้ของดิน ดังที่เคยกล่าวไว้แล้ว

ต่อไปนี้เป็นความสัมพันธ์ของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์กับ Terzaghi classification สำหรับดิน

Firm ground

soil included : firm to stiff clay ประกอบด้วย clay tills, cemented sand gravels

method : สามารถใช้ได้ทั้ง hand method หรือ machine tunnelling เพราะ มี stand-up time เพียงพอ

Ravelling ground

soil included : sand และ silts ที่มีแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากแรงดึงใน pore-water

method : การขุดด้วยวิธี hand mining ต้องทำด้วยความระมัดระวังโดยต้องติดตั้ง support ที่ face และที่ roof ทันที หรือ อาจขุดด้วยวิธี machine tunnelling ซึ่งต้องทำการติดตั้ง support ทันทีเหมือนกัน

Running ground

soil included : dry sand และ loose gravel

method : การขุดแบบ hand tunnelling ให้ติดตั้ง fore-poling ค้ำยันที่ roof หรือขุดโดยใช้ shield แบบ hooded shield หรือ แบบ boxed (divided) shield สำหรับอุโมงค์
ขนาดใหญ่

Flowing ground

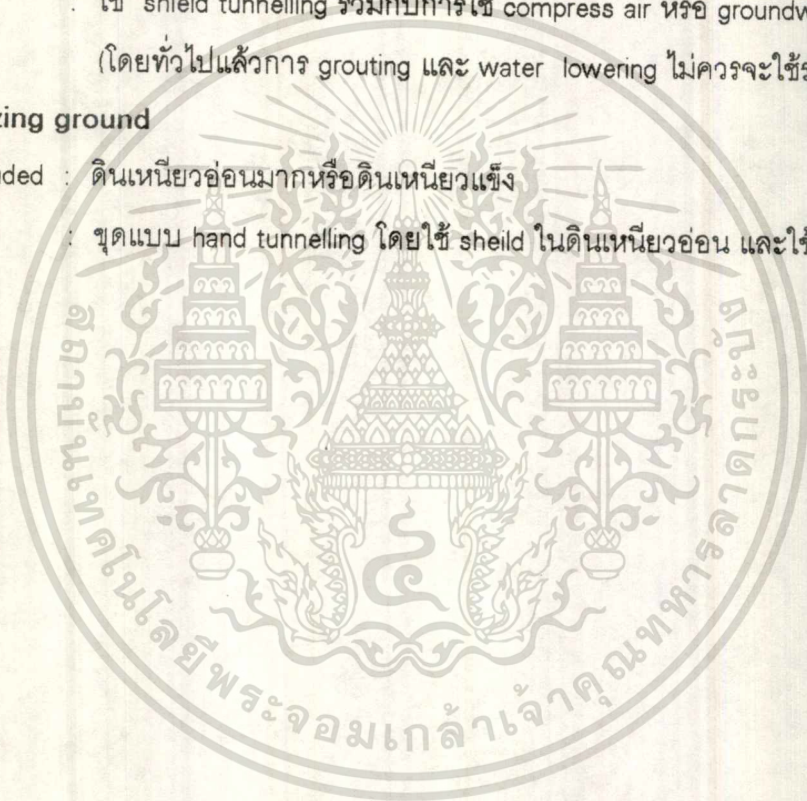
soil included : uncemented sands และ silt ใต้น้ำ

method : ใช้ shield tunnelling ร่วมกับการใช้ compress air หรือ groundwater lowering (โดยทั่วไปแล้วการ grouting และ water lowering ไม่ควรจะใช้ร่วมกัน)

Squeezing ground

soil included : ดินเหนียวอ่อนมากหรือดินเหนียวแข็ง

method : ขุดแบบ hand tunnelling โดยใช้ shield ในดินเหนียวอ่อน และใช้ compress air



วิธีการขุดเจาะ	สภาพดิน
Heading and Bench	ดินที่สามารถขุดรูไปได้เอง ดินเหนียวแข็งและกรวดที่อยู่ ในสภาพที่แน่นอนแล้วถ้าเป็นดินสภาพไม่ดี จะต้องใช้ compress air หรือสารละลายที่มีความหนาแน่นสูงช่วย
Wheel Type	ดินเหนียวอ่อน firm to stiff clay,cemented sand,gravels,sand และ silt
Drum Type	ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็ง,sand,gravel,silt
Oscillating Type	ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็ง,Sand,gravel,sand ดินที่ มีพฤติกรรมแบบ flawing หรือ running ได้
Slurry Shield Method	ดินเหนียวอ่อนจนถึง gravels ที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน
Earth Pressure Balance Shield (EPSS)	ดินอ่อนและดินที่มีพฤติกรรมแบบ running อยู่ต่ำกว่า ระดับน้ำใต้ดิน
Slime Shield Method	ดินที่มีความพรุนและอุ้มน้ำได้
Hydroshield	ดินอุ้มน้ำ(ดินอ่อน)
Mixshield	ดินอ่อนใต้น้ำ,cohesive soil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วิธีการใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อน

โดยทั่วไปแล้วในการก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อนจะสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ

1. วิธีการขุดและกลบกลับ (Cut and Cover)
2. วิธีการเจาะอุโมงค์ (Tunnling)

วิธีการขุดและกลบกลับ (Cut and Cover) เป็นวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ที่อยู่ในดินที่มีระดับของอุโมงค์ไม่ลึกมากนัก และมีพื้นที่ในการทำงานมากเพียงพอ ส่วนวิธีการเจาะอุโมงค์ (Tunnling) จะนิยมใช้ในตัวเมืองหรือบริเวณที่มีปัญหาทางด้านการจราจร เนื่องจากใช้พื้นที่ในการทำงานไม่มากนัก

6.2.1 การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธีการขุดและกลบกลับ (Cut and Cover Method)

วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบนี้เป็นการขุดตามแนวเส้นทาง (Route) ที่ได้วางไว้โดยทำการขุดเปิดหน้าดินหลังจากนั้นก็ทำการก่อสร้างอุโมงค์ เสร็จแล้วก็ทำการถมดินกลับไปบนตัวอุโมงค์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยการใส่ระบบนี้จะใช้ในบริเวณที่ดินสามารถขุดได้ง่าย

การขุดเจาะโดยวิธี Cut and Cover นี้เป็นวิธีการดั้งเดิมซึ่งใช้กันมานาน ซึ่งเหมาะสมในการสร้างอุโมงค์ที่ระดับตื้น ความลึกไม่เกิน 10 เมตร ซึ่งอาศัยการก่อสร้างจากผิวดินทำการขุดร่องตามแนวอุโมงค์ที่ได้วางไว้แล้ว หลังจากนั้นทำการหล่ออุโมงค์ในที่โดยที่หากพื้นที่ในการทำงานมีความกว้างพอก็จะใช้วิธีการขุดเปิดหน้าดินเป็นบริเวณกว้างไม่จำเป็นต้องใช้ Support ใด ๆ วิธีการนี้เรียกว่า วิธีการ "Open Cut"

แต่โดยปกติการก่อสร้างในบริเวณที่มีการจราจรแออัด หรือในบริเวณตัวเมืองที่มีประชากรคับคั่งจะไม่สามารถขุดโดยใช้วิธีการ Open Cut ได้ เนื่องจากพื้นที่มีบริเวณจำกัด ทำให้ต้องขุดโดยใช้กำแพงค้ำยันช่วยกันดิน เพื่อจำกัดบริเวณพื้นที่ก่อสร้างให้อยู่ในบริเวณแคบ โดยมักจะใช้กำแพง Steel Sheet Pile เป็นตัวค้ำยันบริเวณขุด นอกจากนี้ยังอาจใช้กำแพง Soldier Pile-Lagging (เข็มหลักตัว I สอดผนังแผ่นไม้) ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้กันตั้งแต่เดิมในอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น ฯลฯ

ข้อจำกัดของกำแพงค้ำยันประเภทนี้ คือถ้าขุดในดินอ่อนกำลังต่ำเช่นดินเหนียวปริมาณการเคลื่อนตัวจะมีมาก มีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวเสียหายของบริเวณข้างเคียงสูง ดังนั้นถ้าต้องควบคุมให้ดินเคลื่อนตัวอยู่ในระดับต่ำไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงได้ จะต้องใช้กำแพงกันดินซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่า เช่น กำแพง Diaphragm Wall คอนกรีต หรือ Contiguous Bored Pile ซึ่งมีราคาสูงกว่า และการทำงานช้ากว่า

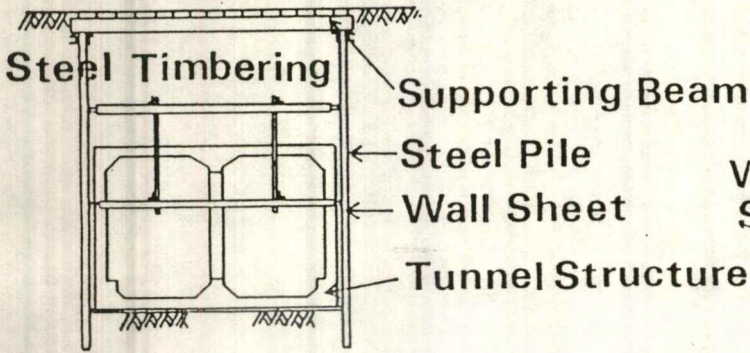
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้วิธีการขุดแบบ Cut and Cover จะค่อนข้างได้เปรียบกว่าการขุดอุโมงค์ใต้ดินในแง่ที่ไม่จำเป็นต้องเริ่มการขุดที่จุดเริ่มต้นหรือปลายอุโมงค์ โดยสามารถที่จะทำการขุดที่ตรงกลางหรือสวนใด หรือพร้อมๆ กันทุกส่วนก็ได้

ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของวิธีการ Cut and Cover นี้คือ การรบกวนผิวจราจร ด้วยเหตุที่เนื่องจากแนวอุโมงค์ส่วนใหญ่ในเมืองมักจะวางไว้ตามแนวถนนเพื่อลดปัญหาการเวนคืนที่ดิน การก่อสร้างจำเป็นต้องทำการปิดผิวถนนบางส่วนอย่างต่อเนื่องตลอดเส้นทาง นอกจากนี้ปริมาณดินที่ต้องลำเลียงออกและเข้าระหว่างการขุดและถมกลับ จะมีผลรบกวนสภาพการจราจร ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะสามารถใช้วิธีการปูพื้นชั่วคราวบนร่องขุด (Decking) เพื่อให้การจราจรดำเนินต่อไปได้บ้างก็ตาม ผลกระทบก็ยังมีอยู่ค่อนข้างมาก

สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสร้างอุโมงค์โดยวิธี Cut and Cover นั่นก็คือ มีความยุ่งยากในการโยกย้าย ระบบท่อสาธารณูปโภคต่าง ๆ ใต้ผิวดินตลอดเส้นทาง ดังนั้นวิธี Cut and Cover จึงไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในพื้นที่กลางเมืองซึ่งแออัดไปด้วยการจราจร ถึงแม้ว่าราคาในการก่อสร้างจะมีราคาถูกกว่าวิธีการใช้หัวเจาะก็ตาม ดังหลักปฏิบัติในหลายต่อหลายประเทศทั่วโลก ดังจะเห็นได้ชัดในประเทศแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ฮองกง ฯลฯ แสดงการเปรียบเทียบราคาก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าวิธีต่าง ๆ ในสิงคโปร์ ซึ่งในการก่อสร้างจริงใช้วิธี Cut and Cover เพียง 4 กม. จากทางใต้ดินทั้งหมด 12 กม. หรือในเกาะฮ่องกงใช้เพียง 1 กม. จากทางใต้ดินรวมกว่า 17 กม. เนื่องจากสภาพความแออัดของพื้นที่

Road Covering Deck



Covering Deck

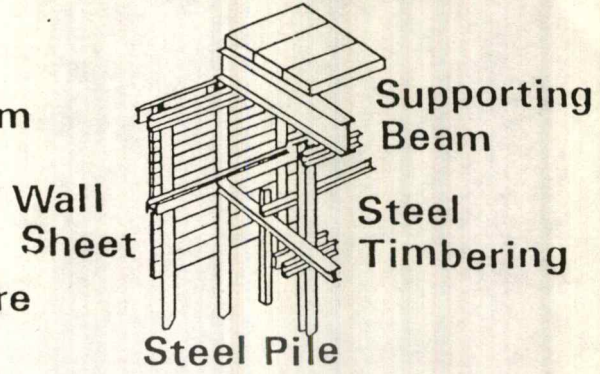
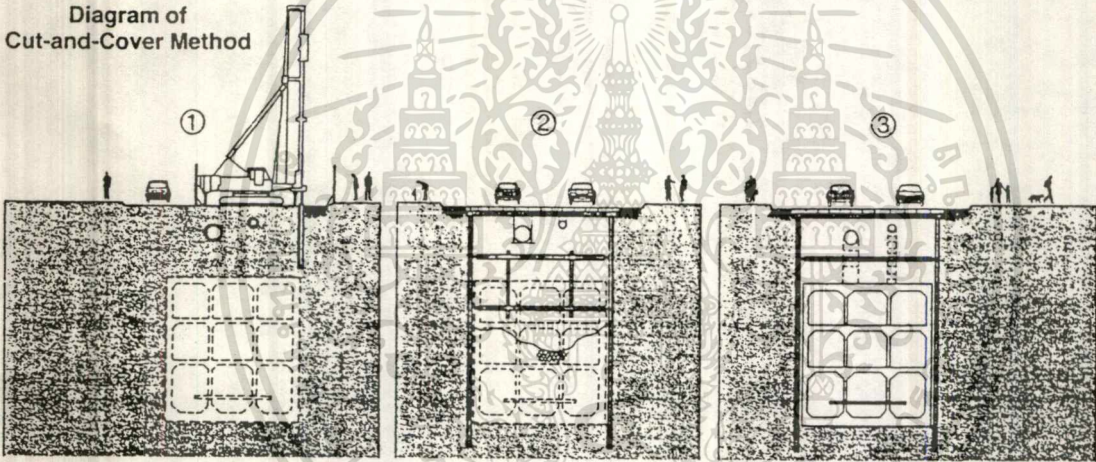


Diagram of Cut-and-Cover Method



1. สร้าง DIAPHRAGM WALL
กั้นรอบบริเวณที่ต้องการก่อสร้าง
เป็นแนวกำแพงกันดิน

2. สร้างพื้นปิดผิวดินใหม่
และเว้นช่องดินออกจาก
ด้านบน โดยการใช้
ประโยชน์ที่ผิวดิน ถึง
ดำเนินการไปตามปกติ

3. งดดินออกจนถึงระดับ
ที่ต้องการและก่อสร้าง
สถานี หรือทางวิ่งตาม
แบบที่กำหนดไว้

รูปที่ 6-1 การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี CUT AND COVER

6.2.2 วิธีการเจาะอุโมงค์ (Tunneling)

วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อนที่ส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้กันในการก่อสร้างบริเวณพื้นที่ในเมืองคือ การเจาะอุโมงค์ (Tunneling) เพราะสามารถทำได้ทุกระดับความลึก ครอบคลุมผิวจราจรน้อย ใช้พื้นที่เฉพาะบริเวณบ่อเข้าออก (Shaft) ที่ปลายทั้งสองของเส้นทางเท่านั้น

ก่อนอื่นขอทำความเข้าใจว่า คำว่าอุโมงค์ในดินอ่อน (Soft Ground Tunneling) โดยนิยามหมายถึงอุโมงค์ที่เจาะในดินทุกประเภทซึ่งมีใช้หิน (Rock Tunneling) เพราะเทคนิคในการขุดเจาะและ Support จะคล้ายกัน แต่ต่างจากหิน ประเภทของดินมีตั้งแต่ดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวแข็ง ดินทราย หลวมหรือแน่น แห้งหรือมีน้ำใต้ดิน ไปจนกระทั่งถึงกรวด ซึ่งดินแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก เพราะฉะนั้นเทคนิควิธีการและเครื่องมือเจาะก็จะต่างกันไปด้วย ในแง่ของงานอุโมงค์แล้วถ้าจะต้องทำงานการเจาะอุโมงค์ผ่านเข้าไปในชั้นดินที่มีสภาพแปรเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ตามแนวเส้นทาง (Variable Ground or Mixed Face Tunneling) ถือว่าเป็นงานยากและมีความเสี่ยงกว่าการเจาะอุโมงค์ในชั้นดินประเภทเดียวกันตลอดทาง แม้ว่าจะเจาะในดินอ่อนซึ่งมีกำลังต่ำก็ตาม

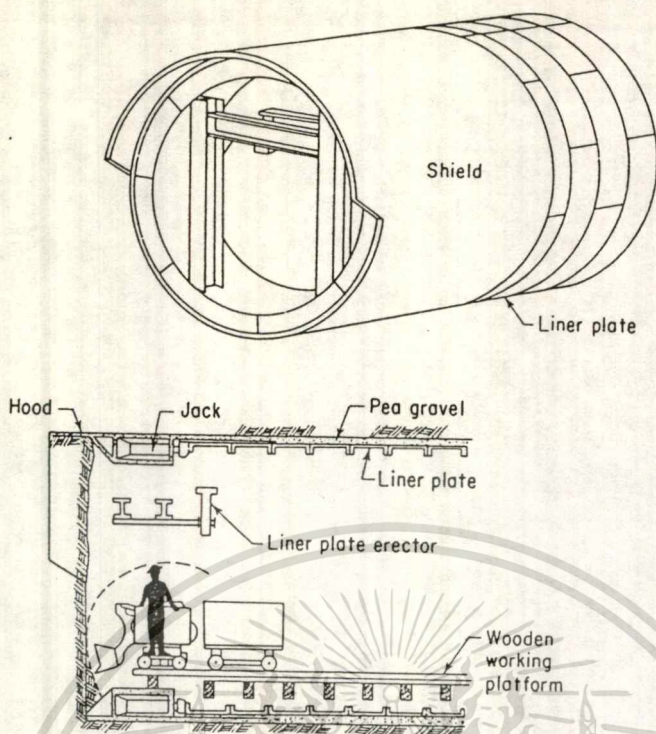
วิธีการเจาะอุโมงค์ในดินอ่อน ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 อย่าง คือ

- เจาะด้วยหัวเจาะ (Shield Tunneling)
- เจาะด้วยวิธี New Austrian Tunneling Method (NATM)

ด้วยเหตุที่การเจาะอุโมงค์ในดินซึ่งปกติกำลังจะไม่สูงนัก หรือถ้าเป็นทรายก็จะมึนน้ำใต้ดินซึม และตำแหน่งอุโมงค์วางอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมาก ดังนั้นวิธีการเจาะจะต้องป้องกันมิให้อุโมงค์เกิดการยุบตัว หรือดินเหนียวขึ้นไปเคลื่อนตัวมากเกินไปจนอาจเป็นอันตรายต่อโครงสร้างอื่นบริเวณนั้นได้ เทคนิคในการเจาะอุโมงค์จะต้องมี Support ผันอุโมงค์ตลอดเวลา โดยที่บริเวณพื้นที่ทำงานส่วนหน้าอุโมงค์จะใช้หัวเจาะมีลักษณะเหมือนท่อขนาดใหญ่ ซึ่งเราเรียกกันว่า Shield และส่วนด้านท้ายเลยออกมาจะทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ (Lining) ช่วย Support ดิน

Shield ในปัจจุบันมีอยู่หลายต่อหลายประเภทสำหรับเจาะดินประเภทต่าง ๆ กัน ซึ่งมีตั้งแต่ Shield แบบเปิดหน้าหมดสำหรับการเจาะในดินแข็งไม่มีปัญหาดินพังทลาย ไปจนถึง Shield สมัยใหม่ซึ่งปิดหน้าหมด และใช้น้ำโคลน (Slurry Shield หรือ Hydroshield) หรือดินชุดอัดความดัน (Earth Pressure Balanced Shield (EPB) คอยยันมิให้หน้าอุโมงค์พังลงมา สำหรับเจาะชั้นดินที่อาจจะมีปัญหาเพราะกำลังดินอ่อนหรือแรงดันน้ำใต้ดินสูง ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน Shield พัฒนาไปไกลมากมี Shield ที่สามารถเจาะดินได้ทุกประเภทก็ว่าได้ และยังมี Shield ที่เจาะอุโมงค์หน้าตัดต่างๆ ไม่เฉพาะวงกลม (เป็นการลดพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลงขุดเฉพาะส่วนที่จำเป็นเท่านั้น ลดปริมาณขุดดิน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-2 การขุดอุโมงค์ด้วยวิธี SHIELD TUNNELLING ในดินแข็ง

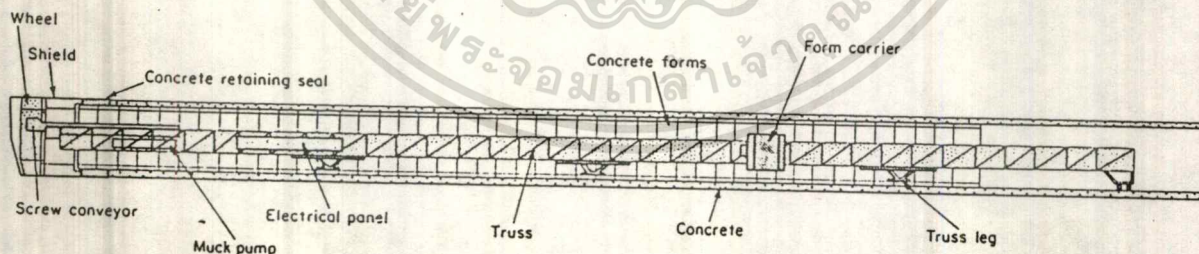
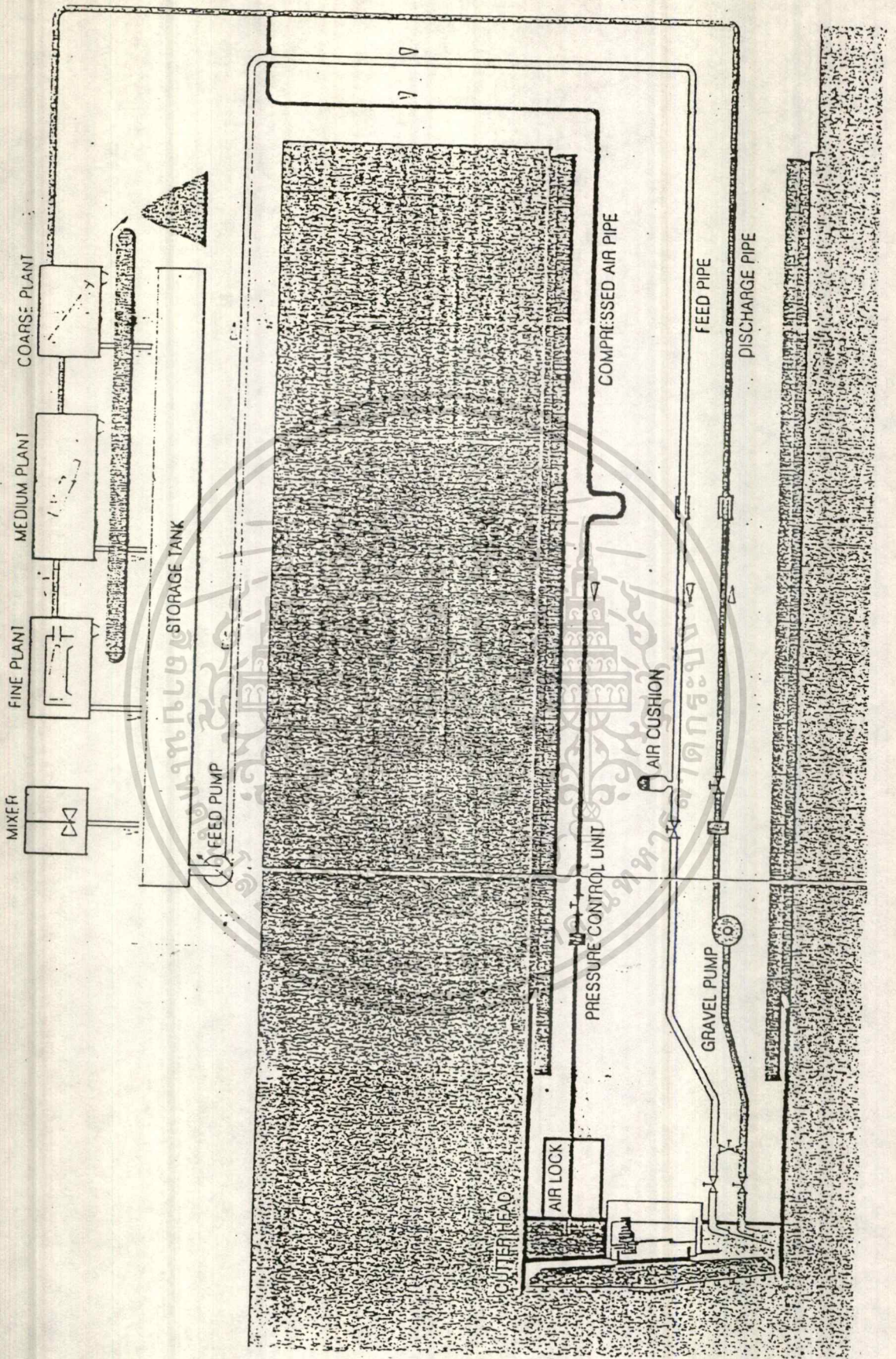


Fig. 31-27 Continuous tunneling system.

รูปที่ 6-3 ระบบการทำงานของ SHIELD TUNNELLING METHOD

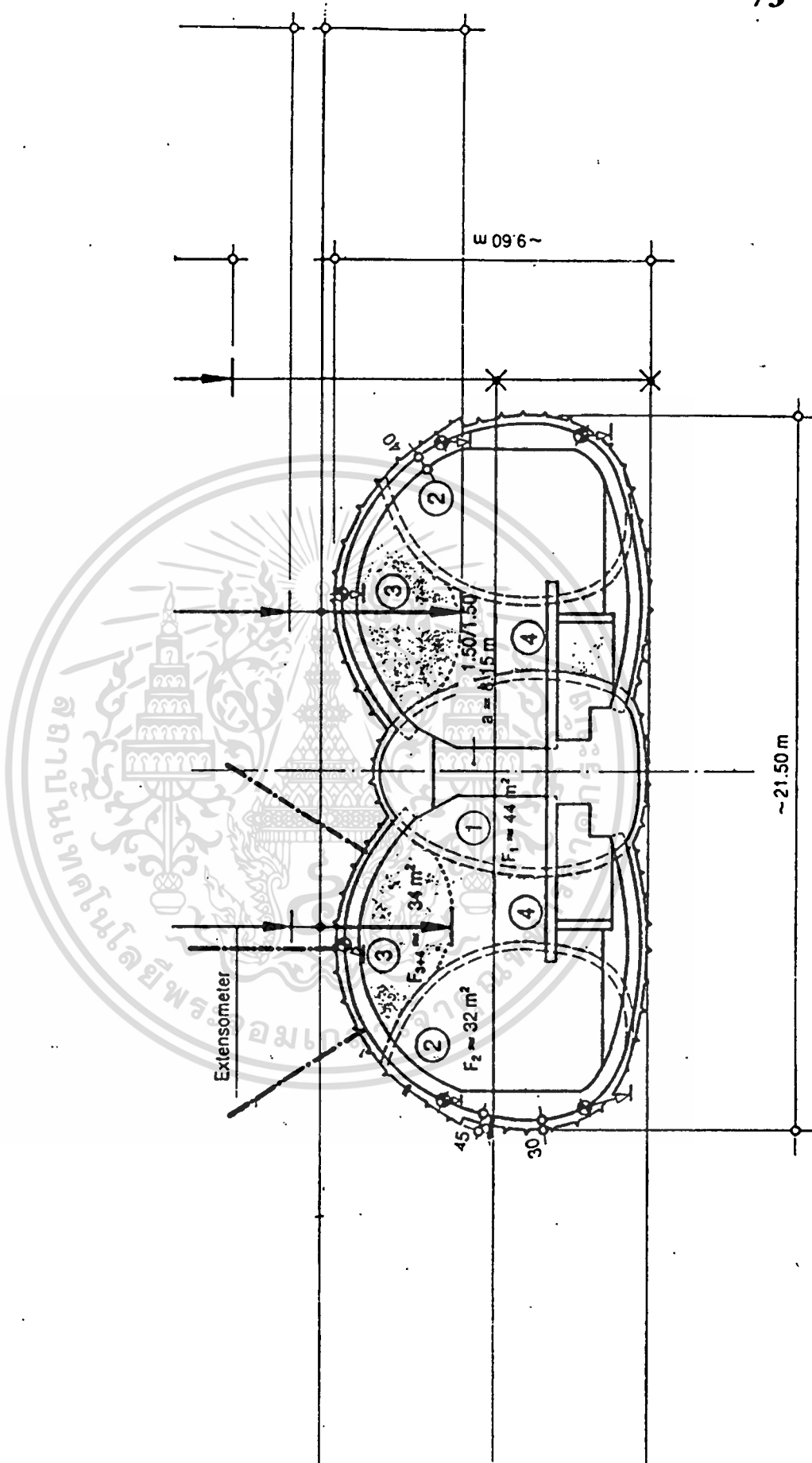
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-4 ระบบการทำงานของ SHIELD TUNNELLING METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-5 การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี NATM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติงาน : ส่วน Heading หรือส่วนครึ่งบนของ Tunnel Face จะถูกขุดหลังจากทำการขุดส่วนครึ่งล่างแล้ว (ซึ่งเรียกว่า Bench) ซึ่งเราจะต้องรีบทำโครงสร้างค้ำยัน ส่วน Heading ไว้ โดยโครงสร้างค้ำยันประกอบด้วย Breastboards ซึ่งจะติดตั้งในแนวระดับค้ำไว้กับเสาไม้ในแนวตั้ง (Soldiers) ซึ่งจะค้ำอยู่กับ Upright Posts และ Lining ส่วนที่เราติดตั้งเสร็จแล้ว ต่อมาเราจะเริ่มเอา Breastboard ออกทีละตัวโดยเริ่มจาก Breastboard ตัวบนก่อน แล้วเราก็ทำการขุดดิน Heading ส่วนนั้นจนได้ระยะพอสมควรก็จะทำการติดตั้ง Breastboards ค้ำดินที่เพิ่งขุดใหม่ แล้วทำการรื้อ Breastboard ตัวล่างถัดมาเพื่อขุดดิน Heading ส่วนนั้น จนกระทั่งเต็ม Tunnel Face เราก็จะทำการติดตั้ง Primary Lining เพื่อเป็นค้ำยันชั่วคราว และทำการขุด Bench ส่วนต่อไปจนเสร็จจึงทำการติดตั้ง Lining ส่วนที่เหลือ เราจะใช้ท่อซึ่งมีสกรูไขปรับขนาดได้ ค้ำยัน Lining ส่วนบนไว้

Mayo (1969) แนะนำว่า สำหรับอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ฟุต ต้องการคนงาน 24 คน สำหรับการขุดโดยวิธี Heading and Bench ในดิน Silt Clay โดยใช้คน 10 คน ทำงานเกี่ยวกับการขนส่งลำเลียง และติดตั้ง Support และคนอีก 14 คน ทำหน้าที่เกี่ยวกับงานขุดและติดตั้ง Lining อัตราก้าวหน้าโดยเฉลี่ยประมาณ 20 ฟุต ต่อ 24 ชั่วโมงการทำงาน ในการเลื่อนตัว 3 ครั้ง ไม่รวมการติดตั้ง Final Lining

ความเหมาะสม : เหมาะกับดินที่สามารถคงรูปได้เอง ดินเหนียวแข็ง ทราย และกรวดที่อยู่ในสภาพแน่นแล้ว ถ้าเป็นดินสภาพที่ไม่ดีจะต้องใช้วิธีการอัดอากาศหรือใช้สารละลายที่มีความหนาแน่นสูงช่วย

ข้อดีของวิธี Heading and Bench สามารถปรับให้ใช้ได้กับดินชนิดต่าง ๆ มันสามารถใช้ขุดอุโมงค์ในดินที่เกิดจากการทับถม ดินเหนียวอ่อน Silts และ Sand หรือในดินที่มีก้อนหินขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำการให้การขุดเจาะโดยใช้หัวขุดเจาะชงงักได้ และยังสามารถใช้กับการขุด Mixed Face (มีดินชนิดต่าง ๆ ปนกัน ในตำแหน่งที่กำลั้งขุด Tunnel Face) ซึ่งอาจเป็นดินอ่อนปนกับหินก็ได้ หรือสามารถใช้ร่วมกับการใช้ Shield แบบ Compressed Air ในการขุดดินที่มีเสถียรภาพของดินน้อย ค่าใช้จ่าย Initial Capital Cost ต่ำ และไม่ต้องการคนงานที่มีความชำนาญด้านเครื่องจักรกลที่ซับซ้อนแบบหัวเจาะ

ข้อเสียของ Heading and Bench คืออัตราการขุดล่าช้าและต้องใช้แรงงานคนมาก ซึ่งในจำนวนคนงานที่เท่ากัน และใช้หัวเจาะที่มีความเหมาะสม อัตราการขุดเจาะต่อวันจะเป็นสองถึงสามเท่าของการขุดแบบ Heading and Bench ในอุโมงค์ขนาดเดียวกัน

6.2.2.3 การใช้ Shield ในการขุดเจาะอุโมงค์

ประวัติความเป็นมา

ในปี 1825 การใช้ Shield ครั้งแรกได้ถูกคิดค้นขึ้นในกรุงลอนดอน โดย Marc Brunel ซึ่งนำมาใช้กับอุโมงค์ กว้าง 38 ฟุต สูง 22 ฟุต โดย East London Subway ต่อมาการใช้วิธี Compressed Air ใน Shields ก็ถูกเสนอขึ้นมาเป็นครั้งแรกโดย Loed Cochran ในปี 1869 Shield แบบวงกลม ตัวแรกแบบเดียวกับที่ใช้ในปัจจุบันนี้ได้ถูกออกแบบในปี 1896 โดย JJ. Greathead (MICHAEL, 1987)

การใช้ Shield แบบผสมเป็นสิ่งจำเป็นในการเจาะอุโมงค์ โดยการใช้อัดอากาศร่วมกับการ Grouting ด้วยสารเคมี เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของ Face ซึ่งไม่เหมาะสมในเรื่องความปลอดภัยและราคา จากจุดนี้จึงนำไปสู่การประดิษฐ์ Mechanical Shield ที่เป็นแบบปิดกั้น (Colse-Face) เรียกว่า Slurry Shield และ Earth Pressure Balanced Shield (EPBS) Slurry Shield ถูกพัฒนาขึ้นในยุโรป และ EPBS ถูกพัฒนาขึ้นในญี่ปุ่นในปี 1974 (NAITOH, 1985)

ลักษณะการทำงานของ Shield แบบผสม (Conventional Shield)

Tunnelling Shield ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. Cutting Shield อยู่ส่วนหน้าสุดของ Shield สร้างด้วยเหล็กกล้ามีความแข็งแรงมาก
2. Body ของ Shield ซึ่งช่วยรับดินโดยรอบไม่ให้ทรุดตัวลงมา และเป็นที่ยึดตั้งชุดอุปกรณ์ Jacking (ใช้ในการเลื่อนตัวของ Shield เป็นอุปกรณ์ Hydraulic) และทำให้คนเข้าไปทำงานควบคุม Shield
3. Tail Piece (ส่วนหาง) ของ Shield เป็นส่วนที่มีอุปกรณ์และที่ว่างสำหรับการติดตั้ง Lining

วงจรการทำงานของ Shield ประกอบด้วย

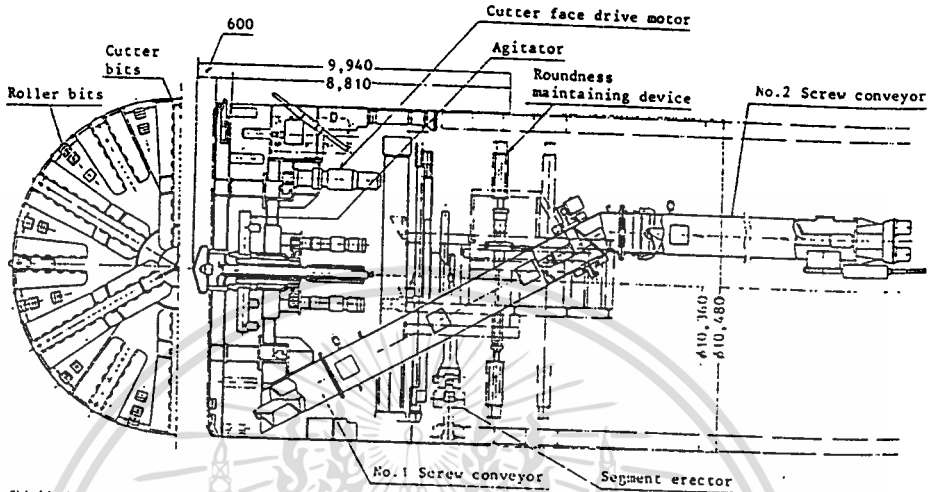
1. การขุดบริเวณ Face (หน้าอุโมงค์) และการจัดหาสิ่งที่จะช่วยดันดินที่ Face เท่าที่จำเป็น
2. การเลื่อนตัวของ Shield ในทิศทางที่ทำการขุดเจาะโดยอาศัยการผลักดันตัวกับ Lining ที่ได้ทำการติดตั้งไปแล้ว
3. เมื่อการขุดเจาะได้ระยะพอที่จะทำการติดตั้ง Lining ก็ทำการติดตั้ง Lining ในส่วนหางของ Shield

Class	Type	Description	Form	
Conventional shields	Manual	Good for hard, non-collapsing soils or semi-hard soils. Equipped with half-moon and jacks to hold the face. Special equipment, such as movable hood, movable deck, etc. is available if the soil condition requires it.		
		Good for soft, silty soils containing less sand. Muck discharge rate controlled by adjusting the aperture ratio in accordance with the excavating speed.		
	Semi-mechanical	A mechanized version of the manual open type, equipped with a back-hoe boom cutter if the soil condition requires it.		
	Mechanical	A fully mechanized version of manual open or blind type. Full-face disc cutter is standard.		
Notes: 1. A pneumatic method is used to prevent water-seeding in soil which is excavated by an open type conventional shield. (outside diameter of shield varies from 1.1-12m)				
Special shields	Pressurized slurry	Good for water-saturated sand and sandy gravel. May be equipped with stone box and stone discharger to remove cobbles in the slurry.		
		For clay and clayey sand. One of the main features is the screw discharger with a cone valve to form a sand plug. Also applicable to partial pneumatic operation.		
	Slime	Double screw	Good for water-saturated sand-gravel-cobble soil and super-soft soil as well as complex strata. It has the features of the pressurized slurry type and the pressure holding type in that it is adaptable to any type of strata.	
		Ribbon screw		
2. A pneumatic method is unnecessary in water-saturated soil and in complex strata thanks to the special shield adaptor. (outside diameter of shield varies from 1.1-12m)				

Type of tunneling machine	Soil ground		Hard ground (Rock)	
	Homogeneous	Complex	Complex	Soft
Manual shields	Applicable	Applicable in combination with auxiliary method	Complex	Hard
Shields with excavator				
Blind shields				
Mechanical shields				
Boom head shields				
EPB Shields (with high density slurry)				
Slurry shields				
EPB Shields (with high density slurry)				
Slurry/EPBS (with disc cutter)				
Shield type TBMs				
Unshielded TBMs				

รูปที่ 6-6 ชนิดและระบบของ SHIELD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Shield thrust equipment

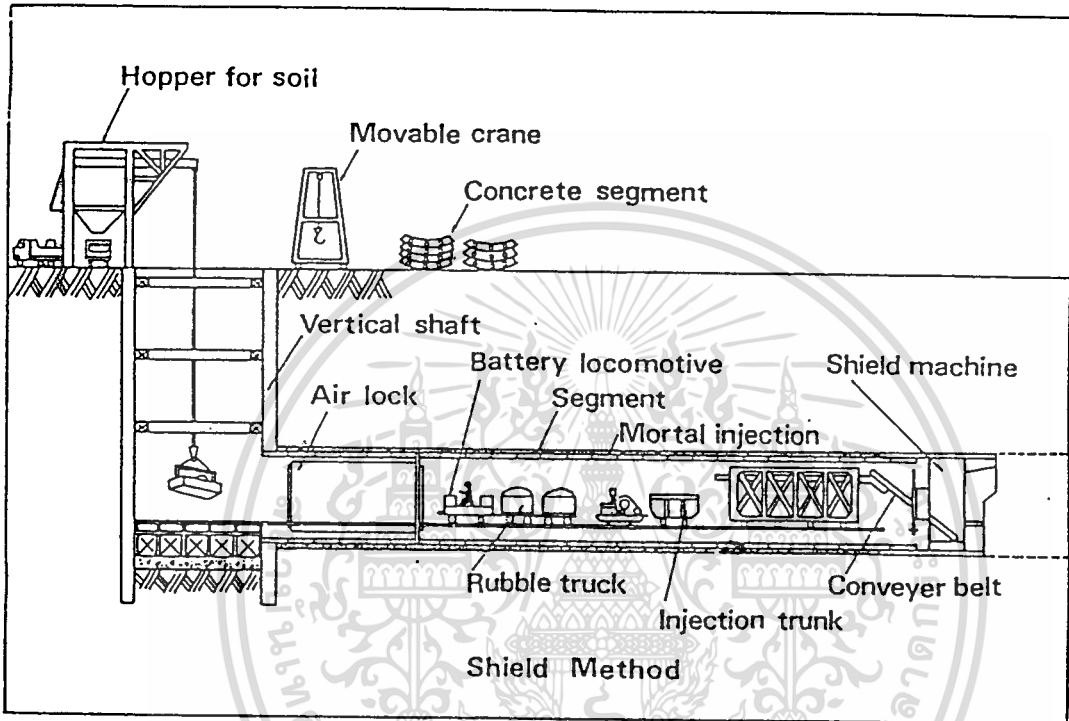
Item	Specification
Shield jacks	250 tf (300 tf in emergency) x 1200m x (350)kgf/cm ² x 33No.
Thrust per unit area of face	95.6 (114.7)tf/m ²
Acting speed of jacks	5.0 cm/min (with all jacks acting)

Cutter face equipment

Item	Specification
Rotation speed	0.56 rpm
Excavation torque	1939 tf-m (100%), 2327 tf-m (120%), 2908 tf-m (150%)
Rotation drive motors	75kw x 6p x 440v x 60Hz x 15No.

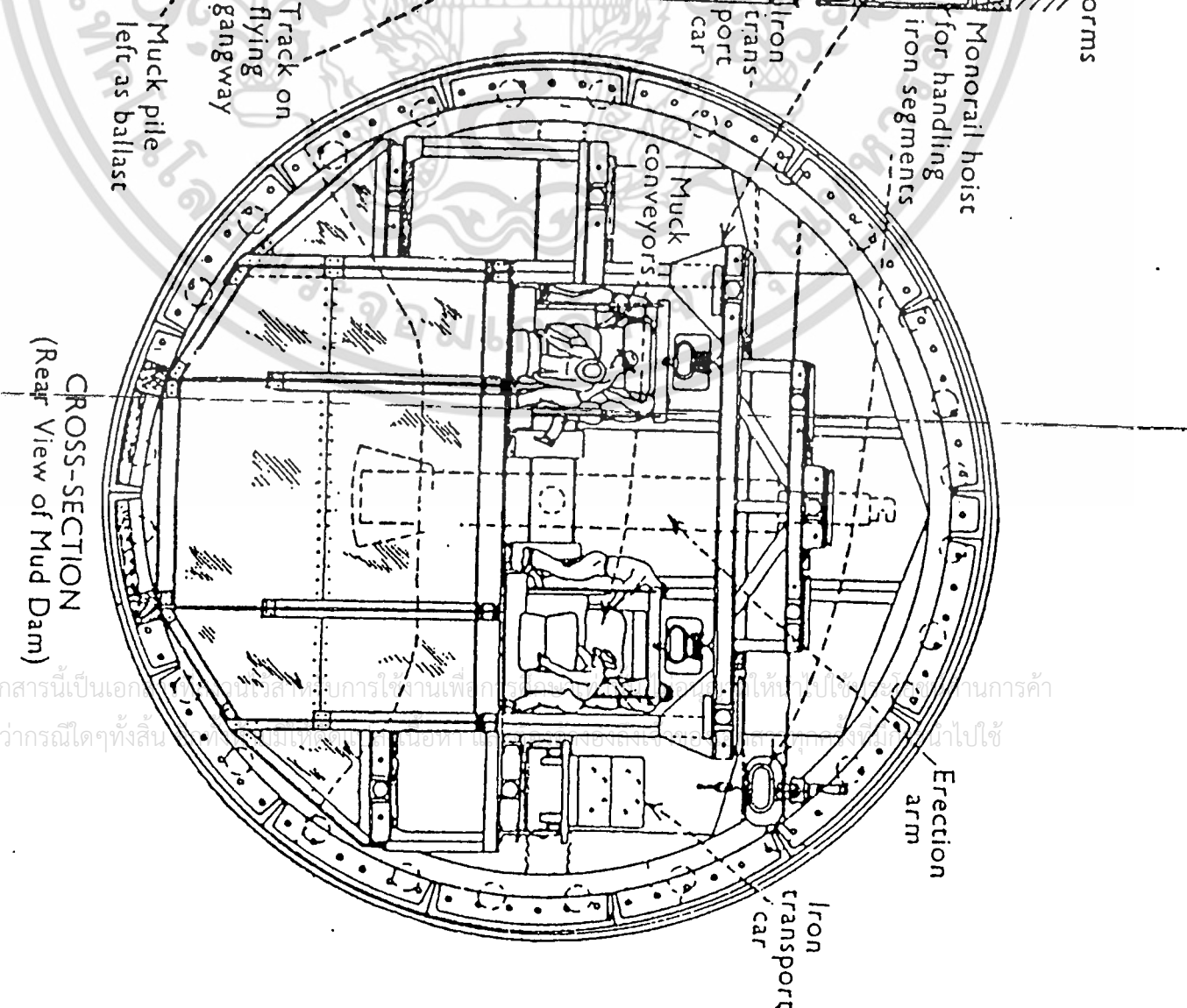
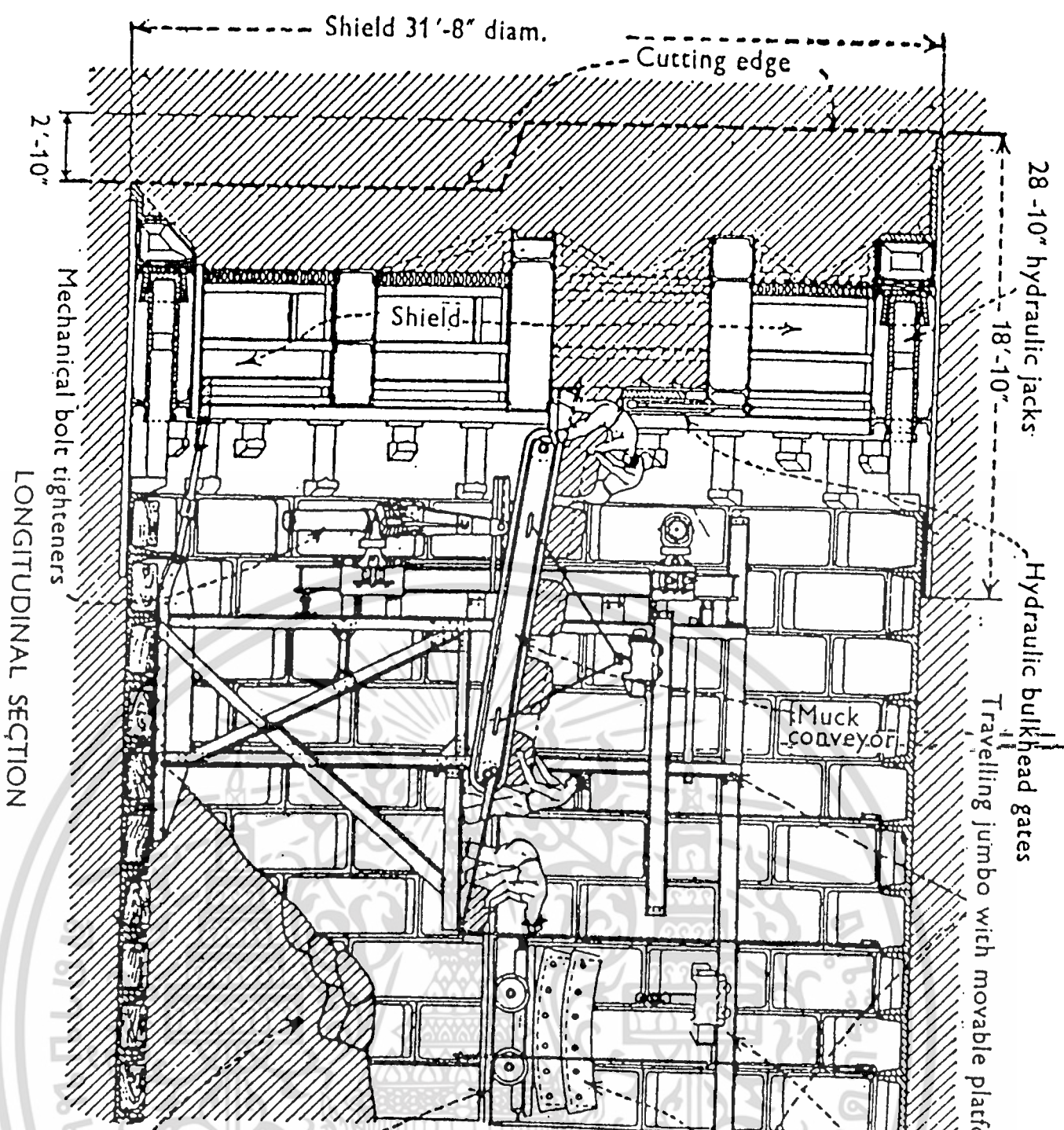
รูปที่ 6-7 รายละเอียดของ SHIELD MACHINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 การเจาะอุโมงค์โดยใช้ SHIELD และทางเข้าออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-๑ รายละเอียดในการใช้ SHIELD ก่อสร้างอุโมงค์ LINCOLN
ใต้แม่น้ำ HUDSON ในเมือง NEW YORK

ประเภทของ Shield

Shield Machines สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ Conventional (แบบผสม) กับ Special แต่เดิมเราใช้วิธี Compressed Air เพื่อป้องกันน้ำและดินที่ไหลเข้ามาที่บริเวณ Face ต่อมาการใช้ Compressed Air ได้ลดความสำคัญลงหลังจากมีการพัฒนา Slurry Shield และ EPBS ซึ่งเป็น Special Shields (YOSHIKAWA, 1985)

เครื่องเจาะสามารถแบ่งตามลักษณะการเจาะออกเป็น 2 ประเภท คือ Full-Face ใช้หัวเจาะแบบหมุนหรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ซึ่งจะขุดได้เต็มหน้าอุโมงค์ (Face) ในเวลาเดียวกัน และอีกประเภทคือ Partial-Face Machine ซึ่งใช้การหมุนหรือแกว่งของแขนที่ติดใบเลื่อยหรือใบมีดอยู่เพื่อตะกรุยดินในส่วนต่าง ๆ ของ Face ออก ลักษณะการทำงานของเครื่องเจาะอุโมงค์ (TBM) แบบต่าง ๆ ดังนี้

1. แบบ Full Face Excavation

1.1 Wheel Type

ลักษณะ : หัวเจาะชนิดนี้จะใช้การเคลื่อนตัวกระแทกกับ Face แล้วทำการ ขุด ตัด หรือขุดดินบริเวณ Face ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ดินที่ขุดออกมาจะหล่นไปด้านล่างของ Shield แล้วถูกลำเลียงออกไปทางด้านหลัง TBM (หัวเจาะ) โดยใช้สายพานลำเลียง Buckets Mucking Arms หรืออุปกรณ์ทำนองเดียวกันนี้

ความเหมาะสม : เหมาะสำหรับดินเหนียวอ่อน Firm to Stiff Clay, Cemented Sand, และ Gravels, Sand และ Silt

1.2 Drum Type

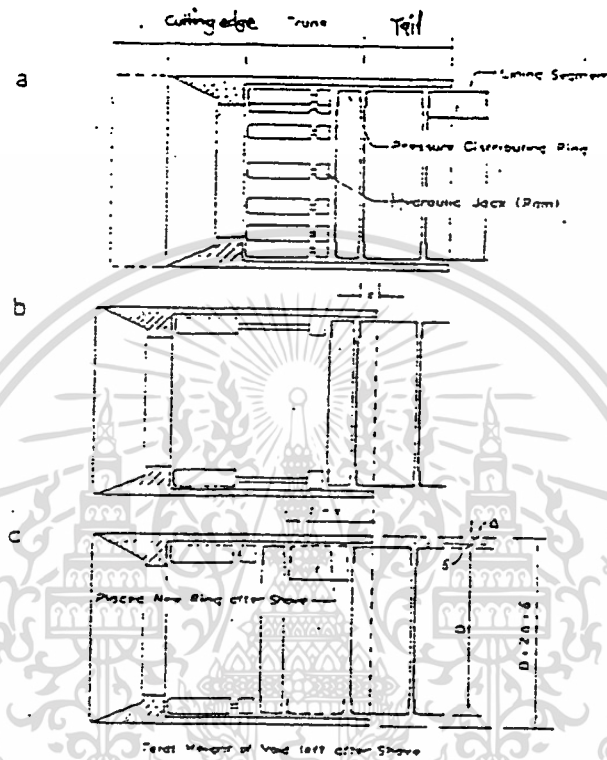
ลักษณะ : หัวเจาะชนิดนี้ดัดแปลงมาจากหัวเจาะแบบ Radial-Wheel Type (แบบ 1) ซึ่งหัวตัดจะติดกับ Drum ซึ่งจะหมุนอยู่ข้างนอก Shield ตัว Drum จะหมุนด้วยอัตราเร็ว 4 ถึง 6 รอบ/นาที ในทั้งสองทิศทาง เพื่อให้เหมาะกับสภาพดิน ใบมีดสามารถที่จะต่อกับ Cutting Arm ได้

ความเหมาะสม : เหมาะกับดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็ง Sand และ Silt, Gravel

1.3 Oscillating Type (แบบแกว่ง)

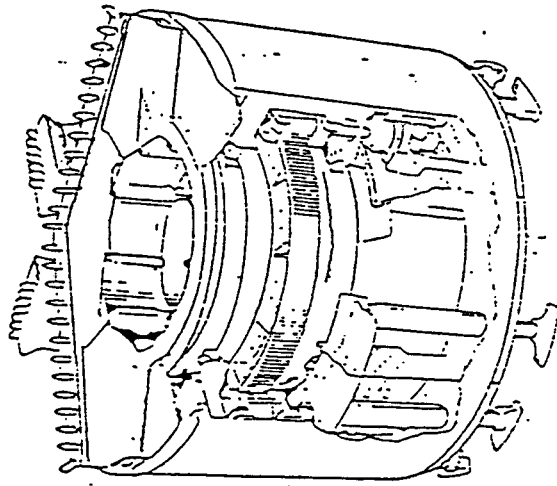
ลักษณะ : เครื่องเจาะแบบ Oscillating Arm Excavator นี้จะเหมือนกับแบบ Wheel Excavator แต่ต่างกันโดยที่การ

เจาะจะถูกทำโดยชุดของ Arms ที่สามารถแกว่งไปมาได้ (Oscillating Arms ในรูป มี 2 แขน) ซึ่งสามารถปรับความยาว Arms ได้ ทำให้หัวเจาะชนิดนี้สามารถใช้เจาะอุโมงค์เป็นรูปร่างแบบอื่นๆ ได้ จะติดชุดใบมีดไว้ที่ด้านหน้า และสามารถเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ในทิศทางแนวรัศมีจากจุด

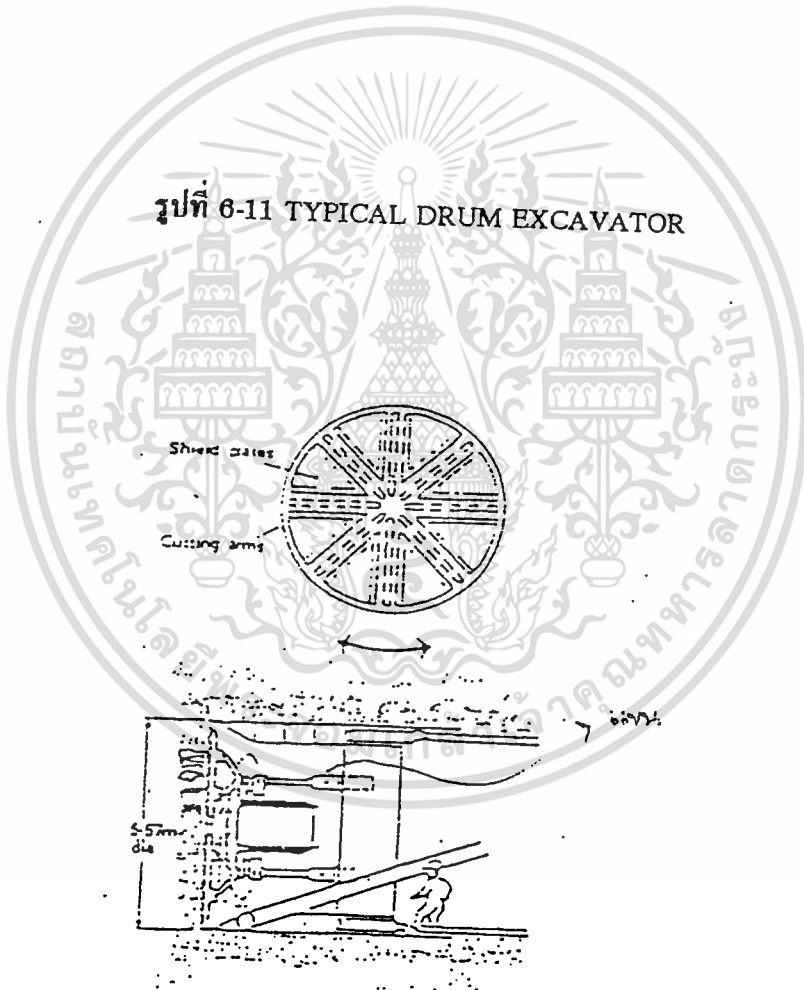


รูปที่ 6-10 ส่วนประกอบและการทำงานของ SHIELD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-11 TYPICAL DRUM EXCAVATOR



รูปที่ 6-12 OSCILLATING ARM EXCAVATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางของ Shield การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาของ Arms สามารถควบคุมได้ และสามารถปรับความยาว Arms ได้ ทำให้หัวเจาะชนิดนี้สามารถใช้เจาะอุโมงค์เป็นรูปร่างแบบอื่น ๆ ได้

ความเหมาะสม : เหมาะกับดินเหนียวอ่อนถึงแข็ง Sand และ Silt, Gravel หัวเจาะชนิดนี้ยังเหมาะกับดินที่มีพฤติกรรมแบบ Flowing หรือ Runnibg ได้ โดยส่วน Hood (หรือ Body) ของ Shield สามารถที่จะยึดได้เพื่อกดส่วนหัวเจาะลง เพื่อช่วยลดแรงดันดินบริเวณ Cutting (ใบมีด) และช่วยให้ระบบการนำดินออกมีประสิทธิภาพดีขึ้น

2. Part-Face Excavator

2.1 Ripper-Bucket Excavator

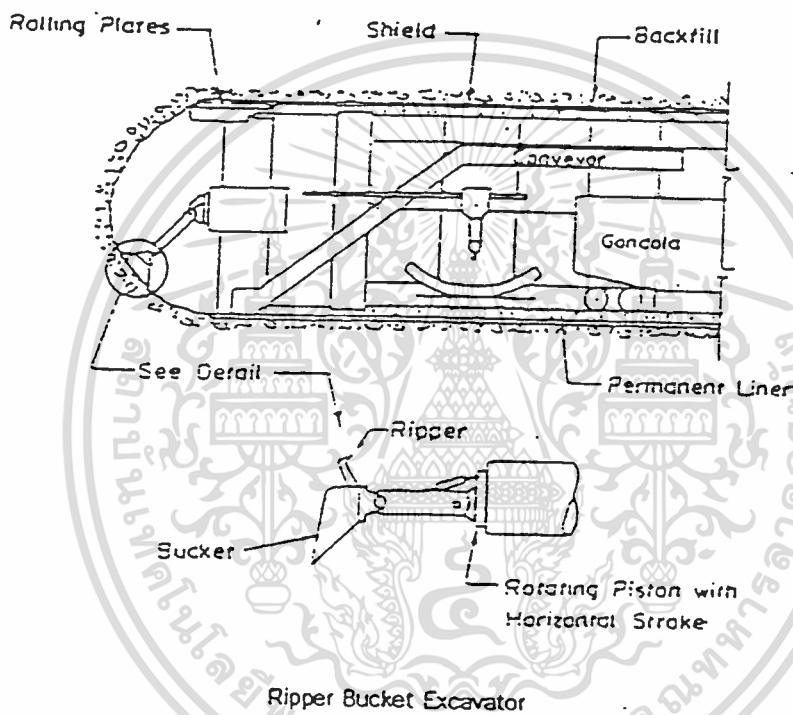
ลักษณะ : หัวเจาะชนิดนี้จะตัดฉุดดินออกโดยใช้ฟันเลื่อย พร้อมกับกวาดดินลงสายพานที่ด้านล่างของหัวเจาะ เพื่อนำดินออกไปทางด้านหลัง

ความเหมาะสม : เหมาะกับสภาพดินที่ต้องใช้แบบ Shield แบบ "Open Face" และเหมาะกับหินที่มีการแตกละเอียดได้ง่าย (ไม่มีการปัญหาเรื่องดินพังทลาย)

Shield แบบต่างๆ

1. Slurry Shield Method

ในวิธี Slurry Shield Method เราใช้ Mineral, Bentonite, Clayey Soil หรือ CME เป็นสารช่วยยับยั้งการพังทลายของหน้าดินบริเวณ Face Shield แบบนี้จะใช้กับดินชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ดินเหนียวอ่อนจนถึง Gravels ที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตามใน Gravels การใช้ Shield แบบนี้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของ Face ไม่สู้จะดีนัก เพราะ Mud Cake (การที่ Slurry เป็นตัวประสานช่วยยึดจับเม็ดดินให้เป็นก้อน เรียกว่า Mud Cake) จะไม่เกิดขึ้นเนื่องจาก Slurry สามารถไหลซึมออกไปได้ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินของ Gravels การวิเคราะห์เชิงสถิติของข้อมูลการก่อสร้างที่ได้บันทึกไว้ บ่งบอกว่า Slurry จะเหมาะสมกับสภาพดินต่าง ๆ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 1 (YOSHIDAWA, 1985) ข้อดีของ Slurry Shield คือความต้องการกำลังบิดน้อยกว่า EPBS ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Shield จะถูกจำกัดโดยความสามารถในการรับแรงบิดของมัน



รูปที่ 6-13 RIPPER BUCKET EXCAVATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

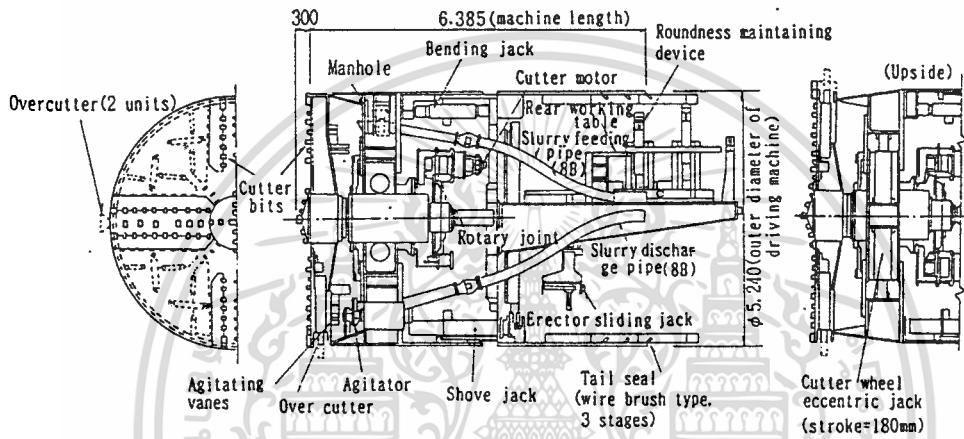


Fig. 5 Slurry type shield machine

รูปที่ 6-14 รายละเอียดของ SLURRY SHIELD MACHINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

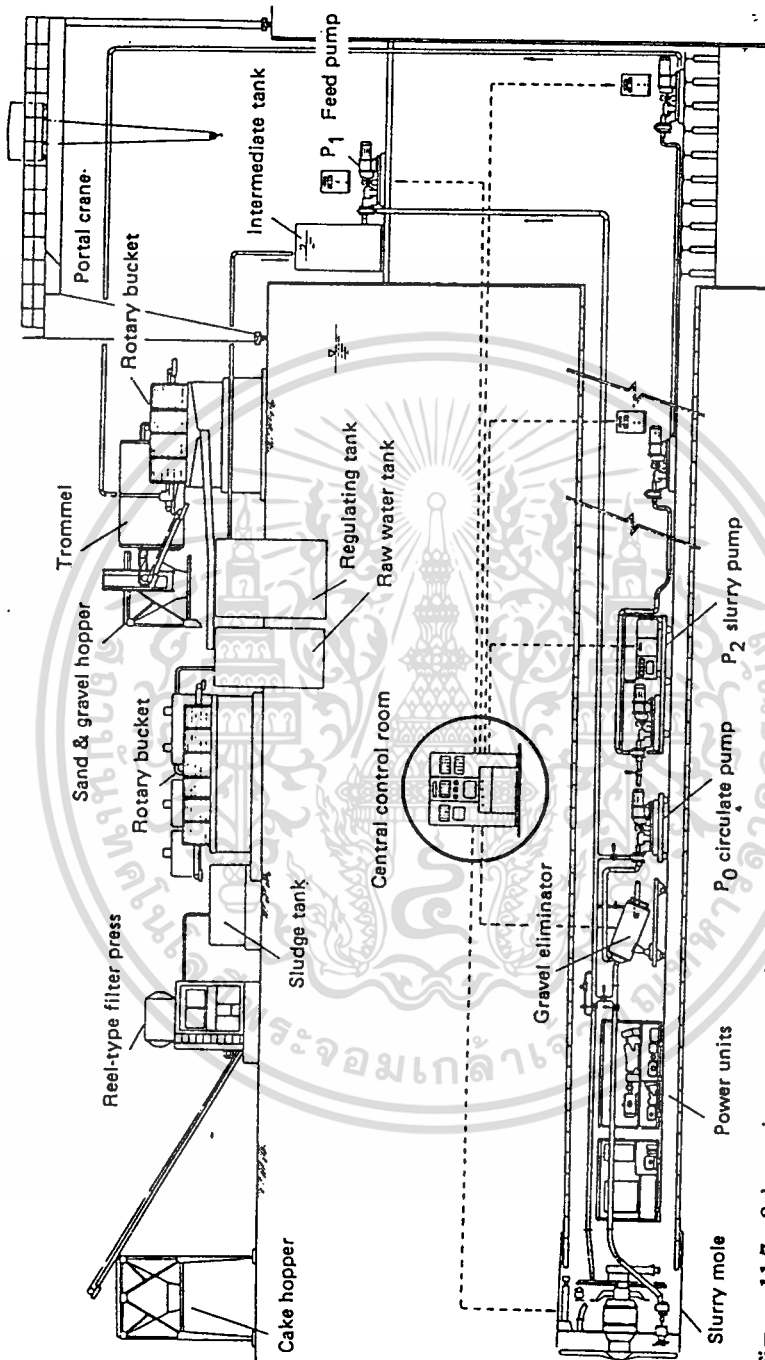
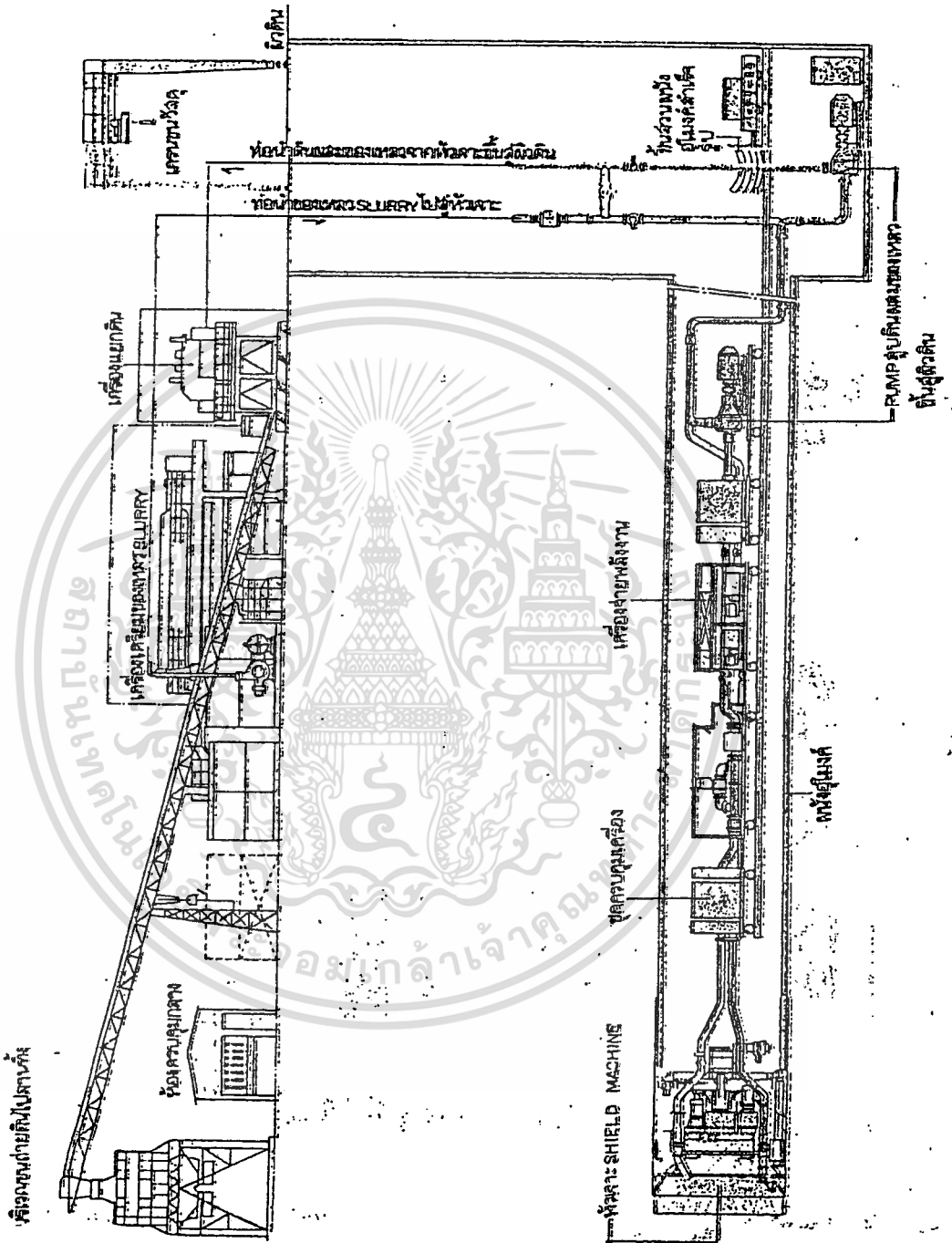


Figure 11.7 Schematic representation of the slurry-face tunneling method. (Tekken Construction Co., Ltd.)

รูปที่ 6-15 ระบบการทำงานของ SLURRY SHIELD MACHINE

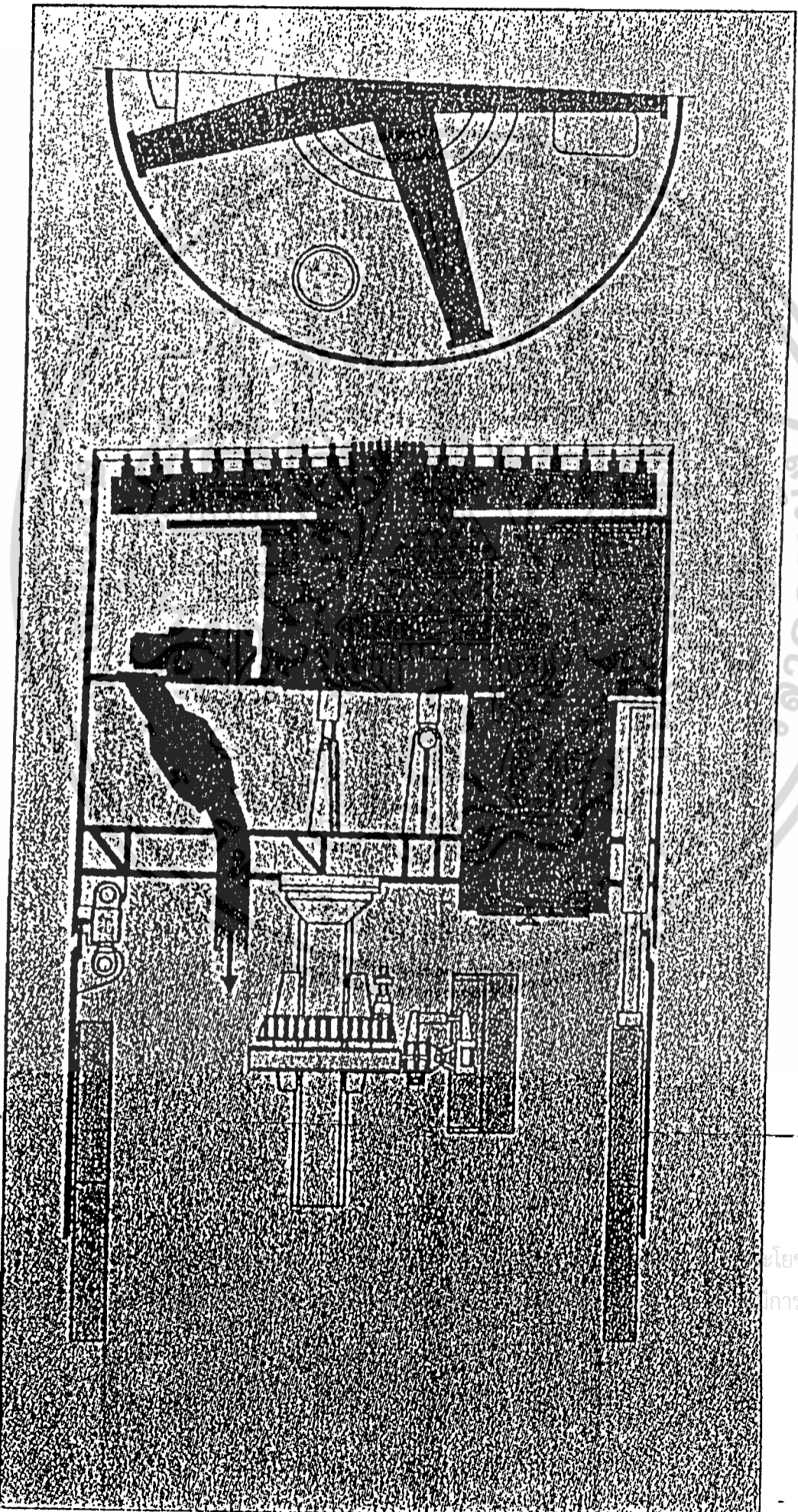
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-16 ระบบการเจาะแบบ SLURRY SHIELD ในญี่ปุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The EPB soft ground TBM supports the face by filling the excavation chamber with material and balancing the extraction of spoil through the screw conveyor.



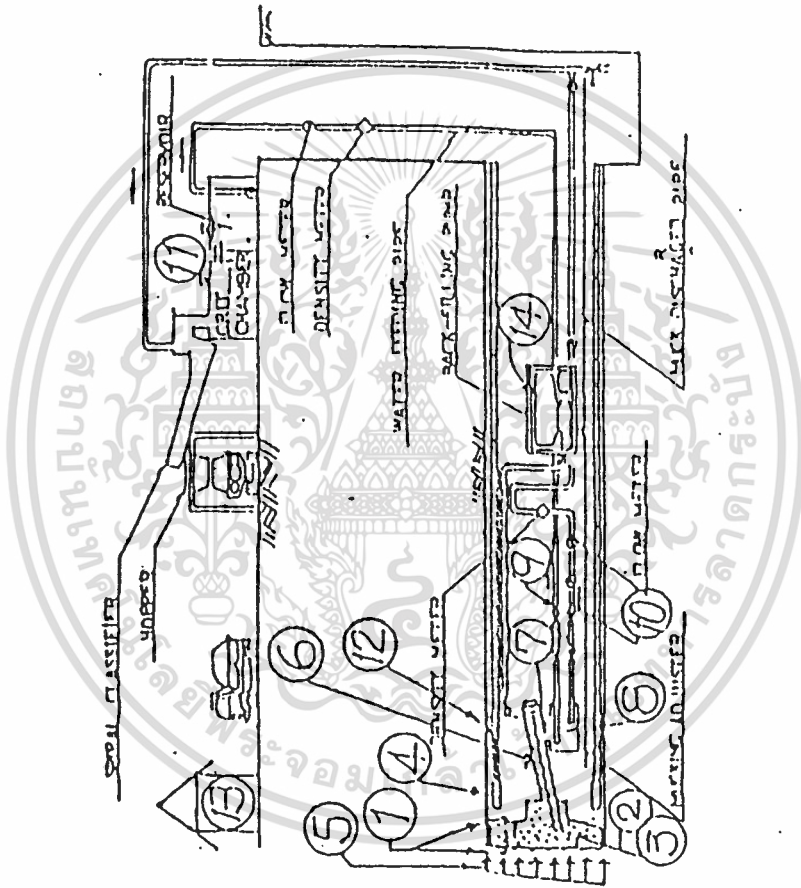
รูปที่ 6-17 EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD

2. Earth Pressure Balance Shield (EPBS)

Earth Pressure Balance Shield ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในญี่ปุ่น โดยบริษัท Sato Kogyo Company ซึ่งกำลังคิดค้นหาวิธีที่ปลอดภัย สำหรับการเจาะอุโมงค์ในดินอ่อน และดินที่มีพฤติกรรมแบบ Running อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน โดยปราศจากการใช้ Slurry (BARBARA STACK, 1985) แนวความคิดพื้นฐานของ EPBS คือว่าดินที่ Face สามารถที่จะควบคุมให้พ้นจากการเกิดการทรุดตัวได้ โดยการใช้อัดความดันในช่อง Soil Chamber เพื่อกันไม่ให้ดินไหลเข้าไปในหัวเจาะ (NAITOH, 1985))

ลักษณะที่สำคัญของระบบ EPBS ดังรูป

1. ดินที่ถูกขุดโดย Rotating Cutter Frame (1) ตอนแรกจะถูกสะสมอยู่ในห้อง Pressure Soil Chamber (2) ข้างหลังหัวเจาะ (Cutter)
2. อัดความดันให้กับดินที่ขุดแล้วที่อยู่ในห้อง Soil Chamber (3) และยึดตัว Jack (4) ดันหัวเจาะเพื่อเกิดแรงดันดินและน้ำที่บริเวณด้านหน้าหัวเจาะ
3. ส่วน (6) ที่ติดเข้าไปใน Soil Chamber จะทำการลำเลียงดินออกเพื่อควบคุมความดัน
4. Tail Gate (7) ที่ปลายส่วนจะใช้ปิดกรณีฉุกเฉิน เพื่อกรองดินเม็ดละเอียดและน้ำให้ไหลไปได้
5. สำหรับ cohesive Soil ดินที่ได้จากการขุดจะถูกลำเลียงโดยชุดสายพานหลังจากที่ดินหล่นมาจาก Tail Gate แล้ว ซึ่ง Tail Gate จะทำหน้าที่เหมือน Soil-Water Separation Plant ระบบนี้เรียกว่า Earth Pressure Type ของ EPBS Method
6. อุปกรณ์ที่นำมาติดกับ Mucking Adjuster (7) เช่น Water Pressure Chamber (8) ที่ปลายส่วนทำให้หัวเจาะสามารถขุดเจาะดินที่มีความชื้นและความไม่เสถียรสูงได้ระดับน้ำใต้ดินที่มีแรงดันมากกว่า Mucking Adjuster ก็จะมีเครื่องแยกหินกรวดออกจากดินละเอียด
7. แรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Water Pressure) ที่ Mucking Adjuster สามารถทำให้สมดุลได้โดยการนำเอาน้ำธรรมชาติเข้ามาใหม่ (9) น้ำเสียจะถูกลำเลียงออกโดยท่อหมายเลข (10) ในรูปของ Slurry
8. เครื่องแยกดินและน้ำ (11) จะต้องบำบัดให้น้ำเสียจากท่อหมายเลข (10) เป็นน้ำดี พร้อมทั้งจะนำไปใช้ได้ใหม่ ระบบทั้งหมดนี้ถูกเรียกว่า Water Pressure Type ของ EPBS (ABE et.al., 1978)



รูปที่ 6-18 ระบบการทำงานของ EPBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Slime Shield Method

วิธีการนี้ได้ถูกพัฒนา และถูกนำมาใช้กับอุโมงค์ที่ซึ่งสภาพดินทำให้การขุดเจาะโดยการใส่ Slurry และ EPBS ทำงานยาก มันเป็นการรวมกันของเทคนิคการอัดความดันให้กับของไหลของ Slurry Shield กับเทคนิค Plastic Mass Support ของ EPBS ทำให้ Shield แบบนี้สามารถปรับให้ใช้กับดินประเภทต่าง ๆ ได้

Slime Shield เหมาะกับการใช้ในการขุดเจาะดินที่มีความพรุนและอุ้มน้ำไว้ ดินที่แบ่งออกเป็น Sand และ Clay เป็นชั้นหลายๆ ชั้น เราจะทำให้ดินที่ขุดออกมาที่สะสมอยู่ใน Pressure Chamber มีลักษณะการไหลแบบ Plastic โดยการผสมกับ Slime ที่ฉีดเข้าไป เพื่อให้สามารถดันน้ำใต้ดินไม่ให้ไหลเข้าไปในหัวเจาะได้

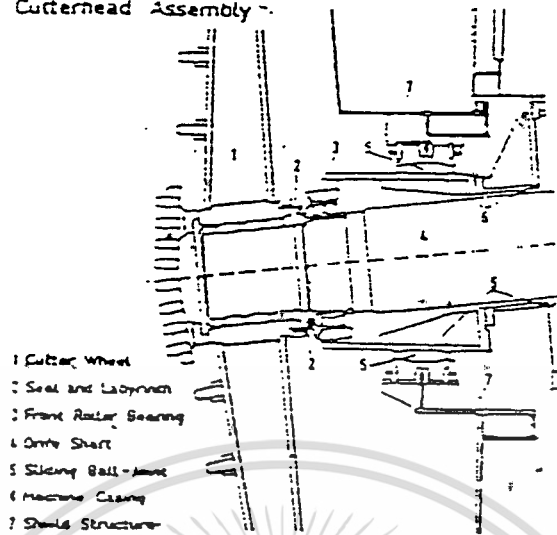
ใน Slime Shield แบบ Double Screw ทั้ง Mixing Screw และ Discharging Screw มีจุดศูนย์กลางร่วมกันแต่ตัวขับเคลื่อนออกเป็นอิสระในแต่ละตัว เพื่อให้ Screw แต่ละตัวสามารถเลือกอัตราการทำงานที่เหมาะสมได้ Mixing Screw ใน Cutter Chamber จะทำหน้าที่ผสมดินในช่องนี้ เช่นเดียวกับ Discharging Screw ที่อยู่ใน Chamber Slime Shield ชนิด Double Screw จะใช้ได้ดีมากกับดินที่มีลักษณะเป็นชั้นซับซ้อน ซึ่ง Shield แบบนี้เป็น Shield อีกชนิดหนึ่งที่ปรับปรุงมาจาก EPBS ซึ่งทำให้ดินกลายเป็น Plasticiser Soil ได้ง่าย

4. Hydroshield

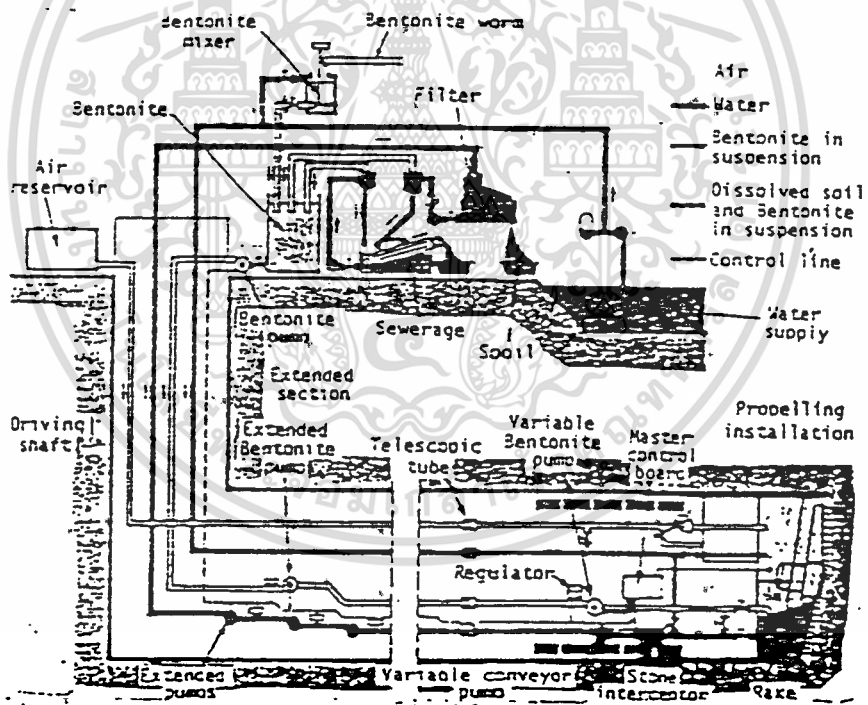
Hydroshield ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันนี้ โดย Wayss และ Freytay (JACOB & MELDNER, 1979) มันเป็นเครื่องมือขุดเจาะพิเศษสำหรับการเจาะอุโมงค์ที่อุ้มน้ำ หัวเจาะของมันมีรูปร่างคล้ายดาวมีรูปลักษณะและการทำงานต่างจากหัวเจาะแบบอื่นๆ หัวเจาะจะเอียงลงเล็กน้อยสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้ ส่วนของใบมีดเหมาะสำหรับการเจาะดินอ่อน

Face Support โดยการใส่ Slurry ซึ่งจะอยู่ในช่องระหว่างฝาปิด (Bulkhead) และ Face ความสมดุลของการป้อนและดูดกลับ ของ Slurry ถูกควบคุมโดย Feed ขณะที่ Air Accumulator จะถูกใช้ในการรักษาความดันของ Slurry ให้คงที่ แม้ว่าอาจจะมีการแปรเปลี่ยนในอัตราก้าวหน้า (Advanced Rate) อย่างทันที หรือความสมดุลในสภาวะชั่วคราวของการป้อนและดูดกลับของ Slurry ตามที่กำหนดไว้

Cutterhead Assembly -



แสดงส่วนหัวเจาะ Hydroshield Cuttinghead



รูปที่ 6-19 รายละเอียดและผังแสดงการทำงานของ Hydroshield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอธิบายถึงคุณสมบัติของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Hydroshield ของบริษัท WAYYSS & FRETAG ในการสัมมนาซึ่งจัดขึ้นโดยความร่วมมือของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในวันที่ 7 พ.ย. 2534

หลักการสำคัญ คือใบมีดสำหรับตัดดิน (Cutter Wheel) ของ Hydroshield นั้นจะถูกปิดตาย และยึดติดอยู่ในบริเวณของส่วนหัวขุด (Bulk Head) เท่านั้นซึ่งเป็นบริเวณเฉพาะและเป็นบริเวณเดียวที่มีการอัดความดัน ทั้งนี้จะช่วยตัดปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นอันเป็นสาเหตุมาจากการที่คนงานต้องเข้าไปทำงานภายใต้สภาวะความดัน ซึ่งสภาวะเช่นนี้จำเป็นจะต้องใช้เวลาในการปรับปรุงความดันในร่างกายของผู้ที่จะเข้าไปทำงานนานพอสมควร และอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพในภายหลังได้

ระบบ Hydroshield เป็นระบบการขุดเจาะอุโมงค์แบบ Slurry Pressure Method ที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุดวิธีการในขณะนี้ ถึงแม้ว่าจะนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วก็ตาม ทั้งนี้เป็นเพราะหลักการ และระบบการทำงานต่างๆ ยังสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีเยี่ยม โดยเฉพาะระบบการลำเลียงดินออกนั้น วัสดุที่ถูกขุดออกมาแล้วจะถูกขนจากบริเวณขุดด้วยระบบการอัดอากาศหรือโดยการบีบผ่านท่อออกไปด้านนอกอุโมงค์ ซึ่งประกันได้ว่าจะสามารถขนย้ายดินออกไปได้เป็นปริมาณมากและรวดเร็วสอดคล้องกับอัตราการขุด

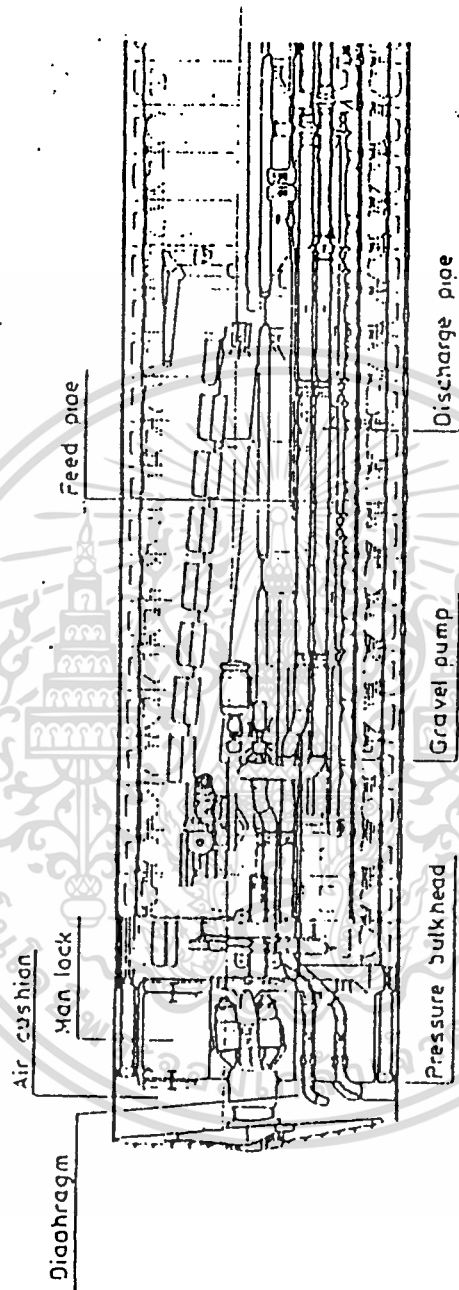
อุโมงค์ที่จะถูกค้ำไว้ด้วยอุปกรณ์แผ่นโค้งที่สามารถกั้นน้ำได้หรือที่เรียกว่า Shield และจะทำการติดตั้งแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปลักษณะโค้งเป็นผนังหรือโครงสร้างรับน้ำหนักถาวร ซึ่งแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเหล่านี้จะหล่อขึ้นในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไปจากบริเวณก่อสร้าง ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นบริเวณนอกเมืองที่การจราจรไม่คับคั่งและมีพื้นที่กว้างเพียงพอ และจะขนส่งมายังบริเวณก่อสร้างในเวลากลางคืน

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ชนิดใดที่สามารถทำงานได้เร็วและมีประสิทธิภาพเท่ากับวิธี Hydroshield ซึ่งเหตุผลหนึ่งก็คือไม่มีปัญหาเรื่องการตัดกันของอุโมงค์เพราะว่า บริเวณที่จะตัดกันนั้นสามารถขุดให้อุโมงค์ทั้งสองอยู่ต่างระดับกันได้ และโดยมากแล้วบริเวณจุดตัดจะทำเป็นสถานีใต้ดินด้วย เพื่อให้การเปลี่ยนเส้นทางทำได้สะดวกยิ่งขึ้น

ลักษณะการทำงานของ Hydroshield Method

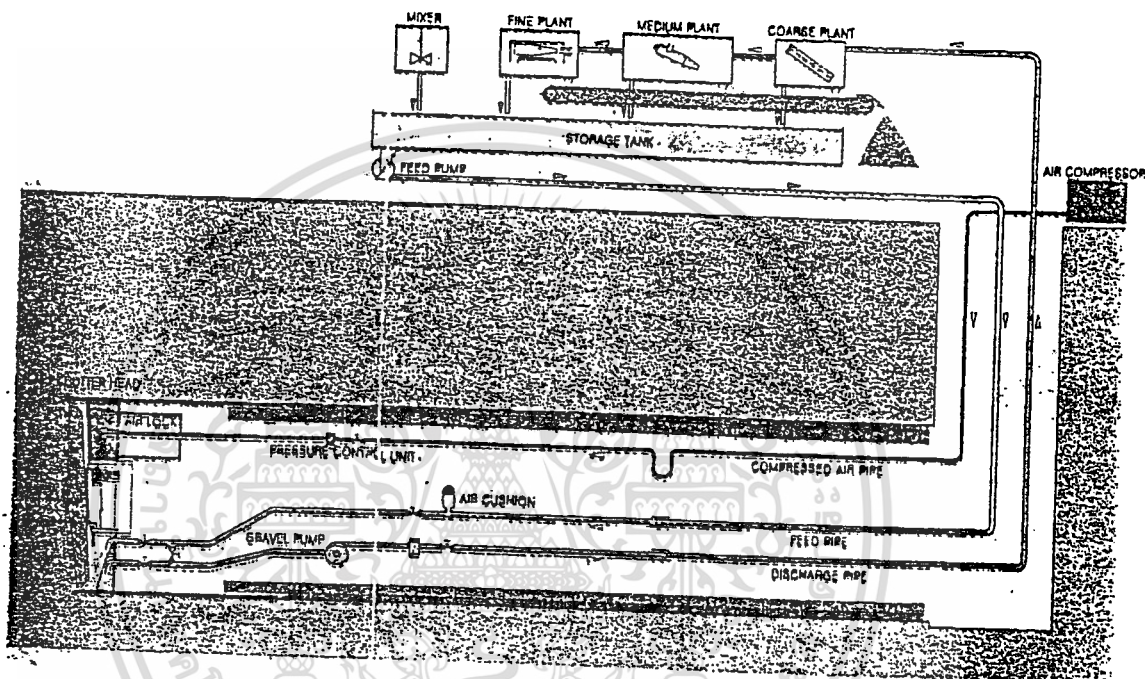
1. ขุดดินด้วยเครื่องจักรกลที่มีลักษณะเป็นวงล้อหมุน
2. มีการป้องกันการพังทลายที่บริเวณผิวเจาะ และการหลุดตัวของดินเหนืออุโมงค์ไม่ให้เกินข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-20 ส่วนประกอบของ HYDROSHIELD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-21 การขุดเจาะอุโมงค์แบบ HYDROSHIELD ของเยอรมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถขุดเจาะอุโมงค์ภายใต้ระดับน้ำใต้ดิน โดยไม่ต้องมีการอัดความดันให้กับอุโมงค์ในบริเวณที่อยู่หลัง Bulkhead
4. ควบคุมการพังทลายของดินที่ผิวเจาะด้วยแรงดันของของเหลว
5. ควบคุมระดับความดันของของเหลว โดยการอัดอากาศไปบนผิวหน้าของของเหลวซึ่งอยู่ด้านหลังของ Diaphragm ทางตอนท้ายของ Work Chamber
6. การขนลำเลียงดินที่ขุดออกมานั้นทำได้โดยการขนด้วยระบบปั๊มและระบบสายพาน

การป้องกันผิวหน้าของอุโมงค์ด้วย Thixotropic Fluid

การขุดอุโมงค์ในดินหลวมเป็นการทำงานที่ยาก และความยุ่งยากจะเพิ่มขึ้นเพราะแรงดันของน้ำเป็นตัวลดเวลาความคงตัวของดินลง Hydroshield เป็นวิธีที่มีการป้องกันการพังทลายของดินด้วยแรงดันของของเหลวซึ่งทำหน้าที่เสมือน Sealing Film เคลือบบนผิวหน้าของดิน

การควบคุมแรงดันของของเหลว

สำหรับวิธีการขุดอุโมงค์แบบ Hydroshield นั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศใน Working Chamber เป็นการขดเชยหรือการเพิ่มแรงดันให้กับของเหลวที่มีแรงดันเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ตลอดเวลา แรงดันอากาศจะไปกระทำที่ผิวหน้าของของเหลวที่อยู่ทางด้านท้ายของ Chamber บริเวณ Bulkhead ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแรงดันดังที่กล่าวมานี้ก็เนื่องมาจากสภาพของดินและน้ำที่อยู่รอบๆ นั้นนั่นเอง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการปรับแรงดันของของเหลวนี้ เป็นระบบเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เช่นเดียวกับการหมุนของ Cutter Wheel เหมือนกัน

ระบบการขนถ่ายดิน

ดินที่เกิดจากการขุดอุโมงค์จะถูกผสมเข้ากับของเหลวในระหว่างการขุดเจาะ หลังจากนั้นจะถูกปั๊มออกไปตามท่อและเข้าสู่ระบบสายพานลำเลียงหลังจากผ่านการนำแยกของเหลวกับดินออกจากกัน ของเหลวที่ถูกแยกออกมาจะนำกลับไปใช้ในขบวนการขุดเจาะต่อไปอีก โดยของเหลวที่ผ่านการกรองดินออกเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานเสียก่อนจึงจะนำกลับไปใช้ได้ ขั้นตอนการปั๊มของเหลวนั้นจะต้องควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สัมพันธ์กับอัตราการขุดออกและยังคงรักษาสภาพความดันให้คงที่

การทำงานในอุโมงค์ที่ระดับความดันบรรยากาศ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าจะมีการอัดแรงดันให้กับของเหลวเฉพาะบริเวณ Work Chamber เท่านั้น ซึ่งบริเวณนี้จะถูกปิดสนิทแยกออกจากส่วนอื่นและจะไม่มีคนเข้าไปปฏิบัติงาน ส่วนที่ใช้เป็นที่ปฏิบัติงานของคนนั้นจะอยู่ทางด้านท้ายของ Shield ซึ่งอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศคนงานสามารถทำงานได้อย่างปกติโดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับการปรับความดันให้กับคนงานหลังจากการทำงานเสร็จ เหมือนกับวิธีที่ใช้การอัดความดันอื่น ๆ

สภาวะการทำงานที่เหมาะสมกับวิธี Hydroshield

Hydroshield นั้นเป็นวิธีการขุดอุโมงค์ที่เหมาะสมกับดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว ดินหลวมหรือดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน

วิธี Hydroshield นั้นสามารถดำเนินการได้โดยมีค่าก่อสร้างถูกกว่าและปลอดภัยกว่าในกรณีต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

1. เป็นทรายดูด (Quicksand) หรือสภาพดินที่เป็นทรายหลวมพังทลายได้ง่าย ซึ่งต้องการความปลอดภัยในการทำงานเป็นอย่างมาก
2. บริเวณที่ก่อสร้างอุโมงค์มีลักษณะตื้นและรับน้ำหนักมาก ซึ่งเป็นการเสี่ยงต่ออันตรายถ้าใช้ระบบอัดความดันธรรมดา
3. บริเวณที่เป็นดินหลวมหรือดินมีรูพรุน ซึ่งต้องใช้อากาศปริมาณมากในการอัดความดัน
4. ถ้ากรณีที่ต้องใช้การอัดความดัน วิธีอื่นๆ จะต้องใช้การอัดอากาศใน Working Chamber ซึ่งมีคนทำงานอยู่และต้องเสียเวลากับการปรับแรงดันเป็นผลให้เวลาการทำงานน้อยลงแต่สำหรับวิธี Hydroshield ไม่ต้องทำอย่างนั้น

5. Hydrojet Shield

ลักษณะที่สำคัญของ Hydrojet Shield คืออุปกรณ์ที่ใช้เจาะดิน หัวเจาะของ Hydroshield จะติดตั้งเป็นชุดใบมีด อยู่บน Cutter Wheel ขณะที่ทำการเจาะของ Hydrojet Shield จะใช้การฉีดพ่นของไหลในระนาบตั้งฉากกับแกนของ Shield (BECKER & SAWINSKI, 1983) จะผ่าน OSCILLATING NOZZLES ที่ติดอยู่ใกล้ ๆ กับผิวของ Shield

6. Mixshield

Mixshield คือเครื่องเจาะอุโมงค์สำหรับดินอ่อนใต้น้ำ พัฒนามาจาก Hydroject Shield และได้พัฒนาให้ใช้ได้กับ Cohesive Soil

Mixshield ถูกออกแบบเพื่อสนองความต้องการต่อไปนี้

1. ต้องสามารถทำงานในฐานะ Shield Machine ที่ใช้

- Liquid Support Face
- Face Support โดย Compressed Air
- Face Support โดย ดินที่ได้จากการขุด

2. การเปลี่ยน Shield จะต้องสามารถใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

3. การเปลี่ยน Shield ได้ดินจะต้องทำได้

รุ่นที่ใช้ "Liquid Supported Face" ได้พิสูจน์ประสิทธิภาพของมันแล้วใน HERA Circuit และโครงการอุโมงค์น้ำเสีย Burring ในประเทศเยอรมันนี้ การทดสอบจากการใช้งานจริงของรุ่น "Earth Pressure" และ "Compressed Air" ยังไม่มีการทดสอบ ถ้าทั้ง 2 รุ่นนี้ใช้งานได้ดี เราก็จะสามารถประดิษฐ์เป็น "Universal Shield Machine" ได้ตามที่คาดไว้ (BECKER, 1987)

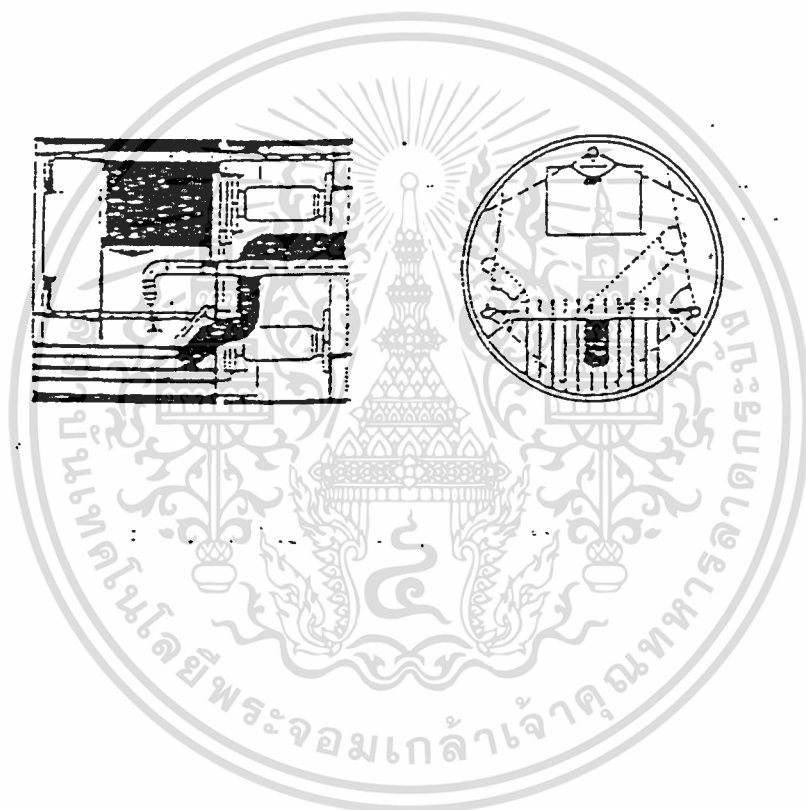
ข้อพิจารณาการเลือก Shield

รูป 2.23 แสดง Shield Methods ชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้ว การเลือก Shield จะขึ้นอยู่กับสภาพบริเวณข้างเคียงของเส้นทางทำการเจาะอุโมงค์ สภาพดิน ประวัติการทำงานที่เคยมีในอดีต ซึ่งทั้ง 4 วิธีที่ทำได้ทำเครื่องหมาย * เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป

Pipe Jacking

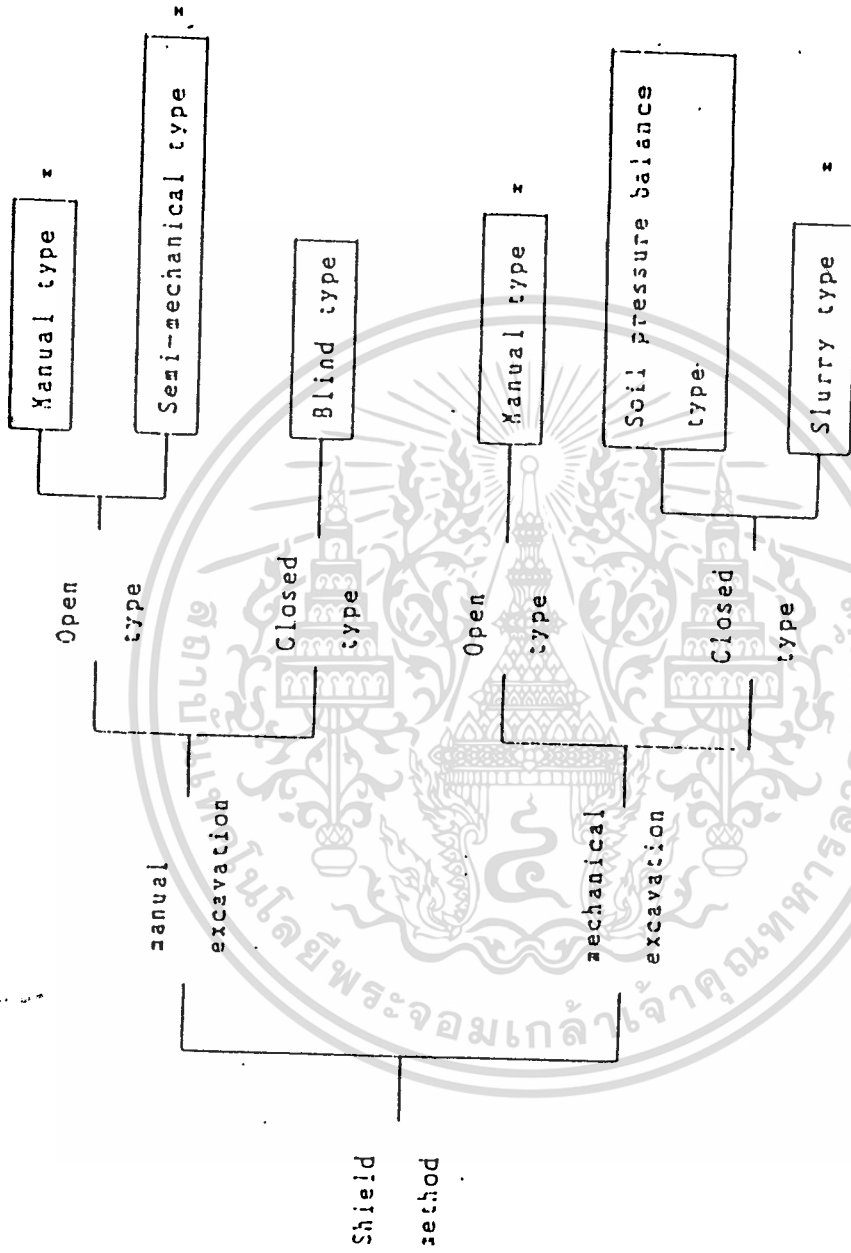
อีกทางเลือกหนึ่งของการใช้เครื่องเจาะ (Mole) กับ Lining รูปแบบต่างๆ เมื่อเร็วๆ นี้โครงการก่อสร้าง อุโมงค์ลำเลียงสิ่งปฏิกูล (Sewer Tunnel) ขนาดเล็กได้ใช้ระบบของเครื่องเจาะแบบ Full-Face Mining Machine กับระบบการดัน (Jacking) Lining เข้าไปด้วย ขณะที่ทำการเจาะไปข้างหน้า ดังนั้นจึงไม่มีการทิ้งช่วงให้ดินที่ถูกเจาะเกิดการยุบตัว เพราะการขุดเจาะไปข้างหน้าเกิดขึ้นพร้อมกับการดัน Leading Pipe เข้าไปด้วย SULINSKI (1972) ได้ให้รายละเอียดของการก่อสร้าง Sewer Tunnel ใน Chicago ซึ่งเราเลือกใช้วิธีนี้ทำให้ประสบความสำเร็จในการประมูล ขณะที่บริษัทอื่นใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-22 แสดงส่วน HEAD และ NOZZLE ของระบบ HYDROSHIELD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-28 มังแสดง SHIELD ชนิดต่าง ๆ

7. Open-Face Shield

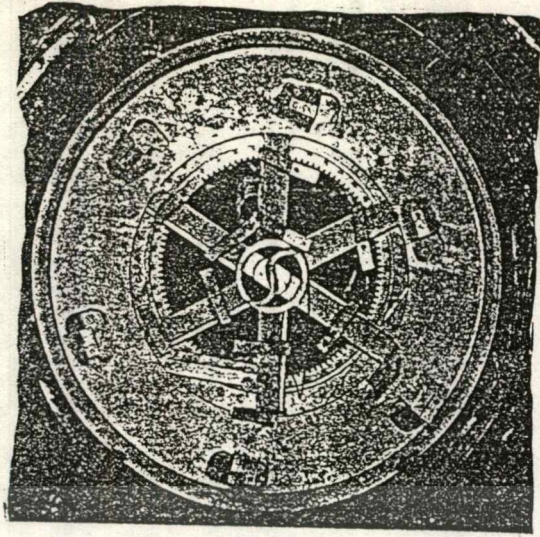
ระบบ Open-Face Shield ซึ่งสร้างขึ้นโดย Brunel และ Great Head Shield ทั้งแบบวงกลมและเกือบวงกลม จะมีระบบป้องกันคนทำงานอยู่ในอุโมงค์ ลักษณะ Shield

ในส่วนหัวจะเป็นส่วนหลักในการอำนวยความสะดวกในการทำงาน ส่วนหัวนี้จะถูกบังคับไปตามทิศทางของดินที่จะขุดเจาะ เมื่อติดตั้งส่วนหัวแล้ว ช่องตรงส่วนหน้าของ shield จะใช้เพื่อให้คนงานขุดเจาะและเคลื่อนย้ายวัสดุที่ไม่แน่นอนไป ส่วนหัวและ Shield จะต้องแข็งแรงมาก สำหรับการขุดเจาะในเครื่องใหญ่ ๆ ส่วนหัวจะสามารถแยกออกได้ สำหรับการขุดเจาะในหลาย ๆ ส่วนให้เหมาะกับคนทำงานและเครื่องมือ และจะมีส่วนขานยื่นออกมาเพื่อให้เข้าไปทำงานได้ทั่วถึงโดยเฉพาะใน Shield ใหญ่ ๆ ถึงแม้ว่าส่วนหัวจะบังคับให้ขุดเจาะดิน ส่วนบริเวณข้างหน้าของ Shield แต่อาจจะมีการขุดเจาะเพิ่มเติมเพื่อบริเวณขอบ ๆ จะใช้ทำงานแบบมีดแผ่นไปตัดเจาะแล้วจะมีการขุดดินบริเวณใต้หัวและแผ่นตัดออกไป

การทำที่รองรับนั้นจำเป็นเพื่อรองรับบริเวณดินอ่อนเพื่อกันดินพังลงมาในบริเวณอุโมงค์ ภายในตัว Shield จะต้องมียางกว้างมากพอเพื่อใช้ในการติดตั้ง Jack ที่ใช้ในการควบคุมให้ Shield เคลื่อนที่ไปได้

ในส่วนกลางของ Shield จะเป็นส่วนหลักและเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ Shield การเคลื่อนที่ของ Shield จะเกิดจากการติดตั้งส่วนของ Jack และใช้เป็นตัวบังคับ Shield ให้ส่วนหน้าไปขุดเจาะดิน การเคลื่อนที่ขึ้นลงของ Shield จะถูกควบคุมโดย Jacks แยกอีกตัวหนึ่ง การควบคุมทิศทางของ Shield จะควบคุม Jack ให้เหมาะสมก็จะได้ทิศทางของ Shield ที่ถูกต้อง

ในส่วนท้ายของ Shield จะเป็นตัวรองรับภายในส่วนท้ายของ Shield ซึ่งจะทำให้การติดตั้งแผ่นรองรับภายในอุโมงค์ (Lining) ซึ่งแผ่นที่จะมาติดตั้งจะมีรัศมีน้อยกว่าในส่วนท้ายของ Shield เพื่อความสะดวกในการติดตั้งและความปลอดภัย เพราะติดตั้งภายใน Shield โดยปกติส่วนท้ายจะมีความยาวมากพอที่จะครอบคลุมความกว้างของ Lining ซึ่งจะช่วยให้การติดตั้งรอยประสานของ Lining ดีพอที่สามารถจะรับแรงและ Stress จากภายในอุโมงค์ได้



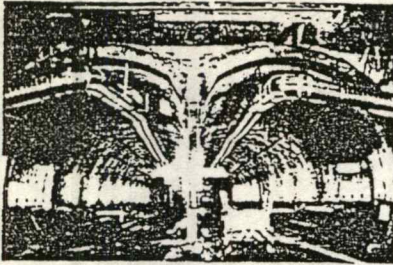
รูปที่ 6-24 ลักษณะของ OPEN-FACE SHIELD



รูปที่ 6-25 OPEN-FACE SHIELD

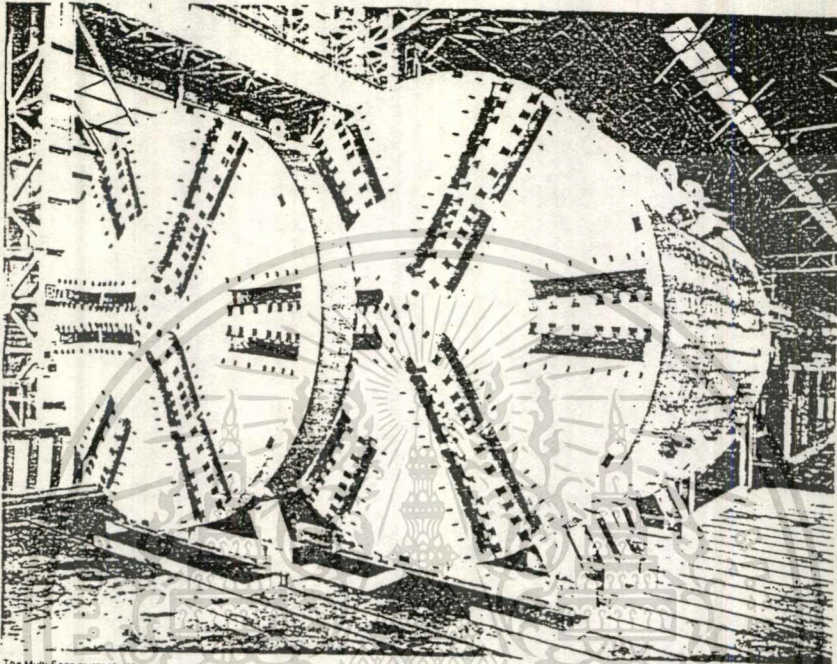
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MF Shield Tunneling Method

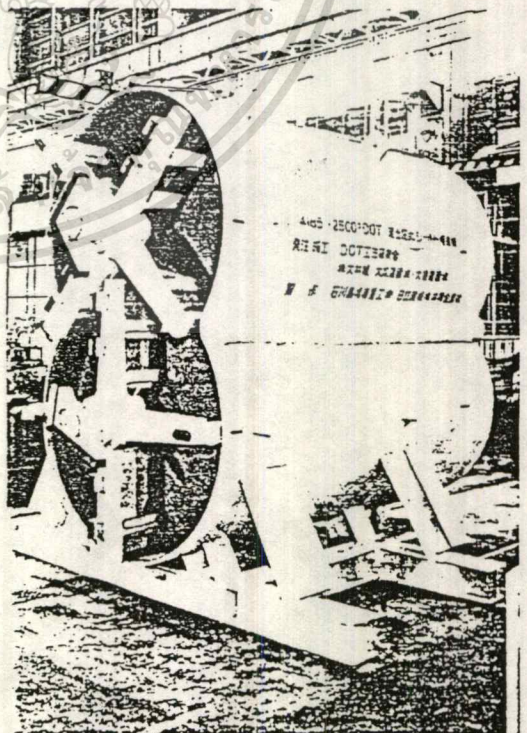
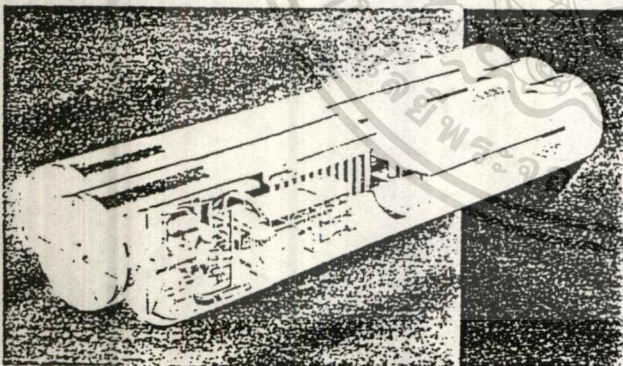


The MF shield tunneling method can excavate tunnels in special sectional shapes with the machine having the world's first multiple cutters called "MF Shield Machine". Its innovative design radically improves the conventional design concept that a shield tunneling machine must have a single-cylinder shape. The currently-completed MF shield is such that two conventional circular shields are combined horizontally as shown in Fig. 1 on the next page.

This type of shield is used to excavate a double track tunnel. Furthermore, several circular shields are coupled vertically or horizontally to produce multi-cutter faces (3-face-shape and 4-face-shape, for example). This shield will be commercially applied as a closed-type mechanical tunneling machine for special sectional forms. It is expected that this shield will contribute to further underground development.



The Multi-Face slurry shield



Vertical DOT Shield

รูปที่ 6-26 SHIELD หน้าตัดรูปพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การติดตั้งผนังอุโมงค์ (Lining)

การขุดอุโมงค์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของความเค้นในดิน โดยเฉพาะการขุดอุโมงค์ในดินอ่อน ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการรองรับและค้ำยันหรือมีผนังไว้ สำหรับดินบริเวณรอบช่องเกิดของอุโมงค์ เพื่อไม่ให้ดินพังลงมาและสามารถรับและต้านทานการเคลื่อนตัวของดิน

ดินบางประเภทจะต้องมีการค้ำยันโดยทันที ขณะที่ดินบางประเภทจะมีระยะเวลาคงตัว (Stand-Up Time) นานพอสมควร จึงไม่จำเป็นต้องตัดค้ำยันโดยทันที ในการเลือกผนังอุโมงค์ นอกจากจะต้องมีเสถียรภาพสูงแล้วยังจะต้องถือว่าเป็นงานตกแต่ง (Finishing) ของอุโมงค์ด้วย และผนังก็ยังมีส่วนต่อมูลค่าในการก่อสร้างทั้งหมดของอุโมงค์ ซึ่ง Peek et al (1969) ได้ประมาณไว้ว่ามูลค่าผนังอุโมงค์ คิดเป็น 20-42 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผนังอุโมงค์ที่เลือกใช้ และยังมีผลต่อการก้าวหน้าของงานอีกด้วย

ในอดีตเราจะทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ชั่วคราว เพื่อทำหน้าที่รองรับน้ำหนักชั่วคราว และจึงติดตั้งผนังอุโมงค์ถาวรเพื่อรับน้ำหนักโดยถาวร แต่หลังจากมีการนำเครื่องเจาะอุโมงค์แบบขุดเจาะเต็มหน้า (TBM) มาใช้ก็สามารถทำการติดตั้งผนังอุโมงค์ในตอนท้ายของหัวเจาะได้ทันที เพื่อทำหน้าที่เป็นผนังชั่วคราวและถาวรในตัว

7.1 ผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Lining)

ผนังอุโมงค์ชั่วคราว สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. โครงเหล็ก (Steel Ribs)
2. แผ่นเหล็กกรีต (Liner Plate)
3. การพ่นคอนกรีต (Shotcrete)

1. **โครงเหล็ก (Steel Ribs)** จะทำจากเหล็กหน้าตัดยาว ซึ่งตัดให้เป็นโครงตามรูปร่างของอุโมงค์ตามที่ต้องการ การติดตั้งสามารถทำการติดตั้งด้วยมือ หรือติดตั้งโดยใช้เครื่องมือ ติดตั้งที่อยู่ด้านหลังของเครื่องเจาะอุโมงค์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วย Lagging ซึ่งอาจเป็นไม้ คอนกรีตหล่อสำเร็จ หรือแผ่นโลหะ ขึ้นอยู่กับราคาของวัสดุที่ใช้ และจุดประสงค์ของผนังอุโมงค์ชั่วคราว ทั้งนี้หากมีปัญหา

เรื่องระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งจะทำให้ Lagging จะต้องอยู่ในสภาพเปียกๆ แห้งๆ อยู่เป็นประจำ ดังนั้นการใช้ Lagging ที่เป็นไม้ในระยะยาวจึงไม่เหมาะสมเพราะอาจผุพังได้ ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเหนืออุโมงค์

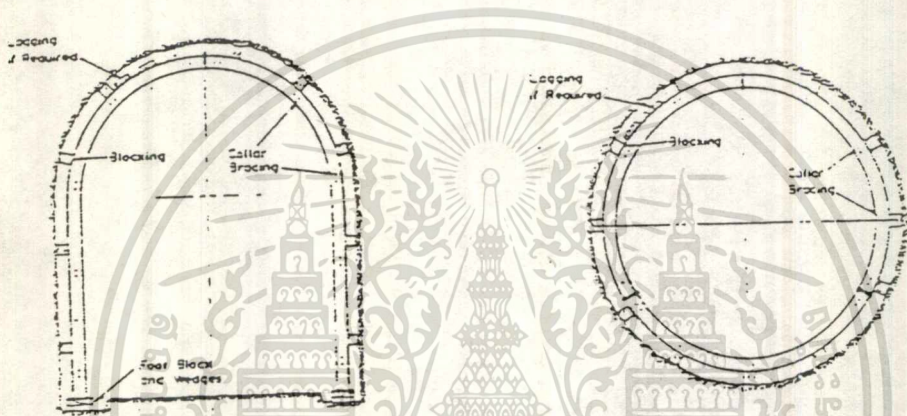
โครงเหล็ก (Steel Ribs) นี้จะวางห่างกันประมาณ 3 ถึง 4 ฟุต เพราะเครื่องเจาะสามารถเคลื่อนตัวได้ในระยะหนึ่ง ผนังชั่วคราวชนิดนี้ไม่สามารถกันน้ำซึมได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีผนังถาวร (Secondary Lining) อีกชั้นหนึ่ง

2. แผ่นเหล็กกริด (Liner Plate) ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่นำมาต่อกัน ซึ่งขอบทั้ง 4 ด้าน จะทำเป็นลักษณะคล้ายปีก (Flange) เพื่อเสริมความแข็งแรง ความหนา ระยะห่างระหว่างสลัก (Bolts) และขนาดอื่นๆ ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์และน้ำหนัก แต่โดยทั่วไปจะมีความหนาประมาณ 16 นิ้ว น้ำหนักของ Plate หนึ่งตัวจะอยู่ในช่วงระหว่าง 25-80 ปอนด์ การติดตั้งสามารถติดตั้งด้วยคนหรือติดตั้งโดยเครื่องติดตั้งก็ได้ ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ใหญ่มาก อาจใช้ Striffening Ribs ร่วมด้วยเพื่อช่วยให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น และสามารถใช้ Gasketed Lining ติดไว้ที่ Plate เพื่อช่วยลดการรั่วซึมของน้ำ ข้อดีของแผ่นเหล็กกริด คือมีการเพิ่มมาตรฐานการออกแบบให้สามารถปรับเข้ากับแรงกระทำจากแรงดันที่ต่างกันได้ ทั้งสามารถรับให้มีรูปร่างตามความโค้งและรัศมีของอุโมงค์ได้ง่ายต่อการขนส่งและจัดเก็บ นอกจากนี้ยังใช้ได้ทั้งในสภาพความดันบรรยากาศ และสภาวะความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีการใช้ผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining) ที่เป็นคอนกรีต

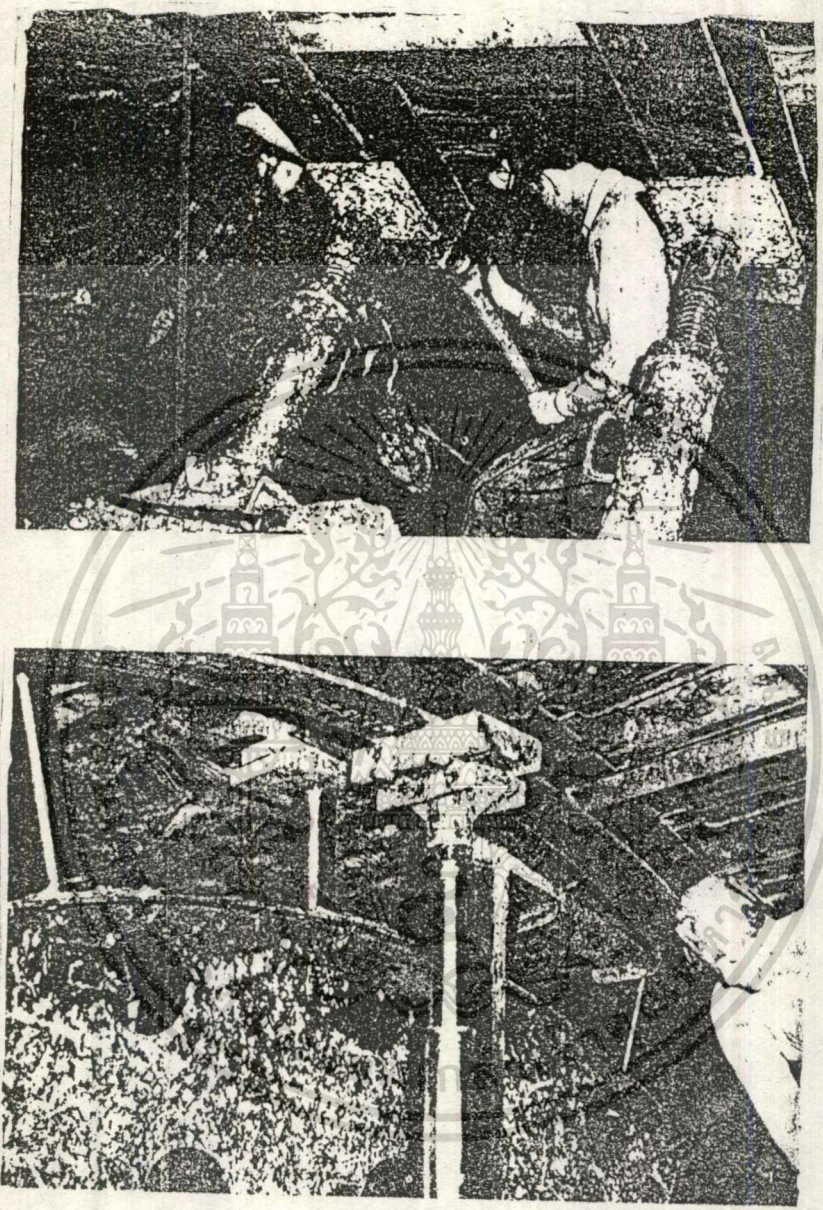
3. การพ่นคอนกรีต (Shotcrete) คือผนังอุโมงค์ที่เกิดจากการพ่นคอนกรีตเพื่อเป็นผนังของอุโมงค์ทันทีหลังจากขุด ความหนาของคอนกรีตที่พ่นโดยทั่วไปคือ 4-6 นิ้ว การพ่นจะต้องกระทำทันทีหลังการขุด และก่อนที่ดินจะเคลื่อนตัว การใช้วิธีนี้กับงานอุโมงค์เพื่อการคมนาคม เราจำเป็นต้องเทคอนกรีตที่ส่วนล่างของอุโมงค์อีกครั้ง เพื่อให้ผิวทางเรียบ และในอุโมงค์ที่ประสบปัญหาน้ำใต้ดิน ก็จำเป็นต้องทำผนังอุโมงค์ถาวรด้วย

7.2 ผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining)

หลังจากที่เราได้ทำการติดตั้ง ผนังอุโมงค์ชั่วคราว (Primary Lining) แล้ว เราก็ทำการหล่อผนังอุโมงค์ถาวร ด้วยคอนกรีต หรือวัสดุอื่นๆ ถ้าหากเป็นคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กซึ่งถือว่ามีความแข็งแรง (Rigid) ไม่เข้ากับความยืดหยุ่น และการโก่งตัว (Deformation) ของผนังอุโมงค์ชั่วคราว ซึ่งจะถูกลอก

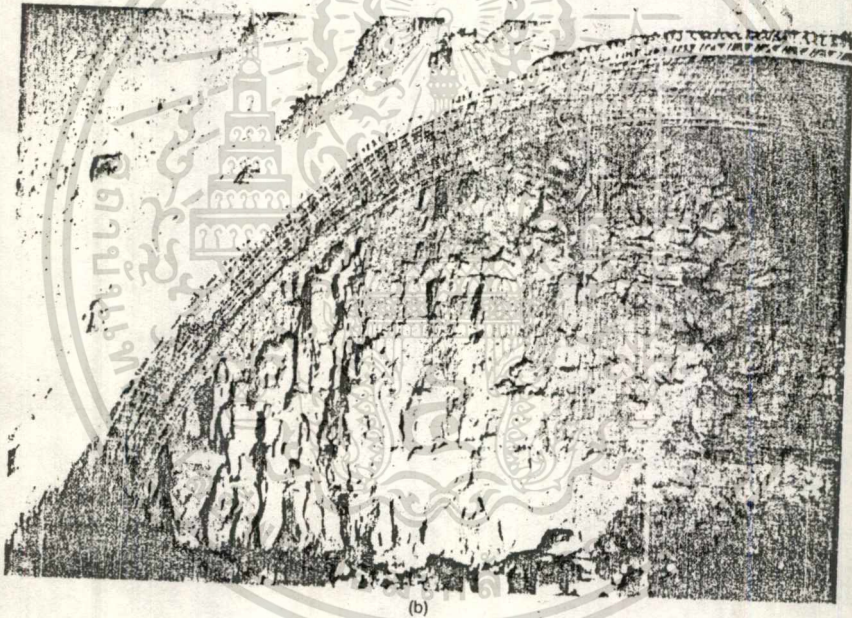
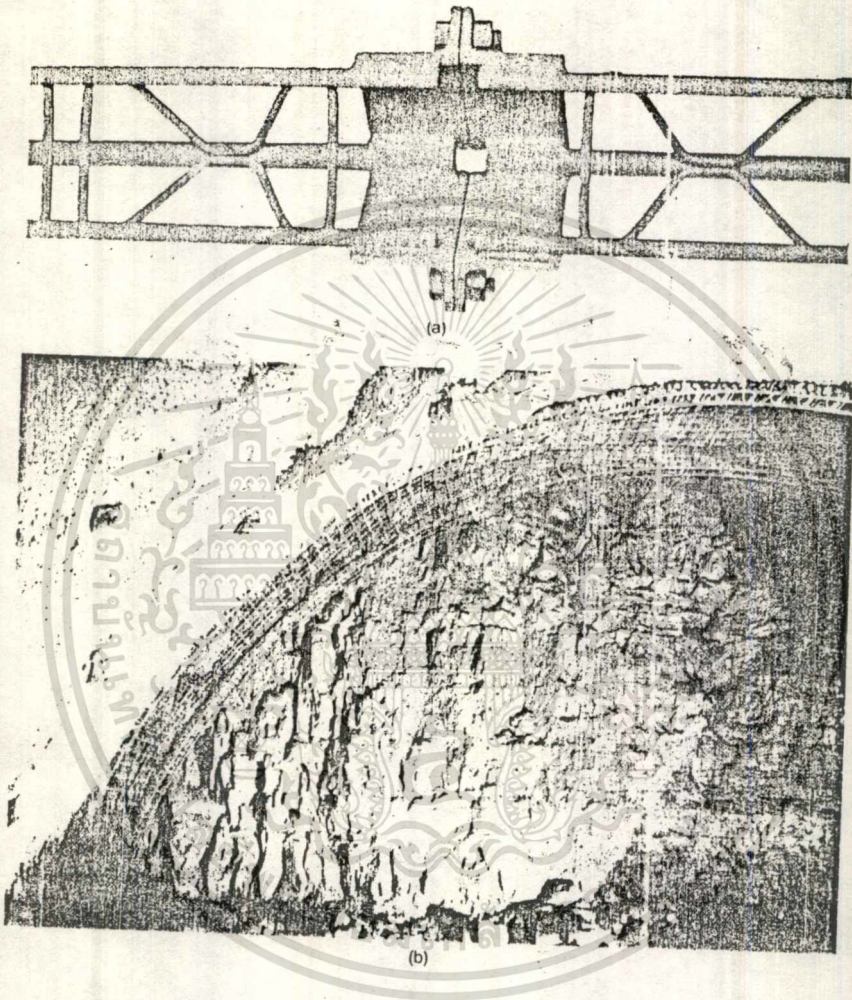


รูปที่ 7-1 หน้าอุโมงค์ชั่วคราวชนิด โครงเหล็ก (STEEL RIBS)



รูปที่ 7-2 การติดตั้ง STEEL RIBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

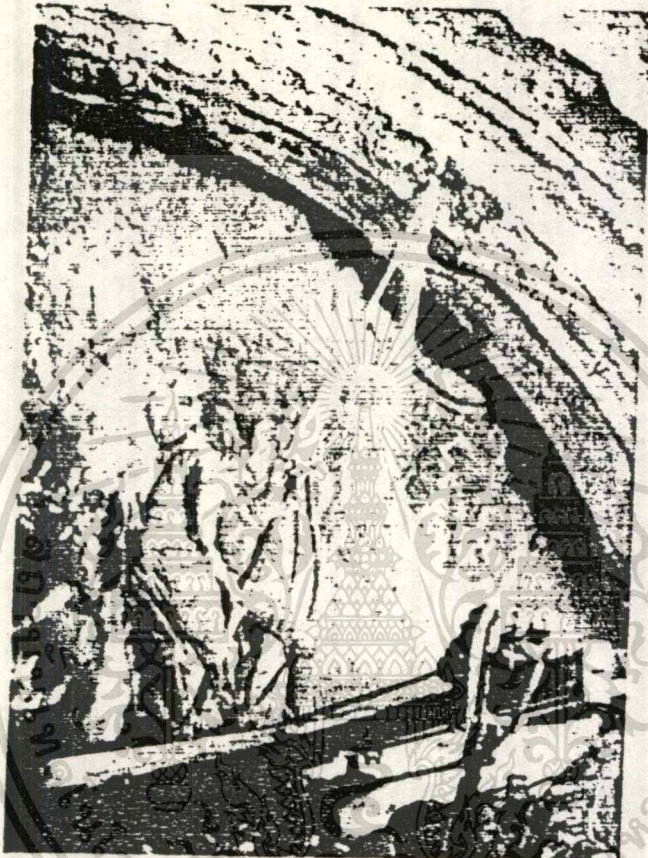


รูปที่ 7-3a แสดงการยึดต่อของโครงเหล็กที่ใช้ทำผนังอุโมงค์

รูปที่ 7-3b แสดงการทำผนังอุโมงค์ด้วยวิธี SHOTCRETE

(PHOTOS COURTESY P. KAISER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

รูปที่ 7-4 การทำ SHOTCRETE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

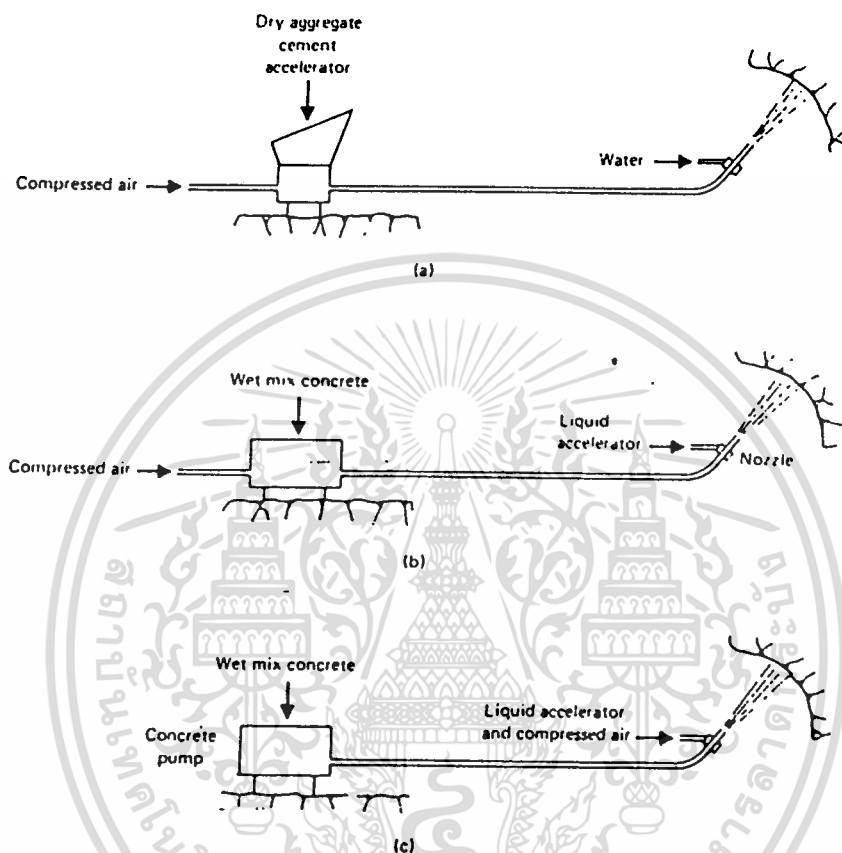


Figure 17.11 Shotcreting processes. (a) Dry-mix method. (b) Wet-mix method with pneumatic feed. (c) Wet-mix method with positive feed (concrete pump).

รูปที่ 7-5 รูปแบบต่างๆของวิธี SHOTCRETE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบให้ด้านทานโมเมนต์ดัด เช่นเดียวกับการอัดตัวของวงแหวน (Ring Compression) สำหรับผนังอุโมงค์ลำเลียงของเสียหรือน้ำเสีย ซึ่งปัญหาการรั่วซึมเป็นองค์ประกอบสำคัญ แต่ไม่เหมาะสำหรับอุโมงค์ที่ใช้สำหรับการคมนาคม

สำหรับผนังอุโมงค์ถาวร (Secondary Lining) ที่เป็นชั้นส่วนประกอบกัน จะนิยมใช้กับดินที่มีระยะเวลาคงตัว (Stand-Up Time) เพียงพอสำหรับการติดตั้ง โดยที่ผนังอุโมงค์ติดตั้งชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นทั้งผนังรับแรงชั่วคราวและถาวร

7.3 ผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ (Segmental Lining)

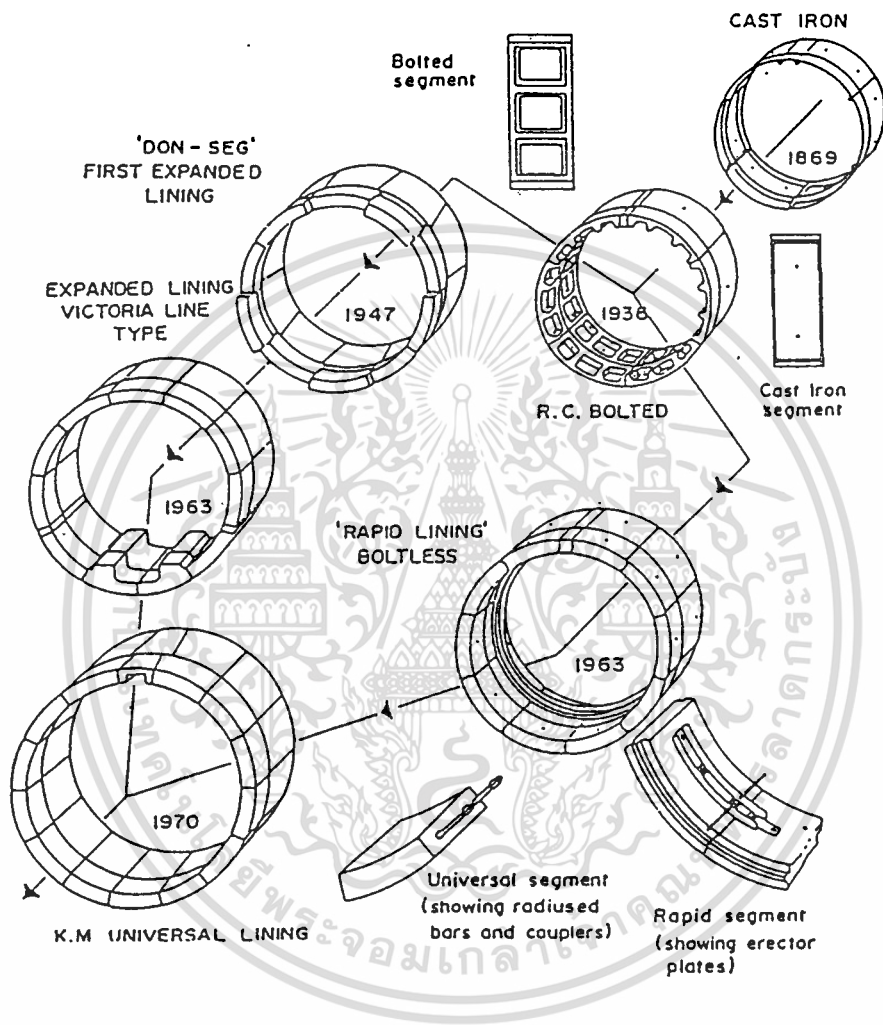
จุดประสงค์และคุณสมบัติของผนังอุโมงค์ แบบชิ้นส่วนประกอบมีดังนี้

1. สามารถรับแรงกระทำจากดินและน้ำโดยทันทีทันใดโดยปราศจากการโก่งตัว (Deformation) หรือการรั่วซึม
2. สามารถต้านทานต่อ Axial Stress ซึ่งเกิดจากการขับเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของ Shield
3. สามารถต้านทานต่อ Impact Stress เนื่องจากการลำเลียง ขนส่ง และการติดตั้งผนังอุโมงค์
4. สามารถป้องกันความชื้นและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อ และตัวกันน้ำ (WaterTightness) รวมทั้งต้านทานการกัดกร่อนได้ดี
5. ประหยัดในการก่อสร้างและการบำรุงรักษา วัสดุที่แพงและแข็งแรงกว่าอาจจะประหยัดมากกว่าวัสดุที่ถูกและบอบบางกว่า เมื่อพิจารณาถึงเรื่องขนาด

การติดตั้งผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนประกอบ (Segmental Lining) ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะของเนื้อวัสดุซึ่งอาจจะเป็นเหล็กหล่อ (Cast Iron), เหล็กกล้า (Steel Iron) หรือคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Segmental Lining) ก็ได้

ผนังอุโมงค์แบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Segmental Lining) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. แบบมาตรฐาน (Standard Bolted Concrete Lining) มักจะใช้เป็น ผนังอุโมงค์ถาวร หรือเป็นคอนกรีตเนื้อเดียว (Insitu Concrete) ในงานส่งน้ำและระบายน้ำ เป็นแบบที่ใช้มากที่สุดในโลก โดยเฉพาะในสภาพดินอ่อนและหินไร้เสถียรภาพ แบบมาตรฐานหรือ Bolt Concrete Segment มักจะใช้ในอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 เมตรขึ้นไป



รูปที่ 7-8 ผนังอุโมงค์สำเร็จรูปแบบชิ้นส่วนประกอบ (SEGMENTAL LINING)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบผิวเรียบ (Grouted Smooth Bore Lining) มักนิยมใช้ในสภาพดินอ่อนและหินที่ขาดเสถียรภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นดินตะกอน ปกติแล้วแบบผิวเรียบหรือ Unbolted จะไม่เสริมเหล็กและเป็นผนังถาวร ซึ่งจะมีชิ้นส่วนประกอบต่อหนึ่งวงแหวนมากกว่าแบบมาตรฐาน (Bolt Concrete) เพื่อลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แต่ปัญหาที่สำคัญคือ มักเกิดความเสียหายในการขนส่งและการติดตั้ง และต้องมีการอุดรูรั่วอย่างละเอียด

โดยทั่วไปแบบผิวเรียบจะมีราคาใกล้เคียงกับแบบมาตรฐาน และระบบเวลาติดตั้งรวมทั้งค่าใช้จ่ายก็พอๆ กัน แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวกระยะยาวได้ รวมทั้งเป็นผนังอุโมงค์แบบถาวรด้วย

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ ที่เรียกว่า แบบทางเดียว (One Pass) ซึ่งมีการเชื่อมต่อขณะทำการก่อสร้างด้วยเหล็กยึด ทำให้ต่อกันเรียบสนิทยิ่งขึ้น

3. แบบ Expanded Concrete นิยมใช้อย่างกว้างขวางในสภาพดินเหนียวอ่อน มีลักษณะผิวเรียบและมีการประกบกันในลักษณะ Ket Joint โดยมีวิธีการหลักดังนี้

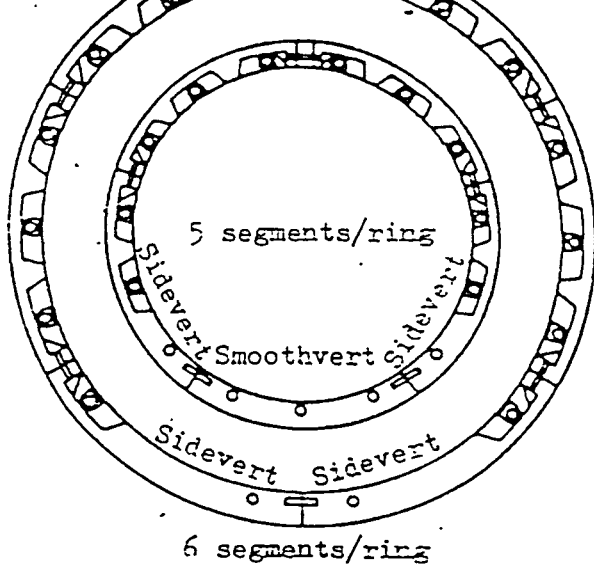
ก. ใน Wedged Shaped Block ยึดติดในแนวยาวด้วยเครื่องมือประกอบ

ข. ใช้ซีเมนต์มอร์ตาร์ ปิดช่องว่างจากการติดตั้ง ต่อมาได้มีการพัฒนาผนังอุโมงค์แบบ Expanded Concrete เป็นหลายชนิด เช่น Universal Lining ภายใต้วิธีการเดิม โดยการพัฒนาของ Expanded Concrete มีหลักการคือ

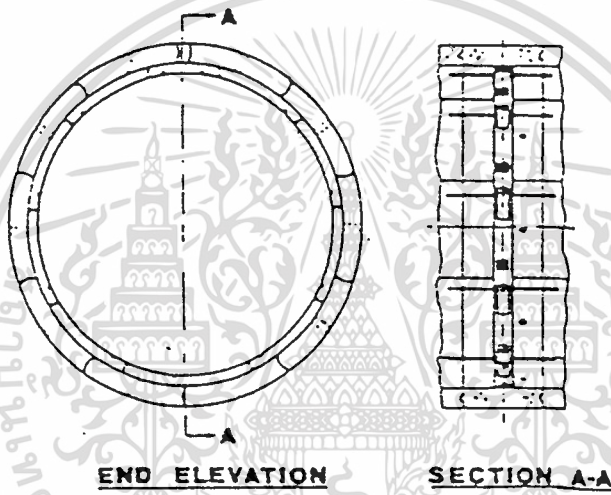
ก) พิจารณาผนังอุโมงค์จะอยู่ในสภาพที่เกิดแรงอัด (Compression) ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการใช้ Bolt และเสริมเหล็กรับแรงดึงในชิ้นส่วนคอนกรีต จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้มาก

ข) เราสามารถเปลี่ยนแปลงการเจาะรูเพื่อใส่ Bolt มาอยู่ในตำแหน่งอื่น หรือไม่จำเป็นต้องใช้ Bolt ทำให้ผิวของผนังเรียบ ที่ความสะดวกง่าย และเป็นผนังอุโมงค์ถาวรด้วย

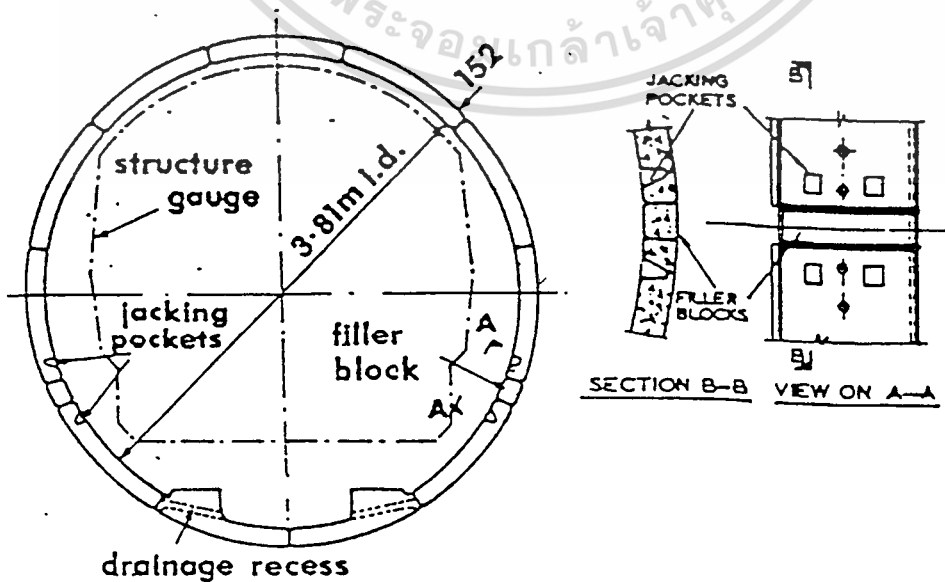
ดังนั้นการนำผนังอุโมงค์แบบ Expanded Concrete มาใช้จึงเหมาะสมกับงานอุโมงค์ส่งน้ำและระบายน้ำ (Water and Sewer Tunnel) หรือควรรู้แบบ Expansion ที่ส่วนบนของอุโมงค์ (Crown) และส่วนล่าง (Invert) เพื่อลดความเสียหาย แต่ปัญหาสำคัญคือ ความเสียหายจากการเคลื่อนย้ายและจากน้ำหนักที่มีมาก นอกจากนี้เมื่อประกอบติดตั้งจะต้องทำการ Grouting ช่องว่างทั้งหมด



รูปที่ 7-7a ผนังอุโมงค์มาตรฐานแบบ CONCRETE SEGMENT



รูปที่ 7-7b ผนังอุโมงค์แบบผิวเรียบ (FROUTED SMOOTH BORE CONCRETE)



รูปที่ 7-7c ผนังอุโมงค์แบบ EXPANDED CONCRETE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเหล็กเสริมในชิ้นส่วนคอนกรีตมีจุดประสงค์ดังนี้

- ช่วยต้านทานแรงดึงและโมเมนต์ดัด ทั้งกรณีรับแรงชั่วคราว และจากการติดตั้งหรือการเคลื่อนตัวของ Shield

- ต้านทานต่อการรับน้ำหนักถาวร

ปัจจุบันได้พยายามนำแบบคอนกรีตเลื่อนตัว (Slip Form) มาใช้ในงานหล่อผนังอุโมงค์ที่เรียกว่า Extrude System ซึ่งต้องมีการเปลี่ยนแปลงลำดับและขั้นตอน วิธีทำงานของเครื่องเจาะและการเคลื่อนตัว โดยกำหนดคุณสมบัติของ Extrude ไว้ดังนี้

1. ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ง่าย
2. ประยุกต์ใช้กับเครื่องปั๊มคอนกรีตได้
3. สามารถแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยภายใต้การควบคุม
4. ให้กำลังได้เร็ว
5. การให้กำลัง (Strength) สัมพันธ์กับระยะเวลาการเคลื่อนตัวของดิน
6. มีเสถียรภาพไม่เสียรูปได้ง่าย
7. ทนทานต่อการสึกกร่อน
8. ประหยัดค่าใช้จ่าย

จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงใช้คอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะให้กำลังในตอนต้นสูง และให้กำลังได้เร็ว อัตราการเซตตัวสม่ำเสมอ แต่การพัฒนาในชั้นสมบูรณ์ Extrude Lining ยังไม่ประสบความสำเร็จ

7.4 การพิจารณาเลือกชนิดของผนังอุโมงค์

มีสิ่งสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาเลือกผนังของอุโมงค์ มีดังนี้

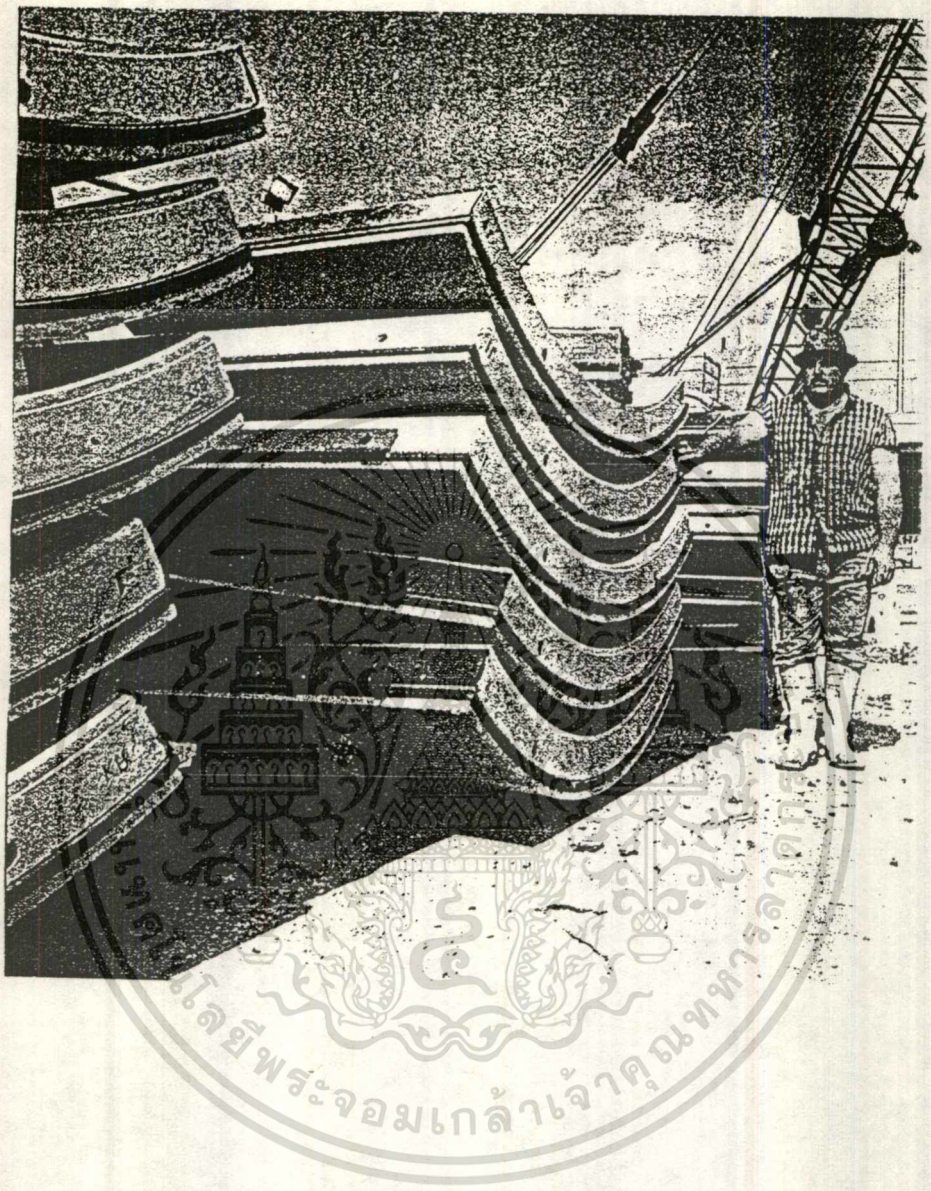
1. ประเภทของอุโมงค์ เช่น คมนาคม ส่งน้ำ ลำเลียง เคเบิล และความจำเป็นของงานตกแต่ง
2. ชนิดของดินแต่ละกรณี
3. ค่าใช้จ่าย
4. ความรวดเร็วในการติดตั้ง
5. ความคงทนต่อแรงในการติดตั้ง และแรงจากน้ำหนักกระทำทั้งหมด
6. การป้องกันการรั่วซึม
7. ความคงทนต่อการสึกกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า มีการใช้ผนังอุโมงค์หลายแบบในการก่อสร้างสภาวะดินอ่อน ในปัจจุบันมีแนวโน้มจะใช้ผนังแบบคอนกรีตมากกว่า ยกเว้นในกรณีที่อยู่ภายใต้สภาวะดินผสมจึงหันมาใช้ผนังแบบเหล็กกราไฟท์ (Spheroidal Graphite Iron) สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การที่ชั้นส่วนมีความกว้างมากก็จะสามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องติดตั้งว่าสามารถใช้ได้กับชั้นส่วนขนาดเท่าไรรวมทั้งน้ำหนักสูงสุดด้วย ส่วนการติดตั้งโดยแรงคนจะไม่ใช้ขนาดชั้นส่วนที่ใหญ่เกินไป

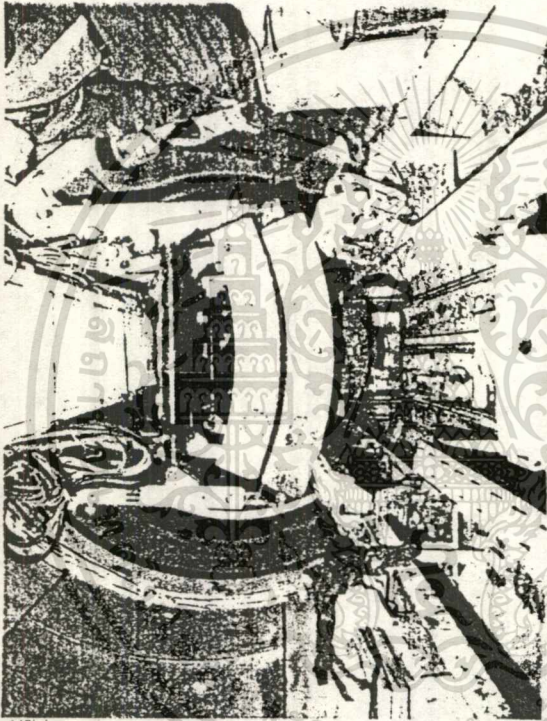
7.5 การติดตั้งแผ่นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

หลังจากที่เครื่องจักรทำงานและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ 110 เซนติเมตร แล้วเครื่องจักรจะหยุดทำงานแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ลำเลียงเข้ามาด้วยรถรางก็จะถูกติดตั้งด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Hydraulic Erector แผ่นคอนกรีตแต่ละแผ่น จะได้รับการติดยางกันซึมโดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำภายนอกเข้ามาข้างในอุโมงค์ แผ่นคอนกรีตที่นำมาคิดใหม่จะถูกยึดให้ติดกับแผ่นคอนกรีตที่ติดไว้ก่อนแล้วด้วยสลักเกลียว (bolts) เมื่อทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้วเครื่องเจาะก็จะเริ่มทำงานต่อไป สำหรับช่องว่างที่เกิดขึ้นหลังจากการเคลื่อนตัวของเครื่องจักรนั้นจะต้องอัดด้วยซีเมนต์มอร์ต้าเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดินด้านข้าง



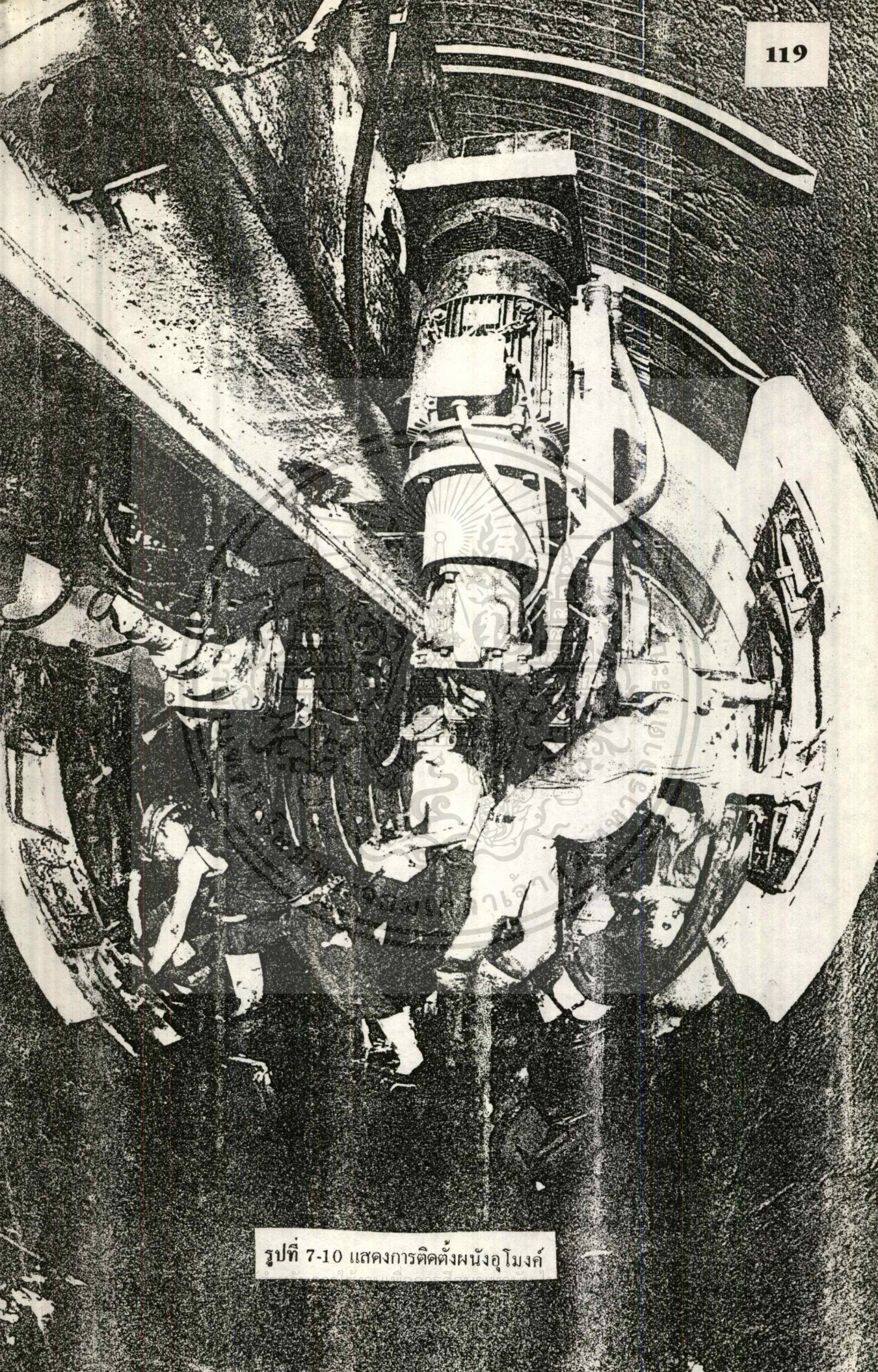
รูปที่ 7-8 ชั้นส่วนผนังอุโมงค์สำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

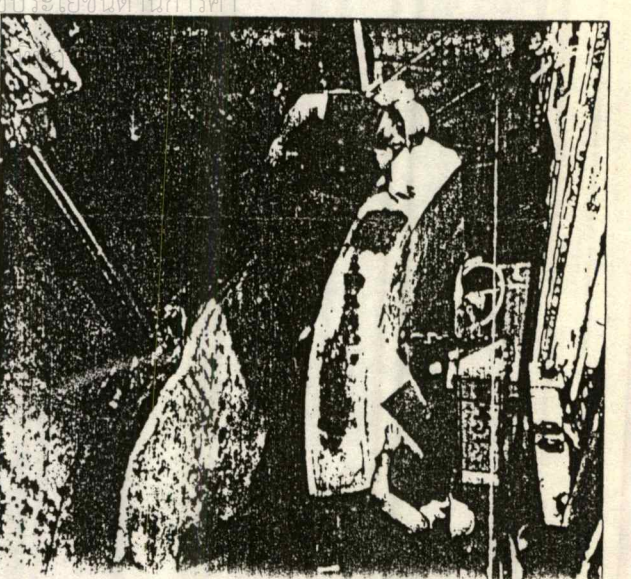
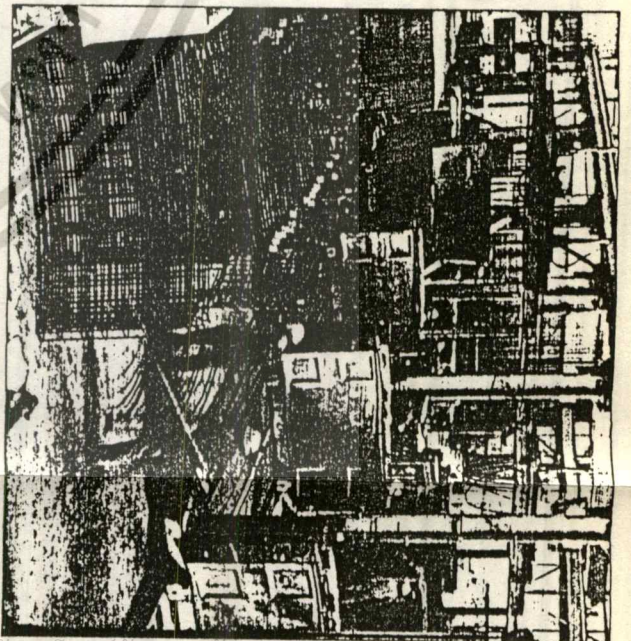


รูปที่ 7-9 การเคลื่อนย้ายผนึ่งดูโมแรงค์แบบสำรจรูป
(SEGMENT HANDLING SYSTEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-10 แสดงการติดตั้งผืนงูโมงค์

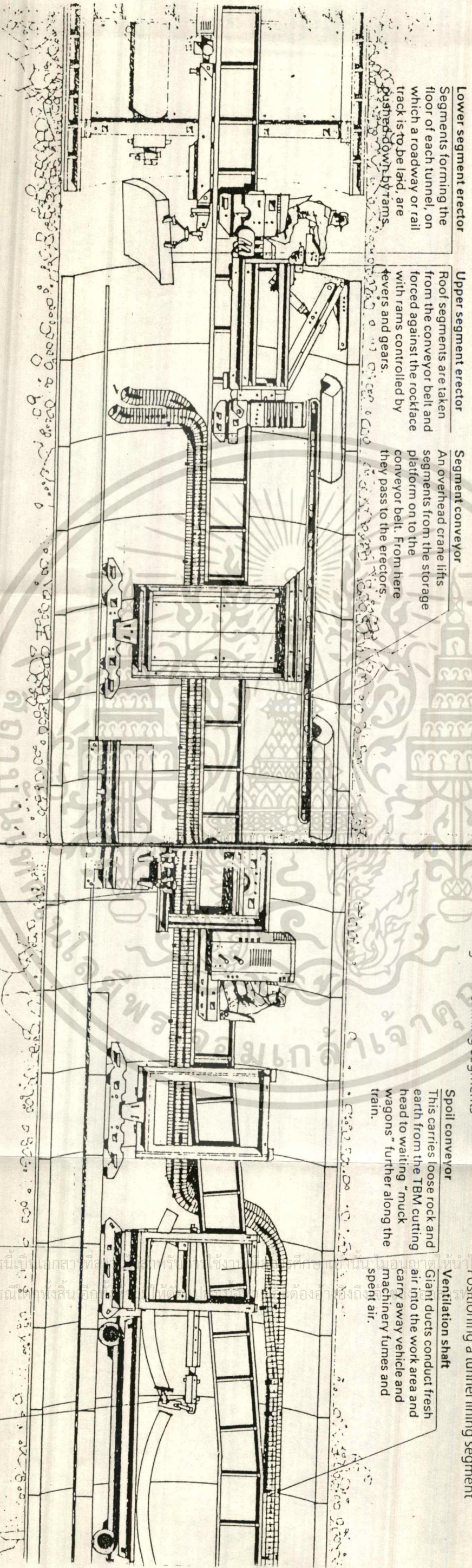


Making tunnel lining segments

Positioning a tunnel lining segment

Spoil conveyor
This carries loose rock and earth from the TBM cutting head to waiting "muck wagons" further along the train.

Ventilation shaft
Giant ducts conduct fresh air into the work area and carry away vehicle and machinery fumes and spent air.



Lower segment erector
Segments forming the floor of each tunnel, on which a roadway or rail track is to be laid, are pushed down by rams.

Upper segment erector
Roof segments are taken from the conveyor belt and forced against the rockface with rams controlled by levers and gears.

Segment conveyor
An overhead crane lifts segments from the storage platform on to the conveyor belt. From here they pass to the erectors.

Segment storage
Segments are stacked on their side or flat, depending on their shape, size and construction. The rate of fitting the segments is matched by an equal rate of their delivery by the supply trains.

Permanent deck
Extending the full length of the construction train is a flat, solid floor along which all the mobile machinery moves. This, too, is made in sections of preformed concrete slabs.

Segment unloader
Lining and permanent deck segments are lifted from the wagons by crane, one at a time.

Segment wagons
About six wagons are used to carry concrete and iron segments to the workface. This is sufficient for two complete rings of the tunnel and the corresponding exterior of the permanent de

รูปที่ 7-11 ตัวอย่างการติดตั้งผนังอุโมงค์ในโครงการ CHANNEL TUNNEL

1. สถานีร่วม

จะเป็นสถานีซึ่งมีระบบรถไฟฟ้าใต้ดินผ่านเข้ามาหลายสายในสถานีเดียวกัน หรือเป็นสถานีที่ประสานกับระบบขนส่งมวลชนระบบอื่น ทำให้ประชาชนสามารถที่จะเปลี่ยนการเดินทางจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่งได้ปริมาณผู้โดยสารที่ผ่านเข้า-ออกสถานีจะมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะต้องคาดประมาณจำนวนเดินทาง (Ridership) ในระยะยาวด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีพื้นที่รองรับผู้โดยสารที่กว้างขวางเพียงพอ องค์ประกอบที่จำเป็นของสถานีจะเพิ่มมากขึ้นตามความสำคัญของสถานี

2. สถานีทั่วไป

เป็นสถานีย่อยตามทาง ซึ่งมีรถไฟฟ้าใต้ดินผ่านเข้ามา 1 สาย 2 ทิศทาง รูปแบบโดยทั่วไปของสถานีจะกว้างประมาณ 18-26 เมตร และมีความยาวประมาณ 150-200 เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณผู้โดยสาร (max.passenger flow per hour) ความลึกจากระดับผิวดินประมาณ 14-24 เมตร ภายในสถานีจะประกอบด้วยพื้นที่อาคารต่างระดับ ติดต่อกันด้วยลิฟท์บันไดและบันไดเลื่อนมีองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นของสถานีและชานชาลา

นอกเหนือจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นของสถานีแล้ว ในบริเวณสถานีสามารถที่จะพัฒนากิจกรรมการค้ารวมอยู่ได้ ขึ้นอยู่กับทำเลที่ตั้งของสถานี ซึ่งอาจจะมีพื้นที่ประกอบการค้าขนาดใหญ่หรือร้านค้าย่อยในสถานี หรือมีการวางแผนร่วมกันในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินให้เชื่อมโยงกับอาคารเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นศูนย์กลางการค้าทางธุรกิจขนาดใหญ่ได้

8.3 องค์ประกอบของสถานี

องค์ประกอบของสถานีแบ่งออกเป็นพื้นที่สาธารณะ และพื้นที่เฉพาะ ได้แก่

1. ทางเข้า-ทางออก เป็นทางขึ้น-ลง ซึ่งจะกำหนดให้ผสมผสานกับระบบทางสัญจร
2. โถงภายในและทางเดินขนาดใหญ่เชื่อมโยงและติดต่อกันด้วยลิฟท์ บันไดและบันไดเลื่อน แบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนจำหน่าย เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติ (Automatic Ticket Vender) ประตูตรวจตั๋วอัตโนมัติ (Automatic Ticket Gate) แผนผังแสดงโครงข่ายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินและอัตราค่าโดยสาร แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีและบริเวณใกล้เคียง สัญลักษณ์ชี้บอกทิศทางไปยังชานชาลาป้ายต่างๆ ร้านค้า ห้องน้ำ โทรศัพท์สาธารณะ เป็นต้น

3. ชานชาลา เป็นส่วนสำคัญของสถานี การออกแบบขึ้นอยู่กับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินที่จะเข้าสู่

บทที่ 8

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

8.1 หลักเกณฑ์ในการกำหนดที่ตั้งสถานี

ปัจจัยที่ค้ำึงถึงในการเลือกที่ตั้งสถานีมีดังนี้

1. ท่าเลที่ตั้งสถานีกำหนดจากการคาดประมาณขีดความสามารถในการรองรับประชาชนตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถบริการได้สูงสุด ทางแยก ถนนสายหลัก-สายรอง ย่านชุมชน ย่านการค้าและย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่น เป็นต้น
2. ที่ตั้งสถานีจะมีระยะห่างกันประมาณ 600-1,000 เมตร ในเขตศูนย์กลางเมืองหรือเขตเมืองที่มีความหนาแน่นสูง และประมาณ 800-1,500 เมตรในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นรองลงมา
3. พิจารณาจากความสะดวกเหมาะสมเกี่ยวกับทางขึ้น-ลง ซึ่งไม่มีอุปสรรคจากอาคารที่ปลูกสร้างเหนือพื้นดิน ความกว้างของทางเดินเท้าและความต่อเนื่องกับระบบการสัญจรอื่นๆ
4. ค้ำึงถึงการใช้พื้นที่สาธารณะเสียเป็นส่วนใหญ่ ให้มีการเวนคืนที่ดินน้อยที่สุด
5. จุดที่สามารถประสานงานกับระบบขนส่งมวลชนอื่นได้ จะกำหนดให้เป็นสถานีร่วมหรือสถานีที่มีย่านการค้าอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าสถานีธรรมดาตามรายการทั่วไป และจะอยู่ตามจุดที่เป็นศูนย์รวมของผู้คน และสามารถกระจายการเดินทางไปได้หลายทิศทาง
6. กรรมสิทธิ์ที่ดิน
7. เหตุผลอื่นตามความเหมาะสม

8.2 รูปแบบของสถานี

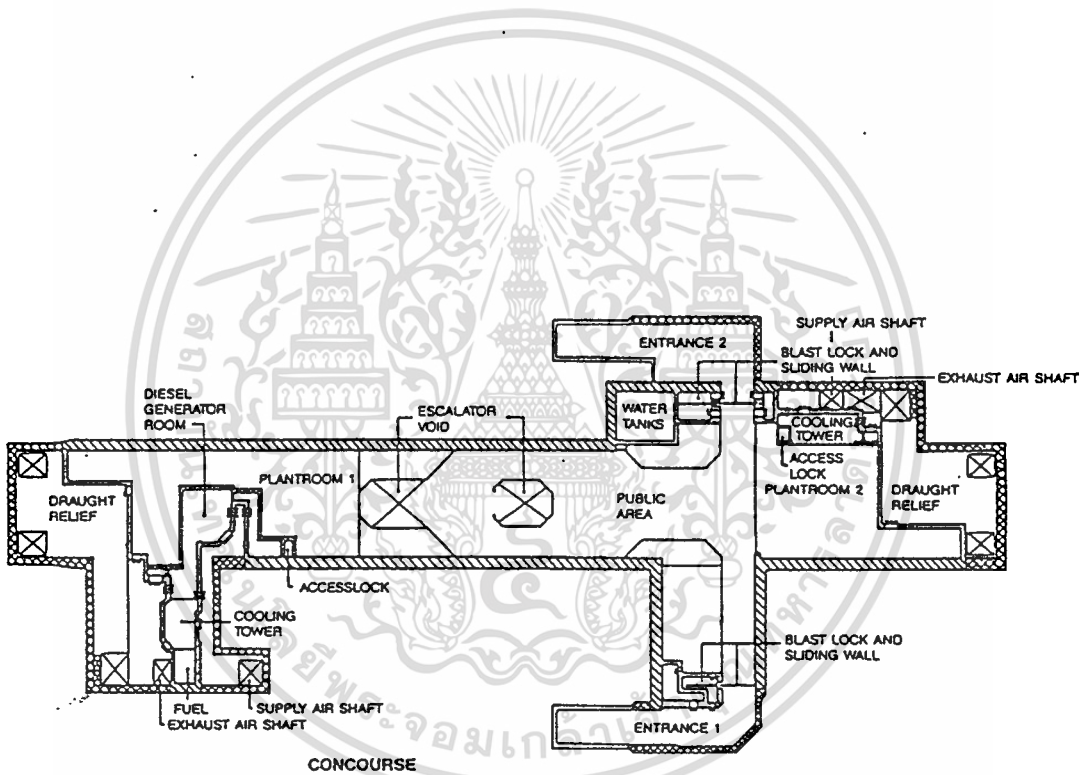
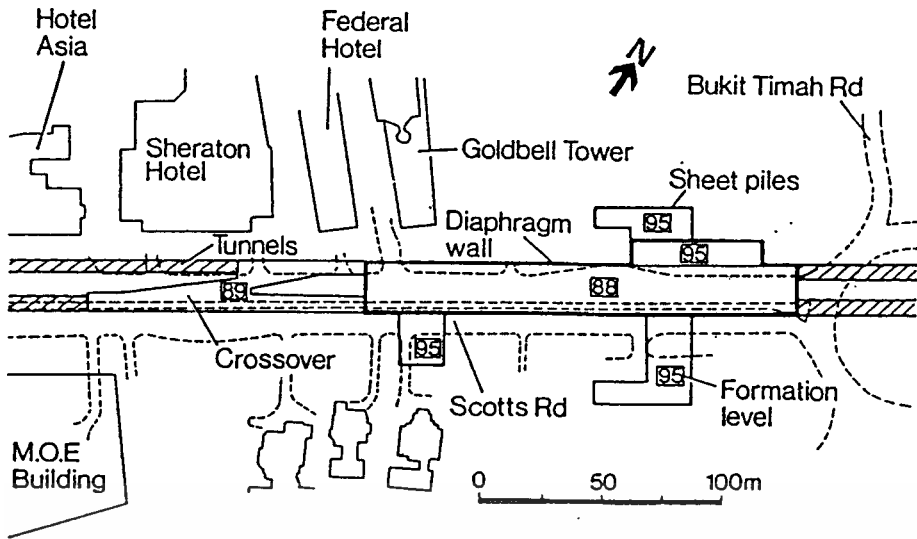
รูปแบบของสถานีขึ้นจะอยู่กับท่าเลที่ตั้งความสำคัญของสถานีปริมาณผู้โดยสาร ทิศทางการสัญจรเข้า-ออก สถานีและระบบของรถไฟฟ้าใต้ดินที่จะผ่านเข้ามา ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดและรูปแบบของสถานี รูปแบบของสถานีประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นพื้นที่ในการก่อสร้าง ความจริงแล้วบริเวณสถานีเป็นแหล่งรวมผู้คน จึงเป็นทำเลที่ดีในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ ดังนั้นถ้าเจ้าของที่ดินยอมให้ใช้ที่ดินของตนสร้างเป็นส่วนหนึ่งของสถานี ก็ย่อมจะได้ประโยชน์อย่างมหาศาลภายหลังโครงการเสร็จ ซึ่งถือเป็นการร่วมลงทุนทางอ้อมระหว่างภาครัฐกับภาคเอกชน ดังมีตัวอย่างหลายต่อหลายแห่งในต่างประเทศ



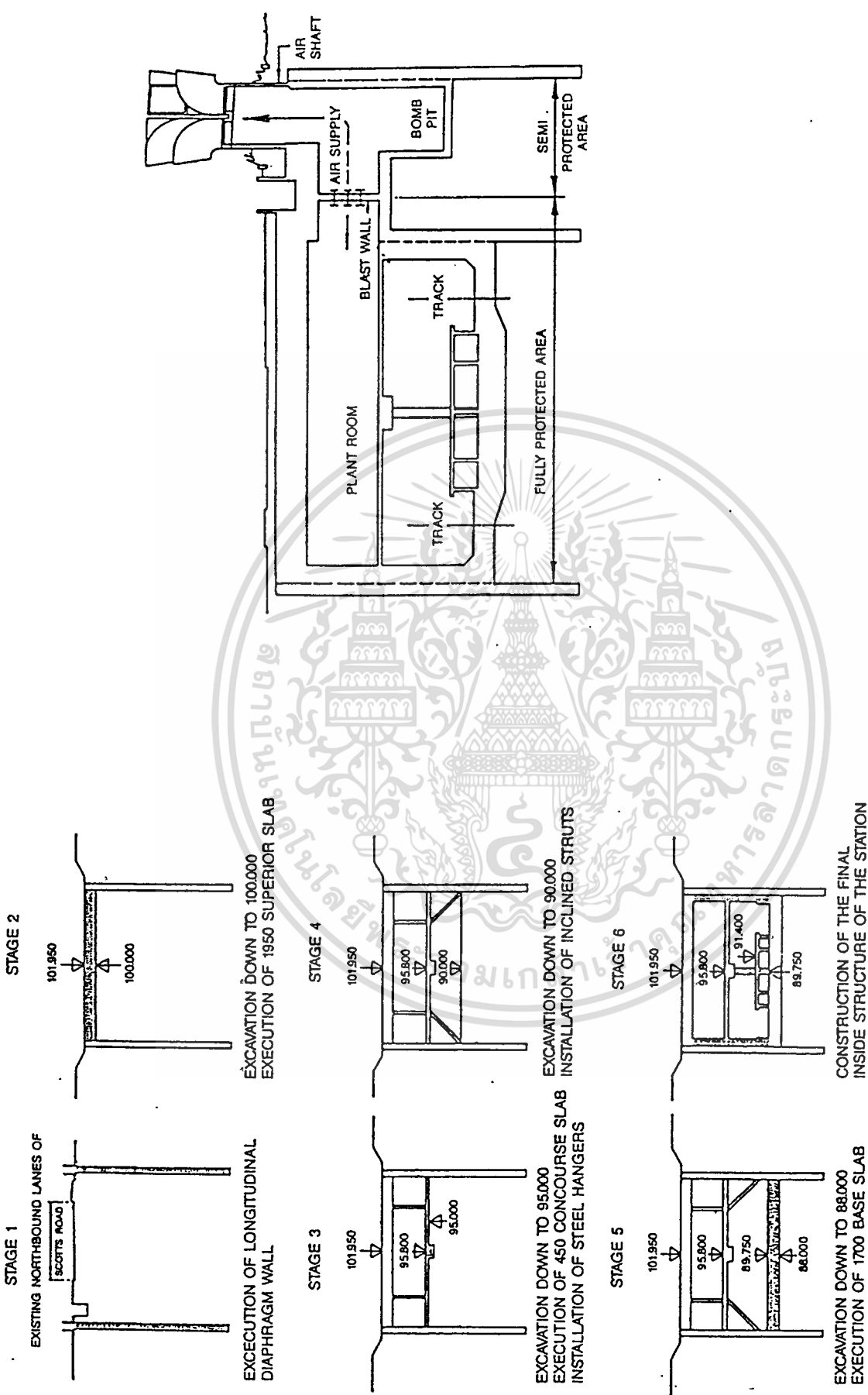
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- LEGENDS**
- EARTHBACKED WALL OFFERING FULL PROTECTION
 - WALLS OFFERING SEMI PROTECTION
 - BLAST WALLS
 - SEPARATION BETWEEN 'CLEAN' AND 'CONTAMINATED' AREAS

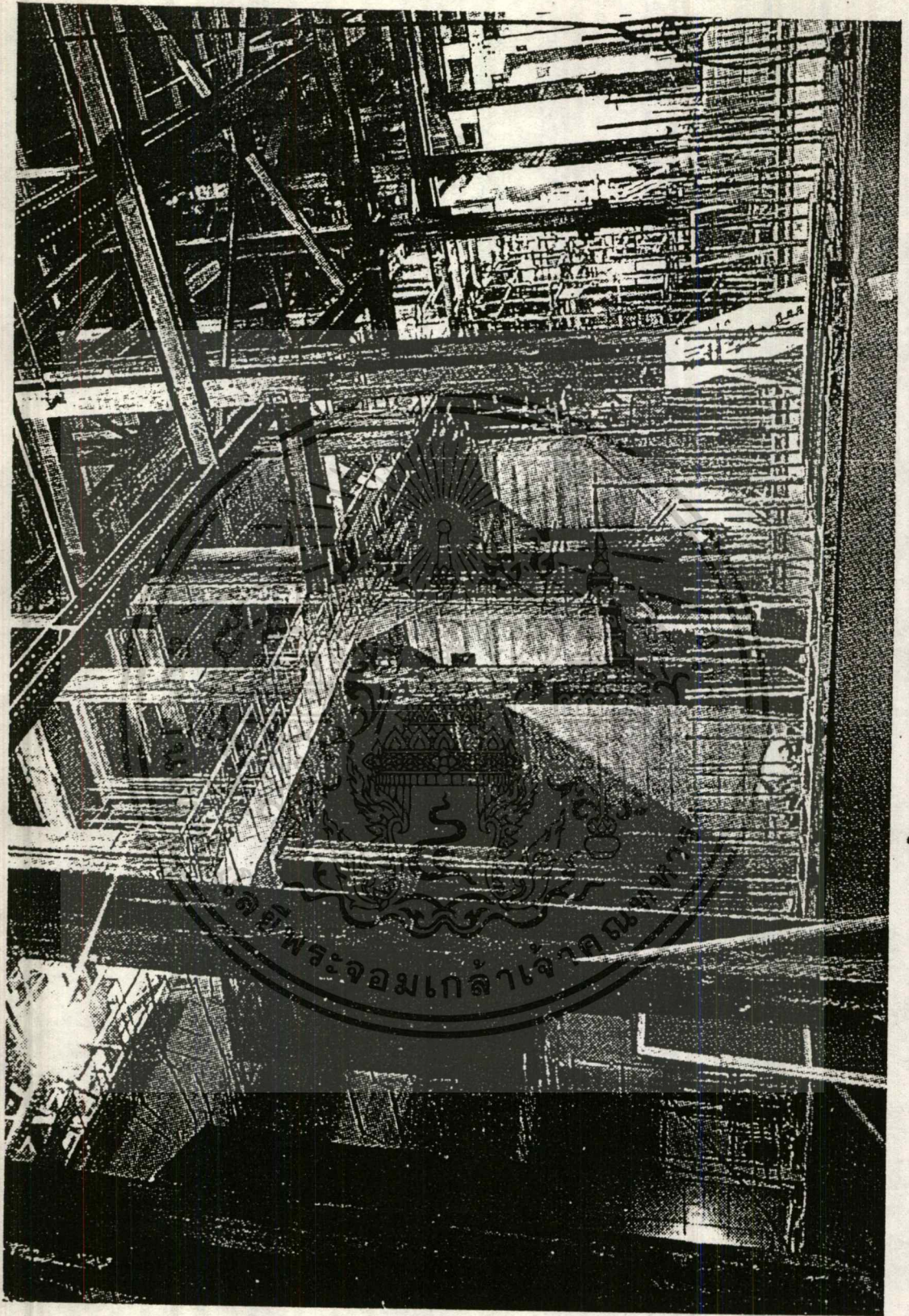
รูปที่ 8-1 การก่อสร้างสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-2 การก่อสร้างสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-4 รูปการก่อสร้างสถานีรถไฟใต้ดินในญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Excavation of Main Tunnels

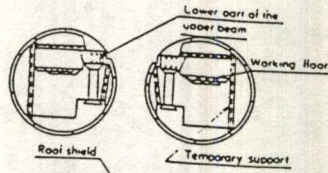
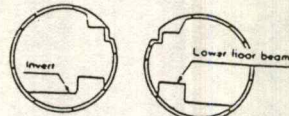
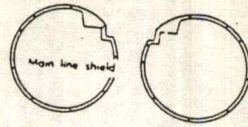
- (I) Excavation of Main Tunnels
(8 m - 8.58 m diameter)
(2 m away from each other)

Placing of Invert and Beam

- (I) Placing of Invert Concrete
- (II) Placing of Floor Beam

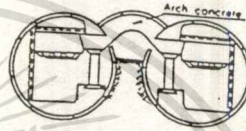
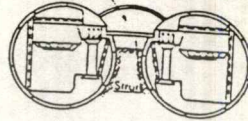
Setting of Column and Reinforcement

- (I) Erection of Steel Column
- (II) Erection of Steel Girder
- (III) Concrete Placing of Upper Beam
- (IV) Setting of Temporary Support for Reinforcing of Main Tunnels
- (V) Setting of Working Floor



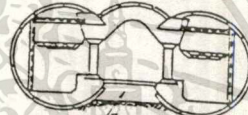
Excavation of Upper Middle Part of Main Tunnels

- (I) Excavation of Upper Middle Part by Roof Shield
- (II) Erection of Roof Segments
- (III) Setting of Strut



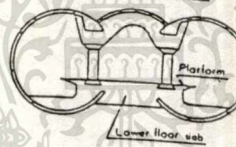
Execution of Arch

- (I) Removal of L, K shaped Segments
- (II) Re-erection of Strut
- (III) Concreting of Arch



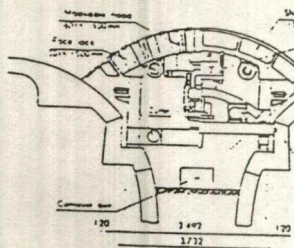
Excavation of Lower Middle Part

- (I) Excavation of Lower Middle Part
- (II) Removal of B Segments
- (III) Setting of Strut

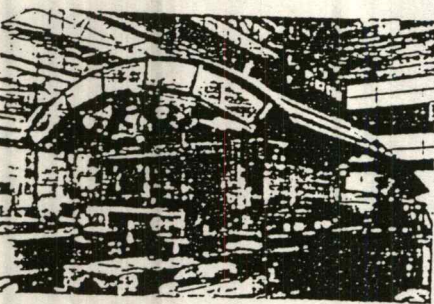


Execution of Floor Slab

- (I) Placing Floor Slab Concrete
- (II) Removal of Temporary Support
- (III) Concreting of Platform

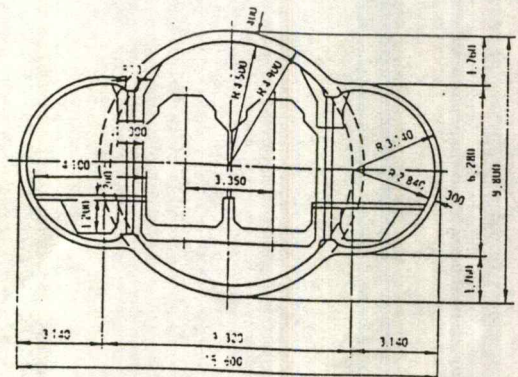


Roof shield machine (Tokyo, 1977)



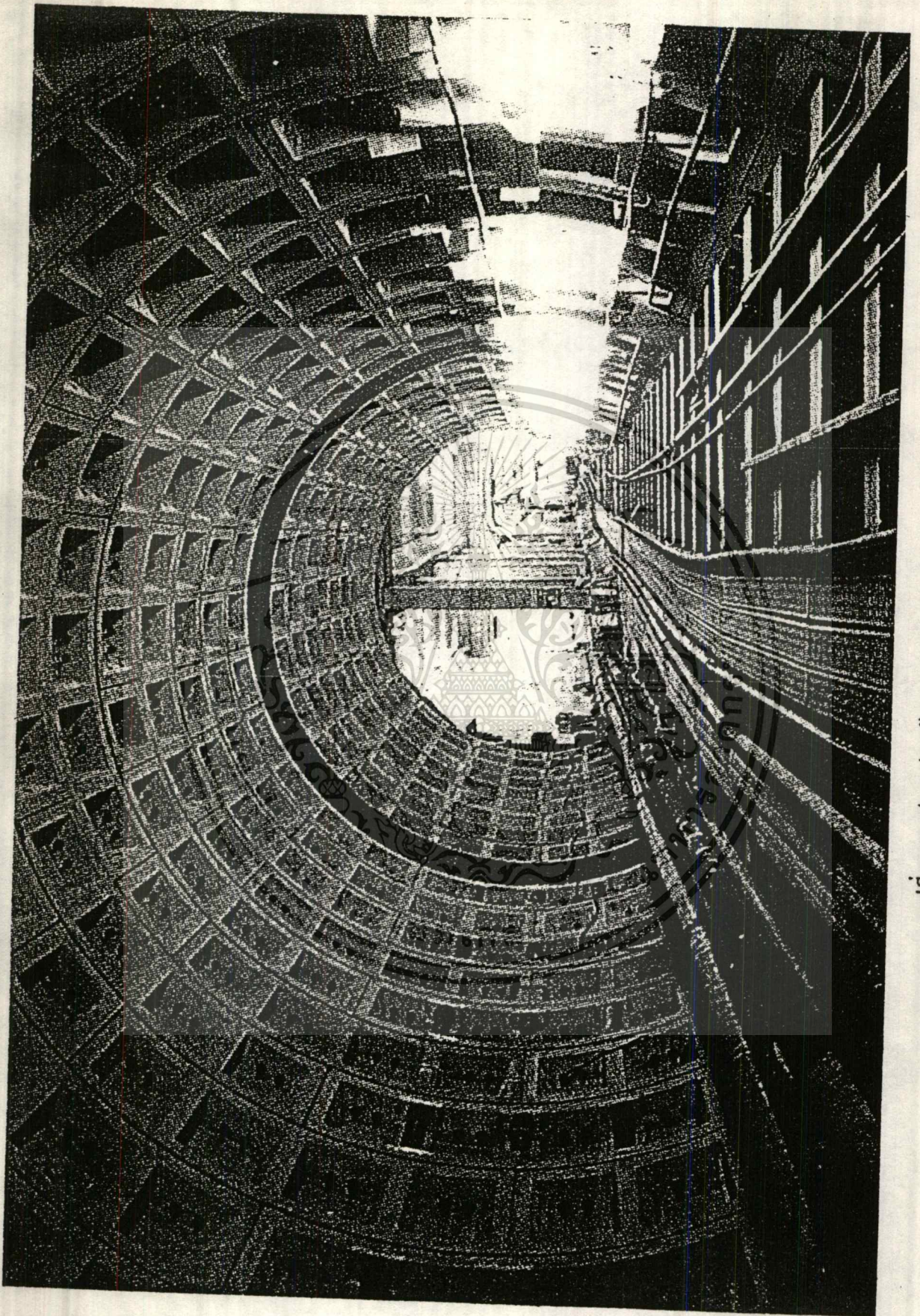
Roof shield machine (Tokyo, 1977)

Cross Section of Station Constructed by Three-Centered Shield (mm)



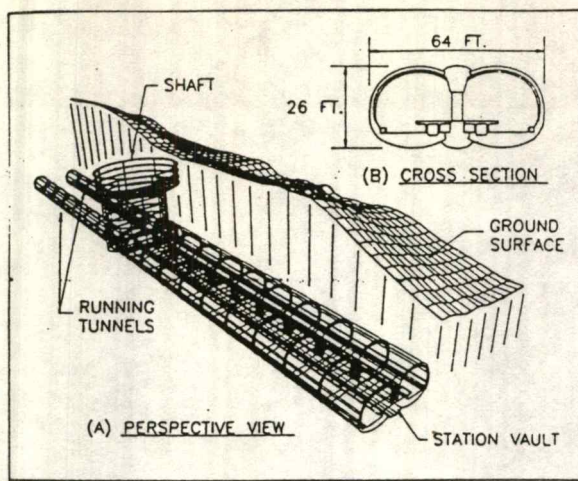
รูปที่ 8-3 การก่อสร้างสถานีด้วยหัวเจาะอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

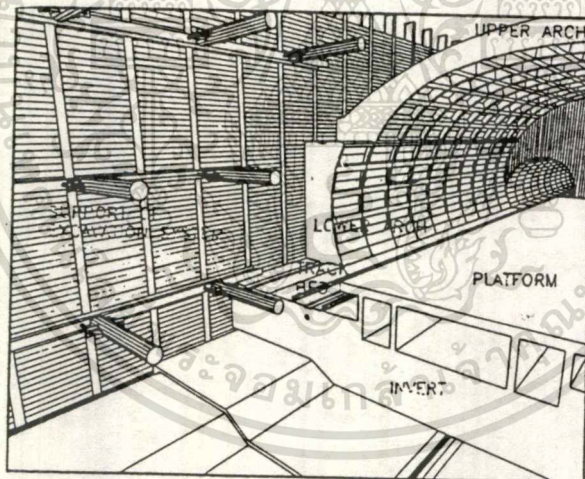


รูปที่ 8-5 รูปการก่อสร้างสถานีรถไฟใต้ดินในญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-6 การก่อสร้างสถานีด้วยวิธี NATM



รูปที่ 8-7 ตัวอย่างการก่อสร้างสถานีด้วยวิธี CUT AND COVER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

โรงซ่อมบำรุง-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน

โดยทั่วไปแล้วโรงซ่อมบำรุง-เก็บรักษารถไฟฟ้าใต้ดิน จะอยู่ที่สถานีใดสถานีหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นสถานีต้นทางหรือปลายทาง อย่างเช่น รถไฟฟ้าใต้ดินที่วิ่งระหว่างเส้นทางลอดใต้ช่องแคบเชื่อมระหว่างอังกฤษ-ฝรั่งเศส จะมีโรงซ่อมบำรุงอยู่ที่สถานีปลายทางของทั้งทางฝรั่งเศสและอังกฤษ

9.1 องค์ประกอบของโรงซ่อมบำรุง-เก็บรักษารถไฟฟ้าใต้ดิน

องค์ประกอบของสถานีโรงซ่อมจะมีการแบ่งพื้นที่การใช้งานออกเป็นพื้นที่ในร่มส่วนหนึ่ง และพื้นที่กลางแจ้งอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งในแต่ละส่วนจะต้องมีการจัดวางและแบ่งพื้นที่ให้เป็นสัดส่วนและสามารถใช้สอยได้อย่างต่อเนื่องและที่สำคัญคือ ต้องมีศูนย์กลางระบบการควบคุม (Control) ดูแลและบริหารงานสถานีโรงซ่อมเก็บรถไฟฟ้าใต้ดินอย่างมีระเบียบ

การแบ่งพื้นที่เพื่อใช้สอยในกิจกรรมหน้าที่ด้านต่าง ๆ ที่สำคัญควรมีดังต่อไปนี้

1. ส่วนพื้นที่กลางแจ้ง จะเป็นพื้นที่ที่กำหนดให้สำหรับวางรถไฟฟ้าใต้ดินเพื่อเป็นที่สำหรับจอดเก็บขบวนรถไฟฟ้าส่วนหนึ่งในเวลากลางคืน และยังให้เป็นที่จอดรถหลังจากการใช้งานเพื่อทำความสะอาดในส่วนต่างๆ ของรถด้วย พื้นที่ในส่วนนี้ควรมีการจัดวางแผนเพื่อให้สามารถจอดรถได้อย่างมีระเบียบจำนวนมากและประหยัดพื้นที่ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่ที่วางรางเพื่อการทดสอบการวิ่งของรถ ที่ได้ทำการซ่อมแซมเสร็จ เพื่อตรวจสอบการทำงานก่อนการนำออกไปใช้งานต่อไป

2. พื้นที่ในอาคาร พื้นที่ในส่วนนี้มีความสำคัญมาก และเป็นส่วนที่จะต้องแบ่งสัดส่วนของพื้นที่ให้รองรับการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมอย่างเป็นระเบียบและต่อเนื่อง พื้นที่ส่วนที่สำคัญได้แก่

2.1 พื้นที่ที่กำหนดให้เป็นพื้นที่สำหรับการซ่อมบำรุงขนาดเล็กเบา (Light Maintenance) เป็นลักษณะที่ทำการซ่อมแซมที่มีส่วนชำรุดเล็กน้อย การซ่อมไม่ต้องใช้เวลาดำเนินการมาก

2.2 พื้นที่ส่วนที่ใช้เป็นที่สำหรับการซ่อมแซมบำรุงแก้ไขขนาดใหญ่ (Heavy Maintenance) ซึ่งจะเป็นงานที่ใช้เวลาในการซ่อมบำรุงนาน

2.3 พื้นที่ส่วนที่ใช้จัดเก็บรถสำรอง เพื่อนำออกมาใช้ทดแทนรถไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ชำรุดใช้การไม่ได้

2.4 พื้นที่เป็นที่จัดเก็บ-เบิกจ่ายอุปกรณ์อะไหล่รถไฟฟ้าใต้ดินและอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเบิกใช้งาน และเป็นที่จัดเก็บเตรียมพร้อมอะไหล่อุปกรณ์ทุกชิ้นที่ต้องใช้กับงานรถไฟฟ้าใต้ดิน

2.5 พื้นที่ใช้เป็นสำนักงานบริหารงาน ในพื้นที่ส่วนนี้จะประกอบด้วยส่วนที่ใช้ปฏิบัติงานสำนักงานด้านการบริหารทั่วไป การติดต่อประสานงานกับหน่วยงานภายนอก การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ ฯลฯ และส่วนที่ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์กลางการควบคุมการเดินรถ Total Traffic Control Centre (TTCC) ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบ สั่งการ ดูแล การเดินรถให้เป็นไปตามตารางเวลา และติดตามการเดินรถได้ตลอดเวลา

9.2 บริเวณที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานีโรงซ่อมบำรุง-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน

ปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาเลือกพื้นที่เพื่อใช้ก่อสร้างโรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน มีดังนี้

1. ต้องเป็นพื้นที่ที่อยู่ในปลายหรือใกล้เส้นทางของรถไฟฟ้าใต้ดินแต่ละสาย
2. เป็นพื้นที่ว่างและมีขนาดใหญ่ มีรูปร่างมิตกว้างและยาว เพื่อใช้ในการวางแผนเดินรถเข้า-ออก ได้สะดวก และประหยัดพื้นที่
3. การได้มาของที่ดิน จำเป็นต้องมีการดำเนินงานทั้งทางด้านรัฐและเอกชนตามความจำเป็นเพื่อแก้ไขอุปสรรค ปัญหา เนื่องจากอาจเป็นเหตุให้เกิดการดำเนินงานชะงักงันได้

บทที่ 10

ปัญหาต่าง ๆ ในการขุดเจาะอุโมงค์

ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานขุดเจาะอุโมงค์ สามารถแบ่งได้ออกเป็นลักษณะใหญ่ ๆ คือ

10.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติ

1 สภาพดินบริเวณที่ทำการขุดเจาะ

สภาพของดินและความมั่นคงของดินบริเวณที่ทำการขุดเจาะจะมีผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของ Tunnel Face หากดินและความมั่นคงของดินมีความแข็งแรงมาก ความมั่นคงของดินค่อนข้างสูงก็ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการค้ำยันน้อยกว่า หากดินไม่สามารถ Support ตัวเองได้ ก็ต้องมีการสร้างค้ำยัน เพื่อช่วยในการก่อสร้าง

หากดินบริเวณที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์เป็นดินที่อ่อน (Soft Ground) ย่อมมีปัญหาในด้านการป้องกันพังทลายของดิน บริเวณผิวหน้าของการขุดเจาะ (Tunnel Face) ซึ่งจะมีการแก้ปัญหาโดยการใช้ Shield ต่าง ๆ ใช้เพื่อช่วยยันดินบริเวณผิวหน้าอุโมงค์มิให้พังลงมา ซึ่งการเลือกใช้ Shield ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะดินที่จะทำการขุดเจาะนั่นเอง

นอกจากการเลือกใช้ Shield ชนิดที่เหมาะสมเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาเสถียรภาพของดินบริเวณรอบอุโมงค์แล้ว หากดินมีกำลังหรือยากต่อการขุดเจาะ อาจต้องมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น โดยวิธีการต่างๆ เช่น การทำ Dewatering, Grouting เป็นต้น

2 น้ำใต้ดิน

หากชั้นดินบริเวณที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์มีน้ำใต้ดินสูงซึมผ่านได้ง่าย เช่น Sand หรือ Silt การขุดเจาะอุโมงค์จะมีความยากกว่าดินประเภทอื่น เนื่องจากจะมีความเสี่ยงในการพังทลายของผิวหน้าอุโมงค์ ในลักษณะที่น้ำใต้ดินพยายามดันดินให้เข้ามา (Flow ground) ซึ่งหากไม่มีการป้องกัน หรือใช้วิธีขุดเจาะที่ไม่เหมาะสม ก็จะทำให้เกิดปัญหาในการขุดเจาะได้

วิธีแก้ปัญหาเบื้องต้นที่สุดก็คือ เลือกระบบหรือวิธีการในการขุดเจาะที่สามารถป้องกันการพังทลายของดิน เนื่องจากน้ำใต้ดินได้ ซึ่งก็คือการใช้ Compress Air ใน Shield แบบปิดหน้าธรรมดา หรือ Shield ชนิดที่เหมาะสมกับสภาพดินและระดับน้ำใต้ดิน

นอกจากการเลือกใช้ Shield ให้เหมาะสมกับสภาพและระดับน้ำใต้ดินที่ทำการเจาะอุโมงค์แล้ว อาจมีการปรับปรุงคุณภาพดิน เช่น การทำ Dewatering การลดระดับน้ำใต้ดิน เพื่อให้ดินมีสภาพที่ง่ายต่อการขุดเจาะอุโมงค์ขึ้น หรือใช้วิธีการ Freezing เป็นต้น

3 การเคลื่อนตัวของดินรอบอุโมงค์

การเจาะอุโมงค์ในดินอ่อนดินส่วนหน้าและเหนืออุโมงค์จะเคลื่อนตัวเป็นบริเวณหนึ่ง อันอาจทำให้โครงสร้างอื่นทั้งบนดินและฝังดินเคลื่อนตัวตามไปด้วย และอาจเสียหายได้ขอบเขตการเคลื่อนตัวของดินขึ้นอยู่กับสภาพของดิน

ทางแก้ไขปัญหาการเคลื่อนตัวของดินรอบๆ อุโมงค์ สามารถทำได้โดยการเลือกหัวเจาะที่คอยยันดินบริเวณหน้าและรอบอุโมงค์หรือใช้เทคนิคการปรับปรุงกำลังดิน และน้ำใต้ดิน เช่น การ grout รอบอุโมงค์ เป็นต้น มิให้เคลื่อนเข้าหาอุโมงค์มาก เป็นการลดปริมาณการเคลื่อนตัวของดินบริเวณถัดไปและที่ผิวดินให้อยู่ในระดับต่ำมาก ปกติการทรุดตัวที่ผิวดินมีน้ำเกินราว 5 ซม. สำหรับการขุดอุโมงค์รถไฟฟ้าขนาด 6 เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 15 เมตร

ด้วยสาเหตุที่การเคลื่อนตัวของดิน จากการขุดเจาะอุโมงค์จะเกิดมาที่บริเวณใกล้อุโมงค์ และลดน้อยลงเรื่อยเมื่อห่างออกไป ดังนั้นหลักการออกแบบวางตำแหน่งอุโมงค์เบื้องต้น จึงพยายามวางอุโมงค์ให้อยู่ในระยะปลอดภัย ห่างจากโครงสร้างอื่นๆ อย่างน้อยประมาณหนึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์ แต่ด้วยเทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน และวิธีป้องกันที่มีอยู่หลายชนิดทำให้เราสามารถขุดอุโมงค์เข้าใกล้โครงสร้างใต้ดินอื่นๆ หรือเสริมฐานรากอาคารกว่าระยะดังกล่าว ในบางกรณีขีดถึงประมาณ 1 เมตร ก็ทำกันโดยไม่มีปัญหาแต่ต้องเลือกใช้วิธีป้องกันและควบคุมการก่อสร้างอย่างรัดกุม

4 การทรุดตัวของดิน

การทรุดตัวของดินอันเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น มีการสูบน้ำใต้ดินในชั้นทรายขึ้นมาใช้ ทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการทรุดตัวต่างระดับ (Differential Settlement) หรือหากเป็นกรณีในอุโมงค์ก็อาจทำให้เกิดการรั่วซึมบริเวณรอยต่อของผนังอุโมงค์ได้ ซึ่งหากเรามองข้ามจุดๆ นี้ไปก็ย่อมทำให้เกิดปัญหาในการขุดเจาะอุโมงค์ได้

ดังนั้นใจการก่อสร้างอุโมงค์ จำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบผนังอุโมงค์ให้สามารถ Absorb การทรุดตัวได้ในตัว ตลอดจนรอยต่อระหว่างผนังอุโมงค์อาจ ใช้เป็นเหล็กหรือวัสดุยืดหยุ่นแทนคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ต้องระวังเรื่องการ Grouting เนื่องจากหากการ Grouting ไม่ดีพอเหลือช่องว่างข้างนอกอุโมงค์ย่อมทำให้ Lining ถูกดันได้เมื่อรับแรงดันน้ำ

5 ปัญหาน้ำท่วม

ความสูงต่ำของพื้นที่บริเวณที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์ ย่อมมีผลต่อการเจาะอุโมงค์เนื่องจากหากพื้นที่บริเวณที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์มีระดับต่ำ ย่อมอาจเกิดปัญหาน้ำท่วมได้ แต่มิได้หมายความว่าถ้าบริเวณนั้นเกิดน้ำท่วมแล้วจะมีสามารถสร้างอุโมงค์ได้ ในอุโมงค์จะต้องมีการป้องกันและมีระบบระบายน้ำที่ดีพอเพื่อป้องกันน้ำท่วม

6 Crack ใต้ดิน

Crack เป็นรอยแยกใต้ดิน ซึ่งอาจปรับปรุงโดยการ Grout น้ำปูนไปเพื่ออุดรอยแยกเหล่านี้ และทำให้ดินที่จะทำการเจาะอุโมงค์ผ่านแข็งแรงขึ้นหากปล่อยให้ Crack เหล่านี้ อาจทำให้น้ำใต้ดินซึมผ่านรอยแยกเหล่านี้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการขุดเจาะได้

7 แผ่นดินไหว

ในบางพื้นที่เมื่อมีแผ่นดินไหวทำให้ชั้นดินเกิดรอยแยก หรือเกิดการเคลื่อนตัวในชั้นดิน ดังนั้นหากแนวการเจาะหรือสร้างอุโมงค์ผ่านแนวหรือบริเวณที่อาจถูกผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว ต้องมีการออกแบบ Lining เป็นแบบพิเศษ เพื่อช่วยให้ Absorb การเคลื่อนตัวได้เพื่อป้องกันอุโมงค์ถล่ม เช่น อุโมงค์รถไฟฟ้าในเมือง San Francisco และอุโมงค์หลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น

10.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่มนุษย์สร้างขึ้น

1 ตึกระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ใต้ดิน

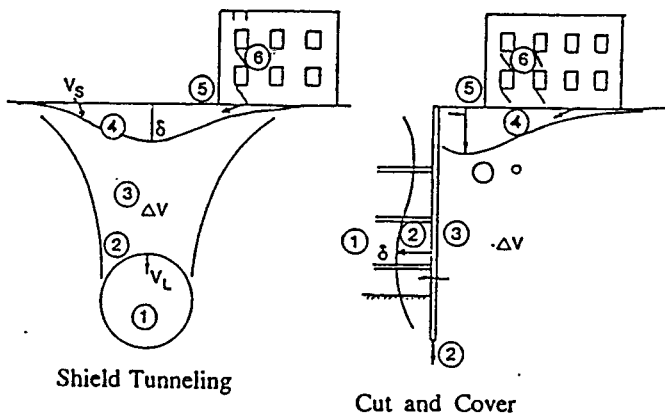
หากหลีกเลี่ยงการขุดเจาะผ่านบริเวณที่มีระบบท่อสาธารณูปโภคต่าง ๆ ไม่ได้ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการย้ายระบบท่อสาธารณูปโภคต่าง ๆ ใต้ผิวดินตลอดเส้นทาง

2 ติดเสาเข็มอาคาร

หากการเจาะอุโมงค์จำเป็นที่จะต้องเจาะผ่านเสาเข็มของอาคาร ก็จะมีเทคนิคที่ใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ลอดผ่านใต้อาคาร โดยทำการเสริมกำลังฐานรากตึกให้แข็งแรง (Underpinning) ก่อนทำการเจาะอุโมงค์ โดยไม่จำเป็นต้องทุบตึกทิ้ง

นอกจากปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังอาจมีปัญห่อื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง อันเนื่องมาจากเทคนิคต่างๆ ในการก่อสร้าง เช่น ปัญหาในการติดตั้งผนังอุโมงค์ ปัญหาเกี่ยวกับระบบต่างๆ ในการทำงาน ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และการวางแผนในการดำเนินงานอย่างรอบคอบและเป็นระบบ

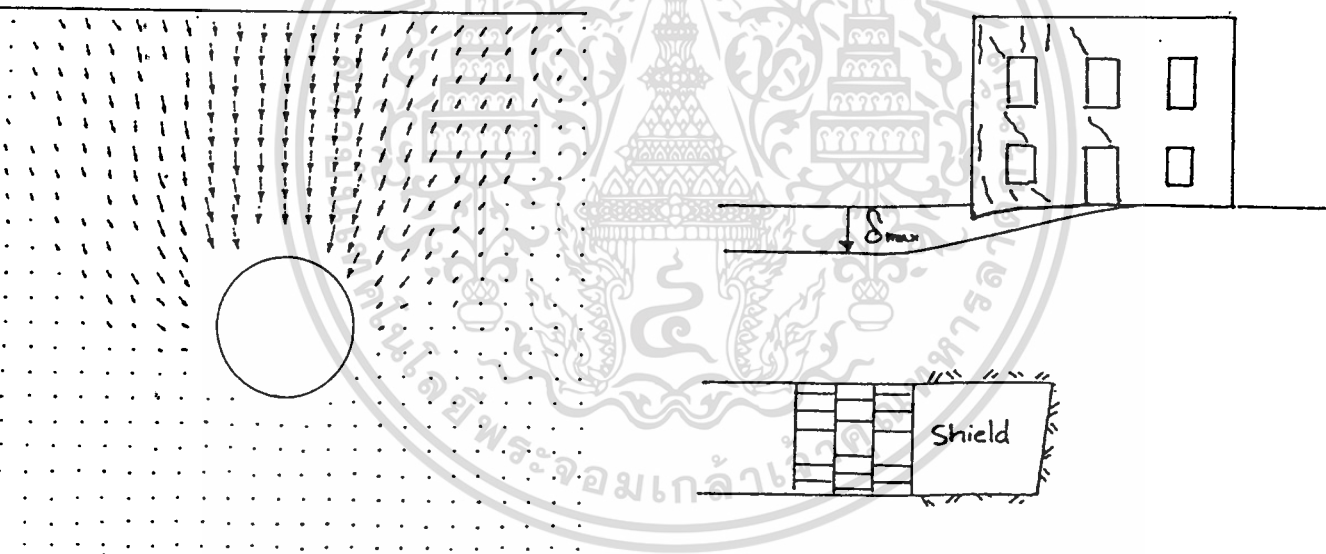




Shield Tunneling

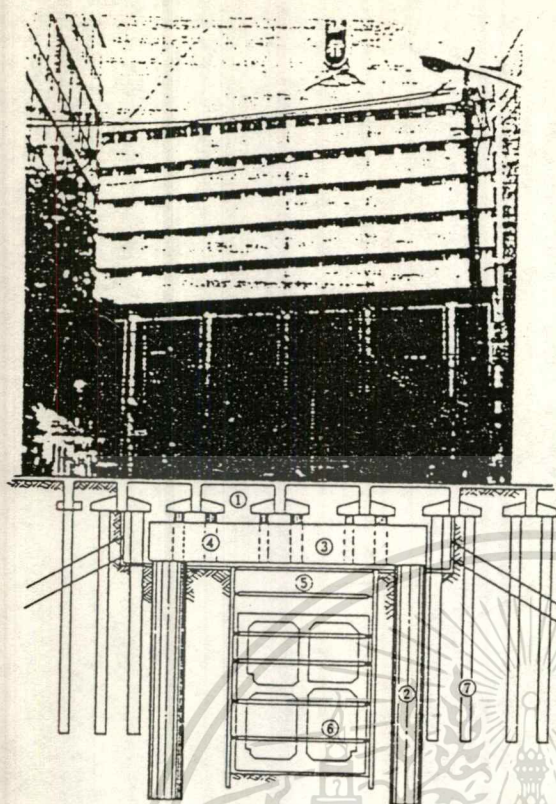
Cut and Cover

- ① SOURCE OF GROUND LOSS OR MOVEMENT
- ② GROUND LOSS OR MOVEMENT
- ③ DISTRIBUTION OF MOVEMENTS AND VOLUME CHANGES
- ④ SURFACE DISPLACEMENTS
- ⑤ STRUCTURE DISPLACEMENT AND DISTORTION
- ⑥ STRUCTURE DAMAGE

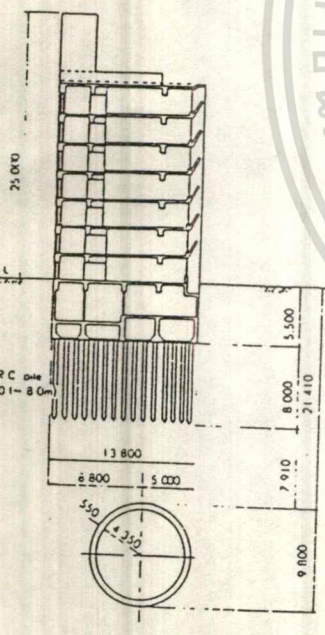
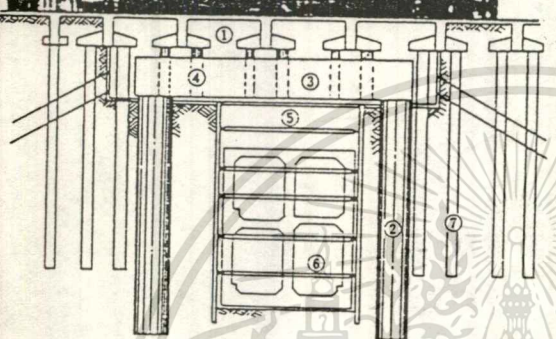


รูปที่ 10-1 การเคลื่อนตัวของดินบริเวณเจาะอุโมงค์
เปรียบเทียบกับกรณีของ CUT AND COVER

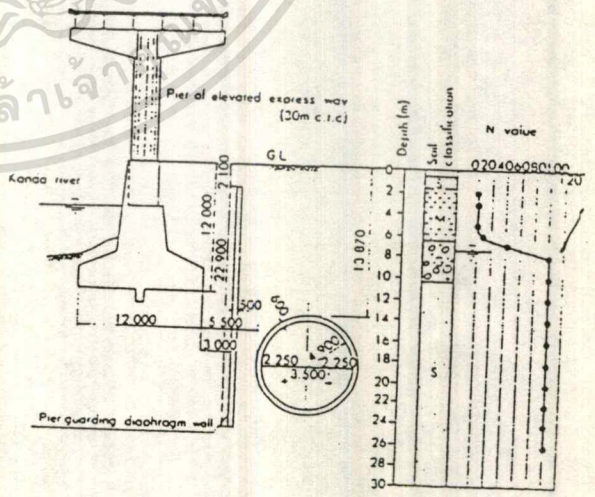
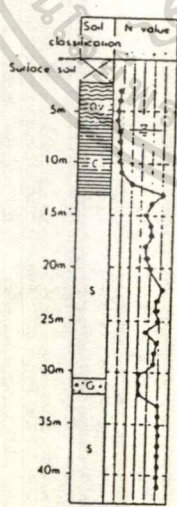
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น-อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ① Working space under the building.
- ② Underpinning pile constructed by hand well method
- ③ Underpinning beam.
- ④ Removed existing foundation piles.
- ⑤ Excavation of tunnel.
- ⑥ Construction of subway tunnel.
- ⑦ Existing concrete pile



Double track shield tunnel (Box type RC segments)



Tunnel built beneath a building's foundations

Subway tunnel built close to elevated expressway

รูปที่ 10-2 การขุดเจาะอุโมงค์ใกล้โครงสร้างอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 11

บทสรุปและข้อเสนอแนะของโครงการพิเศษ

งานขุดเจาะอุโมงค์ได้มีมานานตั้งแต่ในอดีต ซึ่งถือว่าเป็นงานที่ค่อนข้างยาก จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ ในการขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์มาโดยตลอด จนปัจจุบันนี้งานขุดเจาะอุโมงค์สามารถทำได้ในดินหรือหินแทบทุกสภาพ โดยเกิดปัญหาน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดปัญหาในการขุดเจาะและการก่อสร้างอุโมงค์เลย

ในอดีตการขุดเจาะอุโมงค์ในหิน จะนิยมใช้วิธีการเจาะระเบิด (Drilling and Blasting) แต่จะเกิดผลกระทบและค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก จึงได้มีการนำระบบในการขุดเจาะโดยใช้หัวเจาะ TBM (Tunnel Boring Machine) ซึ่งเป็นหัวเจาะปรับมุมเลี้ยวได้มาใช้แทน โดยที่วิธี TBM นี้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดเจาะแบบ Drilling and Blasting โดยทำให้เกิดผลกระทบน้อยมาก การเจาะอุโมงค์โดยใช้ TBM นี้ ปัจจุบันเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น โครงการ CHANNEL TUNNEL ซึ่งเป็นอุโมงค์รถไฟใต้ดินลอดใต้ช่องแคบ อังกฤษ-ฝรั่งเศส เป็นต้น

การขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อน ในอดีตถือว่าเป็นเรื่องยากเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเสถียรภาพของดิน ตลอดจนคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน และปัญหาเนื่องจากน้ำใต้ดินรวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับค่อนข้างจะไม่เอื้ออำนวยต่อการขุดเจาะ ทำให้การก่อสร้างอุโมงค์ในดินอ่อนมีขีดจำกัด แต่ในปัจจุบันนี้การขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อนสามารถทำได้ในทุกสภาพ เนื่องจากได้มีการพัฒนาระบบ Shield ซึ่งลักษณะคล้ายกับปลอกเหล็ก ซึ่ง Shield นี้จะทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของดินที่ทำการขุดเจาะ ซึ่ง Shield มีหลายประเภท ตั้งแต่ Shield แบบหน้าเปิด (Open Face) จนถึง Shield แบบหน้าปิดหมด (Full Face) ซึ่งมีหลายระบบ เช่น Hydroshield หรือ Slurry Shield ซึ่งใช้สารละลาย Bentonite เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของดินบริเวณผิวหน้าของการขุดเจาะ (Tunnel Face) , ระบบ EPBS (Earth Pressure Balance) เป็น Shield ซึ่งใช้แรงดันอากาศ (Air-Compressed) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของดินบริเวณผิวหน้าของการเจาะอุโมงค์ โดยที่การเลือกระบบต่าง ๆ ในการขุดเจาะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบนั้นกับสภาพดินที่จะทำการขุดเจาะ

การติดตั้งผนังอุโมงค์จะกระทำไปพร้อม ๆ กับการขุดเจาะอุโมงค์ โดยจะทำการติดตั้งผนังอุโมงค์เมื่อหัวเจาะซึ่งเป็น TBM หรือ Shield ที่ทำการเจาะไปได้ระยะเท่ากับความกว้างของผนังอุโมงค์สำเร็จรูป เนื่องจากการติดตั้งสะดวกและรวดเร็วมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเราจะเห็นได้ว่า ปัจจุบันนี้การก่อสร้างอุโมงค์สามารถกระทำได้ในทุก ๆ สภาพของดินหรือหิน โดยแทบจะไม่เกิดปัญหาในการก่อสร้างเลย ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ระบบขนส่งมวลชนใต้ดินเพื่อการแก้ปัญหาจราจร นับว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและดีที่สุดอีกทางหนึ่ง ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบใต้ดินค่อนข้างแพง แต่เมื่อกำหนดถึงผลกระทบในระหว่างการก่อสร้าง และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อทัศนียภาพของเมืองแล้ว การใช้ระบบขนส่งมวลชนใต้ดินสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ดังในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1994

บรรณานุกรม

1. John A. Franklin, Maurice B. Dusseault, ROCK ENGINEERING, pp. 161-200, 441-445, 483-502
2. Lionel Bender, CHANNEL TUNNEL
3. Albert D. Parker, PLANNING & ESTIMATING HEAVY CONSTRUCTION, pp. 329-343
4. John A. Havers, HANDBOOK OF HEAVY CONSTRUCTION, pp. 1-5, 31-32
5. MASTER BUILDERS TECHNOLOGIES, UNDERGROUND CONSTRUCTION
6. MASTER BUILDERS TECHNOLOGIES, THE REVOLUTION IN SHOTCRETE
7. O. Brach(D), LONG DISTANT PIPE JACKING THROUGH HARD STICKY CLAY AND EXTREMELY SOFT GROUND IN SAYREVILLE, NEW JERSEY, pp. 391-399
8. Dr.Ing Siemund Babendeverde, LUBECK-TRAVEMUNDE, GERMANY, CONCEPTIONAL REQUIREMENTS FOR SOFT GROUND TUNNEL BORING MACHINES, pp. 377-389
9. TUNNEL LINING, "INTERNATIONAL CONSTRUCTION JOURNAL", October, 1992
10. TUNNELING, "INTERNATIONAL CONSTRUCTION JOURNAL", May, 1989
11. TUNNELING, "INTERNATIONAL CONSTRUCTION JOURNAL", March, 1990
12. CHANNEL TUNNEL, "INTERNATIONAL CONSTRUCTION JOURNAL", May, 1994
13. วัฒนา ธรรมมงคล, วินิช ช่อวิเชียร, ปฐพีกลศาสตร์
14. ดร. วรากร ไม้เรียง, วิศวกรรมฐานราก
15. ดร. วันชัย เทพรักษ์, การก่อสร้างห้องใต้ดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยระบบกันดินเข็มพืด, "วิศวกรรมสาร", ฉบับ 48 ปี ว.ศ.ท.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. รศ.ดร. นพดล เพ็ญเวช, ปัญหาการก่อสร้างอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯ, “วิศวกรรมสาร”, พฤษภาคม, พ.ศ. 2536
17. ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในประเทศไทย, “หนังสือที่ระลึกงานปาฐกถาพิเศษฯ มุลนิธิศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธุ์”, พฤษภาคม, พ.ศ. 2533
18. รถไฟฟ้าใต้ดิน 150,000 ล้านบาท, 11 อภิโครงการหกแสนล้าน, มกราคม, พ.ศ. 2537
19. บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ จำกัด, “ระบบรถไฟฟ้า บีทีเอส ทางเลือกใหม่ของคนกรุงเทพฯ”, กันยายน, พ.ศ. 2537
20. สำนักงานผู้ช่วยอธิบดีกรมตำรวจ(ฝ่ายจราจร), “ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินหรือยกระดับในมุมมองของตำรวจ”, พ.ศ. 2537
21. รศ.ดร. นพดล เพ็ญเวช, การก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพฯ, AIT
22. นายธีรเดช ศรีทิพยบุตร, การศึกษาด้านเทคนิคเบื้องต้นของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใต้ดินสำหรับกรุงเทพมหานคร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2535
23. นายวสันต์ชัย ชวศิริกุลชล, นายสุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์, นายแหลมทอง เหล่าคงถาวร, การออกแบบผังอุโมงค์ใต้ดินสำหรับดินกรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2536



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การขุดเจาะอุโมงค์ในประเทศต่าง ๆ

1. อุโมงค์รถไฟใต้ดินของไต้หวัน

ได้มีการวางแผนอย่างระมัดระวังในการดำเนินการก่อสร้างสถานีรถไฟของกรุงไทเปในไต้หวัน รวมทั้งก่อสร้างเส้นทางรถไฟใต้ดินในขณะที่การจราจรยังคงดำเนินต่อไปตามปกติ การก่อสร้างซึ่งเพิ่งเริ่มดำเนินการมาเมื่อไม่นานมานี้ เป็นการดำเนินการตามแผนขั้นที่ 2 ของโครงการ ซึ่งมีระยะเวลา 10 ปี ในการเคลื่อนย้ายสถานีหลักในกรุงไทเปและทางรถไฟมีความยาว 10 กม. ลงไปใต้พื้นดิน

ทางรถไฟจากไทเปได้กระจายออกไปตามพื้นที่ทุกภาคที่มีสถานีรถไฟของไต้หวัน โดยมีการก่อสร้างเส้นทางยกระดับในบางสาย เพื่อให้การจราจรลดความคับคั่งลง จึงต้องมีการสร้างทางรถไฟใต้ดิน เพื่อพัฒนาพื้นที่บริเวณภาคพื้นดินและใกล้เคียง

งบประมาณงวดแรกจำนวน 900 ล้านดอลลาร์สหรัฐจะใช้ในการก่อสร้างทางรถไฟ 2 สาย รวมทั้งสถานีด้านตะวันตก ซึ่งได้มีการออกแบบก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว แม้ว่าจะมีรถไฟบางสายเริ่มใช้สถานีรถไฟแห่งนี้มาตั้งแต่เดือนกันยายนปีที่แล้ว โดยเป็นสถานีที่มีชั้นใต้ดิน 4 ชั้น ชั้นล่างสุดจะเป็นอุโมงค์สำหรับรถไฟใต้ดิน ซึ่งก็ได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อไม่นานมานี้

งบประมาณงวดที่สองมูลค่า 620 ล้านดอลลาร์สหรัฐ จะใช้ในการก่อสร้างเส้นทาง 5.4 กม. และอุโมงค์สำหรับรถไฟ 4 สายที่มาจากทางตะวันออก การก่อสร้างดังกล่าวนี้ยุ่งยากซับซ้อนมาก เพราะช่วง 800 เมตร สุดท้ายจะเป็นอุโมงค์ซึ่งอยู่ใต้เส้นทางรถไฟ

สัญญาการก่อสร้างแบ่งเป็น 6 ช่วง ซึ่งต้องดำเนินการไปพร้อม ๆ กัน โดยมีหน่วยงานของรัฐ คือ RET-SER ENGINEERING ผู้รับเหมารายใหญ่ที่สุดในไต้หวันซึ่งเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้างสถานีรถไฟใต้ดินช่วงที่ 1 เป็นผู้ดำเนินการโดยจะก่อสร้างอุโมงค์ 3 แห่ง รวมทั้งอุโมงค์ที่เชื่อมต่อกับสถานีรถไฟไทเป ส่วนอีก 3 แห่ง BEST ENGINEERING ซึ่งเป็นของรัฐบาลก็จะรับผิดชอบโครงการก่อสร้างอุโมงค์สายตะวันตก

ผู้จัดการ โครงการ คือนาย YANG TSUNG SHIEN กล่าวว่า ปกติด้านบนของอุโมงค์มีทางรถไฟ 4 สายแล่นอยู่ ซึ่งเราจะให้มีการแล่นอยู่ได้ถึง 3 สายในขณะที่มีการก่อสร้าง

อุโมงค์ด้านตะวันออกจะก่อสร้างรูปทรงเหลี่ยมขนาด 10 x 12 เมตร 23 แห่ง ซึ่งแต่ละแห่งจะประกอบด้วยทางรถไฟ 2 สาย โดยมีกำแพงเป็นกำแพงหินหนา 1 เมตร กั้นกลาง ยกเว้นในช่วง

800 เมตร สุกท้ายใกล้สถานีเป็นช่องทางรถไฟวิ่ง 4 สาย จะเป็นอุโมงค์ 4 เหลี่ยม ขนาด 10 x 12 เมตร

เพื่อช่วยให้การจราจรทางรถไฟดำเนินไปตามปกติในช่วงระยะเวลาการก่อสร้างจะมีการสร้างทางรถไฟชั่วคราวตามด้านเหนือของรางเดิม ซึ่งจะช่วยให้มีการโยกย้ายเส้นทางรถไฟสายใต้ 2 สายออกไปได้เมื่อการก่อสร้างอุโมงค์สายใต้เสร็จสิ้นลงรถไฟก็จะได้ใช้เส้นทางใหม่ 2 สาย และจะมีการสร้างรางชั่วคราวเพิ่มขึ้นบนช่วงกลางของอุโมงค์ รางรถไฟสายเหนือ 2 สาย และรางชั่วคราวที่สร้างขึ้นก็จะถูกรื้อออกไปเพื่อสร้างอุโมงค์สายเหนือแทน

กรุงไทเปตั้งอยู่บนพื้นดินที่อ่อนนุ่มมากโดยเป็นดินเหนียวผสมกับทราย การก่อสร้างอันดับแรกคือ การก่อสร้างกำแพงกัน ซึ่งลึกประมาณ 26-35 เมตร ผู้รับเหมาทั้งสองราย คือ Ret-Ser และ BEST กำลังวางแผนการใช้เครื่องจักรในการก่อสร้างต่าง ๆ เพื่อให้เสร็จตามกำหนด โดยในปัจจุบันได้หวั่นมีเครื่องมือเพียง 30 เครื่อง ผู้รับเหมาทั้งสองกำลังวางแผนจะสั่งซื้ออีก 14 เครื่องจากญี่ปุ่น

นาย Yand กล่าวว่า เรากำลังใช้ความพยายามในการก่อสร้างกำแพงกันมากถ้าไม่ยึดติดกับดินเราจะประสบปัญหาน้ำท่วม เพราะระดับน้ำในไทเปอยู่ในระดับใต้ดินเพียง 2 เมตร เรากำลังจะติดตั้งเครื่องมือกันการทรุดของกำแพง ซึ่งประมาณว่ามีการทรุด 2 ซม. จากด้านบนของทั้งสองข้างหลังจากที่ได้ขุดลงไปแล้ว

อุโมงค์ด้านตะวันออกจะก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตกันน้ำรั่วไม่ได้ เพื่อลดการเสียดสีซึ่งต่างจากอุโมงค์ด้านตะวันตกซึ่งใช้เมมเบรนกันน้ำเข้าด้านบนและด้านล่าง และไทเปมีอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียสในช่วงฤดูร้อนทำให้ต้องมีการใช้น้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตให้อยู่ในระดับต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส

สิ่งที่ลำบากที่สุดของโครงการก็คือ ต้องให้การจราจรในช่วงการก่อสร้างดำเนินไปตามปกติ ทั้ง ๆ ที่บริเวณที่มีการขุดอยู่ห่างจากรางรถไฟไทเปไม่ถึง 2 เมตร และจะมีรถไฟประมาณวันละ 200 ขบวน ใช้สถานีรถไฟไทเป

การก่อสร้างเส้นทางสายใต้ได้เริ่มเมื่อ ค.ศ. 1989 และจะดำเนินไปจนถึง ค.ศ. 1992 อุโมงค์ทางเหนือจะก่อสร้างช่วง ค.ศ. 1992 - มิ.ย. 1994 แม้จะต้องดำเนินการต่อไปอีกถึง 4 ปี รัฐบาลก็กำลังพิจารณาขยายระบบก่อสร้างอุโมงค์ออกไปอีกในช่วง 5 กม. เพื่อเป็นเส้นทางวิ่งของรถไฟใต้ดินไทเป ถ้ามคิดผ่านการยอมรับก็ต้องใช้งบประมาณอีก 1.8 พันล้านเหรียญสหรัฐในการก่อสร้างทางอีก 5 กม. ดังกล่าว

2. อุโมงค์ยาวเป็นอันดับสี่ของญี่ปุ่น

อุโมงค์ดังกล่าวมีชื่อว่า การิซากะ (Karisaka Tunnel) ตามสารคดีเรื่องนี้กล่าวไว้ว่า การก่อสร้างสำหรับขั้นตอนที่หนึ่งก้าวหน้าไปได้ด้วยดี อุโมงค์ดังกล่าวถ้าสร้างเต็มตามขนาดจะมีความยาวเกือบ 7 กิโลเมตร มูลค่าก่อสร้างประมาณ 42 พันล้านเยน จัดเป็นอุโมงค์ประกอบถนนยาวเป็นอันดับสี่ของญี่ปุ่น

บริษัทจอห์นเวนเจอร์บริษัทหนึ่งชื่อ นิชิมิตสึ ซิมิสุ เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง นับเป็นโครงการเจาะอุโมงค์ยาวที่สุดของกระทรวงการก่อสร้างของญี่ปุ่น (Japanese Construction Ministry) กล่าวคือเมื่อสร้างเสร็จแล้วจะมีความยาวทั้งหมด 6.7 กิโลเมตร (4.2 ไมล์) โดยสิ้นค่าก่อสร้างเป็นจำนวนทั้งหมดตามที่กล่าวแล้วข้างต้น (หรือ 300 ล้านดอลลาร์) งานเจาะอุโมงค์ดังกล่าวเริ่มขึ้นเมื่อพฤศจิกายน ปี 1988 การเจาะขั้นตอนที่หนึ่งกำหนดจะไปเสร็จสิ้นเอาในเดือนมีนาคม ปี 1991 เมื่อการก่อสร้างเสร็จสิ้นลงแล้วอุโมงค์ดังกล่าวจะเป็นส่วนเชื่อมโยงเส้นทางสายหนึ่งเรียกว่า Rout 140 เป็นความยาว 160 กิโลเมตร (100 ไมล์) ระหว่างนครต่าง ๆ ของโกฟุ ไปยังภาคตะวันตกของนครโตเกียวกับภูมิภาคอื่น ๆ ทางด้านเหนือ การก่อสร้างขั้นตอนที่หนึ่งดังกล่าว (Phase one) คือการเจาะอุโมงค์ประกอบถนนยาว 2.3 กิโลเมตร (1.4 ไมล์) กับอีก 2.8 กิโลเมตร (1.7 ไมล์) เป็นอุโมงค์ขนาดเล็กสำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉิน และมีแนวขนานไปกับอุโมงค์เส้นทางเดินรถใหญ่ งานเจาะอุโมงค์เหล่านี้บริษัทนิชิมิตสึ ซิมิสุ ต้องทำการขุดดินออกเป็นจำนวนเกือบ 150,000 ลูกบาศก์เมตร (196,000 ลูกบาศก์ฟุต) ขณะเดียวกันการเจาะอุโมงค์สำหรับกรณีฉุกเฉินก็ต้องขุดดินออกเป็นจำนวน 58,000 ลูกบาศก์เมตร (76,000 ลูกบาศก์ฟุต) ส่วนงานก่อสร้างอื่น ๆ เพื่อประกอบภายนอกอุโมงค์ก็มีการขุดดินออก 48,000 ลูกบาศก์เมตร (63,000 ลูกบาศก์ฟุต)

การเจาะอุโมงค์ทั้งสองต้องเจาะผ่านชั้นหินสภาพต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยหินแกรนิต หินทราย และหินชนวน ตรงจุดลึกที่สุดของอุโมงค์อยู่ที่ระดับ 900 เมตร (2,953 ฟุต) ต่ำกว่าระดับยอดเขาของลูกที่สูงที่สุดของทิวเขาในย่านดังกล่าวที่อุโมงค์จะต้องผ่าน มีชื่อเรียกว่าภูเขาโกบุชิ (Mount Kobushi) ซึ่งมียอดสูงสุดเหนือกว่าระดับน้ำทะเล 2,483 เมตร (8,147 ฟุต)

มีแบบวิธีการเจาะอยู่แบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการเจาะของโครงการนี้ แบบวิธีดังกล่าวเรียกว่า 'Short bench Cut' ขณะเดียวกันก็ได้นำเอาแบบวิธีการเจาะอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีอยู่แล้วว่าเป็นแบบวิธีของออสเตรียได้ถูกนำเข้าไปใช้เจาะอุโมงค์ สำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉินซึ่งเป็นอุโมงค์เล็กแบบวิธีดังกล่าวคือ New Austrian Tunneling Method (NATM) ผันอุโมงค์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ระเบิดใช้ฉาบด้วยชอตครีต (Shot Crete) และตรึงหินด้วยสลักยาว 3-4 เมตร (9.8-13 ฟุต) ทั้งช่วง

ห่างกันไปตามความยาวของอุโมงค์ช่วงละ 2 เมตร (6.6 ฟุต) มีปลอกสำหรับสลักทุกสลัก แต่ละปลอกมีขนาดเดียวกันกับสลักของมันซึ่งมีรวมทั้งหมด 13 สลัก ๆ เหล่านี้ติดตั้งอยู่โดยรอบผนังของอุโมงค์

ขั้นตอนเริ่มต้นตามสัญญาบริษัทจอห์นเวนเจอร์ได้นำเอาเครื่องเจาะจัมโบ้แบนแปลคของ Atlas Copco รถตักใช้ล้อแบบ Caterpillar 966 และรถคัมพ์น้ำหนัก 11 ตัน จำนวนหนึ่งเข้าไปใช้ในการขุดและชักลากในการก่อสร้างขั้นตอนแรกของอุโมงค์ ต่อมาอัตราของงานมีเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์จักรกลที่นำเข้าไปใช้ดังกล่าวก็มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยและได้นำเอา Atlas Copco Jumbo ชนิดสามแขนแบบ H-195, Cat 996E, อุปกรณ์ฉาบขอตกริต Aliva At-280 อย่างละหนึ่งคันเข้าไปใช้กับรถคัมพ์ Miwa-Kiruna K250 อีกส่วนหนึ่งสำหรับขนส่งหินที่ระเบิดออกมาไปไว้ข้างนอกในลักษณะวิ่งรอก

รถคัมพ์ดังกล่าวจะได้รับบรรทุกเศษหินในลักษณะธรรมดาจากตัวรถเท่านั้นที่สามารถยกขึ้นจากเรสซีได้แล้วเทหินลงยังที่เก็บของมัน โดยวิธีดังกล่าวนี้รถคัมพ์สามารถทำงานได้ภายในรัศมี 100 เมตร (328 ฟุต) ของหน้าอุโมงค์โดยไม่ต้องเดินทางไกลเพื่อนำหินออกไปทิ้งยังที่ของมันในแต่ละครั้ง

เนื่องจากมีกระบะบรรทุกหินอะไหล่อยู่ส่วนหนึ่งการขนหินออกไปทำจึงทำได้ด้วยระยะเวลาสั้น ๆ ขณะที่มีการเตรียมระเบิดผิวอุโมงค์สำหรับขั้นต่อไปนั้น การบรรทุกเศษหินย่อมไม่สามารถที่จะทำได้อย่างติดต่อกันเนื่อง กรณีนี้จะมีการบรรทุกหินใส่กระบะอะไหล่ไว้ก่อนแล้วให้รถเทคินเข้าไปปรับกระบะดังกล่าวจากที่เก็บหินภายในอุโมงค์นำออกไปทิ้งยังกองหินนอกอุโมงค์ด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้เป็นบริษัทนิซิมัตสึ-ชิมิตสึ ใช้รถเพียงสองคันเท่านั้นก็ทำให้งานส่วนนี้เป็นไปได้ด้วยดี ทั้งนี้โดยใช้กระบะอะไหล่เข้าประกอบด้วยรวม 16 กระบะ แต่ละกระบะสามารถรับเศษหินได้เป็นจำนวน 16 ลูกบาศก์เมตร (21 ลูกบาศก์หลา) รถเทคินจะเข้าไปสู่ลานจอดภายในอุโมงค์เพื่อให้รถตัก ๆ ใส่ได้อย่างทันเวลาทันพอดี

เมื่อผนังอุโมงค์ได้รับการฉาบด้วยขอตกริตและลงสลักให้กับหินแล้ว ก็จะมีการวางแบบเพื่อหล่อคอนกรีตซึ่งเป็นขั้นสำคัญของผิวอุโมงค์ต่อไป แบบหล่อคอนกรีตดังกล่าวผลิตขึ้นโดยบริษัทเอสเจเอ (SAGA) ของญี่ปุ่น และใช้สูบลูกคอนกรีตแบบ IHI มีการฉาบผิวอุโมงค์ให้กับอุโมงค์เส้นทางเดินรถใหญ่ให้มีความหนา 0.3 เมตร (1 ฟุต) เป็นผิวคอนกรีตเสริมเหล็ก

เครื่องอุปกรณ์ติดตั้งบนราง Atlas Copco แขนเจาะแปลคติดตั้งอยู่บนรางเป็นอุปกรณ์อีกแบบหนึ่งที่ถูกลำเข้าไปใช้ในการสร้างอุโมงค์สำหรับกรณีฉุกเฉิน และการขุดหินดำเนินไปโดยการใช้เครื่องขุดชนิดคิลล์ขุดหินติดตั้งบนรางแบบ RS150 ของมิตซูบิชิเซน หินจะถูกคักลงบรรทุกไว้

ในสายพานซึ่งอยู่เหนือหัวขึ้นไประดับหนึ่ง สายพานนี้จะทำหน้าที่เทหินลงขบวนรถรางซึ่งประกอบด้วยกระบะบรรทุกหินเจ็ดกระบะ แต่ละกระบะมีความจุ 6 ลูกบาศก์เมตร (7.8 ลูกบาศก์หลา)

แบบหล่อคอนกรีตสำหรับอุโมงค์ฉุกเฉินก็ติดตั้งโดยใช้ระบบรถรางเช่นเดียวกันทั้งนี้โดยมีบริษัทเอสเจไอทำหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนของแบบหล่อดังกล่าว ขอบคกริตสำหรับใช้ในการสร้างอุโมงค์สองอุโมงค์มีเครื่องผสมคอนกรีตวางอยู่ตรงปากทางเข้าอุโมงค์ ซึ่งสามารถผลิตคอนกรีตได้ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (33 ลูกบาศก์หลา) เนื่องจากการเจาะอุโมงค์สำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉินเป็นไปได้รวดเร็วกว่าการเจาะอุโมงค์ใหญ่ ดังนั้นอุโมงค์ดังกล่าวจึงใช้เป็นที่ระบายน้ำและระบายอากาศไปด้วยในคราวเดียวกัน

แต่ละอุโมงค์สร้างให้มีแนวลาดเอียง 0.3% การก่อสร้างของโครงการนี้เสร็จสิ้นลงตามกำหนดเวลาคือเดือนสิงหาคมของปี 1990 และการก่อสร้างของทั้งสองอุโมงค์ก็กินเวลาไป 5-6 เมตรต่อวัน (16.4-19.7 ฟุต)

การเจาะอุโมงค์ดังกล่าวมีการเจาะที่ระบายอากาศโดยการระเบิดหินออกเป็นมุม 6.9 องศา กับแนวระนาบและมีความยาวไปตามแนวครึ่งหนึ่งของอุโมงค์ การก่อสร้างส่วนนี้ใช้แบบวิธี NATM เช่นเดียวกับกับการเจาะอุโมงค์สำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉิน

อุโมงค์ทั้งสองเชื่อมต่อกันได้โดยอุโมงค์อีกจำนวนหนึ่งที่สร้างไว้ในแนวขวางเป็นระยะ ๆ ห่างกันระยะละ 400 เมตร (1,312 ฟุต) อุโมงค์ดังกล่าวเหล่านี้มีวงโค้งหน้าตัด 2.8 เมตร (9.2 ฟุต) และมีความสูงวัดจากด้านใน 3.2 เมตร (10.5 ฟุต) รัศมีวัดจากด้านใน 3.2 เมตร (10.5 ฟุต) รัศมีของวงโค้ง 1.4 เมตร (16.4 ฟุต)

ส่วนตัดภายในของอุโมงค์สำหรับกรณีฉุกเฉิน 4.7 เมตร (15.4 ฟุต) มีความสูงทั้งหมด 3.7 เมตร (12.1 ฟุต) และมีรัศมีของวงโค้ง 2.35 เมตร (7.7 ฟุต) แต่ความยาวของอุโมงค์ใหญ่จะเป็นไปตามความกว้างพื้นฐาน 9.26 เมตร (30.4 ฟุต) และความสูงวัดจากภายใน 6.6 เมตร (21.7 ฟุต) มีรัศมีของวงโค้ง 4.8 เมตร (15.7 ฟุต)

ส่วนหน้าตัดภายในที่เป็นไปตามแนวตลอดเส้นทางเดินรถมีการเพิ่มขึ้นที่ขึ้นข้างตามสมควรเพื่อให้มีพื้นที่ว่างมากพอสำหรับกรณีฉุกเฉิน หรือกรณีที่เครื่องยนต์ของขบวนรถที่วิ่งอยู่ภายในอุโมงค์เกิดขัดข้องขึ้น กรณีนี้ความสูงภายในของอุโมงค์จึงสร้างไว้ให้สูงมากกว่า 7 เมตร (38.6 ฟุต)

ขั้นตอนที่สองของโครงการนี้ได้มีการเรียกประมูลจนถึงอีกหนึ่งปีต่อมา และนอกเหนือไปจากการเจาะอุโมงค์ดังกล่าวแล้ว การก่อสร้างขั้นตอนสุดท้ายของถนนสายที่เรียกว่า Route 140 นั้นมีการสร้างสะพานด้วยเช่นเดียวกัน มีอยู่สะพานหนึ่งที่สร้างเสร็จตอนล่างสุดของงานอยู่ห่างจาก

บริเวณก่อสร้างอุโมงค์ไม่มากนัก สะพานดังกล่าวมีความยาว 270 เมตร (886 ฟุต) ถ้าขึ้นไปบน สะพานนี้ก็จะมองเห็นหมู่บ้านมิโตมิซึ่งตั้งอยู่ตรงส่วนเริ่มต้นของอุโมงค์การิชากะ ส่วนหมู่บ้านโอะ ตากิอยู่ด้านสุดอีกด้านหนึ่งของอุโมงค์ดังกล่าว

การเจาะอุโมงค์ผ่านไปตามทิวเขาดังกล่าวแล้วข้างต้น วิศวกรต้องเผชิญกับปัญหาเป็นอย่างมาก แต่วิศวกรเหล่านั้นก็สามารถขจัดปัญหาต่าง ๆ ให้ถูกล่วงไปได้และได้พบกับความสำเร็จในงาน ของเขาในที่สุด



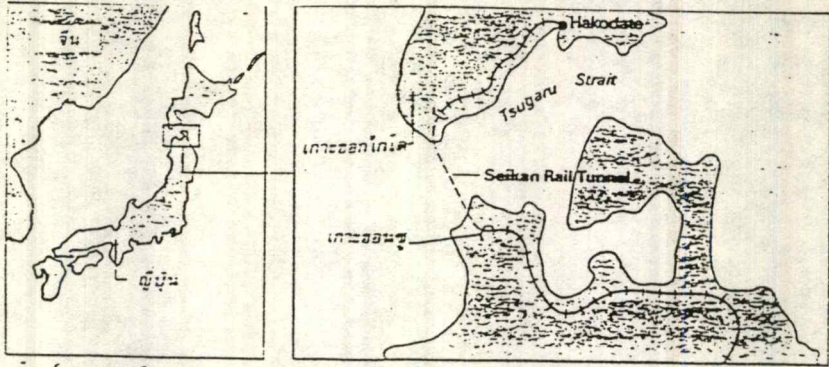
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.Seikan อุโมงค์รถไฟใต้ทะเลที่ยาวที่สุด

Seikan อุโมงค์ที่ยาวที่สุด และราคาแพงที่สุดในโลกอยู่ใต้ช่องแคบ Tsugaru ซึ่งอยู่ระหว่าง เกาะ ฮอนชู Honshu และ ฮอกไกโด Hokkaido ของประเทศญี่ปุ่นในวันหนึ่ง ๆ จะมีรถไฟ 15 ขบวนแล่นผ่านอุโมงค์ซึ่งมีความยาว 55 กม. โดยเจาะผ่านชั้นหินที่เจาะยาวที่สุดที่เคยประสบมา ใช้เวลาในการเจาะมากกว่าที่กำหนดไว้ถึง 2 เท่า และเสียค่าใช้จ่ายเกือบ 10 เท่าของประมาณการ

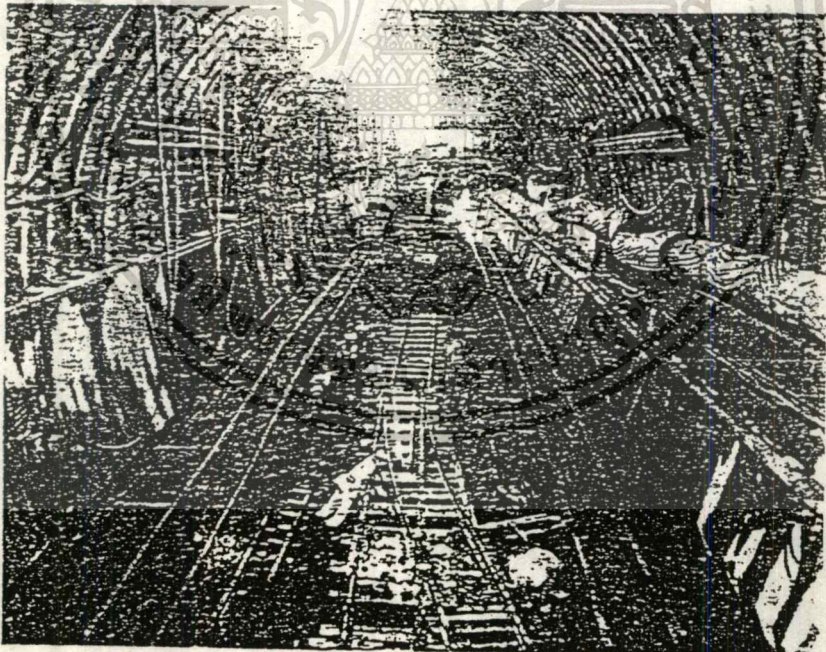
การเจาะ : ชั้นตอนที่ยากมาก

การสร้างอุโมงค์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความใฝ่ฝันของบรรดาวิศวกรชาวญี่ปุ่นที่มีมาตั้งแต่ พ.ศ. 2506 เพื่อเชื่อมโยงเกาะต่าง ๆ ของประเทศด้วยระบบรถไฟ ซึ่งจากการสำรวจปรากฏว่าการก่อสร้างอุโมงค์นี้ค่อนข้างจะยาก ทั้งนี้เนื่องจากหินดานใต้ทะเลของประเทศญี่ปุ่นมีอายุค่อนข้างน้อย เต็มไปด้วยรอยเลื่อนและรอยแยกบางแห่ง ไม่มีเสถียรภาพและมีรูพรุนซึ่งน้ำสามารถไหลผ่านได้ โดยเดือนมีนาคม 2507 ได้มีการเจาะปล่องในแนวเอียงเป็นครั้งแรกบนฝั่งเกาะฮอกไกโด และ 2 ปีต่อมา มีการเจาะปล่องอย่างเดียวกันบนฝั่งเกาะฮอนชู โดยการเจาะทั้ง 2 มีวัตถุประสงค์ที่จะสำรวจให้ละเอียดยิ่งขึ้น เพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดในการเจาะอุโมงค์ผ่านชั้นดินดังกล่าวผลจากการเจาะแสดงให้เห็นว่าจะต้องมีการปรับปรุงสภาพหินโดยการเสริมความมั่นคงและลดรูพรุนของชั้นหินซึ่งทำได้ด้วยวิธี Grouting กล่าวคือจะมีการเจาะหลุมเล็ก ๆ หลายหลุมในหินบริเวณหน้าเครื่องเจาะ โดยมีการเก็บตัวอย่างหินเพื่อทำการวิเคราะห์ ตรงปลายหลุมจะคว้านให้เป็นรูปกรวย เสร็จแล้วจะทำการป้อนซีเมนต์ผสม Gelling Agent ซึ่งเป็นสารที่จะช่วยให้ปูนซีเมนต์และน้ำมีความเหลวที่เหมาะสมเพื่อที่จะสามารถป้อนได้ลงไป ในหลุมเหล่านี้เพื่อให้เข้าไปอุดช่องว่าง (Grouting) ในเนื้อหินจากนั้นจึงเจาะอุโมงค์ผ่านไปในหินที่ได้รับการเสริมกำลังและอุดรูพรุนแล้ว และเมื่อปรับปรุงบริเวณดังกล่าวแล้ว ก็ต้องทำการปรับปรุงหินส่วนหน้าเพื่อทำการเจาะอุโมงค์ต่อไป ถึงแม้ว่าอุโมงค์จะมีความยาวถึง 55 กม. แต่ส่วนที่อยู่ใต้ทะเล ซึ่งเป็นส่วนที่ยากที่สุดจะมีความยาวเพียง 24 กม. ซึ่งผู้ออกแบบกำหนดให้เจาะอุโมงค์ต่ำกว่าระดับใต้พื้นทะเลถึง 100 เมตร ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณน้ำทะเลที่จะซึมเข้ามาในอุโมงค์ ถึงกระนั้นก็ยังเกิดน้ำท่วมใหญ่ถึง 4 ครั้ง ในระหว่างปี พ.ศ. 2519-2520



อุโมงค์ Seikan เชื่อมต่อระหว่างเกาะฮอนชูและฮอกไกโด

รูปแสดงแนวเส้นทางของอุโมงค์ SEIKAN
เชื่อมต่อระหว่างเกาะฮอนชู-ฮอกไกโด



สภาพการก่อสร้าง ภายในอุโมงค์ Seikan

สภาพการก่อสร้างภายในอุโมงค์ SEIKAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัย : ปัจจัยที่สำคัญที่สุด

การที่อุโมงค์มีความยาวมากจึงจำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศและระบบป้องกันอัคคีภัยเป็นพิเศษ โดยมีการสูบอากาศเข้าทางปล่องเฉียงซึ่งอยู่บนเกาะทั้งสองฝั่งของช่องแคบ โดยให้อากาศเคลื่อนผ่านอุโมงค์นำร่องเข้าสู่อุโมงค์บนฝั่ง อากาศนี้เคลื่อนตัวด้วยความเร็ว 3 กม./ชม. พอเพียงพอสำหรับการหายใจและป้องกันการสะสมความร้อนจากขบวนรถไฟ ความกดอากาศในอุโมงค์บริการซึ่งอยู่ข้าง ๆ อุโมงค์ประธานตลอดช่วงที่อยู่ใต้ทะเลจะสูงกว่าความกดอากาศในอุโมงค์ประธานเล็กน้อย เพื่อให้อากาศเคลื่อนตัวจากอุโมงค์บริการสู่อุโมงค์ประธานแต่เพียงทิศทางเดียว เรื่องนี้สำคัญมากเพราะถ้าเกิดไฟไหม้ ควันไฟจะไม่เข้าไปในอุโมงค์บริการ ซึ่งเป็นทางหนีไฟสำหรับผู้โดยสาร โดยในที่เกิดกรณีไฟไหม้พนักงานขับรถไฟจะพยายามนำรถจากอุโมงค์โดยเร็ว แต่เพราะอุโมงค์ยาวมากจึงอาจจะทำไม่ได้ ด้วยเหตุนี้จึงต้องสร้างสถานีฉุกเฉินซึ่งมีพัคลมดูดควันช่วงเกิดไฟไหม้ ออกไปโดยเร็วพร้อมกันมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินสำหรับให้แสงสว่างแก่อุโมงค์แม้ในช่วงเกิดไฟไหม้ ตลอดความยาวอุโมงค์จะมีระบบตรวจความร้อน พร้อมระบบพ่นน้ำถึง 4 ระบบให้สามารถตรวจพบจุดไฟไหม้ จุดแจ้งเหตุและดับไฟโดยเร็ว

งบประมาณและการใช้งาน

ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทั้งสิ้น 160,000 ล้านบาท เทียบกับราคาประมาณการเริ่มต้นเมื่อปี พ.ศ. 2514 เป็นเงินเพียง 19,000 ล้านบาท เมื่อรวมค่าดอกเบี้ยและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ แล้วโครงการนี้ลงทุนไปทั้งสิ้น 200,000 ล้านบาท

ทุกวันนี้จะมีรถนอน 3 ขบวน ๆ ละ 12 คัน จากฮอกไกโด ไปฮอนชูและอีก 3 ขบวนในทางกลับกัน ผู้โดยสารสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของรถในอุโมงค์โดยดูจากจอภาพได้ว่าเดินทางมาไกลเท่าใด และอยู่ใต้ทะเลลึกเท่าใด จุดที่ลึกที่สุดคือ 260 เมตร ผู้โดยสารจำนวนมากใช้เวลาอยู่กับจอแสดงข้อมูลเหล่านี้ถ่ายภาพตัวเองกับจอเป็นที่ระลึก และรถไฟจะหยุดบริเวณกลางอุโมงค์เป็นเวลา 2 นาที ให้ผู้โดยสารสามารถถ่ายภาพข้อมูลผนังอุโมงค์ผ่านหน้าต่างรถไฟ

4. อุโมงค์เชื่อมโยงใหญ่ที่สุดของยุโรป

สหราชอาณาจักรได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดใหญ่การคมนาคมเข้ากับแผ่นดินใหญ่ของทวีปยุโรปแล้ว ที่บริเวณประตูโดยออกแบบให้อุโมงค์จากทั้งสองประเทศมาพบกันคนละครึ่งทางความพยายามและความสามารถอย่างสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็น โครงการโยธานาขนาดใหญ่ที่สุดโครงการหนึ่ง

โครงการก่อสร้างอุโมงค์เชื่อมโยง ระหว่างอังกฤษกับแผ่นดินใหญ่ของทวีปยุโรปนี้ นับเป็นโครงการก่อสร้างวิศวกรรมโยธานาขนาดใหญ่ที่สุดโครงการหนึ่ง โดยการขุดอุโมงค์ขนาดความยาว 45 กิโลเมตร ลึกลงไปจากท้องทะเล 25-45 เมตร

การขุดอุโมงค์ที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศฝรั่งเศสกับอังกฤษ ได้ออกแบบให้อุโมงค์จากทั้งสองประเทศมาพบกันคนละครึ่งทาง ตัวอุโมงค์จะต้องมีความแข็งแรงทนทานและปลอดภัย อีกทั้งต้องทำให้อยู่ในสภาพที่ดีที่สุดในทางภูมิศาสตร์ ซึ่งท้องทะเลบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนปูน

โครงการนี้เป็นงานที่ทำทหายความสามารถไม่ว่าจะได้มีการสำรวจล่วงหน้าไว้อย่างละเอียดถี่ถ้วนเพียงใดก็ตาม ไม่มีใครจะสามารถบอกได้ว่าจะเกิดอะไรขึ้นระหว่างดำเนินการขุดเจาะอุโมงค์ในทะเลนี้ ปัญหามักจะเกี่ยวกับลักษณะดินที่ไม่มั่นคง การที่น้ำทะเลซึมผ่านหินในขณะที่กำลังขุดเจาะ ซึ่งทำให้การควบคุมเครื่องขุดเจาะเป็นไปโดยยากลำบาก

ถึงแม้จะประสบปัญหาและอุปสรรคในการทำงานเพียงใดวิศวกรอังกฤษก็ยังคงมุ่งขุดเจาะอุโมงค์ต่อไป ซึ่งสามารถขุดได้เป็นระยะทางกว่า 300 เมตรต่อสัปดาห์ และเมื่อใดที่สามารถขุดอุโมงค์ไปพบกับอุโมงค์ที่ขุดมาจากทางฝรั่งเศสได้ นั่นแสดงว่าประวัติศาสตร์จะต้องจารึกผลงานอันยิ่งใหญ่ของวิศวกรไว้อีกบทหนึ่งแล้ว

โครงการขุดเจาะอุโมงค์นี้ต้องใช้งบประมาณถึง 360,000 ล้านบาท (1 ปอนด์ ประมาณ 48 บาท) เมื่อแล้วเสร็จ จะเป็นช่องทางให้รถไฟโดยสารวิ่งรับผู้โดยสารได้วันละ 80 เที่ยว พร้อมรับส่งสินค้าวันละ 54 เที่ยว โดยรถด่วนที่บรรทุกรถยนต์รับส่ง จะใช้เวลาวิ่งผ่านอุโมงค์โดยตลอดเพียงเที่ยวละ 26 นาที เท่านั้น

ภายในอุโมงค์ชั้นเนลมีทางรถไฟเชื่อมระหว่างสถานีปลายทางในอังกฤษกับสถานีปลายทางในฝรั่งเศส สำหรับอังกฤษสถานีรถไฟปลายทางอยู่ที่เมืองแอสฟอร์ด ซึ่งกำลังอยู่ระหว่างการก่อสร้าง เพื่อบริการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารข้ามประเทศ การรถไฟแห่งอังกฤษ คาดการณ์ว่าในปี

Entrance near Folkestone
 The three tunnels will emerge at Castle Hill, eight kilometres from the coastal construction site. The shuttle train terminal at Cheriton is being built close to the entrance.

Access to the tunnels
 At Shakespeare Cliff, tunnelling is undertaken from a platform built behind a new sea wall. When construction work is complete, the giant supply tunnels will be sealed off, but a few small passages will be left open for maintenance and repairs.

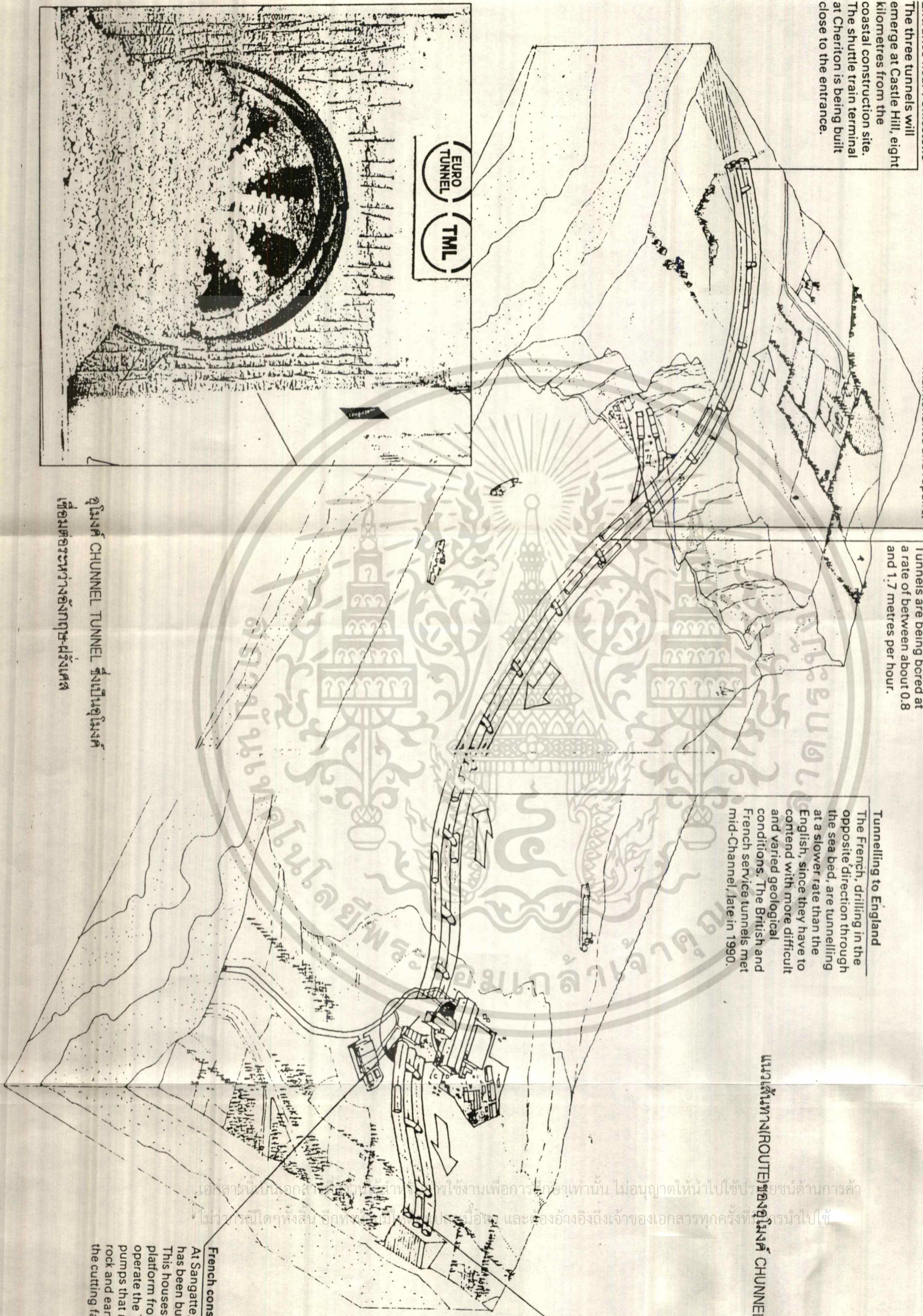
Tunnelling to France
 The service tunnels were bored almost concurrently with the two main tunnels. Tunnels are being bored at a rate of between about 0.8 and 1.7 metres per hour.

Tunnelling to England
 The French, drilling in the opposite direction through the sea bed, are tunnelling at a slower rate than the English, since they have to contend with more difficult and varied geological conditions. The British and French service tunnels met mid-Channel, late in 1990.

French Tunnel entrance
 The service tunnel from the construction site at Sangatte to the entrance at Coquelles has been successfully completed. Boring of the first of the main tunnels is now under way. The French land sections of the Tunnel are only 3.2 kilometres in length.

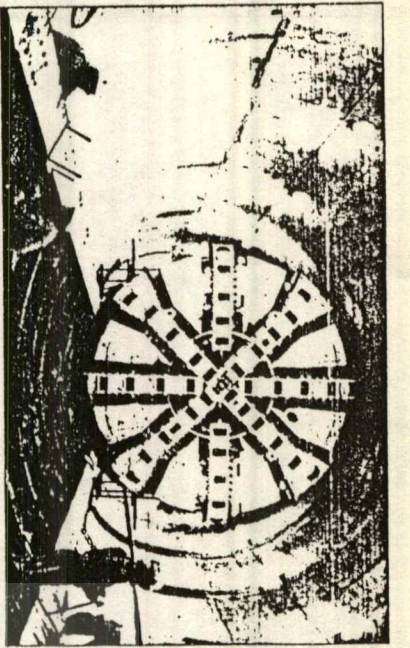
French construction site
 At Sangatte, a giant shaft has been built in the shore. This houses a working platform from which operate the TBMs and the pumps that remove loose rock and earth (spoil) from the cutting face.

แนวเส้นทาง (ROUTE) ของอุโมงค์ CHUNNEL TUNNEL

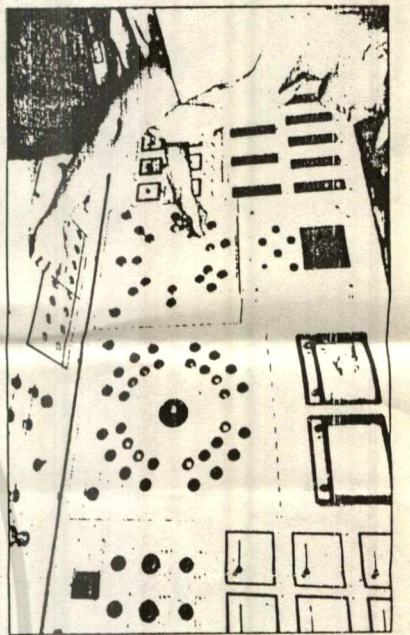


อุโมงค์ CHUNNEL TUNNEL ซึ่งเป็นอุโมงค์
 เชื่อมต่อระหว่างอังกฤษ-ฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ได้รับนำไปใช้



A French Tunnel-Boring Machine (TBM)



The Control room of a TBM

The cutting head
The rotating head is fitted with more than 100 cutting rollers and 200 picking "teeth". These are all made of tungsten, a very hard and tough metal also used for armour plating in tanks.

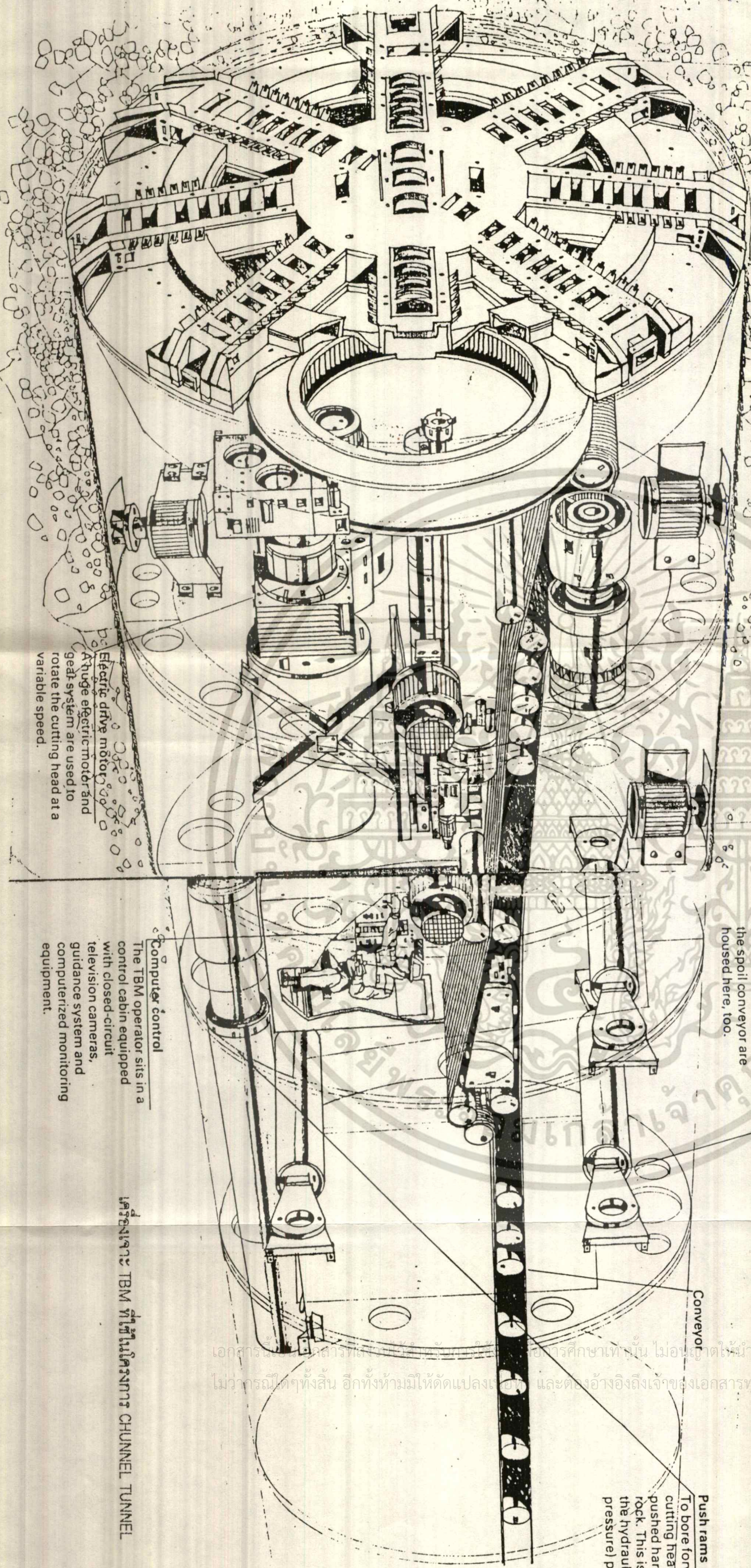
Hydraulic motor
This pushes forwards or retracts the cutting teeth a few centimetres for maximum efficiency.

Steer shoes
Fine adjustment of the TBM's alignment is by means of a series of rams pushed against the walls.

The gripper unit
The cutting head is fixed onto this section of the TBM, which is moved forwards by means of four hydraulic rams, and stabilized by gripper pads pushed firmly against the surrounding rock. The control cabin and start of the spoil conveyor are housed here, too.

Conveyor

Push rams
To bore forwards, the cutting head must be pushed hard against the rock. This is the function of the hydraulic (fluid-pressure) push rams.



Electric drive motor
A huge electric motor and gear system are used to rotate the cutting head at a variable speed.

Computer control
The TBM operator sits in a control cabin equipped with closed-circuit television cameras, guidance system and computerized monitoring equipment.

เครื่องเจาะ TBM ที่ใช้ในโครงการ CHUNNEL TUNNEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2536 ผู้โดยสาร 1.8 ล้านคน หรือคิดเป็น 13% ของผู้ใช้ขุโมงค์ทั้งหมด จะใช้บริการที่สถานีรถไฟ เมืองแอฟฟอร์ด หลังจากนั้นอีก 10 ปี จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขุโมงค์จะเพิ่มขึ้นเป็น 30%

แอฟฟอร์ด อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลทางตอนใต้ของประเทศขึ้นมา 16 กิโลเมตร เมืองนี้มี โอกาสพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าได้ เช่นเดียวกับเมืองเรดคิง เมืองสวินตัน และเมืองมิลตัน คินส์ ซึ่ง เคยเป็นเมืองที่เจริญขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ 10 ปีที่แล้ว นายทอม เทเลอร์ หุ้นส่วนของบริษัทโจนส์ ลัง วูดตัน บริษัทที่ปรึกษาของสาขาของบริษัทยูโรทันเนล ซึ่งรับผิดชอบงานก่อสร้างขุโมงค์ชั้นเนล กล่าวไว้ว่า เมืองแอฟฟอร์ดจะได้รับผลประโยชน์ส่วนใหญ่จากขุโมงค์แห่งนี้

มณฑลเคินท์ เป็นมณฑลหนึ่งที่เจริญที่สุดในอังกฤษ เนื่องจากได้เปรียบด้านชัยภูมิ กล่าวคือ มีชายฝั่งติดกับช่องแคบอังกฤษ และอยู่ในตำแหน่งที่เป็นทางผ่านของผู้โดยสารที่เดินทางจาก อังกฤษไปยังขุโมงค์ซึ่งในที่สุด เคินท์ก็จะทวีความสำคัญ ในฐานะเป็นมณฑลหน้าด่านที่ใกล้ที่สุด สำหรับข้ามไปฝรั่งเศส และประเทศยุโรปอื่น ๆ

นอกจากนี้ขุโมงค์ชั้นเนล ยังจะทำให้บริเวณโดยรอบมณฑลเคินท์พลอยเจริญไปด้วยเพราะ เมื่อมีเส้นทางติดต่อกับยุโรปความเจริญไปด้วยเพราะเมื่อมีเส้นทางติดต่อกับยุโรปความเจริญเติบโต ทางเศรษฐกิจก็จะตามมา ประชาชนที่ประสงค์จะไปยุโรปก็จะหันมาตั้งต้นการเดินทางที่เมือง แอฟฟอร์ด แทนที่จะเป็นกรุงลอนดอนดังเช่นแต่ก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการปรับปรุงถนนและ ทางรถไฟจากแอฟฟอร์ดกับลอนดอนด้วยแล้ว

เส้นทางคมนาคมระหว่างลอนดอนลอนกับมณฑลเคินท์ ได้รับการพัฒนาจนกลายเป็น ปัจจัยส่งเสริมความเจริญเติบโต ทั้งนี้เห็นได้จากการก่อสร้างทางคว่นหมายเลข 20 เชื่อมระหว่างกรุง ลอนดอนกับเมืองโพลัสโตน ซึ่งเป็นเมืองชายฝั่งทางตอนใต้ของมณฑลเคินท์ทางคว่นสายนี้สร้าง แล้วเสร็จไปเมื่อเดือนที่แล้ว พร้อมกันนั้นเมืองเมคสโตนไปเมืองแอฟฟอร์ดซึ่งช่วยย่นระยะเวลาการ เดินทางจากลอนดอนไปมณฑลเคินท์เหลือเพียง 90 นาที นอกจากนี้จะมีการปรับปรุงทางรถไฟที่ เชื่อมระหว่างกรุงลอนดอนกับเมืองแอฟฟอร์ด เพื่อรองรับรถไฟความเร็วสูงที่วิ่งลอคขุโมงค์ชั้นเนล

คาดกันว่า การปรับปรุงถนนและทางรถไฟจะทำให้คนวัยทำงาน โดยเฉพาะผู้ที่มิตำแหน่ง สูง ๆ ในลอนดอนหันมาหาบ้านพักอาศัยในเมืองแอฟฟอร์ด และเมืองเมคสโตน แล้วจึงไปทำงาน ประเภทไปเช้าเย็นกลับ แทนที่จะหาบ้านพักในกรุงลอนดอนเลขดังเช่นก่อน นายเอียน สจ๊วต ผู้ อำนวยการฝ่ายที่อยู่อาศัยบริษัทชาวิลส์ กล่าวว่า อย่างไรก็ตามราคาบ้านพักอาศัยในแอฟฟอร์ดยังอยู่ ในเกณฑ์ต่ำเพราะการเดินทางโดยรถไฟไปยังลอนดอนยังใช้เวลานานอยู่ แต่ราคาบ้านอาจสูงขึ้นได้ ทันทีที่มีการปรับปรุงรถไฟ ซึ่งย่นระยะเวลาการเดินทางให้เลือก 90 นาที

ถ้าแอฟฟอร์ดกลายเป็นศูนย์กลางทางธุรกิจแทนที่จะเป็นเพียงเมืองของคนทำงานในลอนดอนชนิดไปเข้าเย็นกลับ ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ทุกประเภทของเมืองแอฟฟอร์ด ก็คงจะเฟื่องฟูขึ้นมีใช้น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พื้นที่ในรัศมีการเดินทางที่ใช้เวลา 30 นาที เมืองแอฟฟอร์ดได้เปรียบเมืองอื่น ๆ ตามแนวชายฝั่งของมณฑลเค้นท์ กล่าวคือ เมืองแอฟฟอร์ดมีโอกาสพัฒนาเมืองได้โดยรอบขณะที่เมืองชายฝั่งจะได้รับการพัฒนาก็เฉพาะพื้นที่บนบกเท่านั้น

ราคาส่งานในแอฟฟอร์ดอาจไม่ถีบตัวสูงขึ้นเร็วเท่ากับ ราคาย่านพักอาศัย ซึ่งถ้าพิจารณาในระยะสั้น จะพบว่า สถานการณ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความต้องการของคนวัยทำงาน ที่อยู่ในแอฟฟอร์ด และไปทำงานในลอนดอนแบบไปกลับจนถึงบัดนี้ก็มีนักพัฒนาอาคารที่ดินหลายคนมีโครงการทำสวนธุรกิจแอฟฟอร์ดแล้ว แต่พวกเขาเหล่านี้ก็ต้องเสี่ยงกับภาวะราคาอาคารที่ดินเพื่อการพาณิชย์ตกลงหากอาคารใหม่ ๆ สร้างขึ้นมากเกินไปเกินความต้องการของตลาด

ถ้าพิจารณาในระยะยาวจะพบว่า เมื่ออุโมงค์ชั้นเนลสร้างแล้วและเปิดใช้การได้ ธุรกิจทั้งในและนอกเมืองแอฟฟอร์ดก็จะเติบโตขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ราคาอสังหาริมทรัพย์ เพื่อการพาณิชย์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ตลาดที่พักอาศัยก็จะพลอยเติบโตไปด้วยเช่นกัน ซึ่งนักพัฒนาอาคารที่ดินทั้งหลายต่างคาดการณ์ว่า จะสร้างบ้านใหม่ในแอฟฟอร์ดได้ 10,000 หลัง ในอีก 10 ปีข้างหน้า

นักวิเคราะห์เห็นว่า อุโมงค์ชั้นเนลจะอำนวยความสะดวกอย่างมหาศาลแก่เมืองแอฟฟอร์ด ส่วนเมืองอื่น ๆ ในมณฑลเค้นท์อาจไม่เป็นเช่นนั้น โดยปกติแล้วราคาพื้นที่เกษตรกรรมในมณฑลเค้นท์จะยังคงขึ้นอยู่กับราคาผลผลิตการเกษตรภาวะเงินอุดหนุนการเกษตรของประชาคมยุโรปลดลงเป็นลำดับ และการที่นานาประเทศต่อต้านการปกป้องสินค้าเกษตรของประเทศใดประเทศหนึ่ง นักลงทุนจะสนใจก็เฉพาะพื้นที่การเกษตรที่มีศักยภาพในการพัฒนาเท่านั้น

นายชาร์ลี กูช แห่งบริษัทชาวิลล์ กล่าวว่าบริเวณสามเหลี่ยมทองคำ ซึ่งเป็นพื้นที่เชื่อมระหว่างเมือง 3 เมือง ในมณฑลเค้นท์คือ แอฟฟอร์ด แมดสโตน และแคนเทอร์เบอรี มีศักยภาพได้รับการพัฒนาด้านธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ภาคที่อยู่อาศัยและการพาณิชย์ ส่วนเมืองอื่น ๆ ทางตอนเหนือและใต้ของเค้นท์ อาทิเมืองมาร์เกต แรมส์เกต ไฮล์ ออฟ ธาเน็ต เมดเวย เซเวนโอ๊ก และทันพริคเวลล์ กลับไม่เป็นเช่นนั้น แม้แต่เมืองโคเวอร์ และเมืองโพล์กสโตน ก็ยังคงเป็นเมืองทำกรรมคาเท่านั้น

อนาคตเมืองโคเวอร์ไม่แน่นอนเพราะถ้าอุโมงค์สร้างแล้วเสร็จเมื่อใด โคเวอร์คงหมดความสำคัญในฐานะเป็นเมืองท่า การขนส่งทางอุโมงค์จะได้รับานิยม แทนธุรกิจเรือข้ามฟากขนส่งสินค้าและผู้โดยสารระหว่างโคเวอร์และเมืองในฝรั่งเศส

เท่าที่ผ่านมา เมืองโพล์สโตน เป็นเมืองท่าที่ไม่เจริญเท่าเมืองแอสฟอร์ด เมืองโคเวอร์หรือเมืองแคนเทอร์เบอรี บริษัทผู้เช่าชาวยุโรปที่รับผิดชอบงานก่อสร้างอุโมงค์จะเปิดสำนักงานที่เด่นนอกเมืองโพล์สโตนสำนักงานดังกล่าวจะอยู่ที่นั่นเพียงชั่วระยะเวลาการก่อสร้างอุโมงค์ แต่ถ้ามีการต่อสัญญาการก่อสร้างหลังจากอุโมงค์สร้างแล้วเสร็จ บริษัทดังกล่าวก็จะเปิดสำนักงานต่อไป นายเทลเลอร์ตั้งข้อสังเกตว่าโพล์สโตนไม่มีวันเจริญเท่าแอสฟอร์ดถึงแม้ว่าจะมีคนอยากอยู่ที่โพล์สโตนกับแอสฟอร์ด แต่ลูกค้าก็ยังคงสนใจสำนักงานให้เช่าในโพล์สโตนน้อยกว่าสำนักงานในแอสฟอร์ด

โครงการสร้างอุโมงค์ชั้นเนล ส่วนแต่ก่อนให้เกิดผลดีแก่ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ของอังกฤษ ยกเว้นกรณีเดียว นั่นก็คือ โครงการก่อสร้างทางรถไฟสำหรับรถไฟความเร็วสูงเชื่อมระหว่างแอสฟอร์ดกับลอนดอน ซึ่งเป็นการสร้างทางต่อเติมทางรถไฟสายเดียวระหว่างเมืองทั้งสอง แต่ปัญหาอยู่ที่ว่าประชาชนเกิดหวาดเกรงการเวนคืนที่ดินของตนสำหรับสร้างรถไฟดังกล่าว ถึงแม้ว่าเรื่องนี้จะเข้าทำนองตีคนไปก่อนไข้ เพราะโครงการต่อเติมทางรถไฟจะผ่านความเห็นชอบของทางการก็เมื่อถึงกลางปี 2535 และโครงการจะแล้วเสร็จประมาณปี 2541

รัฐบาลอังกฤษกำลังพิจารณาข้อเสนอการก่อสร้างรถไฟเพิ่มเติมอย่างน้อย 3 ข้อ คือเป็นข้อเสนอของบริษัทก่อสร้างเอกชน 2 ข้อ และของการรถไฟแห่งอังกฤษ 1 ข้อ เจ้าของที่ดินในมณฑลเคินท์หลายคนต่างรู้สึกหายใจไม่ทั่วท้อง เพราะยังไม่ทราบว่า ทางรถไฟใหม่จะตัดทับที่ดินของตนหรือขนาดความกว้าง 240 เมตร ขนาบตลอดทางรถไฟ

อย่างไรก็ตามแม้ว่าขณะนี้ยังไม่มีการประกาศอย่างแน่ชัดว่า จะมีการก่อสร้างทางรถไฟสายใหม่นี้ ซึ่งคาดว่าจะประกาศเมื่อเดือนเมษายนปีนี้ แต่ประชาชนก็ได้เกิดความไม่แน่ใจในเงินชดเชยที่ทางการจะจ่ายให้กรณีเกิดการเวนคืนที่ดิน ซึ่งข้อสงสัยส่วนนี้ได้ส่งผลกระทบต่อราคาที่ดินในบริเวณใกล้เคียงที่ที่ทางรถไฟจะตัดผ่าน รูปการณ์ในระยะยาวจะออกมาอย่างไรยังไม่มีใครทราบแต่สภาพธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในบริเวณดังกล่าว ถ้าพิจารณาในระยะสั้น จะพบว่าไม่แน่นอนปัญหาจะคลี่คลายลงก็ต่อเมื่อทางการกำหนดว่าจะตัดทางรถไฟผ่านพื้นที่บริเวณใดบ้าง

ปัญหาที่เกิดจากโครงการเวนคืนเพื่อสร้างทางรถไฟต่อจากอุโมงค์ชั้นเนลสะท้อนให้เห็นมุมมองที่ต่างกันระหว่างชาวอังกฤษ และชาวฝรั่งเศส ชาวอังกฤษเห็นว่าโครงการนี้ก่อให้เกิดความเดือดร้อน เพราะทางรถไฟจะตัดผ่านพื้นที่ที่เจริญและมีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นมากที่สุดแห่งหนึ่งในอังกฤษ ฝ่ายชาวฝรั่งเศสกลับเห็นด้วยกับโครงการดังกล่าว เพราะทางรถไฟสายนี้จะตัดผ่านพื้นที่ที่เจริญน้อยที่สุดแห่งหนึ่งของฝรั่งเศส ซึ่งต่างก็คาดการณ์กันว่าทางรถไฟนี้จะนำความเจริญมั่นคงมาสู่ภูมิภาคตน

เมื่ออุโมงค์สร้างเสร็จและเปิดให้ใช้การได้อาจเป็นไปได้ว่า นักธุรกิจจะหลั่งไหลเข้าไปลงทุนในฝรั่งเศส มากกว่าอังกฤษ อย่างไรก็ตาม ผู้สันตติกรรมต่างยังสงสัยกันอยู่ว่า อุโมงค์ชันเนลจะดึงดูดนักธุรกิจให้ไปลงทุนทั้งฝั่งอังกฤษ และฝรั่งเศสมากน้อยเพียงใด

นายเทเลอร์เชื่อว่า บริษัทของฝรั่งเศสบางรายจะเช่าอาคารที่ดินเพื่อการพาณิชย์ในอังกฤษ แต่แทบจะไม่มีบริษัทอังกฤษรายใดเข้าไปลงทุนในฝรั่งเศส

โครงการสร้างทางรถไฟลอดอุโมงค์ทำให้มีชาวอังกฤษจำนวนมากเข้าไปลงทุนซื้อที่อยู่อาศัยในฝรั่งเศส ส่วนชาวฝรั่งเศสไปซื้อบ้านพักในอังกฤษน้อยมาก เท่าที่ผ่านมารชาวอังกฤษหลายพันคนได้ข้ามฝั่งไปซื้อบ้านพักตากอากาศราคาถูกทางตอนเหนือของฝรั่งเศส ทำให้ตลาดบ้านพักตากอากาศที่นั่นถดถอยเป็นพิเศษเมื่อ 2 ปีที่แล้ว

นักวิเคราะห์สถานการณ์ทั้งหลายต่างคาดการณ์ว่า เมื่ออุโมงค์ชันเนล (Chunnel) ซึ่งทอดข้ามช่องแคบอังกฤษเชื่อมระหว่างอังกฤษกับฝรั่งเศส เปิดใช้การได้ในปี 2536 เมื่อแอสฟอร์ด (Ashford) มณฑล เคนท์ (Kent) ประเทศอังกฤษก็จะกลายเป็นเมืองที่เจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว



5. ถนนลอดอุโมงค์

แต่ไหนแต่ไรมา มีคนเป็นจำนวนมากคิดกันว่า การตัดถนนลอดอุโมงค์ควรจะต้องเป็นทางเลือกสุดท้ายเมื่อไม่มีวิธีไหนดีกว่านี้อีกแล้ว สาเหตุที่ทำให้คิดกันเช่นนั้นก็เพราะการสร้างถนนลอดอุโมงค์นั้นต้องใช้เงินลงทุนในการสร้างสูงสร้างยากและภายหลังจากเปิดใช้แล้วยังต้องการการบำรุงรักษาซึ่งส่งผลให้ต้องใช้งบประมาณสูง

อย่างไรก็ตาม ในยุคปัจจุบันมีบุคคลผู้เกี่ยวในวงการสร้างทางจำนวนมากเริ่มเปลี่ยนความคิดจากแบบเดิมหันมาให้ความสนใจการสร้างถนนลอดอุโมงค์กันมากขึ้นส่งผลให้รัฐบาลของหลายประเทศเปลี่ยนแนวความคิดที่เคยพยายามหลีกเลี่ยงการสร้างถนนลอดอุโมงค์ไปด้วย ในการสำรวจและการวางแผนในการสร้างทางหลวงในปัจจุบันนี้ ผู้เกี่ยวข้องต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ หลายประการด้วยกัน อันได้แก่ ความห่วงใยทางด้านผลกระทบต่อทางนิเวศน์วิทยาจากการตัดถนน ผลกระทบของการตัดถนนไปในเขตที่มีสิ่งแวดล้อมสำคัญทางธรรมชาติที่ควรสงวนไว้ ปัจจัยดังกล่าวจึงส่งผลให้โครงการสร้างทางซึ่งประกอบไปด้วยการตัดถนนผ่าน ใต้ดินทั้งที่เป็นบางส่วนหรือตลอดทั้งสายเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายสูงและถูกขัดขวางจากกลุ่มที่ไม่นิยมถนนประเภทนี้ก็ตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของการสร้างถนนลอดอุโมงค์ทำให้ผู้เห็นพ้องมากขึ้นว่าถนนลอดอุโมงค์เป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง

วิธีการเจาะอุโมงค์หลายแบบซึ่งเคยเป็นสิ่งที่ยากลำบากและในบางครั้งก็เป็นไปไม่ได้เลยนั้น ในปัจจุบันกลายเป็นเรื่องที่มีความสามารถที่จะทำได้ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากวัสดุอุปกรณ์ทันสมัยที่ช่วยปรับปรุงวิธีการสร้างตลอดจนการบำรุงรักษาอุโมงค์ให้มีความสะดวกง่ายดายยิ่งขึ้น จึงอาจสรุปได้ว่า ถึงเวลาแล้วที่ผู้เกี่ยวข้องควรจะนำเอาโครงการที่ประกอบด้วยการสร้างถนนลอดอุโมงค์เป็นทางเลือกสุดท้ายให้เป็นสิ่งที่ยอมรับปฏิบัติได้ในโอกาสแรก

โดยปกติแล้วสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องรวมการสร้างอุโมงค์เข้าไปในโครงการสร้างถนนนั้นมักเกิดจากการที่มีอุปสรรคทางด้านภูมิประเทศในเส้นทางที่เลือกสรรแล้วว่าดีที่สุดในแง่ที่สุดและตรงที่สุด ดังตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดในเรื่องนี้จะได้แก่ การขุดอุโมงค์ผ่านบริเวณที่มีอุปสรรคทางด้านภูมิประเทศเพื่อให้ได้ระยะทางสั้นที่สุดซึ่งอยู่ในโครงการปรับปรุงทางหลวงคู่ใหม่สาย A55 ทางตอนเหนือของเวลส์โดยบริษัทโฮวาร์ด ฮัมฟรีย์ และสหาย(HOWARD HUMPHREYS & PARTNERS) ซึ่งในปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของบริษัท Brown and Root ได้ร่วมมือกับบริษัท TRAVERS MORGAN ออกแบบถนนลอดอุโมงค์ดังกล่าวเป็นถนนลอดอุโมงค์สองเลนแบบ PENMAENBACK ระยะทาง660 เมตรและแบบPEN-Y-CLIP มีระยะทาง880เมตร ตัดทางหลวงสายดังกล่าวให้ลอดผ่านชั้นหิน HARD ORDOVIVATION RHYOLITIC ROCK การขุดเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุโมงค์ดังกล่าวกระทำโดยวิธีเจาะและระเบิด(DRILL and BLAST) ช่องอุโมงค์ทั้งสองเป็นเส้นเชื่อมการจราจรด้านตะวันตกเข้ากับด้านตะวันออก และถือว่าเป็นเส้นทางใหม่ที่ใช้แทนเส้นทางเก่า ซึ่งเป็นถนนลอดอุโมงค์เลนเดียวที่สร้างไว้ตั้งแต่ช่วง คริสตทศวรรษที่ 1930

อุโมงค์ที่ถือกันว่ามีประสิทธิภาพถูกใช้โดยคัมภีการลงทุนที่สุดในโลก คืออุโมงค์ของประเทศนอร์เวย์อุโมงค์ส่วนมากในนอร์เวย์รวมทั้งที่ใช้เป็นถนนยังคงอยู่ในสภาพที่ฉาบภายนอกไว้เล็กน้อยหรือไม่ได้ฉาบเลย อุโมงค์เหล่านั้นส่วนมากจะเป็นส่วนหนึ่งของถนนที่มีผู้ใช้น้อย (เมื่อเปรียบเทียบกับเขตที่มีประชากรมาก) จากจุดนี้เองที่ช่วยให้นอร์เวย์สามารถสร้างอุโมงค์ที่ไม่ต้องลงทุนสูงนัก ถนนลอดอุโมงค์ที่ยังไม่ได้เก็บงานภายนอกนี้ส่วนใหญ่เป็นถนนเลนเดียวที่มีแนวขยายข้างถนนในทุกๆระยะ 200เมตร เพียงประมาณร้อยละ 27 ของอุโมงค์ทั้งหมดมีระบบติดตั้งระบบระบายอากาศด้วยเครื่องจักรกลและมีอุโมงค์จำนวน34แห่งจากทั้งหมด 88 แห่งซึ่งยาว 1000 เมตรขึ้นไป ยังไม่มีการติดตั้งระบบไฟให้แสงสว่าง

วิธีการเจาะอุโมงค์ผ่านหิน(ROCK TUNNELLING METHODS)

ในกรณีที่มีบริเวณหินแข็งๆในเส้นทางการก่อสร้าง ผู้รับผิดชอบส่วนใหญ่นิยมใช้การเจาะ(DRILL) และการระเบิด(BLAST) ในการเปิดช่องทาง อย่างไรก็ตามเทคนิคในการขุดเจาะอุโมงค์จะสามารถยืดหยุ่นได้โดยวิธีขุดตามระยะยาวของหน้าตัดของหิน ซึ่งจะทำให้เกิดช่องอุโมงค์แบนๆ ซึ่งเป็นฐานของถนนได้ นอกจากนี้ Passing bay และห้องควบคุมก็จะสามารถถูกใช้ปฏิบัติการควบคู่กันไปตลอดความยาวของเส้นทางอุโมงค์ และการขุดเจาะจะตีหน้าไปได้จากทางเข้า(PORTALS)ทั้งสองในเวลาเดียวกัน ในกรณีที่อุโมงค์มีระยะยาว การขุดเจาะจะสามารถทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการเจาะจุดระหว่างทางเข้าเพิ่มขึ้นในแนวอุโมงค์

การขุดเจาะและการระเบิดอย่างรวดเร็วจะทำได้โดยการใช้หัวเจาะหลายๆ หัวคั้งที่ใช้ในการขุดถนนลอดอุโมงค์แบบ 4 เลนของบริษัท TATES CAIRN ในฮ่องกง ซึ่งเปิดใช้ในเดือนกรกฎาคมปี 1991 ถนนลอดอุโมงค์สายดังกล่าวถูกสร้างขึ้นโดยงบประมาณของเอกชนเป็นการใช้ระบบให้สัมปทานค่าผ่านทาง มีโครงการสร้างระยะ 30 ปี โดยบริษัทขุดเจาะอุโมงค์ TATES CAIRIN (TC TC) ในกรณีทาง TC TC ได้เพิ่มหัวเจาะในการใช้ขุดอุโมงค์ขึ้นอีก 12 หัวเจาะทำให้ยื่นระยะแผนงานสร้างเดิมที่ได้กำหนดไว้ 51 เดือนมาเหลือเพียง 37 เดือน โครงการร่วมภาคเอกชนระหว่างบริษัทก่อสร้าง GAMMON/NISHIMATSU และบริษัทที่ปรึกษาในการออกแบบ MAUNSELL ได้ตกลงใช้horizontal adits สองตัวแทนการใช้ Vertical Ventilation Shafts 2 ตัว การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ถนนลอดอุโมงค์ที่มีความยาว 4 กิโลเมตร ถูกแบ่งเป็น 4 ช่วง เพิ่มหน้าตัดอุโมงค์เป็น 8 แห่งแทนที่จะเป็นปากทางเข้าอุโมงค์ 4 ทางในการติดตั้งอุปกรณ์ในการระบายอากาศแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษตามที่ต้องการ การที่อุโมงค์มี 12 หน้าตัดมีผลทำให้มีอัตราเฉลี่ยในการก่อสร้างเร็วขึ้นเป็น 540 เมตรต่อเดือน และทำให้สามารถทำการขุดอุโมงค์ด้านในด้วยคอนกรีตชั้นสุดท้าย ซึ่งมีสองท่อได้จากการที่มีจุดเข้าถึงอุโมงค์มากขึ้น อุปกรณ์เครื่องมือและแรงงานที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการตัดอุโมงค์ที่เพิ่มขึ้นถึงจะมีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็คุ้มค่าการลงทุน โดยการที่ได้รับรายได้จากค่าผ่านทางเร็วขึ้นจากหมายกำหนดการถึง 4 เดือน

อย่างไรก็ตาม การเจาะและการระเบิด(DRILL AND BLAST) ก็ มีข้อเสียเช่นกัน เสี่ยงและความสั่นสะเทือนอาจเป็นเรื่องที่ไม่เหมาะสมในบริเวณก่อสร้างที่อยู่ใกล้ชุมชนเมือง และการขุดเจาะแบบธรรมดาดังกล่าวยังอาจก่อให้เกิดการแตกร้าวที่มากกว่าต้องการ ซึ่งหากต้องมีการทำการซ่อมทำเฉพาะที่เป็นช่วง ๆ ไปจะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก

เทคนิค DRILL & BLAST นี้มีการแข่งขันสูงขึ้นมากกับการใช้เทคนิค FULL FACE TUNNEL BORING MACHINE (TBM) TBM ลดความคังของเสียง ความสั่นสะเทือนและก๊าซเสีย หน้าตัดซึ่งเรียบอันเกิดจาก TBM ทำให้ช่วยลดการฉาบระดับแรกและระดับที่สองลงด้วย ความก้าวหน้าของ TBM สูงกว่า อัตราความเร็วถึงระดับ 6 เมตรต่อชั่วโมงนั้นมีความเป็นไปได้ในสถานะที่มีผลงานดี เปรียบเทียบกับระยะ 6-9 เมตรต่อ 24 ชั่วโมง จากการใช้ (DRILL&BLAST) ตัวอย่างอีกแห่งหนึ่งของโครงการถนนลอดอุโมงค์ที่เจาะโดย TBM คือถนนลอดอุโมงค์ GUBRIST ใกล้เมืองซูริก ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งมีระยะทาง 3 กิโลเมตร ออกแบบในช่วงต้นคริสต์ทศวรรษที่ 1908 โดยบริษัท ELECTROWATT ENGINEERING SERVICES ของซูริก

ในปัจจุบัน อุโมงค์คู่ระยะทาง 3.7 กิโลเมตร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทางหลวงสาย BOZBERG ในสวิตเซอร์แลนด์ก็กำลังได้รับการขุดเจาะโดย FULL FACE TBM เส้นทางดังกล่าวได้รับการประมูลสร้างโดยการลงทุนร่วมระหว่างบริษัท ROBBINS ของอเมริกาและบริษัท HERRENKNECT ของเยอรมันนี TBM ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.9 เมตรได้รับการออกแบบให้ทำงานได้ระยะ 11.5 เมตรต่อการปฏิบัติงาน 20 ชั่วโมงใน 1 วัน โดยสามารถเจาะผ่าน Predominantly sedimentary deposits และ hard molasse ของ Juru formation ในช่วงหนึ่งเดือน ระหว่างการปฏิบัติงานปกติ TBM จะสามารถขุดเจาะได้ถึง 18.8 เมตรต่อการทำงาน 20 ชั่วโมงของหนึ่งวันอุโมงค์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทางด่วนสายใหม่ระหว่างเมือง BASLE และเมือง ZURICH สร้างโดยสมาชิกร่วมของการลงทุนจาก 8 กลุ่ม อันประกอบด้วย ROTHPLETZ, LEINHARD, LOCHER, ERNE, MURER, PRADER, MARTI และ KISTLER GRANELLA มีราคาที่เหมาะสม ประมาณ 169 ล้านดอลลาร์ มีการเริ่มปฏิบัติงานสร้างในต้นปี 1990 และมีการเริ่มการ ปฏิบัติงานสร้างในต้นปี 1990 และ TBM สามารถเจาะช่องแรกให้แล้วเสร็จภายในเดือนกันยายนปีเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะนี้ได้ดำเนินงานขุดเจาะช่องที่เรียบร้อยแล้ว เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับกำหนดการเปิดใช้ในปลายปี 1995 และในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ นี้เช่นเดียวกัน เครื่องจักรซึ่งมีความคล้ายคลึงกันสร้างด้วยกลุ่มผู้ผลิตกลุ่มเดียวกันกำลังทำการขุดเจาะภูเขา RUSSLER ให้เป็นช่องอุโมงค์คู่ซึ่งจะเป็นทางหลวง 4 เลนต่อไป

ความก้าวหน้าและประสิทธิภาพดังกล่าวทำให้มีการพิจารณานำ TBM มาใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ PINLIN ซึ่งมีความยาว 12.8 กิโลเมตรในทางควนสาย NANKANG-ILAN ในไต้หวัน ในงานนี้อาจจะต้องใช้ TBM ซึ่งมีหน้าตัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างถึง 12 เมตร ซึ่งจะถือเป็นเครื่องจักรขุดเจาะที่มีรัศมีการขุดเจาะที่กว้างที่สุดเท่าที่เคยสร้างมาในโลก เพื่อจะให้สอดคล้องกับรูปแบบที่ได้รับการกำหนดมาว่าจะจะเป็นช่องอุโมงค์คู่ที่มีสี่เลนสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอีกประการหนึ่งคือสภาพทางธรณีวิทยาในเส้นทางในเส้นทางที่จะเจาะอุโมงค์เป็นที่รู้กันว่าจะอาจมีความเปลี่ยนแปลงจากที่ควรจะเป็น ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงต้องมีผู้ออกแบบร่วมที่จะช่วยให้รายละเอียดเพิ่มเติมอันได้แก่ PARSONS BRINKERHOF/ELECTROWATT และ SINOTECH บริษัทเหล่านี้ได้แนะนำให้ใช้การขุดเจาะ โดยการทดลองใช้เครื่องมือที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ เจาะอุโมงค์ทดลองก่อนที่จะนำไปปฏิบัติต่ออุโมงค์ที่ใหญ่ตามต้องการ

อุโมงค์ทดลองนี้ตั้งอยู่ระหว่างช่องอุโมงค์หลักทั้งสองเพียงแค้อยู่ต่ำลงไปกว่าอุโมงค์จริงเล็กน้อย และจะทำการขุดเจาะโดยบริษัท RSEA ของไต้หวัน โดยใช้ TBM ROBBINS ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.82 เมตร TBM ดังกล่าวถูกส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างเมื่อเดือนกันยายน ปี ค.ศ. 1992 และเริ่มทำการขุดเจาะกันตั้งแต่เดือนธันวาคมที่ผ่านมา

อย่างไรก็ตาม TBM ที่มีหน้าตัดกว้างตามขนาดที่ต้องการนั้นก็ยังมีข้อจำกัดเช่นกัน ข้อจำกัดในการปฏิบัติงานก็คือ เมื่อใช้ TBM เจาะหินนั้น ส่วนหัวที่ใช้ตัดหินซึ่งเป็นสาเหตุให้หินถูกเจาะทำลายไปมากกว่าที่จำเป็น

มีความคิดริเริ่มสองประการได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดดังกล่าวในเมือง BERGEN ประเทศนอร์เวย์ มีการใช้ ROBBINS TBM ในการขุดเจาะอุโมงค์ 2 เลนที่มีความยาว 3.5 กิโลเมตรก่อนแล้วจึงใช้การเจาะและระเบิด (DRILL & BLAST) ตามหลังเพื่อให้เกิดมุมในอันที่จะสร้างแนวโถงระยะกว้าง 7.5 เมตรในระดับแนวถนนปกติทั่วไป และในเมือง NEUCHATEL ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ มีการใช้หัวตัดที่มีกำลังสูงสองหัวติดตั้งไปกับ TBM แบบ WIRTH ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11 เมตร ใช้ตัดมุมไปด้วยในเวลาเดียวกันกับที่ทำการขุดเจาะ ผลการทดลองของทั้งสองแนวความคิดนั้นได้ผลดีขึ้นก็จริง แต่ก็ยังห่างไกลกับความต้องการของผู้สร้างมาก ในปัจจุบันแนวความคิดที่จะพยายามนำเอา TBM ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ๆ มาใช้โดยให้ขุด

เจาะตัดเอาหินเฉพาะส่วนที่จำเป็นในการสร้างถนนลอดอุโมงค์เท่านั้นกำลังอยู่ในขั้นตอนทดลองและพยายามปฏิบัติของผู้เกี่ยวข้อง ในวงการกันอย่างกว้างขวาง

6. อุโมงค์กับกำแพงน้ำแข็ง

ในการก่อสร้างช่วงต่อระยะสุดท้ายของโครงการก่อสร้างถนนวงแหวนรอบเมือง Mannheim ประเทศเยอรมนีต้องเผชิญกับความล่าช้าอันเกิดมาจากความพยายามที่จะหาวิธีที่จะสร้างทางผ่านสถานีรถไฟที่แน่นหนาไปให้ได้โดยไม่ให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อผู้ใช้บริการ การสร้างสะพานเป็นข้อพิจารณาที่ต้องตกไปเพราะเหตุที่ว่า ไม่มีที่ดินเพียงพอที่จะเป็นฐานในส่วนพื้นดินเอง ในขณะที่เดียวกันการเจาะอุโมงค์ลอดใต้บริเวณดังกล่าว ก็เป็นเรื่องที่เสี่ยงมากอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในเรื่องดินถล่ม ทางเลือกที่มองเห็นอีกทางหนึ่งคือ การเจาะอุโมงค์ด้วย TBM ที่ใช้แรงอัดลงไปในพื้นที่ดินนิ่มขนาดใหญ่ (Tunnelling with a large soft ground pressurised TBM) แต่ก็มีปัญหาที่จะต้องใช้งบประมาณสูงมาก

อย่างไรก็ตาม หนทางแก้ไขปัญหาซึ่งได้รับการปรับแต่งก็ได้เกิดขึ้น โดยกลุ่มบริษัทผู้ก่อสร้าง นำโดย BILFINGER, BERGER และ HOCHTIEF โดยได้ใช้วิธีขุดแบบ NATM (New Austrian Tunnelling Method) โดยการทำพื้นดินขอบนอกแนวถนนของอุโมงค์ให้เป็นน้ำแข็ง จากจุดนี้ อุโมงค์ขนาด 186 เมตรจึงถูกขุดขึ้นโดยแบ่งครั้งด้วยกำแพงน้ำแข็งแนวตั้งที่มีความหนา 3 เมตร ทำการขุดลงไปเพียง 2.6 เมตร ใต้ทางรถไฟ เพื่อเป็นการประกันการสร้างกำแพงน้ำแข็งหนา 1.75 เมตร ซึ่งเกิดจากน้ำในดินซึ่งกลายเป็นน้ำแข็งรอบ ๆ บริเวณที่ขุด ระบบการเจาะแบบ MICROTUNNELLING ซึ่งถือเป็นระบบใหม่ได้ถูกนำมาใช้ติดตั้งท่อส่งความเย็นที่ทำให้เกิดการแข็งตัวแนวถนน

การเจาะดังกล่าว ได้รับผลเป็นที่น่าพอใจและสำเร็จลงในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1992 กำแพงน้ำแข็งนั้นก็ยังคงเป็นตัว intact ในขณะที่การฉาบแต่งด้วยคอนกรีตชั้นสุดท้ายได้ถูกกระทำในเดือนกันยายนปีเดียวกัน

ถึงแม้ว่า วิธีดังกล่าวจะเป็นการแก้ปัญหาที่ต้องใช้งบประมาณสูงแต่ก็ยังถือว่ามียาราคาถูกกว่าค่าใช้จ่ายที่จะต้องเสียหากเลือกใช้การนำเอา TBM มาเจาะลงไปในพื้นที่ดินนุ่มถึง 20 เปอร์เซ็นต์ทีเดียว

7. เส้นเลือดเลี้ยงหัวใจนครบอสตัน

ถนน 6 เลนซึ่งล้อยอยู่เหนือกรุงบอสตันเรียบเสมือนเส้นเลือดที่หล่อเลี้ยงหัวใจของเมืองดังกล่าว และถือกันว่าเป็นเส้นทางในเขตเมืองที่มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุสูงสุดที่สุดในสหรัฐอเมริกาทีเดียว ตามสถิติแจ้งว่าในวันหนึ่งวันจะมีผู้ใช้ขีวดยานพาหนะผ่านมาในถนนสายนี้มากกว่าที่มันได้รับการออกแบบมาให้ใช้ได้ (75,000 คันต่อวัน) ถึงสองเท่าตัว ภาพความเป็นไปดังกล่าวเป็นเรื่องที่รบกวนจิตใจทั้งของชาวเมืองบอสตันและทั้งของนักท่องเที่ยวที่มาพบเห็นเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีข้อสรุปให้ยกเลิกการให้ใช้ถนนลอยฟ้าที่เสีย และให้แทนที่โดยการสร้าง FREE WAY ได้คิดโดยคาดกันว่า ความคับคั่งทางการจราจรจะได้รับการบรรเทาโดยถนนลอคอุโมงค์สาย THIRD HARBOUR ซึ่งกำหนดจะเปิดใช้ในปี 1994

การหาวิถีทางที่จะเข้าไปแทนที่เส้นทางที่เปรียบเสมือนเส้นเลือดเลี้ยงหัวใจของเมืองใหญ่อังกล่าวนี้หมายถึงว่าจะต้องมีการขุดเจาะดินเบื้องล่างเป็นบริเวณถึง 14 ล้านลูกบาศก์เมตรเพื่อจะสร้างอุโมงค์ทดแทน

ในระหว่างที่กำลังทำการก่อสร้างนี้จะยังคงให้ใช้เส้นทางจราจรเดิมจนกว่าด้านหนึ่งของถนนลอคอุโมงค์จะแล้วเสร็จ

คาดหวังกันว่า ภายในปี 1998 เส้นทางสายเก่าทั้งหมดที่เคยเป็นถนนลอยฟ้าจะหายไปพร้อมกับที่เป็นความโล่งอกของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกๆ คน

ภาคผนวก ข.

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร (Subway in Bangkok)

กรุงเทพมหานครจัดเป็นมหานครใหญ่อันดับที่ 15 ของโลก มีประชากร 8-9 ล้านคน ขนาดพื้นที่ 1,569 ตารางกิโลเมตร โดยความเจริญของเมืองได้แผ่ขยายออกไปเชื่อมกับ 5 จังหวัดปริมณฑลจนเป็นเขตเศรษฐกิจเดียวกัน

ประมาณว่าในปี พ.ศ.2543 ประชากรกรุงเทพมหานครจะเพิ่มเป็น 11.3 ล้านคน จำนวนรถยนต์เป็น 2.4 ล้านคัน ความต้องการในการเดินทางประมาณ 29 ล้านเที่ยวต่อวัน เนื่องจากพื้นที่ของชุมชนที่ขยายตัวใหม่อยู่ห่างจากใจกลางเมืองเกินกว่า 20 กิโลเมตร ส่งผลกระทบทำให้ประชากรจำนวนมากจำเป็นต้องเดินทางเข้ามาเพื่อทำงานในพื้นที่ชั้นใน เป็นผลต่อเนื่องให้ระยะเดินทางมาทำงานโดยเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครเพิ่มสูงขึ้น ปัญหาความคับคั่งของการจราจรจะเป็นปัญหาสำคัญอันดับ 1 และมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้น

จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว นั่นคือต้องมีระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสม ดังนั้นระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใต้ดินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้แก้ปัญหา

กรุงเทพมหานครมีความสนใจเรื่อง "รถไฟฟ้าใต้ดิน" มาเป็นเวลาพอสมควร ซึ่งได้มีการศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องพร้อมกับการศึกษาคูณทางด้านรถไฟฟ้าใต้ดินในหลายเมืองใหญ่ ๆ เกือบทั่วโลก เนื่องจากเห็นว่าระบบรถไฟฟ้าใต้ดินนี้เป็นวิธีการแก้ปัญหาจราจรและสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองที่ประสบความสำเร็จ และมีการยอมรับมาแล้วในหลายประเทศทั่วโลก ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินนับว่าเป็นระบบที่ถือเป็นหลักปฏิบัติสากลที่ยอมรับกันว่าสามารถแก้ไขปัญหาทางผังเมืองในระยะยาวได้ดีที่สุดวิธีหนึ่ง และภาพพจน์เดิมที่หลายคนว่ารถไฟฟ้าใต้ดินมีอาจจะดำเนินการได้นั้นจะค่อย ๆ เลือนหายไป

ลักษณะทางกายภาพของดินกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร เมืองหลวงของประเทศไทย ตั้งอยู่บนสองฝั่งของแม่น้ำเจ้าพระยาและอยู่เหนือจากอ่าวไทยขึ้นมาประมาณ 25 กิโลเมตร เนื่องจากการพัฒนาทางด้านธุรกิจขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีการก่อสร้างอาคารสูง เป็นจำนวนมาก สะพาน ทางด่วนยกระดับ และระบบรถไฟยกยกระดับ ดังนั้นข้อเสนอทางด้านธรณีวิทยาจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อโครงการต่าง ๆ และโครงการใหญ่ ๆ ส่วนมากจะทำการสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะของแต่ละโครงการเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร เกิดจากการทับถมของ Quaternary Age แบ่งเป็นชั้นดินเหนียว และดินทรายที่สังเกตเห็นสามารถแยกออกเป็น 5 ชั้น คือ

1. ชั้นดินเหนียวอ่อน (The soft clay layer)

ชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นชั้นที่อยู่บนสุด โดยเริ่มจากชั้นผิวดิน ดินชั้นนี้ส่วนมากจะราบตามแนวนอน โดยความหนาเฉลี่ยของดินชั้นนี้ คือ 15 เมตร และเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างความลึก 10-20 เมตร โดยปกติแล้วดินชั้นนี้จะมีความหนาทางด้านทิศเหนือน้อยกว่าดินทางทิศใต้ คือทางด้านเหนือจะหนาน้อยกว่า 10 เมตร และทางด้านทิศใต้จะหนามากกว่า 19 เมตร อย่างเช่นพื้นที่เขตบางเขน พระโขนง และภาษีเจริญ มีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนประมาณ 19 เมตร และมีชั้นของดินทราย หรือดินตะกอนปะปนอยู่

โดยทั่วไป ในดินชั้นดินเหนียวอ่อนจะมีชั้นส่วนของเปลือกหอยน้ำเค็มที่อาศัยอยู่ในทะเล เหมือนกับหอยที่อยู่ในทะเลอ่าวไทยในปัจจุบัน เช่นเดียวกับเกลือที่มีให้เห็นในดินชั้นนี้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าบริเวณนี้เคยเป็นทะเลมาก่อนในอดีต

2. ชั้นดินเหนียวแข็ง (The stiff clay layer)

ชั้นดินเหนียวแข็งวางตัวเป็นแนวยาวแต่ไม่ตรงอยู่ใต้ชั้นดินเหนียวอ่อน ดินชั้นนี้มีระยะความลึกโดยทั่วไปจากระดับ 15 เมตร ถึง 27 เมตร ความหนาเฉลี่ยประมาณ 12 เมตร และอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 9-15 เมตร ในพื้นที่ของเขตพญาไท ชั้นบนสุดของดินชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 17 เมตร และชั้นล่างสุดอยู่ที่ระดับ 29 เมตร นับว่าบริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีความหนาของชั้นดินเหนียวหนาที่สุดแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ ซึ่งความลึกของชั้นล่างสุดจะอยู่ที่ระดับ 21 ถึง 29 เมตร การเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินเหนียวจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

3. ชั้นทรายชั้นที่หนึ่ง (The first sand layer)

ชั้นทรายนี้วางตัวไม่เป็นแนวตรงใต้ชั้นดินเหนียวแข็ง ความลึกของชั้นนี้อยู่ที่ระดับประมาณ 20 ถึง 35 เมตร โดยจะมีชั้นของ sandy clay หรือ clayey sand คั่นอยู่ระหว่างชั้นของดินเหนียวแข็ง และชั้นทรายชั้นที่หนึ่งในบางแห่ง ความลึกปกติของชั้นนี้ประมาณ 27 เมตร อาจจะไม่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 21-29 เมตร มีความหนาประมาณ 10 เมตร โดยเฉลี่ย ในพื้นที่ทางด้านทิศใต้ของอำเภอปากเกร็ด ชั้นล่างสุดของดินชั้นนี้ลึกถึง 39 เมตร ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับ การเจาะสำรวจว่าทำการเจาะสำรวจที่หลุม และการเจาะสำรวจกระจายไปตามพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วถึงหรือไม่

4. ชั้นดินเหนียวแข็งมาก (The hard clay layer)

ใต้ชั้นทรายชั้นแรกลงไปนั้นยังมีชั้นดินเหนียวที่มีความแข็งมาก (Hard silty clay layer) ความหนาของดินเหนียวชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละพื้นที่ ในบางพื้นที่ก็ไม่พบดินชั้นนี้ โดยทั่วไปแล้วดินเหนียวชั้นนี้จะอยู่ลึกที่ระดับ 20 ถึง 30 เมตร ในพื้นที่ทางด้านตะวันออกของกรุงเทพฯ พบว่า ดินเหนียวชั้นนี้มีความหนามากกว่าที่อื่น ๆ ในบางครั้งของการเจาะสำรวจก็พบชั้นทรายบาง ๆ ปะปนอยู่ในดินเหนียวชั้นนี้เหมือนกัน ..

5. ชั้นทรายชั้นที่ 2 (The second sand layer)

ในบางพื้นที่ชั้นทรายชั้นที่ 2 จะติดกับชั้นทรายชั้นที่ 1 โดยตรงจาก diagram ของพื้นที่ในกรุงเทพฯ แสดงให้เห็นว่า ชั้นทรายทั้งสองนั้นอยู่ติดกันในบริเวณทิศเหนือของกรุงเทพฯ อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ชั้นทรายทั้งสองก็แยกออกจากกัน ชั้นทรายชั้นนี้จะพบที่ระดับความลึก 43-58 เมตร ความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 45 เมตร และอาจเปลี่ยนแปลงได้ในช่วง 43-58 เมตร ความหนาแน่นเฉลี่ยโดยประมาณ 12 เมตร อาจเปลี่ยนแปลง 4 ถึง 20 เมตร โดยปกติแล้วดินทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ dipping ที่ความหนาเท่าเทียมกัน ความลึกของปลายสุดของดินชั้นนี้ประมาณ 55 เมตร หรืออาจจะอยู่ในช่วง 51 ถึง 63 เมตร บริเวณที่ลึกที่สุดที่สำรวจพบ คือ พื้นที่ในจังหวัดนนทบุรี มีความลึกถึง 63 เมตร

เทคนิคการเจาะอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯ

สภาพพื้นที่และดินกรุงเทพฯ

สภาพกรุงเทพฯเป็นพื้นที่ราบลุ่มมีระดับต่ำใกล้น้ำทะเลชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนหนาราว 15 เมตร ปกคลุมตลอดพื้นที่ นอกจากนั้นแผ่นดินยังมีการทรุดตัวด้วยสาเหตุของการสูบน้ำบาดาล สิ่งเหล่านี้เป็นข้อจำกัดซึ่งจะต้องมีการพิจารณา ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในการพัฒนาก่อสร้างโครงการต่าง ๆ ทุกโครงการไม่เฉพาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

จะว่าไปแล้วสภาพดังกล่าว มิใช่ของแปลกที่จะมีที่กรุงเทพฯเพียงแห่งเดียวเมืองใหญ่ ๆ ของโลกซึ่งตั้งในที่ราบลุ่มแม่น้ำ หลายต่อหลายเมืองซึ่งมีการสร้างและเปิดใช้โครงข่ายรถไฟฟ้าใต้ดิน ก็มีข้อจำกัดเหมือน ๆ กันกับกรุงเทพฯ ตัวอย่างเช่น

- เมืองที่ประสบปัญหาแผ่นดินทรุด - โตเกียว, โอซาก้า, ไทเป, เซี่ยงไฮ้, เมืองเม็กซิโกซิตี ฯลฯ การทรุดตัวในเมืองเหล่านี้เคยเกิดขึ้นรุนแรงกว่ากรุงเทพฯทั้งนั้น ตามลักษณะโครงสร้างแล้ว

อุโมงค์ซึ่งทอดตัวยาวในระดับเดียวกันจะปลอดภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากชั้นดินยุบตัว แรงจากการโค้งมีค่าเหมือนกับท่อประปาตกท้องช้าง

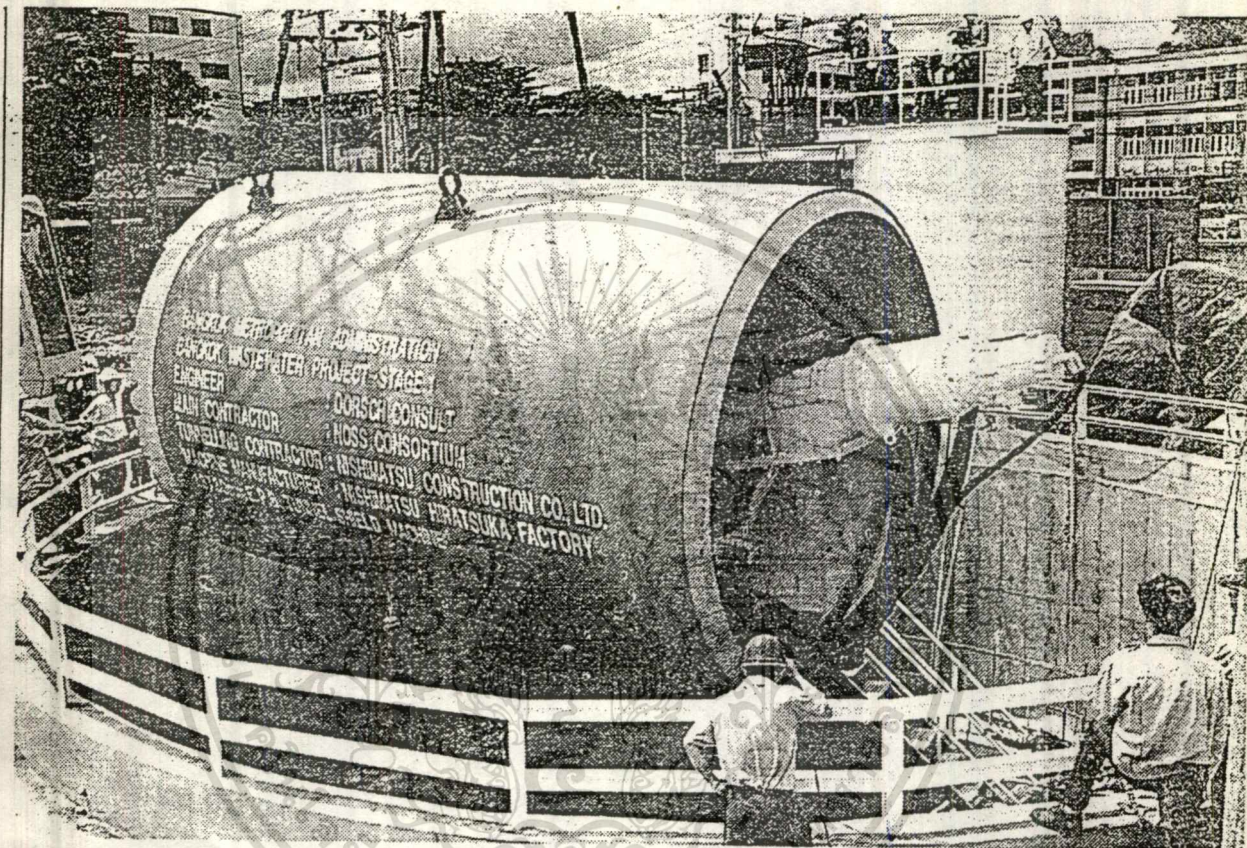
- เมืองที่มีชั้นดินอ่อน - สิงคโปร์, ไทเป, โตเกียว, เซี่ยงไฮ้, กัลกัตตา, เม็กซิโกซิตี, ซานฟรานซิสโก (บริเวณอ่าว) ฯลฯ

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่เลื่องชื่อว่าสร้างปัญหามากมายในการก่อสร้างจนถึงบางคนกล่าวว่าเป็นดินปราบเซียนนั้น ความจริงไม่ได้ต่างไปจากดินเหนียวที่อื่นในโลกเลย ว่าไปแล้วยังมีสภาพดีกว่าดินอ่อนในหลายเมืองที่กล่าวข้างต้นเสียอีก เช่น เม็กซิโกซิตี และซานฟรานซิสโก ที่ดินอ่อนมาก ๆ จริงอยู่ดินมีกำลังต้านและยุบตัวได้มาก แต่ถ้าเข้าใจในพฤติกรรมแล้ววิศวกรก็สามารถออกแบบและเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม สามารถดำเนินการก่อสร้างได้โดยไม่มีปัญหา ดังในหลายต่อหลายโครงการ แต่ที่มีปัญหาอยู่บ่อย ๆ เกิดจาก ผู้ซึ่งมีคุ้นเคย และขาดประสบการณ์กับดินอ่อนคิดว่าเป็นเรื่องง่ายไม่ต่างจากการออกแบบโครงสร้างอาคารที่คุ้นเคยกัน จึงดำเนินการออกแบบและก่อสร้างเองโดยมีรู้อจริง จึงเกิดปัญหาขึ้น ทัศนคติที่ผิดนี้ จะต้องมีการแก้ไขให้ถูกต้อง ปัญหาจึงจะลดลง

ประวัติการก่อสร้างอุโมงค์ในกรุงเทพฯ

ความจริงการก่อสร้างอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯมิใช่สิ่งแปลกใหม่เลย เราได้เริ่มทำมานานแล้วนานกว่า 20 ปี ปัจจุบันนี้มีเครือข่ายอุโมงค์วิ่งอยู่ใต้ดินกรุงเทพฯเกือบ 40 กิโลเมตร และกำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่เกือบ 20 กิโลเมตร อุโมงค์ส่วนใหญ่ส่งน้ำของการประปานครหลวง ขนาดตั้งแต่ 2.0 ม. ถึง 3.4 เมตร และอุโมงค์ระบายน้ำของ กทม. ขนาด 3.3 เมตร อุโมงค์เหล่านี้ขนาดเล็กกว่าอุโมงค์ของรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งต้องกว้างอย่างน้อย 6 เมตร สำหรับอุโมงค์รูวงเดี่ยว และ 10 เมตร สำหรับอุโมงค์เดี่ยวรางคู่ จริงอยู่ที่ตามหลักการเจาะอุโมงค์ อุโมงค์ขนาดใหญ่จะมีความยุ่งยากและเสี่ยงกว่าอุโมงค์ขนาดเล็ก แต่จากประสบการณ์ที่ผ่านมาชี้ว่าการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพฯสามารถทำได้แน่นอน อุโมงค์ที่มีในกรุงเทพฯในปัจจุบันมีทั้งที่อยู่ระดับดินในดินเหนียวอ่อนใช้วิธีการก่อสร้างแบบ Cut-and-Cover และใช้ Shield แบบเปิดหน้าและในชั้นทรายที่ใช้ทั้ง Shield ปิดหน้าและอากาศอัดช่วยหรือ Slurry Shield ในบริเวณที่มีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินมาก ๆ การก่อสร้างอุโมงค์ของการประปานครหลวงใต้ดินเหนียวอ่อนด้วยวิธี Cut-and-Cover มีปัญหาเรื่องพื้นที่ข้างเคียงทรุดตัวอย่างหนัก ถนนเสียหาย อาคารแตกร้าว

อุโมงค์ดังกล่าวนี้ใช้งานมานาน โดยมีประสบปัญหาเนื่องจากแผ่นดินทรุดตัวอย่างที่กลัวและเข้าใจผิดกัน การรั่วซึมของอุโมงค์ประปามีในช่วงแรก ๆ เท่านั้น และหลายคนยังหลงเข้าใจผิดว่าเกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



One of the giant tunnel boring machines employed by NOSS Consortium is lowered down the five-storey Mitmaitree Road site prior to the commencement of tunneling operations which is part of the BMA's Bangkok Waste Water Project, Stage 1.

หัวเจาะอุโมงค์ระบายน้ำในกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shield เจาะสำเร็จด้วยดี แต่โดยเหตุที่ความดันน้ำใต้ดินในชั้นทรายดังกล่าวมีสภาพลดลงมาก จากผลของการสูบน้ำบาดาล ไม่เท่ากับระดับ Hydrostatic จากผิวดิน ดังนั้นการเจาะอุโมงค์อาจไม่จำเป็นต้องใช้ Slurry Shield เพียงใช้ Shield หน้าปิดธรรมดาและใช้ Compressed Air ช่วยดันประสพการณ์มากมายในต่างประเทศ

การที่ตามแนวเส้นทางอุโมงค์รถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ จะอยู่ใต้ถนนเคยเป็นส่วนใหญ่ สภาพใต้พื้นดินจะมีท่อต่าง ๆ ฝังอยู่รวมทั้งจะมีเสาเข็มฐานรากอาคารตลอดสองข้างเส้นทาง สิ่งดังกล่าวมิใช่อุปสรรคที่จะเป็นข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถเจาะอุโมงค์ได้ มีวิธีการมากมายซึ่งสามารถนำมาใช้ ป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องวางอุโมงค์ให้ลึกมาก ๆ หรือห่างมาก ๆ จากโครงสร้างเหล่านั้นหรือต้องเวนคืนที่ดินเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังที่เข้าใจผิดกัน แนวอุโมงค์สามารถวางปรับเปลี่ยนตำแหน่งให้เหมาะสมกับพื้นที่วางใต้ดินที่มีอยู่โดยอุโมงค์อยู่ข้างซ้อนกัน เชียงต่างระดับกันก็ได้ สิ่งนี้คือข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ใต้ดิน

ปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดินกรุงเทพฯ จากการสูบน้ำบาดาลมิใช่ข้อจำกัด ประสพการณ์การใช้อุโมงค์ประปาในกรุงเทพฯ ตลอดจนอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในเมืองอื่น ๆ ทั่วโลกที่มีสภาพแผ่นดินทรุดตัวเหมือนกับกรุงเทพฯ เป็นเครื่องมือชั้นยอดอย่างดี เมืองใหญ่ ๆ ในโลกที่มีปัญหาการทรุดตัวจากการทรุดตัวจากการสูบน้ำบาดาล แต่ก่อสร้างและใช้รถไฟฟ้าใต้ดินกันได้โดยไม่มีปัญหา ได้แก่ เม็กซิโกซิตี, โตเกียว, โอซากา, ไทเป, และเซี่ยงไฮ้ เป็นต้น

ในเรื่องปัญหาน้ำท่วม จริงอยู่ที่กรุงเทพฯ เป็นพื้นที่ต่ำ และต้องประสบปัญหาน้ำท่วมอยู่เรื่อย แต่ปัญหาน้ำท่วมก็มิใช่ข้อจำกัดที่จะอ้างว่ารถไฟฟ้าใต้ดินนั้นทำไม่ได้ ความจริงแล้วเมืองใหญ่ ๆ โดยอาจใช้วิธีหลายเมืองในโลกที่มีรถไฟฟ้าใต้ดินกัน เขาก็มีปัญหาน้ำท่วม การป้องกันน้ำท่วมอุโมงค์ใต้ดินนั้นต้องมีทุกที่ยกคันรอบทางลงให้สูงพอ การคิดตั้งระบบสูบน้ำอัตโนมัติหรือแม้กระทั่งประตูปิดกั้นอัตโนมัติ อาคารใหญ่ก็มีห้องใต้ดินลึก ๆ กันเกือบทุกแห่ง ถ้ากลัวปัญหาน้ำท่วมห้องใต้ดินเหล่านี้ก็ก่อสร้างไม่ได้

สำหรับเรื่องแผ่นดินไหว ต้องทำความเข้าใจว่ากรุงเทพฯ มิได้อยู่ในเขตที่มีอันตรายจากแผ่นดินไหว แรงสั่นสะเทือนสูงสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้น มิว่าจะมีผลต่ออุโมงค์ใต้ดินในกรุงเทพฯ เลย ความจริงแล้วอุโมงค์ใต้ดินมีความมั่นคงในการต้านทานแผ่นดินไหวมากกว่าโครงสร้างอาคารบนผิวดินมาก เพราะอุโมงค์จะสั้นและหุคอย่างรวดเร็วตามการสั่นของดินที่โอบรอบ ประสพการณ์ในต่างประเทศเมื่อไม่นานมานี้ทั้งที่ซานฟรานซิสโก, เม็กซิโกซิตี, ลอสแอนเจลิส ฯลฯ เป็นที่ยืนยันข้อเท็จจริงดังกล่าวที่ดี เพราะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเกือบไม่เสียหายอะไร ขณะที่โครงสร้างบนดินพังเสียหายมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างสถานีรถไฟใต้ดินในกรุงเทพฯคงจะต้องใช้วิธี Cut and Cover และตามรูปการแล้วส่วนใหญ่คงจะต้องใช้พื้นที่ถนนเป็นพื้นที่ก่อสร้างเพราะการหาพื้นที่ข้างถนนเพื่อมาทำสถานีซึ่งจะต้องมีขนาดกว้างค่อนข้างมากเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสภาพการจราจรในบริเวณพื้นที่ส่วนในกรุงเทพฯคงจะค่อนข้างลำบาก การเวนคืนที่ดินต้องใช้เงินมหาศาล การเจรจาขอใช้พื้นที่ร่วมกับเจ้าของที่ดินก็มีน้ำหนักที่ง่ายนักเพราะปัญหาทางด้านกฎหมายที่ยังไม่ออกมารับรอง กฎระเบียบต่าง ๆ รวมทั้งนโยบายของรัฐที่ผ่านมามีความไม่แน่นอน ดังนั้นสภาพซึ่งคาดเดาเอาได้ตอนนี้คือ การก่อสร้างสถานี โดยเฉพาะเมื่อเริ่มสร้างจะกระทบกระเทือนสภาพจราจรชั่วคราวเหนือบริเวณก่อสร้างแล้วเสร็จ คินผิวจราจรบางส่วนให้ถนนแล้วผลกระทบก็จะเบาบางลงได้บ้าง ถึงอย่างไรก็ตามผลกระทบจะยังคงมีตลอดระยะเวลาก่อสร้างสถานีแล้วเสร็จ ซึ่งอาจกินเวลาถึง 3 ปี นอกเสียจากว่าผู้รับเหมาโครงการสามารถเจรจาเช่าพื้นที่ข้างเคียงขุดเปิดเป็นจุดเข้าออกในระหว่างการก่อสร้างสิ่งดังกล่าวจำเป็นจะต้องทำความเข้าใจกับประชาชนทั่วไปให้ทราบ เพื่อมิให้เกิดความสับสนในภายหลัง

งานก่อสร้างอุโมงค์และสถานีรถไฟใต้ดินก็เหมือนกับงานก่อสร้างอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับดินจำเป็นจะต้องมีการสำรวจตรวจสอบสภาพและคุณสมบัติของดินและน้ำใต้ดิน ตลอดจนสภาพสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงที่อาจถูกผลกระทบอย่างละเอียดเสียก่อน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นง่าย ในกรณีข้อมูลไม่เพียงพอ ดินไม่เหมือนกับวัสดุอื่นเพราะอาจมีสภาพและคุณสมบัติแปรปรวนได้มาก และคาดเดายาก พฤติกรรมยังขึ้นกับวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้อีกด้วย ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ระยะเวลาในการสำรวจและรวบรวมข้อมูลให้เพียงพอระยะหนึ่ง (อย่างน้อย 6 เดือน) ผู้ออกแบบและก่อสร้างต้องมีความรู้ ความชำนาญด้านนี้ดีพอ

ตามหลักปฏิบัติในต่างประเทศการก่อสร้าง โครงการรถไฟใต้ดินมักจะไม่ใช่ผู้รับเหมารายเดียวทำตลอดเส้นทางยาวเป็นสิบ ๆ กิโลเมตร ดังเช่นที่กำลังทำอยู่ในโครงการใหญ่ ๆ ในกรุงเทพฯขณะนี้ เพราะโอกาสที่โครงการจะมีปัญหาล่าช้านั้นมีสูง การบริหารและควบคุมการก่อสร้างเป็นไปได้ยากที่ปฏิบัติกันคือจะแบ่งโครงการเป็นสัญญาย่อย ๆ เช่น สัญญาหนึ่ง ๆ ประกอบด้วยสถานีแต่ละแห่งหรือเส้นทางอุโมงค์เฉพาะระหว่างสถานีติดกันเท่านั้น ดังตัวอย่างที่ทำกันในสิงคโปร์ซึ่งในโครงการระยะแรกมีทั้งหมดเกือบ 40 สัญญา

สิ่งหนึ่งซึ่งจำเป็นที่รัฐบาลต้องรีบดำเนินการ เพื่อให้การออกแบบและการก่อสร้างอุโมงค์ ตามแผนแม่บท ซึ่งกำหนดจะเริ่มในเร็ว ๆ นี้เป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพราบรื่นปราศจากปัญหาต่าง ๆ คือ การออกกฎหมายต่าง ๆ รองรับเกี่ยวกับสิทธิการใช้พื้นที่ใต้ดิน ความชัดเจน และค่าชดเชยจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบจากการก่อสร้างต่อสิ่งปลูกสร้าง หรือผู้อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง ถ้ามีมีกฎหมายรองรับแล้ว การก่อสร้างอาจดำเนินไปอย่างเดิน ๆ หยุด ๆ ทำให้โครงการล่าช้าสร้างผลเสียมหาศาล

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพฯ นั้น ทางด้านเทคนิคแล้วสามารถทำได้ และอุโมงค์จะปลอดภัยตลอดเวลาใช้งาน ถ้ามีการวางแผนและบริหารที่ดีพอ แต่ขอให้ตระหนักว่างานก่อสร้างอุโมงค์มีลักษณะเฉพาะตัว ไม่เหมือนกับงานก่อสร้างอย่างอื่น มีความยากและเสี่ยงมากกว่าการก่อสร้างต้องอาศัยเทคโนโลยีซึ่งยังแปลกใหม่สำหรับวิศวกรไทยส่วนมาก และจำเป็นต้องมีการสำรวจหาข้อมูลเพื่อออกแบบอย่างละเอียดครบถ้วน ต้องเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม และมีการควบคุมการก่อสร้าง และตรวจวัดพฤติกรรมของดินรอบอุโมงค์อย่างรัดกุมในระหว่างการก่อสร้าง วิศวกรที่เกี่ยวข้องทั้งฝ่ายผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงานและผู้รับเหมา ต้องมีประสบการณ์งานอุโมงค์ สิ่งเหล่านี้มีความจำเป็นเพื่อที่จะให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี มีปัญหาน้อยที่สุด

เส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร

หลักเกณฑ์ในการกำหนดโครงข่ายเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานคร

การนำระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ (รถไฟฟ้าใต้ดิน) มาใช้ในกรุงเทพมหานคร จำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากเป็นโครงการซึ่งใช้งบประมาณในการลงทุนสูงมาก แม้ว่าจะเป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพในการขนส่งประชากรได้เป็นจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะแวดล้อมในเมือง แต่ความเป็นไปได้ในการลงทุนทางเศรษฐกิจก็เป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดโครงข่ายเส้นทาง โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้คือ

1. นโยบายการใช้ที่ดินของกรุงเทพมหานครซึ่งจะกำหนดทิศทางการพัฒนาเมืองไว้ในผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร
2. ระบบการสัญจรภายในศูนย์กลางเมือง และการเชื่อมโยงที่เหมาะสมระหว่างแหล่งงานกับที่อยู่อาศัย (JOB-HOUSINGBALANCE) ย่านชุมชนสำคัญ ๆ และโครงการของรัฐ เช่น สนามบินหนองงูเห่า
3. การประสานเชื่อมโยงกับโครงข่ายของระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่โครงการอื่นที่ได้รับสัมปทานแล้ว

ได้แก่ โครงการทางรถไฟและถนนยกระดับในเขตกรุงเทพมหานคร (BTS) รวมทั้งการประสานกับระบบคมนาคมขนส่งอื่น ๆ เช่น ระบบทางด่วนโครงข่ายของถนนสายหลักและถนนสายรอง รวมทั้งการคมนาคมขนส่งทางน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความเหมาะสมในการช่วยแก้ไขปัญหาคาการจราจร ในถนนที่มีปริมาณการเดินทางสูง

5. ความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และหลีกเลี่ยงปัญหาการเวนคืนที่ดินให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การวางโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานครได้พยายามวางโครงข่ายในส่วนของตัวเมืองที่มีความจำเป็นและโครงข่ายอื่นยังครอบคลุมไม่ถึงด้วยการกำหนดเป็นระบบวงแหวน (LOOP) และรัศมี (RADIUS) ทิศทางเข้าออกตัวเมืองซึ่งสามารถขึ้นลงเปลี่ยนเส้นทางได้สะดวกทุกเส้นทาง ดังนี้

1. ทิศทางด้านทิศใต้จากถนนสุขสวัสดิ์ และถนนพระรามที่ 2
2. ทิศทางที่มาจากถนนเพชรเกษม (จากจังหวัดนครปฐม)
3. ทิศทางที่มาจากถนนบรมราชชนนี (จากพุทธมณฑล)
4. ทิศทางด้านเหนือ จากจังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี ทางด้านถนนติวานนท์ และถนนกรุงเทพ-นนทบุรี
5. ทิศทางจากถนนพหลโยธิน (รังสิต)
6. ทิศทางที่มาจากบางกะปิ บริเวณแยกลำสาตี
7. ทิศทางด้านทิศตะวันออกที่จะไปถนนชลบุรีสายใหม่ และสนามบินหนองงูเห่า
8. ทิศทางจากถนนบางนา-ตราด

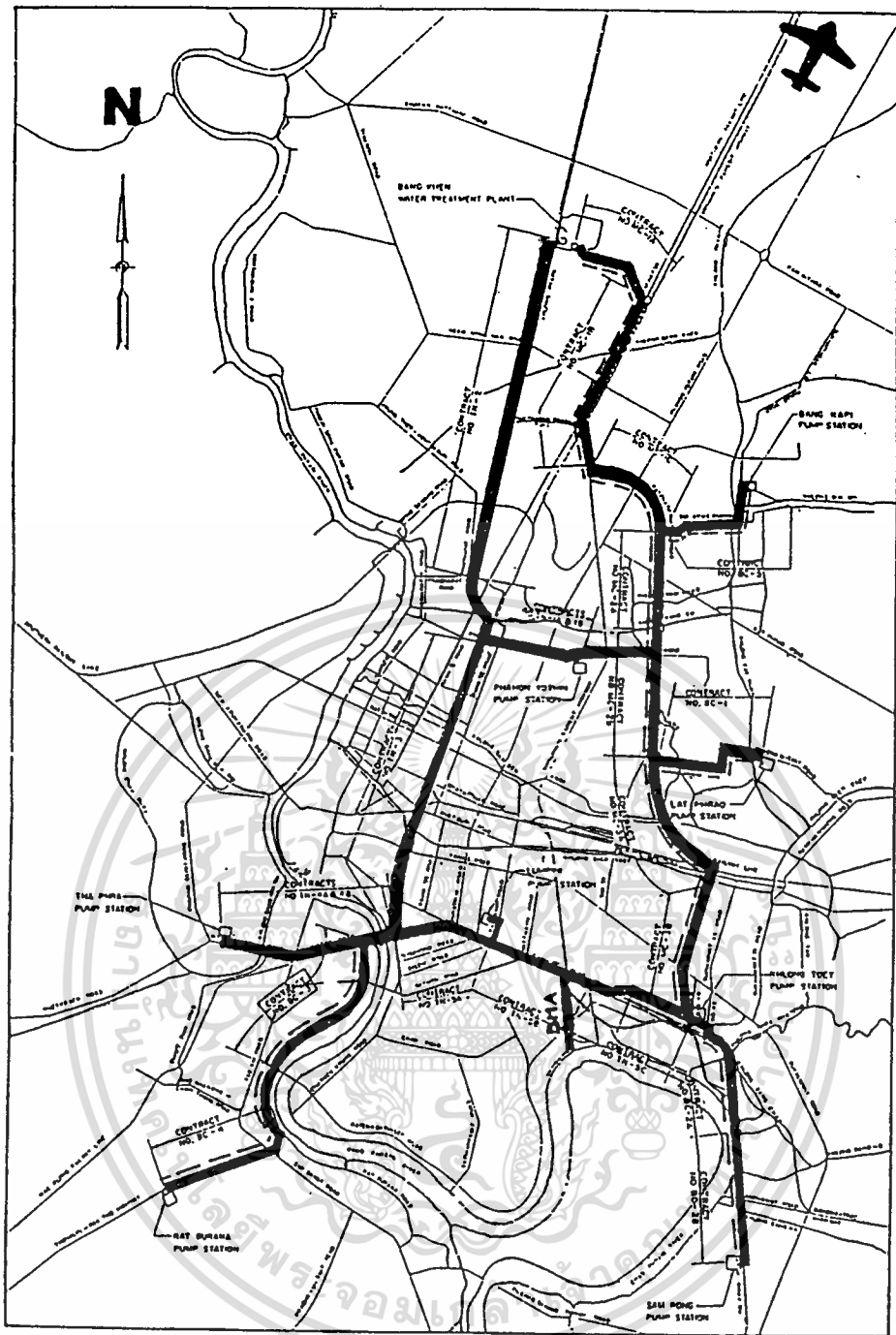
ระบบโครงข่ายที่เป็นวงแหวนและรัศมีนี้จะผ่านเข้ามาโดยเชื่อมโยงกันทั่วทั้งพื้นที่ รวมทั้งเชื่อมโยงกับโครงข่ายระบบขนส่งมวลชนโครงการอื่น และเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพในการช่วยพัฒนากรุงเทพมหานครจากศูนย์กลางเดียว (MONOCENTRIC) ให้เป็นหลายศูนย์กลาง (POLYCENTRIC) ได้ในอนาคตตามนโยบายของคณะผู้บริหารกรุงเทพมหานคร

แนวเส้นทางที่เสนอแนะ

โครงข่ายของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะประกอบด้วยวงแหวนเพื่อการสัญจรภายในศูนย์กลางเมือง และเส้นรัศมีเพื่อการสัญจรระหว่างชานเมือง และศูนย์กลางเมือง

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น ได้กำหนดเป็นเส้นทางรถไฟฟ้าใต้ดิน 4 เส้นทางรวมระยะทางทั้งสิ้น 76.56 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— BORED TUNNEL

- - - CUT-COVER TUNNEL

TUNNELS IN BANGKOK DIAMETER MORE THAN 2 M.

เครือข่ายอุโมงค์ในกรุงเทพในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สายนนทบุรี-บางนา

เริ่มต้นจากสามแยกถนนนนทบุรี (แยกถนนกรุงเทพ-นนทบุรี ตัดกับถนนติวานนท์) มาตามแนวถนนกรุงเทพ-นนทบุรี ถนนประชากรราษฎร์ สาย 2 ผ่านที่คืนของการรถไฟฯ บริเวณสวนจตุจักรมาตามถนนพหลโยธินผ่านกรมการขนส่งทางบกมาตามแนวถนนวิภาวดี-รังสิต ถึงสามเหลี่ยมดินแดง ผ่านแนวทางด่วนเฉลิมมหานครเข้าตัวถนนวิฑูย (ลอคถนนเพชรบุรีตัดใหม่) ถนนพระรามที่ 4 ถนนสุขุมวิทไปสิ้นสุดที่แยกถนนบางนา-ตราด

2. สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

เริ่มต้นจากแยกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาตามแนวถนนพหลโยธินถึงแยกลาดพร้าว แล้วเลี้ยวเข้าถนนวิภาวดี-รังสิตตามเส้นทางสายนนทบุรี-บางนา จนถึงแยกพระรามที่ 4 แยกไปตามแนวถนนสาธิตลอดแม่น้ำเจ้าพระยาไปฝั่งธนบุรีตามแนวสะพานตากสิน ถนนกรุงธนบุรี เลี้ยวเข้าถนนตากสินสิ้นสุดที่วงเวียนใหญ่ เที้ยวกลับจากวงเวียนใหญ่ไปตามแนวถนนอินทรพิทักษ์ เลี้ยวเข้าถนนเพชรเกษมถึงแยกท่าพระเลี้ยวเข้าถนนรัชดาภิเษกวนกลับขึ้นตามแนวถนนตากสินข้ามสะพานตากสินกลับไปตามเส้นทางเดิม

3. สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

เริ่มต้นจากสถานีขนส่งสายใต้มาตามแนวถนนบรมราชชนนีลอดแม่น้ำเจ้าพระยาตามแนวสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้ามาตามแนวถนนราชดำเนินกลาง ถนนหลานหลวง ถนนพระราม 6 ถนนราชวิถี อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถนนดินแดง ถนนอโศกดินแดง ถนนพระรามที่ 9 ถนนรามคำแหง ไปสิ้นสุดที่แยกบางกะปิ

4. สายขนส่งสายใต้-สาทร

เริ่มจากสถานีขนส่งสายใต้ทับเส้นทางสถานีขนส่งสายใต้-บางกะปิ แยกออกที่สะพานพระปิ่นเกล้ามาตามแนวถนนราชีนี ถนนเจริญกรุง จนถึงสถานีรถไฟหัวลำโพง เลี้ยวเข้าถนนมหาพฤฒาราม มาตามถนนเจริญกรุงสิ้นสุดที่แยกถนนสาทร

สำหรับเส้นทางวงแหวนภายในใจกลางเมืองได้ใช้บางส่วนของเส้นทางทั้งสี่ข้างต้น ซึ่งเชื่อมโยงกันในศูนย์กลางเมือง เพื่อให้บริการแก่ผู้ที่ต้องการเดินทางติดต่อภายในเมือง โดยมีเส้นทางเริ่มต้นตั้งแต่เชิงสะพานพระปิ่นเกล้าฝั่งพระนครไปตามถนนราชดำเนินกลาง ถนนหลานหลวง ผ่านถนนอุรุพงษ์ ถนนพระรามที่ 6 ถนนราชวิถี ผ่านอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ถนนดินแดง ทางด่วนเฉลิมมหานคร ตัดเข้าถนนวิฑูย ถนนสาทร ถนนเจริญกรุง ถนนราชีนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางที่เสนอแนะเหล่านี้สามารถขยายต่อไปได้ในอนาคต ดังนี้

1. สายนนทบุรี-บางนา

จากสามแยกถนนนนทบุรีไปตามแนวถนนติวานนท์ ถึงห้าแยกปากเกร็ด

จากบางนาไปตามแนวถนนบางนาตราด ถึงเมืองใหม่บางพลี และสนามบินหนองงูเห่า

2. สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ไปตามถนนพหลโยธินถึงคอนเมือง

จากสี่แยกท่าพระไปตามแนวถนนเพชรเกษมถึงบางแค

จากบुकคโลไปตามแนวถนนสุขสวัสดิ์ถึงถนนพระรามที่ 2

3. สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

จากขนส่งสายใต้ไปพุทธมณฑล

จากบางกะปิไปตามแนวถนนสุขาภิบาล 3 ถึงมีนบุรี

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร

สิ่งสำคัญที่เป็นตัวกำหนดขนาดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน คือ ความยาวของขบวนรถ และสิ่งที่เป็นตัวกำหนดความยาวของขบวนรถคือ จิตความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารที่ต้องการสำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินของกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดตัวเลขจิตความสามารถของการขนส่งผู้โดยสารไว้ไม่ต่ำกว่า 40,000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง จากตัวเลขดังกล่าว หากกำหนดให้ความถี่สูงสุดของขบวนรถเท่ากันทุก ๆ 2 นาที หรือชั่วโมงละ 30 ขบวนรถ 1 ขบวน ประกอบด้วยผู้โดยสารขนาด ความจุ 250 คน จำนวน 6 ตู้ จะสามารถขนคนได้สูงสุด 45,000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง ซึ่งนี่จะเป็นขนาดของขบวนรถที่เหมาะสมสำหรับจิตความสามารถที่กำหนดไว้ ดังนั้นขบวนรถจะมีความยาวสูงสุด ประมาณ 120-132 เมตร ซึ่งต้องการสถานียาวประมาณ 150 เมตร

สำหรับความกว้างของตัวสถานีขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องทางวิ่งและการวางขานขาลา ขนาดของขานขาลาจะกว้างประมาณ 5 เมตรต่อการรับรถ 1 ขบวน ดังนั้น ความกว้างของสถานีอาจมีขนาดแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการจัดการทางวิ่งและขานขาลา ดังนี้

- ทางวิ่งเดี่ยวขานขาลาด้านเดียวความกว้างช่องทางวิ่งประมาณ 5.5 เมตร ความกว้างขานขาลา 5.0 เมตร รวมความกว้างสถานีประมาณ 10.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทางวิ่งคู่ ขานชาลาขนาด 2 ด้าน ความกว้างช่องทางวิ่งประมาณ 8.5 เมตร ความกว้างขานชาลาแต่ละ 5.0 เมตร รวมความกว้างสถานีประมาณ 18.5 เมตร

- ทางวิ่งคู่ ขานชาลาวางกลางระหว่างทางวิ่ง ความกว้างช่องทางวิ่งด้านละประมาณ 5.5 เมตร ความกว้างขานชาลา 10.0 เมตร รวมความกว้างสถานี 21.0 เมตร

รายชื่อสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร

สายนนทบุรี-บางนา (1) นนทบุรี (2) วัดทางหลวง (3) วงศ์สว่าง (4) วัดเชิงหวาย (5) เคาปูน (6) บางซื่อ (7) จตุจักร (8) โชคชัยร่วมมิตร (9) สุทธิสาร (10) วิฑูประชาสัมพันธ์ (11) กทม.2 (12) ดินแดง (13) มักกะสัน (14) เพชรบุรี (15) เพลินจิต (16) สารสิน (17) สวนลุมพินี (18) บ่อนไก่ (19) ศูนย์สิริกิติ์ (20) เกษมราษฎร์ (21) เทพารินทร์ (22) กล้วยน้ำไท (23) พระโขนง (24) อ่อนนุช (25) บางจาก (26) อนุวิที (27) อุดมสุข (28) บางนา

สายเกษตร-วงเวียนใหญ่-ท่าพระ

(1) แยกเกษตร (2) เสนานิคม (3) รัชโยธิน (4) แคนเนรมิต (5) ทอวัง (6) หมอชิต (7) โชคชัยร่วมมิตร (8) สุทธิสาร (9) วิฑูประชาสัมพันธ์ (10) กทม.2 (11) ดินแดง (12) มักกะสัน (13) เพชรบุรี (14) เพลินจิต (15) สารสิน (16) สวนลุมพินี (17) สวนพลู (18) โรงพยาบาลบางรัก (19) เซ็นทลูสต์ (20) บางรัก (21) สาทร (22) กรุงธน (23) ตากสิน (24) นุคคโต (25) บางสะพาน (26) ตลาดพลู (27) ท่าพระ (28) วงเวียนใหญ่

สายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

(1) ขนส่งสายใต้ (2) วัดบางบำหรุ (3) ปิ่นเกล้า (4) อมรินทร์ (5) สนามหลวง (6) ผ่านฟ้า (7) หลานหลวง (8) ยมราช (9) งามวิบูลย์ (10) ราชวิถี (11) อนุสาวรีย์ (12) ดินแดง (13) ประชาสงเคราะห์ (14) รัชดินแดง (15) อ.ส.ม.ท. (16) คลองจวนใหญ่ (17) ศูนย์วิจัย (18) คลองลาดพร้าว (19) นครศรี (20) เสรี (21) रामคำแหง (22) หัวหมาก (23) คลองจิก (24) ท่าเสา

สายขนส่งสายใต้-สาทร

(1) ขนส่งสายใต้ (2) วัดบางบำหรุ (3) ปิ่นเกล้า (4) อมรินทร์ (5) สนามหลวง (6) ทรายรมย์ (7) เกลิมกรุง (8) วัดมังกรกมลาวาส (9) หัวลำโพง (10) สีพระยา (11) บางรัก

โรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน

พื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อพิจารณาใช้สร้างสถานี โรงซ่อม-เก็บรถไฟฟ้าใต้ดิน และอยู่ในหลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1. เส้นทางเกษตร-บุคคลโล-ท่าพระ

ในตอนปลายของเส้นทางจะมีพื้นที่ที่สามารถดำเนินการได้เพียงบริเวณเดียว ได้แก่ บริเวณย่านเอกชัย จะมีพื้นที่ว่างในบริเวณด้านเหนือและด้านใต้ของถนนเอกชัย

2. เส้นทางนนทบุรี-บางนา

ในเส้นทางนี้มีพื้นที่ที่พิจารณาได้เพียงบริเวณเดียวคือบริเวณย่านบางนาจะมีพื้นที่ว่างอยู่โดยรอบปลายเส้นทาง ส่วนในบริเวณย่านนนทบุรี พื้นที่ได้มีการนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่พักอาศัย ไม่มีพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ที่จะนำมาใช้ได้

3. เส้นทางสายขนส่งสายใต้-บางกะปิ

เส้นทางสายนี้เป็นเส้นทางที่มีที่ว่างขนาดใหญ่อยู่ทั้งสองด้านของตอนปลายเส้นทาง ได้แก่ ย่านบางระมาดและย่านสะพานสูง เป็นพื้นที่ที่เหมาะสม

ประมาณการงบประมาณ

การประมาณการงบประมาณในที่มีข้อจำกัดบางประการ คือ

1. ไม่รวมค่าบริหารการเงิน เช่น ค่าดอกเบี้ย ค่า commission เงินกู้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปแบบหรือวิธีการลงทุน ซึ่งล้วนแล้วแต่ผู้ลงทุนจะเสนอมา
2. ไม่รวมค่าที่ดิน สำหรับสร้างโรงเก็บและซ่อมบำรุง (Depot) ซึ่งอาจใช้ที่ดินของรัฐหรือที่สาธารณะ การเช่า ซื้อ เวนคืน หรือการใช้ประโยชน์ร่วมกันอุโมงค์บางช่วงและสถานีบางแห่งอาจต้องสร้างได้ที่ดินของเอกชน ซึ่งอาจจะต้องจ่ายเงินชดเชยบางส่วน
3. ยังไม่ได้หักลบรายได้บางอย่าง เช่น รายได้จากการพัฒนาที่ดินเหนือสถานี ค่าลงทุนโครงการข้างทั้ง 4 สาย

ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดและหลักเกณฑ์การประมาณราคาข้างต้นประกอบกับรายละเอียดของโครงการข้างประกอบด้วยอุโมงค์ใต้ดินยาว 76.1 กม. สถานีขนาดยาว 150 เมตรเฉลี่ย 1 สถานี ต่อ 1 กม. ระบบรถขบวนละ 4 ตู้ ระยะเวลาเดินรถเฉลี่ย 4 นาที ต่อ 1 ขบวน และงบฯเพื่อเหลือเพื่อขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 15 % ของค่าก่อสร้างและค่าระบบรถงบประมาณค่าลงทุนจะอยู่ในช่วง 145,000-189,000 ล้านบาท โดย

- ขั้นต่ำ 145,256.50 ล้านบาท เมื่อค่าก่อสร้าง 1,500 ล้านบาทต่อกิโลเมตร
- ขั้นสูง 189,014.00 ล้านบาท เมื่อค่าก่อสร้าง 2,000 ล้านบาทต่อกิโลเมตร

สมรรถนะในการให้บริการ

งบลงทุนดังกล่าวสามารถรองรับการเดินทางได้ไม่น้อยกว่าวันละ 2,827,200 คน (เวลาให้บริการ 05.00 น.-24.00 น.) และสามารถขยายสมรรถนะเป็น 4,240,800 คน ต่อวัน โดยเพิ่มจำนวนตู้โดยสารอีกขบวนละ 2 ตู้ เป็นขบวนละ 6 ตู้ คิดเป็นเงินเพิ่มประมาณ 6,000 ล้านบาท โดยไม่ต้องมีการก่อสร้างเพิ่มเติม นอกจากที่จอดรถ

นอกจากนั้น โครงการนี้ยังสามารถขยายสมรรถนะได้ถึง 5,654,400 คนต่อวัน โดยเพิ่มจำนวนตู้โดยสารเป็นขบวนละ 8 ตู้ และขยายความยาวสถานีเป็น 200 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถขยายขนาดของสถานีได้ อาจขยายสมรรถนะโดยการแยกทางวิ่งส่วนที่ทับซ้อนกัน ประมาณ 12 กม. ซึ่งทำให้เพิ่มความถี่ในการเดินรถเป็น 2 นาที ต่อขบวน เพิ่มสมรรถนะได้อีก 1 เท่า คือ 8,481,600 ต่อวัน คิดเป็นเงินเพิ่มประมาณ 2,400-3,000 ล้านบาท และถ้าห้ามขยายทั้งสถานีและทางวิ่ง สมรรถนะของระบบจะเพิ่มเป็นถึง 11,308,800 คนต่อวัน

ภาคผนวก ค.

โครงการรถไฟฟ้าบีทีเอส

เนื่องจากทางกรุงเทพมหานครได้พยายามที่จะแก้ไขปัญหาวิกฤตจราจร โดยได้ประกาศเชิญชวนให้เอกชนยื่นรายละเอียดข้อเสนอโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ซึ่งผลการคัดเลือกปรากฏว่า กลุ่มบริษัทรถไฟฟ้ามหานครได้รับการคัดเลือกจากคณะกรรมการ ทางกลุ่มธนายงจึงได้ก่อตั้งบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (BTSC) ขึ้น เพื่อรับสัมปทาน เมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2535 และได้ลงนามสัญญาสัมปทานกับกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 9 เมษายน 2535 และได้นำเสนอโครงการ “รถไฟฟ้าธนายง” หรือชื่อเป็นทางการว่า “รถไฟฟ้าบีทีเอส” ซึ่งมีระยะเวลาในการก่อสร้าง 3 ปี เพื่อลดปัญหาการจราจรของกรุงเทพมหานคร

เส้นทาง

สายสีลม เริ่มจากเชิงสะพานฟิงกรุงเทพฯ ผ่านทางด่วนชั้นที่สองสู่ถนนสีลม ถนนราชดำเนิน ถนนพระรามที่ 1 ผ่านกรมตำรวจสู่สยามสแควร์ สีแยกปทุมวันและสิ้นสุดที่บริเวณหน้าสนามกีฬาแห่งชาติ ระยะทางรวม 6.8 กิโลเมตร

สายสุขุมวิท เริ่มจากสุขุมวิท 77 (อ่อนนุช) ผ่านถนนสุขุมวิทและถนนเพลินจิตสู่สยามสแควร์ สีแยกปทุมวัน ถนนพญาไท อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิสู่ถนนพหลโยธินและสิ้นสุดที่หน้าตลาดหมอชิต ระยะทางรวม 16.9 กิโลเมตร

รวมจำนวนสถานีทั้งสิ้น 25 สถานี (โดยมี 1 สถานีรวมที่สยามสแควร์)

ลักษณะโครงการ

ทางวิ่ง โครงสร้างตั้งอยู่บนเสาคอนกรีตกว้าง 2 เมตร สูงประมาณ 12 เมตร โดยมีขนาดโครงสร้างยกระดับรองรับรางกว้างประมาณ 8 เมตร

สถานีรับ-ส่งผู้โดยสาร ตั้งอยู่บนเสาเคียวบนเกาะกลางถนน เช่นเดียวกับทางวิ่ง กว้างเพียง 19 เมตรหรือน้อยกว่า จึงไม่ปกคลุมพื้นที่ถนนทั้งหมด

- บันไดขึ้น-ลง มีขนาดใกล้เคียงหรือเล็กกว่าบันไดสะพานลอยคนเดินข้ามปกติ
- มีการติดตั้งบันไดเลื่อนในทางขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้โดยสาร
- จำนวนสถานีรับ-ส่ง ผู้โดยสารรวมทั้งสิ้น 25 สถานี

รถไฟฟ้าบีทีเอส

ชนิด เป็นรถไฟฟ้าปรับอากาศระบบลอยฟ้า

สมรรถนะในการขับเคลื่อน

มอเตอร์ไฟฟ้า ชนิดกระแสสลับ 16 เครื่องขนาด 2720 กิโลวัตต์

ระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนรถ

1 ขบวนประกอบด้วยรถจำนวน 3-6 ตู้

ขนาดของตัวรถแต่ละตู้

ประมาณ 3.20 X 20 เมตร และมีประตูกว้าง 1.30 เมตร

ตัวถัง

อลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือเหล็กปลอดสนิม

รายละเอียดอื่นๆ

- ความจุต่อ 1 ขบวน (6 ตู้) : 2,000 คน แต่ละตู้ติดตั้งระบบปรับอากาศ
- ประสิทธิภาพ : 50,000 คน ต่อชั่วโมงต่อทิศทาง
- ความปลอดภัย : ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมการเดินรถ และป้องกันการชน
- ความสามารถในการให้บริการ : 700,000-1,000,000 คนต่อวัน
- ความถี่ของแต่ละขบวนออกวิ่ง : ทุกๆ 2 นาที
- ระยะเวลาในการเดินทาง : จากสีลม - ตลาดหมอชิต 20 นาที
จากพระโขนง - สยามสแควร์ 17 นาที
- เวลาที่เปิดให้บริการ : ตั้งแต่ 6.00 น. ถึง 24.00 น.
- พ.ศ. 2538 : รถต้นแบบเสร็จเรียบร้อย ถึงกรุงเทพมหานคร
(ผลิตจากบริษัทซีเมนต์ เอ จี จำกัด ,สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน)
- พ.ศ. 2539 : เริ่มวิ่งทดสอบ
- พ.ศ. 2540 : เปิดให้บริการแก่ประชาชนทั่วไป

การดำเนินการก่อสร้าง

การก่อสร้างจะทำการก่อสร้างเป็นช่วงๆ ช่วงละประมาณ 200 เมตร โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 เดือน เมื่อแล้วเสร็จจะเลื่อนการก่อสร้างไปสู่ช่วงต่อไป โดยคืนสภาพผิวการจราจรเหมือนเดิม

การประกอบโครงสร้าง จะนำโครงสร้างสำเร็จรูปที่ทำสำเร็จรูปจากโรงงานมาประกอบ ติดตั้งลักษณะเกี่ยวกับการก่อสร้างสะพานลอยข้ามแยก 15 แห่งทั่วกรุงเทพฯ และทางด่วนชั้นที่

2 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างจะต้องพยายามรักษาช่องทางเดินรถให้ใกล้เคียงเดิมที่สุด ตัวอย่าง ถนนที่มี 6 ช่องทางเช่น ถนนราชดำริ ในช่วงก่อสร้างจะใช้พื้นที่บริเวณเกาะกลางถนน กว้างประมาณ 8 เมตร ซึ่งอาจส่งผลให้ช่องทางแคบลง แต่ยังคงมี 6 ช่องทางเช่นเดิม

เปรียบเทียบระบบรถไฟฟ้าใต้ดินกับระบบรถไฟฟ้ายกระดับบีทีเอส

ข้อเปรียบเทียบระบบรถไฟฟ้าใต้ดินกับระบบรถไฟฟ้ายกระดับ (BTS) สามารถแสดงได้โดยตารางข้างล่างนี้

ข้อเปรียบเทียบ	รถไฟฟ้ายกระดับ	รถไฟฟ้าใต้ดิน
1.ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	เป็นไปได้	เป็นไปได้
2.ที่ดิน	ต้องการที่ดินเพื่อการก่อสร้างทางเดินรถ, อุ้งจอรถและจุดเชื่อมระหว่างสถานีกับอาคาร	ต้องการที่ดินเพื่อการก่อสร้างรถ, โรงซ่อมและช่องทางระบายอากาศ
3.ราคาก่อสร้าง	1,080 ล้านบาท/กม.	2,920 ล้านบาท/กม.
4.ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	<ul style="list-style-type: none"> -ภูมิทัศน์ชุมชน -ความขัดแย้งกับภูมิทัศน์แวดล้อม -เสียงและการสั่นสะเทือน 	<ul style="list-style-type: none"> -กระทบน้อยมีเฉพาะบริเวณทางเข้าและช่องระบายอากาศ -
5.ผลกระทบจากการพัฒนา	ก่อให้เกิดการพัฒนาต่อเนื่อง	มีศักยภาพที่ก่อให้เกิดการพัฒนาที่ต่อเนื่องบนแนวเส้นทาง
6.การรบกวนขณะก่อสร้าง	ตลอดเส้นทาง	เฉพาะบริเวณก่อสร้างสถานีและสถานที่ก่อสร้างบางจุด

ที่มา : Tony M Ridley. Prof. Bangkok Advice on Rationalisation of Rapid Transit Systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหมาะสมทางด้านเทคนิคของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน

ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินโดยทั่วไปมีข้อดีคือ

- ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ทัศนียภาพ เสียง มลพิษ ที่ระดับดิน
- ไม่ใช่พื้นผิวการจราจรบนถนน
- มีผลกระทบต่อจราจรระหว่างก่อสร้างเพียงเล็กน้อย
- สามารถให้บริการแก่ผู้โดยสารได้มากและรวดเร็ว
- สามารถขยายโครงข่ายได้ง่าย

ปัจจุบันนี้การก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในกรุงเทพฯ ไม่มีปัญหา เพราะเทคนิคในการขุดเจาะอุโมงค์มีความก้าวหน้า และสามารถขุดเจาะได้ในดินแทบทุกชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในการขุดเจาะอุโมงค์สามารถลดการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากการขุดได้ และสามารถขุดดินเพื่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว

ความเหมาะสมด้านการลงทุน

จากผลการศึกษาในโครงการ BARRTS ซึ่งจัดทำโดยสำนักงานคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติพบว่างบประมาณการก่อสร้างด้านโยธา เช่น การขุดอุโมงค์สร้างสถานีของรถไฟฟ้าใต้ดินแพงกว่าบนดิน 2.7 เท่า ในขณะที่มีการลงทุนเวนคืนที่เป็นสถานีซ่อมบำรุง ฉะนั้นการลงทุนระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะสูงกว่ารถไฟฟ้ายกระดับไม่ถึง 2.7 เท่า

ภาคผนวก ง.

การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการขุดเจาะอุโมงค์

การเจาะอุโมงค์ก็เหมือนการอุตสาหกรรมด้านอื่น ๆ ที่มีระบบอิเล็กทรอนิกส์กับระบบเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าไปเกี่ยวข้องในการควบคุมด้วย โดยอุปกรณ์ดังกล่าวเหล่านี้จะเป็นผู้แนะนำการทำงานให้กับเครื่องจักรทำหน้าที่ตรวจสอบ ตรวจสอบอุปกรณ์ทางธรณีเทคนิคด้วยคลื่นระยะไกล ออกแบบการเจาะและฉายภาพสภาพดินในอุโมงค์หมึเยือกแข็งออกมาให้เห็น คอมพิวเตอร์ทำให้การเจาะอุโมงค์ก้าวหน้าขึ้น

ระบบนำเครื่องเจาะอุโมงค์ดังกล่าวมาแล้วนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก นับตั้งแต่ระบบแสงเลเซอร์ ระบบทรานสดิวเซอร์และระบบอินทิเนชันอื่นๆ ปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทอย่างสำคัญพร้อมกับระบบอัตโนมัติอื่นๆที่ประกอบด้วยระบบการควบคุมระยะไกลจากพื้นดิน ระบบต่างๆ ดังกล่าวพัฒนามาสำหรับเป็นเครื่องชี้นำการสร้างควมโค้ง และสำหรับระบบรับคลื่นที่หัวเจาะเพื่อสร้างลักษณะเปรียบเทียบส่วนลัดที่เจาะกับหน้าเจาะในแบบที่ออกไว้

ตัวอย่างของเครื่องเจาะอุโมงค์ที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์และควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ก็มีเครื่องแบบ Zedminer ของบริษัท ZED instrument ซึ่งมีแบบผสมผสานอยู่กับเครื่องเจาะแบบ Dosco Mkill roadhead ของบริษัท Westfalia Lunen ระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ดังกล่าวเหล่านี้จะช่วยให้หัวเจาะทำหน้าที่ของมันอย่างถูกต้อง เพียงกดปุ่มและระบบคอมพิวเตอร์ดังกล่าวจะช่วยให้หัวเจาะทำหน้าที่ของมันอย่างถูกต้อง เพียงกดปุ่มควบคุมเท่านั้น การควบคุมด้วยระบบนี้ทำได้แม้ในขณะที่เครื่องเจาะกำลังเคลื่อนที่ในงานอยู่โดยที่ผู้ควบคุมไม่ต้องมองหน้าเจาะเลยเครื่องนำทางอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นผู้แก้ทิศทางที่ขยับเยียงไปให้เข้าแนวทางที่ถูกต้องเสมอและเป็นไปก่อนที่ผู้ควบคุมจะสังเกตเห็นก่อนด้วยซ้ำด้วยระบบดังกล่าวเหล่านี้จะทำให้เครื่องเจาะไม่มีการเจาะเกินกว่าแบบที่กำหนดไว้เลยและจะป้องกันความยุ่งยากที่จะเกิดขึ้นพร้อมกันนั้นก็ช่วยให้เครื่องเจาะดังกล่าวอยู่บนแนวทางของมันอยู่เสมอด้วยแม้ว่าระบบดังกล่าวจะต้องมีรายจ่ายสูงเพราะราคาแพง แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันว่ามันจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านอื่น ๆ เช่นค่าซ่อมบำรุงและส่วนที่จะต้องเสียไปอันเนื่องมาจากต้องหยุดงานและความบกพร่อง การเคลื่อนไหวของเครื่องจะไม่มีส่วนใดต้องเสียไปโดยเปล่าประโยชน์และลดจำนวนคนทำงานลงได้ส่วนหนึ่ง

เครื่องเจาะที่ใช้ระบบควบคุมระยะไกลอย่างเต็มอัตราเลย (Full remote control) ก็ได้แก่เครื่องเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กที่คนเข้าไปไม่ได้ (no-man-entry microtunnelling systems) ที่บริษัทของญี่ปุ่นหลายบริษัทพัฒนาขึ้นมา เช่น บริษัทอิเซกิ พอล-เทค (Iseki Pol Tech) เครื่องเจาะที่

บริษัทดังกล่าวผลิตขึ้นมา มีบริษัทของเยอรมันตะวันตกได้นำไปใช้และดัดแปลง เพื่อสร้างระบบการถ่ายเทน้ำโสโครกให้กับแฮมเบอร์ก เครื่องเจาะอุโมงค์เหล่านี้ของมีหัวเจาะ โลป้องกันโคลนขนาดเล็ก แต่เป็นเครื่องเจาะที่มีอัตราที่ไม่ค่อยจะเพียงพอในตลาดการเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กที่คนเข้าไปไม่ได้เท่าไรนัก แม้ว่าจะเป็นเครื่องเจาะที่มีอัตราการเจาะสูงและแม่นยำเป็นระยะทางนับร้อยเมตรก็ตาม ปัญหาที่เครื่องเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กของผู้ปั่นต้องเผชิญก็คือ วัตถุที่มีความแข็งขนาดแข็งซึ่งปัญหาเหล่านี้ขจัดไปได้ด้วยการพัฒนาหัวเจาะโลที่ทำให้เศษดินที่เจาะเป็นโคลนไปด้วยในตัวพร้อมกับเครื่องบดเมคานิกที่จะย่อยวัตถุก้อนใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงพอที่จะใช้สูบลุยออกมาที่โคลนได้แบบแรกๆของเครื่องเจาะนี้ก็คือเครื่องเจาะ Iseki's Crunchingmole เป็นเครื่องเจาะสำหรับใช้เจาะอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร ซึ่งบริษัททิลเลีย คอนสตรัคชั่น นำไปใช้เจาะให้กับโครงการถ่ายเทน้ำโสโครกที่ทำสัญญาไว้กับโครงการถ่ายเทน้ำโสโครกทางชายฝั่งภาคเหนือของอังกฤษ (Tyne-side Sewage Scheme, Northern England) และเครื่องเจาะขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยบริษัทเซอร์เรนต์เนคส์เมื่อไม่นานมานี้ก็ได้เคยนำไปทดลองใช้ร่วมกับเครื่องบด "bell cone" ที่นครแฮมเบอร์ก

ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องเจาะอุโมงค์แบบต่าง ๆ ให้มีความแข็งแรงทนมากขึ้นไปกว่าเดิมอีกขั้นหนึ่ง เมื่อไม่นานมานี้ผู้ดำเนินงานที่แทนเจาะของแทมรอกแทนหนึ่งชื่อ Datamaticrig ได้นำเอาเครื่องเจาะแบบ Furuholmen ไปทดลองเจาะส่วนหนึ่งของอุโมงค์ขนาด 6.0x5.5 เมตร เป็นครั้งแรก เครื่องเจาะดังกล่าวได้ปรับปรุงส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความแข็งแรงทนมากขึ้นแล้ว การใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์เจาะดินแนวนอนจำนวน 84 แนว เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวแนวละ 45 มม. และ 4.3 เมตร ตามลำดับนั้น การเจาะเป็นไปด้วยความแม่นยำและรวดเร็วมากกว่าการควบคุมโดยใช้คนกล่าวคือ ใช้เวลาในการเจาะ 2 ชั่วโมง ต่อการเจาะรอบหนึ่ง ๆ ได้มีการให้โปรแกรมแบบการเจาะที่แตกต่างกันไปสำหรับเวลากลางวันโดยใช้เครื่องเจาะแบบ Hewlett Packard PC การเจาะที่เป็นแนวโค้งและแนวลาดชันนั้น แทนเจาะ Datamatic ระบบอัตโนมัติคำนวณแนวเจาะตรงไปยังตำแหน่งของอุโมงค์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำทั้งนี้โดยใช้ระบบของแสงเลเซอร์

เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการยกท่อ (หรือท่ออุโมงค์) ยกวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ยกสลักตริงหินเป็นจำนวนมาก และการจบบนให้กับหลุมเป็นจำนวนหลายหลุม การใช้ขุดกริดทั้งเหลวและแห้ง และการประยุกต์ใช้เครื่องเจาะอุโมงค์หมุนเวียนสำหรับเหมืองกันอย่างจริงจัง การ

พัฒนาทั้งหมดเหล่านี้ ทำไปเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและขณะเดียวกันก็เพื่อที่จะเพิ่มสมรรถภาพการเจาะอุโมงค์ให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์ที่แท้จริง

ได้มีการคาดหมายกันถึงอนาคตของระบบเครื่องเจาะอุโมงค์ต่าง ๆ ที่มีเกราะหรือโลว์ว่ ต่อไประบบเหล่านี้จะมีการฉาบผิวอุโมงค์ภายในไปด้วยอย่างอัตโนมัติ มีการขุดดินที่เจาะ ด้วยการสูบลอก หรือด้วยระบบสายพานอย่างติดต่อกันทั้งหมด ทั้งนี้โดยเพียงให้การควบคุมบนพื้นดิน ด้วยระบบอัตโนมัติทั้งหมดโดยใช้คนเพียงคนเดียวกับโทรทัศน์วงจรปิดเท่านั้นอนาคตของสิ่งเหล่านี้อาจจะเป็นไปได้สำหรับการเจาะอุโมงค์ขนาดเล็ก แต่โครงการต่าง ๆ ย่อมคำนึงถึงการประหยัดอีกอย่างหนึ่งด้วย และการพิจารณาถึงเรื่องความประหยัดก็เป็นเรื่องหนึ่งที่ต้องทำให้ความหวังในการที่จะก้าวไปสู่ความฝันดังกล่าวล่าช้าลงได้ งานที่ก้าวหน้าไปด้วยความรวดเร็วอาจจะมีโช้งงานที่บรรลุได้ด้วยราคาถูก เมื่อเพิ่มสภาพความปลอดภัยกับสภาพแวดล้อมที่จะต้องพิจารณาด้วยแล้วก็ยิ่งทำให้ไม่อาจจะแยกเทคนิคการเจาะที่ต้องการออกได้เลย ไม่ว่าจะเป็นการเจาะด้วยราคาถูกหรือการเจาะอุโมงค์ที่มีระบบการเจาะที่ไม่ต้องใช้ให้ใครลงไปทำงานอยู่ใต้ดินเลยตลอดการเจาะนั้น ๆ จนกระทั่งเสร็จสิ้นลง

