สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการดันท่อและอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ
STUDY OF PIPE JACKING AND IMMERSED TUNNEL

โดย
นายจักราวุธ ไชยสุขัง
นายระพีพัฒน์ บุญแต่ง
นายสด จำปาทอง

เลขหมู่.................
เลขทะเบียน 83311
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

b11962119
i.............................

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PIPE JACKING AND IMMERSED TUNNEL

MR. JAKRAWUT CHAISUKHANG
MR. RAPEEPAT BOONTENG
MR. SOT JAMPATHONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการดันท่อและอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ STUDY OF PIPE JACKING AND IMMERSED TUNNEL			
นักศึกษา	นายจักราวุธ	ไชยสุขัง	รหัสประจำตัว	47010095
	นายระพีพัฒน์	บุญแต่ง	รหัสประจำตัว	47010615
	นายสด	จำปาทอง	รหัสประจำตัว	47010792
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์			

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 27 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการดันท่อและอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ STUDY OF PIPE JACKING AND IMMERSED TUNNEL
นักศึกษา	นายจักราวุธ ไชยสุขัง นายระพีพัฒน์ บุญแต่ง นายสด จำปาทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงรายละเอียดการก่อสร้างโดยวิธีการดันท่อและการก่อสร้างอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ ในเรื่องของการก่อสร้างด้วยวิธีการดันท่อจะกล่าวถึงประเภทของหัวเจาะ และอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็นสำหรับการดันท่อ รวมไปถึงตัวอย่างการออกแบบการดันท่อลอด นอกจากนี้ยังมีการยกตัวอย่างโครงการก่อสร้างด้วยวิธีการดันท่อลอดทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้ทำการศึกษา

ส่วนเรื่องการก่อสร้างด้วยวิธีอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ จะกล่าวถึงขั้นตอนหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์ ขั้นตอนการลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์ ขั้นตอนการจมชิ้นส่วนอุโมงค์ ขั้นตอนการฝังกลบอุโมงค์ นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างการออกแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ สำหรับให้ผู้ที่สนใจได้ทำการศึกษา

จากการศึกษาวิธีการก่อสร้างด้วยการดันท่อลอดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานได้หลากหลาย อาทิเช่น ท่อสำหรับส่งน้ำ ท่อสำหรับร้อยสายไฟ เป็นต้น ส่วนการก่อสร้างด้วยวิธีอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ จากการศึกษาพบว่ามีลักษณะเด่นหลากหลายประการเมื่อเทียบกับอุโมงค์ใต้ดิน หากมีการสนับสนุนการศึกษาในเรื่องนี้ต่อไป อาจจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ก่อสร้างภายในประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDY OF PIPE JACKING AND IMMERSED TUNNEL
Name	:	MR.JAKRAWUT CHAISUKHANG
		MR.RAPEEPAT BOONTENG
		MR.SOT JAMPATHONG
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Adviser	:	ASST.PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT

ABSTRACT

This special project is the mean research of the detailed construction by pipe jacking and immersed tunnel method. In the concept of construction by using the pipe jacking method that leads to the drilling head and other tools that are needed for pipe jacking that include the example of pipe jacking. Other than this is the example of construction on pipe jacking in Thailand and other countries for someone that interested in pipe jacking to study on.

And for the immersed tunnel, we will tell you about the main method that use for construction and it consist of the method of constructing the tunnel's fragment, the transport of the fragment, the sinking of the tunnel's fragment and the method of burying the tunnel. Other than that, there is the example of designing the underground sea/water tunnel for someone that interested.

From the study of the method of constructing the pipe jacking, we can apply it to many things for example the pipe that transport water or the electric wire and etc. And for the constructing immersed tunnel method, based from the research we found that there are many unique characteristic when comparing to the underground tunnel. If there are the continuetion supports for this research, we might apply to use the incoming technology inside our country.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ จนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุพจน์ ศรีนิล, ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์, ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอาจารย์อุบะ ศิริแก้ว ซึ่งเป็นกรรมการคุมสอบโครงงานพิเศษนี้ ที่ได้ให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่างๆ ต่อการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอบคุณ คุณยุทธนา กุลพันธุ์ บริษัท สี่แสงการโยธา จำกัด คุณสาธิต เปล่งสุริยะรัศมี คุณกัมปนาท มณีโชติ บริษัท นวรัตน์พัฒนาการ (มหาชน)จำกัด ที่ให้คำปรึกษา ข้อแนะนำ ข้อมูล ดูแลในการศึกษาดูงานและช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดู ดูแลเอาใจใส่ และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาเสมอมา ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการออกแบบและก่อสร้างสำหรับการดันท่อได้เป็นอย่างดี

นายจักราวุธ ไชยสุขัง
นายระพีพัฒน์ บุญแต่ง
นายสด จำปาทอง
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฐ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์	1
	1.4. ขอบเขตของการศึกษา	1
	1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	ประวัติความเป็นมาการก่อสร้างอุโมงค์	
	2.1. บทนำ	3
	2.2. ประวัติความเป็นมา	4
	2.2.1 เทคโนโลยีการขุดเจาะอุโมงค์ในอดีต	4
	2.2.2 เทคโนโลยีการขุดเจาะการดันท่อ (Pipe Jacking)	7
	2.3 ความจำเป็นของการดันท่อ	8
	2.4 ตัวอย่างการดันท่อที่เกิดขึ้นในโลก	11
	2.5 ตัวอย่างโครงการดันท่อที่เกิดขึ้นในประเทศไทยจากการเก็บข้อมูล	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	บ่อ ระบบลำเลียงดิน และอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการดันท่อ	
	3.1. กล่าวนำ	21
	3.2. บ่อสำหรับการดันท่อ	23
	3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการดันท่อ	24
	3.3.1. ชุดแม่แรง (Jacking rigs)	24
	3.3.2. ท่อลดแรงดัน (Intermediate jacking pipes)	25
	3.4. ระบบลำเลียงดิน (Spoil Removal)	27
	3.4.1. ระบบล้อเลื่อน (Wheeled systems)	28
	3.4.2. Positive Displacement Pumps	29
	3.4.3. ระบบสายพาน (Belt conveyors)	29
	3.4.4. ระบบปั๊มพ์ของเหลว (Pumps slurry)	30
	3.4.5. Screw Conveyors	31
	3.4.6. Vacuum Extraction	31
	3.5. สารหล่อลื่น	32
	3.6 การออกแบบสำหรับการดันท่อ	33
	3.6.1 การออกแบบแรงที่ใช้ในการดันท่อ (Jacking loads)	33
	3.6.2 การออกแบบท่อลดแรงดัน (intermediate jacking pipes)	36
4	หัวเจาะสำหรับการดันท่อ	
	4.1. ประวัติความเป็นมาของหัวเจาะ	39
	4.2. หลักการขุดเจาะ	42
	4.2.1. Mechanical Excavation	42
	4.2.2. Drilling & Blasting	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.3 ชนิดของหัวเจาะ	43
	4.3.1. Conventional Shield	43
	4.3.1.1. Open manaual	45
	4.3.1.2. Blind	45
	4.3.1.3 Semi-mechanical	45
	4.3.1.4. Mechanical	46
	4.3.2. Compressed Air Shield	46
	4.3.3. Auger-type Shield	46
	4.3.4. Pressed Chamber Shield	46
	4.3.4.1. Water pressure balance shield	47
	4.3.4.2. Bentonite slurry shield	47
	4.3.4.3. Earth pressure balance shield	48
5.	ท่อสำหรับการดันท่อ	
	5.1. ชนิดของท่อ	49
	5.1.1. ท่อคอนกรีต (concrete pipe)	51
	5.1.1.1. ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก	52
	5.1.1.2. ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	57
	5.1.1.3. ท่อคอนกรีตผสม	58
	5.1.1.4. ท่อคอนกรีตโพลิเมอร์	59
	5.1.2. ท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก	60
	5.1.3. ท่อซีเมนต์ผสมใยหิน	61
	5.1.4. ท่อดิน	62
	5.1.5. ท่อพลาสติก	64
	5.1.6 ท่อโลหะไออออน	65
	5.1.7 ท่อเหล็ก	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.2. สารที่ใช้เคลือบและห่อหุ้มท่อ	67
	5.2.1. Plastic lining	67
	5.2.1.1. 3-Layer polyethylene coating	68
	5.2.1.1. Polyethylene tape coating	69
	5.2.2. Epoxy lining	71
	5.2.3. Cement lining	73
	5.2.4. Bitument and coal tar coating	75
	5.2.5.. Composite pipe	75
6	ขั้นตอนการก่อสร้าง	
	6.1. หล่อแบบท่อที่ใช้ในการดันท่อ (Shaft casting)	78
	6.2. การจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง (Site clean)	83
	6.3. งานก่อสร้างบ่อดัน (Jacking Pit) และบ่อรับ (Receiving Pit)	84
	6.3.1 ใช้วิธีตอกเสาเข็มพืดและค้ำยัน (Sheet Pile Cofferdam)	84
	6.3.2 ใช้วิธีการจมบ่อ (Sinking Caisson)	87
	6.3.2.1. การจมบ่อแบบหล่อในที่	87
	6.3.2.2. การจมบ่อแบบ Precast Segment	91
	6.4. การติดตั้งชุดแม่แรงที่ใช้ดันหัวเจาะและท่อ (Launching Cradle)	93
	6.5. งานดันท่อ	95
	6.6. ระบบระบายอากาศ (Ventilation System)	101
	6.7. การควบคุมแนวและระดับของหัวเจาะและท่อที่ดัน	101
	6.8. การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ	102
	6.9. ปัญหาที่เกิดขึ้นในการดันท่อ	102
7.	อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	
	7.1. ลักษณะเด่นของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	104
	7.2. หลักการที่ควรจะพิจารณาหากเลือกใช้อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	7.3 .ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	107
	7.3.1.1. การก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์	107
	7.3.1.1. การหล่อชิ้นส่วน	108
	7.3.1.2. การอัดแรง	109
	7.3.1.3. การกันน้ำ	110
	7.3.1.4. การควบคุมน้ำหนักของชิ้นส่วน	111
	7.3.2. การลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์	112
	7.3.3. การจมชิ้นส่วนอุโมงค์	113
	7.3.3.1. การเตรียมการก่อนการจมชิ้นส่วนอุโมงค์	113
	7.3.3.2. การจมชิ้นส่วน	117
	7.3.3.3. การควบคุมทิศทางและระดับ	120
	7.3.4. การฝังกลบตัวอุโมงค์	122
	7.4. การออกแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	123
	7.4.1. การออกแบบขั้นต้น	123
	7.4.2. การออกแบบรูปแบบของอุโมงค์	128
	7.4.3. การออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์	128
	7.5. ตัวอย่างโครงการที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	131
	7.5.1. เส้นทางผ่านช่องแคบ Oresund ระหว่างเดนมาร์กกับสวีเดน	131
	7.5.2. เส้นทางจากปูซานไปยังเกาะโจจีของประเทศเกาหลี	133
	7.5.3. เส้นทางจาก Preveza ไปยัง Aktio ประเทศกรีซ	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงความแตกต่างระหว่างการดันท่อกับงานอุโมงค์	9
5.1.	แสดงค่า Allowable jacking force สำหรับงานอุโมงค์ขนาดเล็กและการดันท่อ	55
5.2.	แสดงขนาดของหน้าตัดและแรงปลอดภัยที่ใช้ดัน (Safe jacking load) ของท่อดิน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	เทคโนโลยีการก่อสร้างอุโมงค์ในยุคโรมัน	5
2.2.	การขุดเจาะอุโมงค์แบบไม่เต็มหน้า (Head and bench)	6
2.3.	แสดงตัวอย่างการดันท่อ	7
2.4.	แสดงบริเวณก่อสร้างการดันท่อ	8
2.5.	แสดงบริเวณโครงการระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดสมุทรปราการ	20
2.6.	แสดงท่อที่ใช้ในโครงการระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดสมุทรปราการ	20
3.1.	แสดงตัวอย่างส่วนประกอบต่างๆในการดันท่อ	22
3.2.	แสดงตัวอย่างการลำเลียงดินที่ได้จากดันท่อ	22
3.3.	แสดงบริเวณภายในบ่อดัน	23
3.4.	แสดงส่วนประกอบการดันท่อ	24
3.5.	แสดงบริเวณ Jacking ring	25
3.6.	รูปแสดงท่อลดแรงดัน	25
3.7.	แสดงการทำงานของท่อลดแรงดัน	26
3.8.	แสดงการขนย้ายดิน	27
3.9.	แสดงกระบวนการขนย้ายดิน	27
3.10.	รูปแสดงการขนย้ายดินแบบล้อเลื่อน	28
3.11.	แสดงอุปกรณ์สำหรับระบบสายพาน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.12.	รูปแสดงการขนย้ายดินแบบปั๊มพ์ของเหลว	30
3.13.	แสดงเครื่องเบนโทไนท์ปั๊มพ์	32
3.14.	แสดงตัวอย่างท่อลดแรงดัน	36
3.15.	แสดงตัวอย่างแรงดันที่ลดลงเนื่องจากใช้ท่อลดแรงดัน	37
3.16.	แสดงแผนภาพของการเลือกวิธีใช้หัวขุดเจาะอุโมงค์	37
4.1.	Marc Brunel's "screw" shield (1818)	41
4.2.	Marc Brunel's "compartment" shield (1818)	41
4.3.	หลักการของการขุดเจาะอุโมงค์โดยหัวเจาะอุโมงค์	43
4.4.	แสดงตัวอย่าง Open manaual	45
4.5.	แสดงตัวอย่าง Semi-mechanical	45
4.6.	แสดงตัวอย่าง Mechanical	46
4.7.	แสดงตัวอย่างหัวเจาะชนิด Earth Pressure balance (1)	48
4.8.	แสดงตัวอย่างหัวเจาะชนิด Earth Pressure balance (2)	48
5.1.	แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีต	51
5.2.	แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก	52
5.3.	แสดงรอยต่อชนิด Rebate joint	52
5.4.	แสดงรอยต่อชนิด Butt joint	53
5.5.	แสดง CS pipe joint ของการดันท่อ	54
5.6.	แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตผสม	58
5.7.	แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตโพลิเมอร์	59
5.8.	แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.9.	แสดงตัวอย่างท่อซีเมนต์ผสมใยหิน	61
5.10.	แสดงตัวอย่างท่อดิน	63
5.11.	แสดงตัวอย่างท่อพลาสติก	64
5.12.	แสดงตัวอย่างท่อโลหะไอออน	65
5.13.	แสดงตัวอย่างท่อเหล็ก	66
5.14.	แสดงตัวอย่างท่อที่เคลือบด้วยสารจำพวกพลาสติก	67
5.15.	แสดงการเคลือบด้วยวิธี 3-Layer	68
5.16.	แสดงตัวอย่างท่อที่เคลือบด้วยวิธี 3-Layer	68
5.17.	แสดงการเคลือบด้วยวิธี Tape coating	69
5.18.	แสดงขั้นตอนการเคลือบด้วยวิธี Tape coating (1)	70
5.19.	แสดงขั้นตอนการเคลือบด้วยวิธี Tape coating (2)	70
5.20.	แสดงการเคลือบด้วย Epoxy	71
5.21.	แสดงการพ่นอีพอกซี่เคลือบผิวบริเวณด้านนอก	72
5.22.	แสดงการพ่นอีพอกซี่เคลือบผิวบริเวณด้านใน	72
5.23.	แสดงการเคลือบด้วยซีเมนต์	73
5.24.	แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบด้วยซีเมนต์ (1)	74
5.25.	แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบด้วยซีเมนต์ (2)	74
5.26.	แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบท่อด้วยบิทูเมนต์	76
5.27.	แสดงท่อที่เคลือบด้วยบิทูเมนต์	76
6.1.	แสดงการวางเหล็กสำหรับท่อคอนกรีต	79
6.2.	แสดงตัวอย่างโครงเหล็กที่ทำเสร็จแล้ว	79
6.3.	แสดงแบบที่ใช้หล่อด้านในของท่อ	80
6.4.	แสดงรูปโครงเหล็กที่ประกอบอยู่ภายนอกแบบหล่อเรียบร้อยแล้ว	80
6.5.	แสดงแบบภายนอกที่นำมาประกบโครงเหล็ก	81
6.6.	แสดงการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อ	81
6.7.	แสดงท่อคอนกรีตเมื่อแกะออกจากแบบแล้ว	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.8.	แสดงท่อคอนกรีตที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว	82
6.9.	แสดงการติดตั้งสัญญาณบริเวณสถานที่ก่อสร้างเพื่อความปลอดภัย	83
6.10.	แสดงตัวอย่างแบบก่อสร้างบ่อดัน	84
6.11.	แสดงการติดตั้งไฟจราจรและป้ายสัญญาณเพื่อความปลอดภัย	84
6.12.	แสดงการติดตั้งเสาเข็มพืด	85
6.13.	แสดงการขุดดินออกจากบ่อ	85
6.14.	แสดงบริเวณก้นบ่อที่หล่อด้วยคอนกรีตเพื่อเตรียมวางเครื่องไฮโดรลิก	86
6.15.	แสดงวิธีการจมบ่อ	87
6.16.	แสดงโครงเหล็กของบ่อแบบหล่ออยู่กับที่	88
6.17.	แสดงแผ่นคอนกรีตที่นำมาใช้ในการจมบ่อ	88
6.18.	แสดงการขุดดินออกจากบ่อ	89
6.19.	ดินที่ขุดแล้วจะถูกลำเลียงออกไปโดยรถบรรทุก	89
6.20.	บริเวณก้นบ่อจะทำการเทคอนกรีตเพื่อเตรียมวางเครื่องจักร	90
6.21.	แสดงชิ้นส่วนของบ่อที่หล่อเสร็จแล้วเพื่อนำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้าง	91
6.22.	แสดงชิ้นส่วนบ่อคอนกรีตที่นำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้าง	92
6.23.	แสดงการขุดดินออกจากภายในตัวบ่อ	93
6.24.	แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดแม่แรงดันท่อ	94
6.25.	แสดงเจาะที่ใช้ในการดันท่อ	95
6.26.	ภาพหัวเจาะที่ใช้ในการดันท่อ	96
6.27.	แสดงการติดตั้งหัวเจาะ	96
6.28.	การเตรียมงานดันหัวเจาะเข้า soft eye	97
6.29.	ภาพการเริ่มดันหัวเจาะเข้า	98
6.30.	รายละเอียดระบบควบคุมหัวเจาะในการดันท่อลอดที่ห้องควบคุม	99
6.31.	การติดตั้งท่อที่จะทำการดัน (1)	99
6.32.	การติดตั้งท่อที่จะทำการดัน (2)	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.33.	ภาพขณะการดันท่อ	100
6.34.	ภาพหัวเจาะที่ดันทะลุแล้ว	101
7.1.	แสดงตัวอย่างหน้าตัดของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	104
7.2.	แสดงการเปรียบเทียบของอุโมงค์แต่ละชนิด	105
7.3.	แสดงรอยต่อป้องกันการเคลื่อนไหว	106
7.4.	แสดงรูปตัดของอุโมงซีเบอร์เกอร์	107
7.5.	แสดงถนน 4 เลน พร้อมทั้งช่องระบายอากาศด้วยของทั้ง 2 ด้าน	108
7.6.	แสดงบริเวณสถานที่ทำการก่อสร้างตัวอุโมงค์	109
7.7.	แสดงชิ้นส่วนอุโมงค์ที่ใช้การอัดแรงมาช่วยลดความหนา	109
7.8.	แสดงโครงสร้างเหล็กที่ถูกประกอบขึ้นที่โรงงาน	111
7.9.	แสดงโครงสร้างเหล็กที่ถูกเรือลากจูงไปยังสถานที่ทำการหล่อชิ้นส่วน	111
7.10.	แสดงชิ้นส่วนที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว	112
7.11.	แสดงการลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์ไปยังสถานที่ทำการก่อสร้าง	112
7.12.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการขุดลอก	113
7.13.	แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ deas island (ถนน 4 เลน ใช้การอัดแรง)	114
7.14.	แสดงหน้าตัดโดยทั่วไปของแนวอุโมงค์ที่ขุดลอก	114
7.15.	แสดงแนวอุโมงค์ที่ถูกขุดลอกและฉีดสารเพื่อป้องกันแนวเหนือพื้น	114
7.16.	แสดงหน้าตัดอุโมงค์แฮมตันโรด	118
7.17.	แสดงค่าระดับที่ได้จากการสำรวจ	120
7.18.	แสดงตัวอย่างการจมชิ้นส่วนอุโมงค์	121
7.19.	แสดงตัวอย่างการฝังกลบชิ้นส่วนอุโมงค์	122
7.20.	แสดงลักษณะรอยต่อทรีมี่	124
7.21.	แสดงรายละเอียดหมุดของรอยต่อทรีมี่	124
7.22.	แสดงรายละเอียดของรอยต่อทรีมี่	125
7.23.	แสดงตัวอย่างหน้าตัดอุโมงค์ซีเบอร์เกอร์ในประเทศฮอลแลนด์	126
7.24.	แสดงรอยต่อยางชนิดแผ่นรองคู่	127
7.25.	แสดงหน้าตัดที่หลากหลายของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
7.26.	แสดงรายละเอียดของหน้าตัดอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	128
7.27.	แสดงการลากชิ้นส่วนอุโมงค์มายังสถานที่ทำการวางชิ้นส่วนอุโมงค์	129
7.28.	แสดงการวางชิ้นส่วนอุโมงค์ที่ใส่ตัวถ่วงชั่วคราวในถังอับเฉา	129
7.29.	แสดงหน้าตัดที่ใช้คำนวณน้ำหนักของชิ้นส่วนอุโมงค์	130
7.30.	แสดงภูมิทัศน์โดยรอบสถานที่ที่จะทำการก่อสร้าง	132
7.31.	แสดงแผนที่แนวเส้นทางที่จะทำการก่อสร้าง	132
7.32.	แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ทำการออกแบบ	132
7.33.	แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ทำการออกแบบ	133
7.34.	แสดงลักษณะของเส้นทางที่จะทำการก่อสร้าง	134
7.35.	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งที่ทำการก่อสร้างกับระดับของเส้นทาง	134
7.36.	แสดงบริเวณที่ทำการก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์	135
7.37.	แสดงหน้าตัดของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ	136
7.38.	แสดงระดับความลึกของอุโมงค์ที่ทำการก่อสร้าง	136
	บรรณานุกรม	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

การก่อสร้างในปัจจุบันเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย แต่พื้นที่ใช้สอยที่เอื้ออำนวยความสะดวกกับงานก่อสร้างกลับมีจำนวนลดน้อยลง ในการก่อสร้างทั่วไปจึงเกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นอย่างมาก เช่น งานวางท่อประปา เป็นต้น

การสร้างอุโมงค์เป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่ใช้แก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาและจัดสรรพื้นที่ให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันองค์ความรู้ทางด้านอุโมงค์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย รวมไปถึงความเข้าใจผิดในเรื่องการสร้างอุโมงค์ว่าไม่สามารถก่อสร้างได้ในดินอ่อนซึ่งเป็นเรื่องที่เข้าใจผิดกัน ส่งผลทำให้บุคลากรและเทคนิคต่างๆในเรื่องอุโมงค์ไม่ก้าวหน้า รวมไปถึงหนังสือค้นคว้าอ้างอิงในประเทศไทยมีจำนวนน้อย

ในต่างประเทศความรู้ในด้านอุโมงค์มีความก้าวหน้ามานานแล้ว โดยการก่อสร้างอุโมงค์จะไม่รบกวนการก่อสร้างเดิมและการคมนาคมขนส่งต่างๆ ซึ่งองค์ความรู้เหล่านี้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆได้เป็นอย่างดี

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อจัดการความรู้ในโครงการวิจัยและพัฒนาด้านการก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดินให้เป็นระบบสามารถให้ผู้ที่สนใจค้นคว้าอย่างได้อย่างสะดวก และเพื่อจัดเก็บใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงในโครงการวิจัยและพัฒนาทางด้านการก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดินต่อไปในอนาคต

1.4 ขอบเขตการศึกษา

พัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดิน
เรื่อง การดันท่อ (Pipe jacking) และอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ (Immersed tunnel) ให้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับโครงการต่างๆที่ลังจะเกิดขึ้นในอนาคต รวมถึงจัดการความรู้ในโครงการพัฒนาและวิจัยต่างๆทางด้านวิศวกรรมให้เป็นระเบียบเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าแก่ผู้ที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการและขั้นตอนการก่อสร้างจากหนังสือ นิตยสาร อินเตอร์เน็ต

2. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบจากหนังสือ นิตยสาร อินเตอร์เน็ต

3. ศึกษาข้อมูลในการก่อสร้างจากโครงการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดิน

4. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้างผนังอุโมงค์ วิเคราะห์เพื่อสรุปหลักการ และข้อเสนอแนะพร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในการศึกษาค้นคว้าความรู้ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยและพัฒนาด้านการก่อสร้างอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดินมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่
2. เพื่อเป็นหนังสืออ้างอิงแก่ผู้สนใจค้นคว้าหาความรู้
3. เพื่อเป็นความรู้แก่ผู้จัดทำเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ประวัติความเป็นมาและความจำเป็นของการก่อสร้างใต้ดิน

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันได้มีงานก่อสร้างใต้ดิน และอุโมงค์ขนาดใหญ่เกิดขึ้นมากมายหลายต่อหลายโครงการ โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งมีสภาพแออัด การจราจรติดขัด และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเร่งพัฒนาใช้พื้นที่ใต้ดินเพื่อเป็นประโยชน์ในการขยายโครงข่าย และเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางจราจร ตลอดจนระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการอื่นๆเฉกเช่นที่เมืองใหญ่ๆทั่วโลกปฏิบัติกัน

สาเหตุที่การพัฒนาใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้ดินช่วยเพิ่มความเป็นอยู่ที่เกิดขึ้นช้านั้น ส่วนหนึ่งเป็นเพราะนโยบายการวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจสังคมและระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ผิดพลาด การไม่มีวิสัยทัศน์ที่ดีพอของผู้บริหารประเทศและอุปสรรคทางด้านการเมืองและระบบราชการซึ่งทำให้ไม่กล้าตัดสินใจและดำเนินการที่ฉับไว แต่สาเหตุใหญ่อีกอย่างหนึ่งที่จะปฏิเสธไม่ได้คือการขาดบทบาทของหมู่วิศวกรไทยในการทำวิจัยและเรียนรู้ทำความเข้าใจในเทคโนโลยีเรื่องนี้และเรื่องอื่นๆเกี่ยวกับงานใต้ดินซึ่งใช้กันมานานแล้วในต่างประเทศ และทำการแพร่ข่าวสารนำเสนอข้อมูลที่ถูกต้องให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและประชาชนทั่วไปได้เข้าถึงเทคโนโยลีด้านนี้

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเกิดความสับสนและความไม่แน่ใจในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้งาน แต่ปัจจุบันนี้ความเข้าผิดในเรื่องที่ว่าพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลไม่เหมาะสมที่จะนำงานก่อสร้างใต้ดินมาใช้ โดยเฉพาะการก่อสร้างอุโมงค์สัญจรเพราะปัญหาเฉพาะของกรุงเทพมหานครในเรื่องดินอ่อน พื้นที่ต่ำ แผ่นดินทรุด การเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมและปัญหาอื่นๆอีกมากมายได้หมดไป บัดนี้หลายฝ่ายเข้าใจแล้วว่าปัญหาเหล่านี้แก้ไขได้ไม่ใช่อุปสรรคในการก่อสร้างอีกต่อไป สภาพดินและสิ่งแวดล้อมต่างๆของกรุงเทพมหานครไม่ได้แตกต่างจากเมืองอื่นๆหลายต่อหลายเมืองในโลกที่มีการพัฒนาใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้ดินมานาน ยุคต่อไปนี้จะเป็นยุคของการก่อสร้างอุโมงค์และการพัฒนาใช้พื้นที่ใต้ดินให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น ดังนั้นวิศวกรไทยและผู้ที่สนใจคงต้องเตรียมตัวให้พร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประวัติความเป็นมา

2.2.1 เทคโนโลยีการขุดเจาะอุโมงค์ในอดีต

มนุษย์ได้ริเริ่มการขุดเจาะอุโมงค์มาตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ ในสมัยก่อนมนุษย์เราได้อาศัยถ้ำเป็นที่อยู่อาศัยจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ประเทศออสเตรเลียมีอายุ 40000 ปีก่อนคริสต์ศักราชภายในอุโมงค์เก่าแก่ บางแห่งใช้เป็นแหล่งอ้างอิงทางประวัติศาสตร์ได้ดีเพราะมีภาพเขียนและลายลักษณ์อักษรโบราณ แต่ได้เริ่มบันทึกเป็นหลักฐานอย่างชัดเจนในสมัยกรีกและโรมันหรือเมื่อ 2-3 พันปีก่อน ในสมัยนั้นชาวกรีกและโรมันรู้จักการขุดเจาะอุโมงค์เพื่อส่งน้ำหรือที่รู้จักกันว่า Aquaduct โดยสามารถสร้างได้ยาวเป็นกิโลเมตร อุโมงค์ส่วนใหญ่ในยุคก่อนมักจะเจาะผ่านชั้นหินโดยอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก วิธีการก่อสร้างในยุคแรกนั้นคนงานก็จะใช้สิ่วค่อยๆ สกัดไปทีละน้อย ต่อมาเริ่มรู้จักใช้ไฟเผาหน้าหินให้ร้อนจัดก่อนจากนั้นจึงใช้น้ำราดเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันทำให้หินเกิดการแตกร้าวและง่ายต่อการสกัดออก การก่อสร้างอุโมงค์ในอดีตนี้จะใช้คนงานจำนวนมหาศาลและใช้เวลานานนับสิบปี ดังตัวอย่างเช่น อุโมงค์ส่งน้ำในยุคของซีซาร์คลอเดียสแห่งอาณาจักรโรมัน ซึ่งต้องใช้แรงงานคนถึง 30000 คน ใช้เวลานานถึง 10 ปี

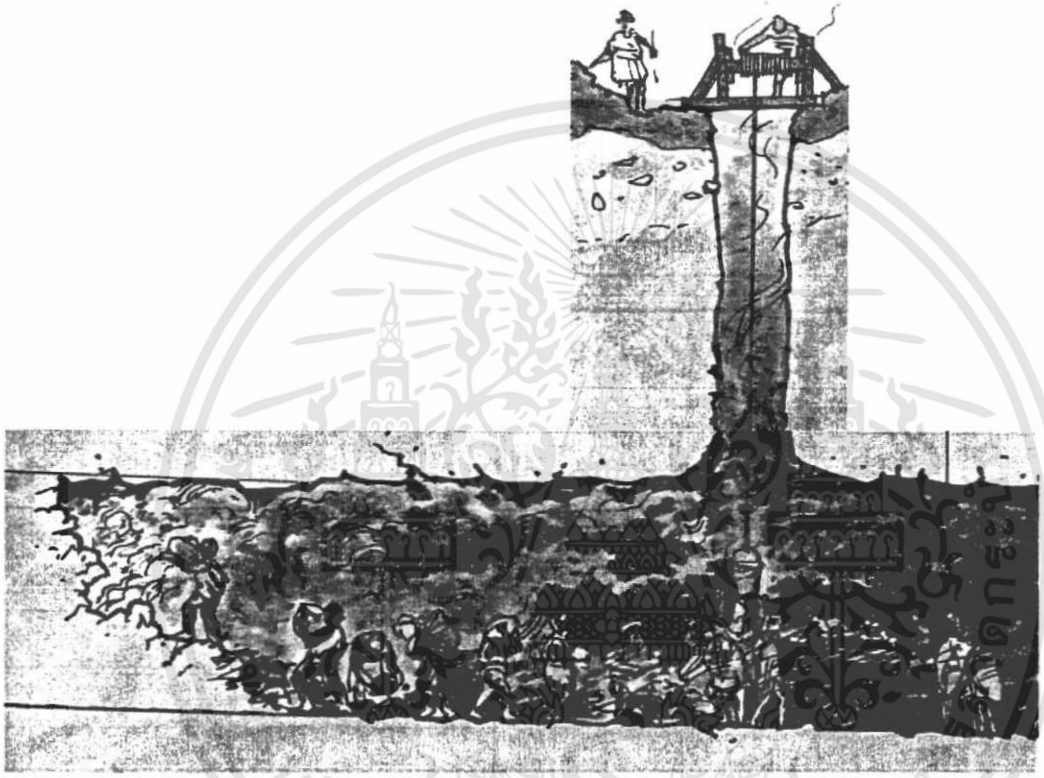
ประมาณ 2160 ถึง 2180 ปีก่อนคริสต์ศักราช มีการก่อสร้างอุโมงค์คนเดินเท้ายาวกว่า 900 เมตร ลอดใต้แม่น้ำยูเฟรติส (แถบดินแดนเมโสโปเตเมีย) เพื่อเชื่อมต่อระหว่างพระราชวังและโบสถ์ โดยทำการเบี่ยงแนวทางการไหลของแม่น้ำในช่วงน้ำแล้ง

ต่อมามนุษย์เริ่มท้าทายธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น โดยเริ่มมีการขุดเจาะอุโมงค์ในดินอ่อน (Soft ground) และหินที่มีความแข็งแรงน้อยมากขึ้น ซึ่งความยากและความอันตรายของการขุดเจาะอุโมงค์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการคงตัวของดินหรือ Stand-up time ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและระดับของน้ำใต้ดิน จึงเริ่มมีการพัฒนาการขุดแบบ Head and bench โดยจะขุดเจาะอุโมงค์แบบไม่เต็มหน้า โดยจะขุดจากด้านบนของอุโมงค์ (Head) ออกไปก่อนจากนั้นจึงเริ่มขัดจากด้านล่าง (Bench) ตามออกไปก่อนติดตั้งค้ำยัน ซึ่งในอดีตจะเป็นไม้หรือก่ออิฐเพื่อสร้างเป็นผนังอุโมงค์ ในยุคนี้เครื่องมือที่ใช้ในการขุดเจาะมีการพัฒนามากขึ้นและเริ่มใช้วัตถุระเบิดช่วยในการก่อสร้าง แต่การขุดเจาะแบบนี้ยังมีความเสี่ยงสูงเนื่องจากดินด้านหน้าและด้านบนของอุโมงค์จะพังทลายเข้ามา หากติดตั้งค้ำยันไม่ทันหรือค้ำยันไม่แข็งแรงพอ หรือหากขุดเจาะอุโมงค์ใต้ระดับน้ำใต้ดินก็มักเกิดปัญหาการไหลของน้ำเข้าสู่อุโมงค์ จนถึงขนาดเกิดน้ำท่วมภายในอุโมงค์และดินโดยรอบถล่มลงมาสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

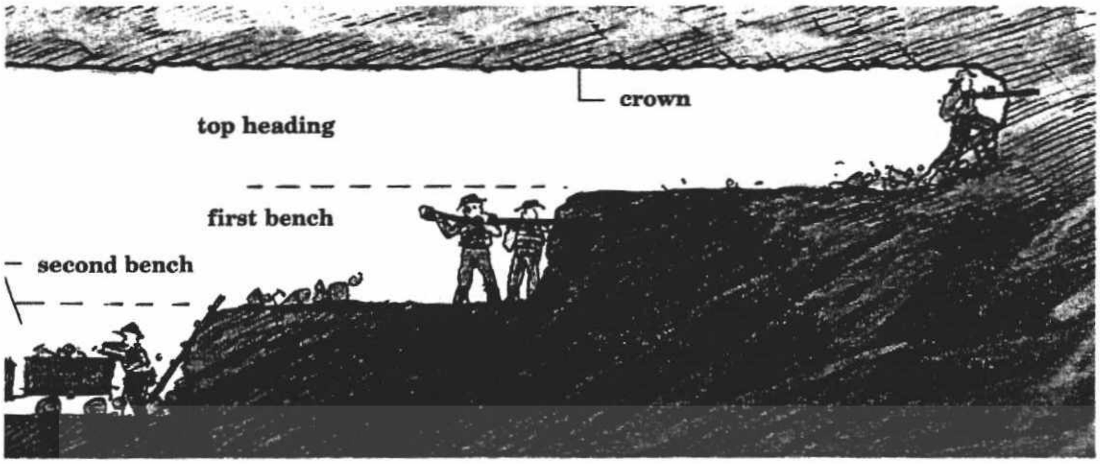
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงปี ค.ศ. 1759 ถึง 1761 มีการขุดอุโมงค์เพื่อใช้เป็นคลองใต้ดินสำหรับขนส่งถ่านหินเป็นระยะทางประมาณ 16 กิโลเมตร (10 ไมล์) ในประเทศอังกฤษจากเมือง Worsley ถึงเมือง Manchester การขุดใช้ค้อน พลั่ว เสียม สว่าน และใช้ระเบิดหากพบหินแข็ง การใช้คลองในการขนส่งช่วยลดต้นทุนของถ่านหินในเมือง Manchester ได้กว่าครึ่งหนึ่ง



รูปภาพที่ 2. 1 แสดงเทคโนโลยีการก่อสร้างอุโมงค์ในยุคโรมัน ที่มนุษย์สามารถสร้างอุโมงค์เพื่อใช้ในการส่งน้ำ โดยอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก และรู้หลักการทางวิทยาศาสตร์ว่าวัตถุที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จะก่อให้เกิดการแตกร้าว ซึ่งง่ายต่อการทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 2.2 แสดงการขุดเจาะอุโมงค์แบบไม่เต็มหน้า (Head and bench) ได้ถูกพัฒนาขึ้นควบคู่กับเครื่องมือขุดเจาะที่ทันสมัยมากขึ้น และวัตถุระเบิดได้ถูกนำมาใช้เพื่อทำลายหน้าหินอย่างไรก็ตามการก่อสร้างอุโมงค์ยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก และไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการพังทลายของอุโมงค์ทั้งทางด้านหน้าและด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เทคโนโลยีด้านการดันท่อ (Techonology of pipe jacking)

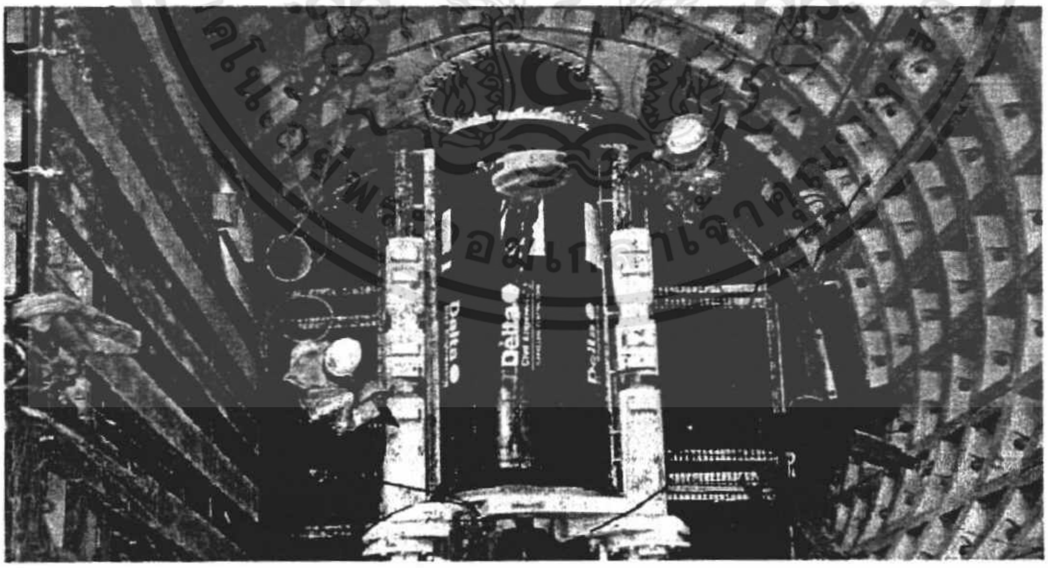
หลักการของการดันท่อถูกนำมาใช้ครั้งแรกตั้งแต่สมัยโรมันแล้ว โดยจะใช้ท่อที่ทำด้วยไม้แล้วดันเข้าไปในดิน เพื่อใช้เป็นท่อส่งน้ำให้ชาวโรมันโดยไม่มีการรบกวนผิวหน้าของดิน

เริ่มแรกการดันท่อถูกใช้ในอเมริกาและมีการบันทึกไว้ว่าเริ่มมีการกล่าวถึงไว้เมื่อปี 1982 โดยเริ่มใช้ในโครงการแรกเมื่อปี 1986-1992 ซึ่งเป็นงานด้านการรถไฟ โดยการใช้เหล็กหล่อเป็นชิ้นส่วนของท่อ ในภายหลังเริ่มมีการใช้เพื่อการชลประทาน งานระบายน้ำ ต่อมาถูกใช้เป็นท่อลอดใต้รางรถไฟและใต้ถนน เพื่อเลี่ยงการรบกวนการจราจร

ต่อมาการดันท่อเริ่มถูกนำมาใช้ในยุโรปและญี่ปุ่น ในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 ถูกใช้ในหลายประเทศ เช่น อังกฤษ เยอรมัน ญี่ปุ่น โดยท่อที่ใช้ขณะนั้นเป็นท่อคอนกรีต ซึ่งในประเทศอังกฤษถูกบันทึกไว้ว่าเริ่มใช้เมื่อปี 1935 ในประเทศเยอรมันเมื่อปี 1930 และในญี่ปุ่นเมื่อปี 1941

สาเหตุที่การดันท่อพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเพราะระบบต่างๆจะไม่ถูกรบกวน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างต่างๆ เช่น งานถนน งานรถไฟ รวมถึงการที่ไม่ต้องเปิดหน้าดินให้เสียประโยชน์ด้วย

ภายหลังเมื่อการดันท่อได้รับความนิยม ก็มีการนำมาประยุกต์ใช้กับดินหลายประเภท ทำให้มีการพัฒนามากขึ้นในด้านต่างๆไม่ว่าเครื่องมือในการทำงาน ความเร็วในการขุด การลำเลียงดินออกจากอุโมงค์ หัวเจาะชนิดต่างๆ การทำงานด้วยรีโมทคอนโทรล เครื่องดันท่อไฮโดรลิค ในยุคหลังเริ่มมีการนำเอาระบบควบคุมการนำทิศทางมาใช้ด้วย



รูปภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการดันท่อ

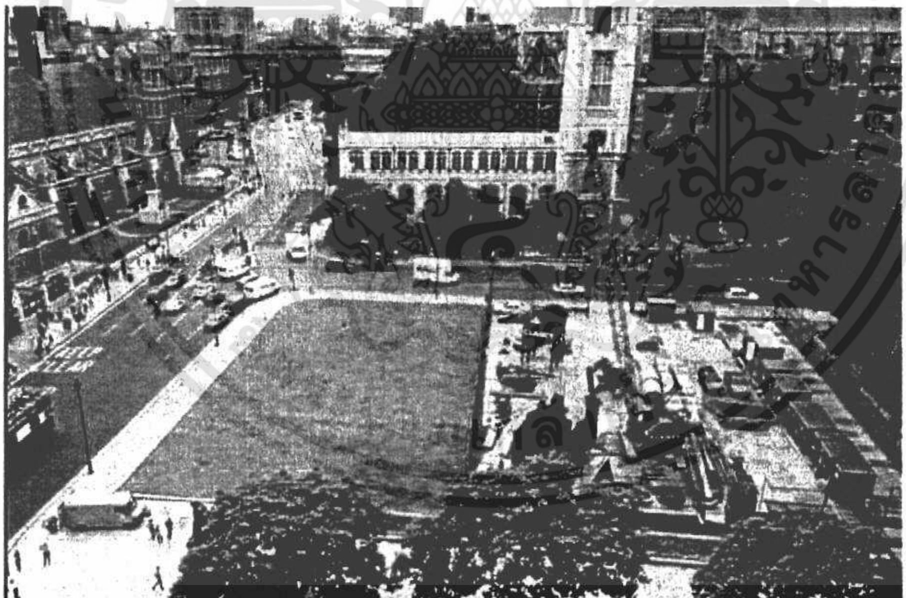
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความจำเป็นของการดันท่อ

การแพร่หลายของเทคโนโลยีไร้การขุด (Trenchless technology) ได้นำมาซึ่งความหลากหลายสำหรับการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างอุโมงค์โดยไม่ต้องทำการเปิดหน้าดิน โดยเทคโนโลยีนี้ได้รับการสนับสนุนจาก The International Society for Trenchless technology (ISTT) และการประชุมเผยแพร่งานซึ่งไม่มีการขุด (Trenchless) ได้เป็นที่ยอมรับในการก่อสร้าง ซึ่งการดันท่อก็ใช้หลักการและกระบวนการของเทคโนโลยีไร้การขุดซึ่งมีมาก่อนหน้านี้แล้ว

การเจริญเติบโตของประเทศในปัจจุบันส่งผลให้ประชากรเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบสาธารณูปโภคที่ใช้อำนวยความสะดวก เช่น ระบบน้ำประปา ระบบไฟฟ้า ก็ต้องมีมากขึ้น แต่พื้นที่ที่ใช้รองรับระบบสาธารณูปโภคเหล่านี้ต่างมีจำกัดอันเนื่องมาจากการใช้สอยพื้นที่ของประชาชนไม่ว่าจะเป็น บ้านเรือนที่พักอาศัย ถนน ในการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคบางครั้งก็จะส่งผลกระทบต่อความสะดวกสบายของประชาชน เนื่องจากต้องมีการเปิดหน้าดิน การเวนคืนที่ดิน เป็นต้น ทางรัฐบาลต้องการที่จะแยกระบบเหล่านี้ให้ออกจากกันเพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกสบายของประชาชน ซึ่งการดันท่อก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้



รูปภาพที่ 2.4 แสดงบริเวณก่อสร้างการดันท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่ายุคต่อไปนี้เป็นยุคของการพัฒนาใช้พื้นที่ใต้ดินเพื่อการใช้สอยและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เมื่อเป็นเช่นนั้นการดันท่อก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะถูกนำมาพิจารณาในการนำมาใช้งาน ซึ่งด้านการดันท่อก็เป็นข้อได้เปรียบอยู่หลายข้อเมื่อเทียบกับงานทางด้านอุโมงค์

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างการดันท่อ กับงานอุโมงค์

หัวข้อ	การดันท่อ (Pipe jacking)	งานอุโมงค์ (Segmental lining)
การออกแบบแรงกระทำต่ออุโมงค์	แรงกระทำภายนอกเหมือนกันเพิ่มเติมตาม BS 5911 Part 120	แรงกระทำภายนอกเหมือนกันต้องออกแบบรอยต่อชิ้นส่วน
แรงกระทำต่ออุโมงค์ขณะติดตั้ง	มีทั้งแรงดันดินหน้าหัวเจาะและแรงเสียดทานรอบท่อขณะดันต้องใช้แรงดันท่อมากกว่าในขนาดท่อที่เท่ากัน	มีเฉพาะแรงดันดินหน้าหัวเจาะไม่มีแรงเสียดทานรอบท่อขณะดันใช้แรงดันน้อยกว่า
การออกแบบบ่อดัน	ต้องออกแบบรับแรงดันท่อมากกว่าในขนาดท่อที่เท่ากัน	ออกแบบแรงดันท่อน้อยกว่าในขนาดท่อที่เท่ากัน
การติดตั้ง	ต้องมีบ่อถี่กว่าตามข้อจำกัดของแรงดันท่อที่มีมากกว่าระยะห่างท่อไม่เกิน 500 เมตร	มีบ่อน้อย ระยะห่างไม่จำกัด
แนวอุโมงค์	ส่วนที่เบี่ยงแนวต้องมีรัศมีความโค้งกว้างไม่น้อยกว่า 300 เมตร	รัศมีความโค้งแคบได้ 30 เมตร โดยใช้โครงเหล็กสั้นๆ
ระบบ Guidance	ท่อในแนวโค้งต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเนื่องจากท่อมีการเคลื่อนที่	อาจใช้วิธีย้ายอุปกรณ์เลเซอร์ไปติดตั้งในอุโมงค์ได้
รอยต่อ	รอยต่อน้อยและราคาถูก	เป็นจุดอ่อน มีรอยต่อมากและมีราคาแพง
การรั่วซึม	มีโอกาสรั่วซึมน้อย ป้องกันง่าย	มีโอกาสรั่วซึมมาก ป้องกันยาก ราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	การดันท่อ (Pipe jacking)	งานอุโมงค์ (Segmental lining)
การ Grout รอบท่อ	ไม่จำเป็นต้อง Grout คอนกรีตรอบท่อ	ต้องทำการ Grout รอบท่อ หลังจากติดตั้งชิ้นส่วน และหัวเจาะเคลื่อนตัวพ้นชิ้นส่วนไปแล้ว
การทำงาน	ไม่ต้องมีคนอยู่ภายในหัวเจาะ คนทำงานอยู่ที่บ่อดันและควบคุมการทำงานที่ห้องควบคุมที่ใกล้ปากบ่อ	ต้องมีคนประกอบชิ้นส่วนที่หัวเจาะ และควบคุมการทำงานภายในหัวเจาะ
การลำเลียงวัสดุ	ส่งท่อติดตั้งที่ก้นบ่อดันเท่านั้น	ต้องวางรางเพื่อรถขนส่งชิ้นส่วนท่อตามรางไปยังหัวเจาะภายในอุโมงค์
การลำเลียงดินออกจากหัวเจาะ	ใช้ท่อลำเลียงดินเป็น Slurry หรือ Muck Pump	ใช้ท่อลำเลียง Muck Pump หรือ Muck Car วิ่งตามรางลำเลียงดินออกมาที่บ่อดัน
อุปกรณ์หัวเจาะ	ไม่มี Segment erector	มี Segment erector
การใช้งาน	ใช้ได้กับท่อขนาดเล็ก ไปถึงขนาดกลาง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 300 - 2600 มิลลิเมตร)	ใช้ได้กับท่อขนาดกลาง ไปถึงขนาดใหญ่มาก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2000 - 6000 มิลลิเมตร หรือมากกว่า 6000 มิลลิเมตร)
รูปแบบท่อและแนวท่อ	มีข้อจำกัดทั้งแนวและรูปแบบ	ทำได้หลากหลายรูปแบบตามรูปแบบของหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ตัวอย่างการดันท่อที่เกิดขึ้นในโลก

อุโมงค์ร้อยสายไฟในฮ่องกง

บริเวณย่านอุตสาหกรรมหลี่ฉั่วในประเทศฮ่องกง เป็นย่านที่พักอาศัยที่มีการเจริญเติบอย่างต่อเนื่องทางด้านอุตสาหกรรม ความต้องการทางด้านสาธารณูปโภคก็มีมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นด้วย

ความต้องการที่จะสร้างอุโมงค์คู่ขนานจึงเกิดขึ้นเพื่อที่จะสามารถวางสายไฟฟ้าแรงสูงได้ ความเป็นไปได้ที่จะทำการเชื่อมต่อกับย่านอุตสาหกรรมแห่งนี้ โดยผ่านทางการเจาะผ่านหุบเขา จึงมีการขุดเจาะผ่านเข้าไปในชั้นหินโดยวิธีการดันท่อ ซึ่งมีความยาวทั้งหมด 420 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.15 เมตร โดยใช้แรงดันในการดันท่อสูงถึง 411 เมกกะปาสคาล โดยช่วงระยะ 110 เมตรแรกใช้เวลานานหลายเดือน ค่าโมเมนต์สูงสุดของแรงบิดจะเกิดขึ้นและมีการใช้ระบบการใช้สารหล่อลื่นเพื่อทำให้สามารถทำงานต่อไปได้

การก่อสร้างท่อก๊าซของทวีปยุโรป

ที่เมืองคอนัมในประเทศเยอรมันนีจะเป็นปลายทางของแนวส่งท่อก๊าซจากประเทศนอร์เวย์ โดยที่บริเวณชายฝั่งมีความต้องการที่จะอนุรักษ์พื้นที่เหล่านั้นไม่ให้ถูกทำลายไปในงานก่อสร้าง จึงต้องทำการขุดจะอุโมงค์โดยวิธีการ โดยวิธีการดันท่อที่ความยาว 2535 เมตร โดยอยู่ในดินประเภทดินเหนียว เพื่อเป็นการอนุรักษ์ธรรมชาติและความปลอดภัยของแนวท่อจึงมีการใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.82 เมตร โดยการเจาะดินแล้วลำเลียงโดยสายพานลำเลียง มีการควบคุมแนวท่อโดยจะมีการสังเกตและบำรุงรักษาอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถทำงานได้เป็นระยะทาง 26 เมตรต่อ 1 วัน และสามารถสร้างเสร็จภายในระยะเวลา 2 เดือน

เกาะรูปต้นปาล์ม

เกาะรูปต้นปาล์ม ที่ถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนของเมืองดูไบ ที่ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรต ถูกสร้างสร้างจากหินและหาดทรายทะเล เมื่อมีการก่อสร้างเรียบร้อยแล้วผู้สร้างต้องการให้เป็นสิ่งก่อสร้างมหัศจรรย์อันดับที่ 8 ของโลก โดยที่สามารถมองเห็นได้จากดวงจันทร์ เกาะประกอบด้วยส่วนของลำต้นยาว 5 กิโลเมตร และทางปาล์มอีก 17 อัน งานเริ่มต้นใน 2001 และมีการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค มีการใช้การขุดเจาะอุโมงค์โดยระบบการดันท่อด้วยความยาว 600 เมตร โดยเจาะจากส่วนลำต้นของต้นปาล์มผ่านไปยังส่วนวงแหวนล้อมรอบต้นปาล์ม ใช้การเจาะผ่านชั้นทราย แนวปะการัง และชั้นหินปูนเข้าไปเพื่อที่จะใช้เป็นท่อสายไฟฟ้า สายโทรศัพท์และท่อส่งน้ำ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.025 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อส่งน้ำมันรอดใต้แม่น้ำเนวา

แนวท่อส่งน้ำมันสำหรับการส่งออกของซึ่งลอดใต้แม่น้ำเนวาใกล้กับนครรัฐเซนปีเตอร์สเบิกในประเทศรัสเซีย ถูกสร้างขึ้นโดยใช้วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบการดันท่อเป็นระยะทาง 775 เมตร โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 0.45 เมตร แม่น้ำนี้เป็นหนึ่งในแม่น้ำที่สำคัญที่สุดโดยใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการขนส่งของประเทศ การทำงานนี้จะต้องไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำดังนั้นอุโมงค์จึงต้องลอดใต้แม่น้ำซึ่งอยู่ใต้ดินในสภาพที่ดินเป็นดินทรายละเอียดผสมกับดินโคลน ในบางโอกาสอุโมงค์และแม่น้ำมีความต่างระดับกันที่ 7 เมตร ความยาวของอุโมงค์จึงอยู่ภายใต้แรงดันน้ำอย่างรุนแรง ความดันของอากาศในอุโมงค์ที่รองรับจะต้องรับได้ที่ความปลอดภัย

ท่อส่งน้ำเสียที่ปากแม่น้ำโอเดน

ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอังกฤษมีการก่อสร้างท่อจากการบำบัดน้ำเสียลงไปในทะเลเหนือ โดยใช้วิธีการก่อสร้างอุโมงค์แบบวิธีการดันท่อ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.196 เมตร แนวท่อทั้งหมดมีความยาว 553 เมตร ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกมีความยาว 180 เมตร และเอียง 8 องศา ส่วนที่ 2 มีความยาว 120 เมตร และมีมุมโค้งตามแนวดิ่งซึ่งมีรัศมี 1200เมตร และส่วนสุดท้ายมีความยาว 250เมตร ลอดผ่านชายหาดที่บริเวณทะเลเหนือเป็นมุมเอียง 0.2 องศา เนื่องจากสภาพของดินเป็นดินเหนียวอ่อน อุโมงค์ซึ่งยาวและมีส่วนโค้งในแนวดิ่งจึงมีท่อลดแรงดัน (Intermediate jacking pipes) 5 ชิ้นส่วน เพื่อที่จะลดค่าแรงเสียดทานลงให้มีค่าน้อยที่สุดจึงมีการใช้ระบบการใช้สารหล่อลื่น ตำแหน่งของอุโมงค์จะถูกสำรวจเป็นอย่างดีและจะสร้างอุโมงค์นี้โดยวิธีการดันท่อที่ความดัน 1 บาร์ ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.196 เมตร

อ่าวออสเว

ในการทำงานมีความต้องการที่จะทำงานในดินที่อยู่ในสภาวะที่คงตัวแต่ในการทำงานของโครงการสร้างแนวท่อส่งก๊าซนี้ ซึ่งมีเส้นทางผ่านชั้นดินที่เป็นทรายและกรวด ต่อมาได้ผ่านช่วงหินแข็งจึงมีการทำงานโดยการขุดเจาะอุโมงค์แบบวิธีการดันท่อ เป็นระยะทาง 230 เมตร ผ่านดินที่ไม่คงตัวซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์ 1.22 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุโมงค์ท่อร้อยสายไฟในโซล

การก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีการดันท่อ เพื่อที่จะทำเป็นท่อร้อยสายไฟความยาว 800 เมตร โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออยู่ที่ 3.06 เมตร ซึ่งมีส่วนโค้งถึง 5 โค้ง ในรัศมีที่แคบประมาณ 200-250 เมตร ความท้าทายด้านความปลอดภัยจะอยู่ที่การเจาะผ่านด้านล่างของอาคารสูงซึ่งมีรถไฟใต้ดินวิ่งอยู่ด้วย ในพื้นที่นี้จะต้องรับแรงมหาศาลซึ่งจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะมีการก่อสร้างโดยการขุดหลุมขนาดลึกๆผ่านถนนซึ่งมีการจราจรคับคั่ง จึงเกิดวิธีการทำงานโดยการใช้วิธีการการดันท่อเนื่องมาจากไม่มีที่ว่างสำหรับการสร้างบ่อของท่อหลายๆแห่งเพื่อประหยัดเวลาในการทำงานจะมีการใช้ระบบของสารหล่อลื่นเพื่อช่วยในการทำงานผ่านชั้นหิน ซึ่งจะมีท่อลดแรงดันอยู่ 4 แห่ง ที่ถูกใช้งานในโครงการนี้ซึ่งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003

ท่อส่งน้ำเสียในเมืองบอสตัน

ในขณะที่เมืองบอสตันมีความแออัดของถนนและการจราจรที่คับคั่ง จึงมีความคิดที่จะสร้างท่อส่งน้ำเสียขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 72 นิ้ว โดยใช้วิธีการดันท่อซึ่งจะดันประมาณ 1000 ฟุต ของความยาวท่อซึ่งอยู่ใต้ถนนแอตแลนติกใกล้กับสถานีรถไฟด้านทิศใต้ ซึ่งมีการจราจรที่ติดขัดที่สุดในเมืองบอสตัน เพราะว่าสาเหตุนี้เองทำให้วิศวกรตัดสินใจใช้วิธีการดันท่อมากกว่าที่จะวิธีการเปิดหน้าดิน ซึ่งมีความยาวท่อ 1000 ฟุตนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง แต่ละช่วงยาวไม่เท่ากัน ส่วนแรกยาว 250 ฟุต ส่วนที่สองยาว 320ฟุต ส่วนที่สามยาว 430ฟุต โดยสองช่วงแรกจะมีการใช้ท่อลดแรงดัน ซึ่งวิธีนี้ไม่เคยมีการใช้มาก่อนในเมืองนิวอิงแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา การดำเนินการวิธีนี้จะมีพื้นที่บ่อสำหรับการดันท่อ ซึ่งสามารถรับแรงจากการดันที่มีค่ามากได้และบ่อรับเป็นจุดจบของงานได้ ชิ้นส่วนแรกของท่อจะถูกเจาะเข้าไปโดยหัวเจาะเหล็กและจะมีแม่แรงคอยดันให้ท่อเข้าไปในตำแหน่งและระดับผ่านเข้าไปในดินโดยการดันด้วยแรงขนาด 300 ตัน เมื่อท่อถูกดันไปข้างหน้าจะมีการเจาะและขุดวัสดุข้างในออกมาภายนอกที่บ่อดันแล้วเคลื่อนย้ายออกไปข้างนอกโดยการใช้เครนยกขึ้นมา

ในบ่อดันจะมีการต่อกันระหว่างบล็อกกับแม่แรงให้ดันท่อไปจนสุด เมื่อเพียงพอแล้วก็จะใส่ตัวรองเข้าไปแล้วทำการนำชิ้นส่วนอื่นลงไปเพื่อดำเนินการต่อไป เมื่อทำไปเรื่อยๆจะต้องไม่ระวังไม่ให้มีการแตกเพราะเมื่อยิ่งยาวจะต้องใช้แรงดันที่มากขึ้น ส่วนท่อลดแรงดันจะถูกติดตั้งเมื่อความยาวของชิ้นส่วนท่อยาวมากเพื่อช่วยลดแรงดันที่ใช้งาน ชิ้นส่วนจะถูกดันไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงบ่อรับจึงเสร็จสิ้นกระบวนการดันท่อ

โครงการนี้ใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการออกแบบพิเศษซึ่งมีความหนาของผนัง 8 นิ้ว มีปลอกเหล็กในการยึดชิ้นส่วนในการถ่ายแรง และจะมีรูเพื่อไว้ใช้ในการปั๊มสารเบ็นโทไนท์ที่ผิวภายนอกของท่อ เพื่อลดแรงเสียดทานจากการดันท่อ ท่อนี้เป็นท่อที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่โดยทั่วไปการดันท่อจะใช้ขนาดประมาณ 30 นิ้ว ซึ่งมีพื้นที่เพียงพอที่จะให้คนงานสามารถเข้าไปทำงานได้ในช่วงเวลาสั้นๆในระหว่างการทำงาน

ท่อขนาดใหญ่ทางทิศเหนือของเมืองโอเรกอน

หน่วยงานขนส่งของเมืองโอเรกอนขณะนี้กำลังทำการพัฒนาระบบถนนและสะพานขนานใหญ่ เพียงแค่ถนนเส้นระหว่างเส้นที่ 238 ต่อกับถนนแจ็คสันก็ใช้งบประมาณสูงถึง 135 ล้านดอลลาร์ ซึ่งเป็นงานก่อสร้างที่ใหญ่ที่สุดในรอบสิบปีของเมืองแจ็คสัน

10 ปีที่ผ่านมาโครงการต่างๆจะไม่ได้รวมถึงการใช้ของเทคโนโลยีที่ปลอดจากการเปิดหน้าดิน โดยเฉพาะการดันท่อโดยใช้แม่แรง แต่ในปัจจุบันเรื่องราวต่างๆแตกต่างไปแล้ว เมื่อผู้รับเหมา กำลังผลักดันข้อจำกัดของวิธีปลอดจากการเปิดหน้าและอุปกรณ์การทำงานให้หมดไป โดยโครงการนี้เสร็จสิ้นอยู่ในศูนย์กลางเคลิฟอร์เนียในปี 1951.

สำหรับการติดตั้งท่อส่งน้ำเสียขนาด 80 นิ้ว เป็นระยะ ทาง 180 ฟุต ใต้ทางหลวงหมายเลข 9 ที่เมดฟอร์ด โดยใช้ตัวดันท่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกในขณะนั้น

เหมือนกันกับหลายเมืองของประเทศนี้ การทำงานในเมืองโอเรกอนมีหลายกรณีในการทำงานภายใต้สะพานและถนนขนาดใหญ่ ที่มีการเพิ่มขึ้นของการจราจรและการพัฒนาทางด้านการเข้าถึงของพื้นที่เมือง โดยโครงการ 18 ล้านดอลลาร์นี้จะรวมทุกอย่างของสิ่งก่อสร้างตั้งแต่การฟื้นฟูถนนที่มีอยู่แล้วและสิ่งก่อสร้างใหม่ที่จะติดตั้ง ซึ่งมีระบบระบายน้ำเสียและสัญญาณไฟจราจร โดยการที่จะต้องรบกวนพื้นที่ให้น้อยที่สุดในขณะที่ทำการติดตั้งท่อเหล็กใต้ถนนซึ่งเป็นความท้าทายที่ผู้รับเหมาจะต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ชนิดนี้

ตัวดันท่อจะเป็นเครื่องมือในการส่งท่อเข้าไปในดิน หากว่าเป็นท่อขนาดเล็กถือว่าไม่ยากมาก ความยากหรือความท้าทายจะอยู่ที่ท่อขนาดใหญ่และระยะทางที่ยาว แต่เทคโนโลยีทางด้านนี้ได้พัฒนาขึ้นทำให้สามารถทำงานที่ยากได้

ท่อเหล็กถูกเลือกใช้สำหรับโครงการที่เมดฟอร์ด ในระหว่างการดันท่อก็จะมีการเชื่อมชิ้นส่วนซึ่งจะใช้เวลาหลายชั่วโมง ท่อเหล็กนี้จะถูกออกแบบให้พอดีกันเพื่อที่ว่าเมื่อมีการเชื่อมเสร็จสิ้นจะต้องแข็งแรงเพียงพอ

หลังจากรู้ขอบเขตของงานทั้งหมด บริษัทก่อสร้างจะเริ่มเตรียมงานที่หน้างานเพื่อสร้างงานก่อสร้างโดยวิธีการดันท่อที่ขนาดใหญ่และยาวที่สุดในโลกตั้งแต่ที่เริ่มมีมา โดยมีทั้งการขุดและการใช้เสาเข็มพืดเพื่อความปลอดภัย คนงานจะเริ่มจากการเทคอนกรีตเพื่อสำหรับทำที่ที่เป็นที่รองรับหัวเจาะ และใช้สำหรับเป็นที่รองรับตัวดันท่อซึ่งจะต้องรับแรงดันท่อและมีการสร้างเพื่อการถ่ายแรงด้วย ตามด้วยการเริ่มงานขุดเจาะและกระบวนการดันท่อตามไปเลย การขุดเจาะจะช่วยให้การทำงานด้านการดันท่อเป็นเรื่องง่ายเมื่อทำงานผ่านดินแข็งและหิน บางกรณีของงานก็มีการใช้สารเบ็นโทไนท์เพื่อเป็นการช่วยลดแรงเสียดทานทั้งภายนอกและภายในด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตัวอย่างโครงการดันท่อที่เกิดขึ้นในประเทศไทยจากการเก็บข้อมูล

ชื่อโครงการ	ขอบเขตของงานด้านการดันท่อ	เจ้าของงาน	มูลค่าสัญญา (บาท)	รายละเอียดของท่อ
โครงการบำบัดน้ำเสียเขตทวีวัฒนา	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 1845 เมตร มีบ่อ 22 บ่อ	กทม	48,700,000	ขนาด 300 mm. = 1,555 m. ขนาด 400 mm. = 290 m.
โครงการบำบัดน้ำเสีย กทม.ช่วงที่ 4	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 11841 เมตร มีบ่อ 90 บ่อ	กทม	744,863,296	ขนาด 300 mm. = 1,569 m. ขนาด 400 mm. = 1,240 m ขนาด 500 mm. = 653 m. ขนาด 600 mm. = 1,012 m. ขนาด 900 mm. = 721 m ขนาด 1000 mm. = 3,662 m. ขนาด 1200 mm. = 1,573 m. ขนาด 1500 mm. = 481 m. ขนาด 2000 mm. = 930 m.
โครงการบำบัดน้ำเสีย กทม.ช่วงที่ 4 โซนที่ 2	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 2711 เมตร มีบ่อ 35 บ่อ	กทม	75,991,523	ขนาด 400 mm. = 436 m. ขนาด 900 mm. = 711 m ขนาด 2000 mm. = 1,226 m.

ชื่อโครงการ	ขอบเขตของงานด้านการดันท่อ	เจ้าของงาน	มูลค่าสัญญา (บาท)	รายะเอียดของท่อ
โครงการจัดการบำบัดน้ำเสีย จ.สมุทรปราการ ด้านทิศเหนือส่วนที่ 24	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 21546 เมตร มีบ่อ 155 บ่อ	กรมควบคุมมลพิษ	883,625,558	ขนาด 300 mm. = 3,709 m ขนาด 500 mm. = 4,261 m ขนาด 600 mm. = 1,534 m ขนาด 800 mm. = 1,721 m ขนาด 1000 mm. = 3,662 m ขนาด 1200 mm. = 1,573 m. ขนาด 1500 mm. = 3,277 m.
โครงการจัดการบำบัดน้ำเสีย จ.สมุทรปราการ ด้านทิศเหนือส่วนที่ 25	งานก่อสร้างเพิ่มเติม 10009 เมตร มีบ่อ 110 บ่อ	กรมควบคุมมลพิษ	235,228,299	ขนาด 300 mm. = 1,916 m. ขนาด 450 mm. = 2,190 m. ขนาด 500 mm. = 1,474 m ขนาด 600 mm. = 238 m. ขนาด 800 mm. = 108 m. ขนาด 2000 mm. = 4,083 m
โครงการท่อส่งน้ำเสีย กทม ช่วงที่ ส่วนที่ 2	จัดหาท่อคอนกรีต ยาว 2321 เมตร	กทม	24,500,000	ขนาด 1,500 mm. = 2,321 m.

ชื่อโครงการ	ขอบเขตของงานด้านการดันท่อ	เจ้าของงาน	มูลค่าสัญญา (บาท)	รายะเอียดของท่อ
โครงการบำบัดน้ำเสีย กทม.ช่วงที่ 1	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 1961 เมตร มีบ่อ 182 บ่อ	กทม	273,587,287	ขนาด 300 mm. = 184 m. ขนาด 600 mm. = 1,167 m. ขนาด 800 mm. = 4 m ขนาด 1000 mm. = 20 m. ขนาด 1200 mm. = 586 m.
โครงการบำบัดน้ำเสีย กทม.ช่วงที่ 3	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 64922 เมตร มีบ่อ 535 บ่อ	กทม	4,533,633,000	ขนาด 300 mm. = 11,736 m ขนาด 400 mm. = 10,569 m ขนาด 500 mm. = 3,572 m. ขนาด 600 mm. = 6,508 m. ขนาด 900 mm. = 8,169 m. ขนาด 1000 mm. = 2,170 m. ขนาด 1500 mm. = 7,237 m. ขนาด 1750 mm. = 2,385 m. ขนาด 2000 mm. = 6,060 m. ขนาด 2300 mm. = 6,516 m.

8331.1

ชื่อโครงการ	ขอบเขตของงานด้านการดันท่อ	เจ้าของงาน	มูลค่าสัญญา (บาท)	รายละเอียดของท่อ
บ่อและท่อร้อยสายสถานีบางกอกน้อย	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 1855 เมตร มีบ่อ 24 บ่อ	การไฟฟ้านครหลวง	189,200,000	ขนาด 1500 mm. = 1855 m.
บ่อและท่อร้อยสายสถานีบางกะปิ	ออกแบบและก่อสร้างงานดันท่อยาว 872 เมตร มีบ่อ 18 บ่อ	การไฟฟ้านครหลวง	39,900,000	ขนาด 1500 mm. = 872 m.
ท่อส่งน้ำประปา	จัดหาและก่อสร้างท่อความยาว 346 เมตร	การประปานครหลวง	69,000,000	ขนาด 2000 mm. = 346 m.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตัวอย่างโครงการระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดสมุทรปราการ

1. จุดประสงค์ของโครงการ

เนื่องจากจังหวัดสมุทรปราการมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานก็มีความสกปรกสูง การปล่อยระบายน้ำเสียได้ส่งผลเสียหายต่อแหล่งน้ำ ชุมชน และสุขภาพอนามัยของประชาชน อีกทั้งยังทำให้ผลผลิตทางการเกษตรทั้งการทำนาข้าวนาปลา และการประมงตกต่ำลงกว่าเดิมเป็นอันมากจนทำให้ต้องมีการประกาศให้จังหวัดสมุทรปราการเป็นเขตควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2536

2. แนวทางการแก้ปัญหา

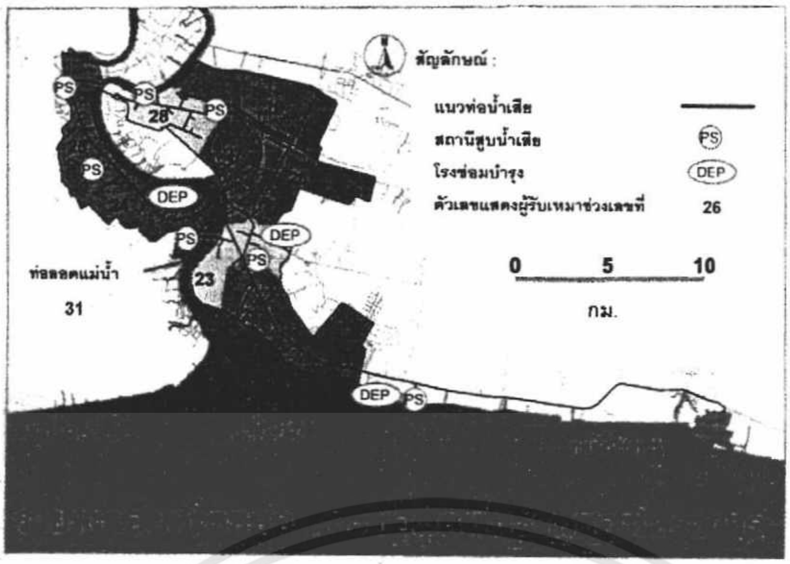
จัดทำโครงการออกแบบรวมก่อสร้าง (Turn Key) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียของจังหวัด พร้อมกับการดำเนินการในเรื่องสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป ระบบบำบัดน้ำเสียจะช่วยลดความสกปรกที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำได้ถึง 95 สำหรับระบบการก่อสร้าง จะก่อสร้างท่อหลักในการรวบรวมน้ำเสียในถนนสายหลัก (Main trunk) และท่อรองที่รวบรวมน้ำเสียในถนนสายรอง (Secondary sewers) รองรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนในพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีวิธีการดันท่อโดยไม่ขุดเปิดหน้าดินเพื่อลดปัญหาการจราจร ความยาวทั้งโครงการ 125 กม.

3. วิธีการก่อสร้างท่อรวบรวมน้ำเสีย

การก่อสร้างท่อรวบรวมน้ำเสียได้ใช้วิธีการก่อสร้างแบบไม่ขุดเปิดหน้าดิน แล้วคัดเลือกจุดที่รบกวนผิวจราจรน้อยที่สุด ขุดเป็นบ่อชั่วคราวที่เรียกว่าบ่อดัน สำหรับวางเครื่องจักรเพื่อดันท่อ แล้วดันท่อลอดไปทางใต้ดิน ไปสู่บ่อรับที่อยู่ห่างออกไปในระยะไม่เกิน 600 เมตร การก่อสร้างจะดำเนินการในช่วงเวลาที่การจราจรเบาบาง และเพื่อมิให้เป็นการสูญเสียผิวการจราจรทางโครงการจะใช้แผ่นเหล็กหนาปิดทับบ่อรับไว้ เมื่อการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับแต่ละชุด แล้วเสร็จ ทางโครงการก็จะคืนผิวจราจรทั้งหมดให้ใช้เป็นปกติดังเดิม ส่วนการก่อสร้างในถนนซอยขนาดเล็กอาจจำเป็นต้องมีการจัดเส้นทางจราจรให้เหมาะสมและจัดแผนการก่อสร้างในเวลาที่เหมาะสม เช่น การจัดทางเบี่ยงเพิ่มผิวจราจร การจัดรถเดินทางเดียวและเปิดให้มีการจราจรปกติเมื่อเวลาเร่งด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 2.5 แสดงบริเวณโครงการระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดสมุทรปราการ

รูปภาพที่ 2.6 แสดงท่อที่ใช้ในโครงการระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
บ่อ ระบบลำเลียงดิน และอุปกรณ์ที่จำเป็น
สำหรับการดันท่อ

3.1 กล่าวนำ

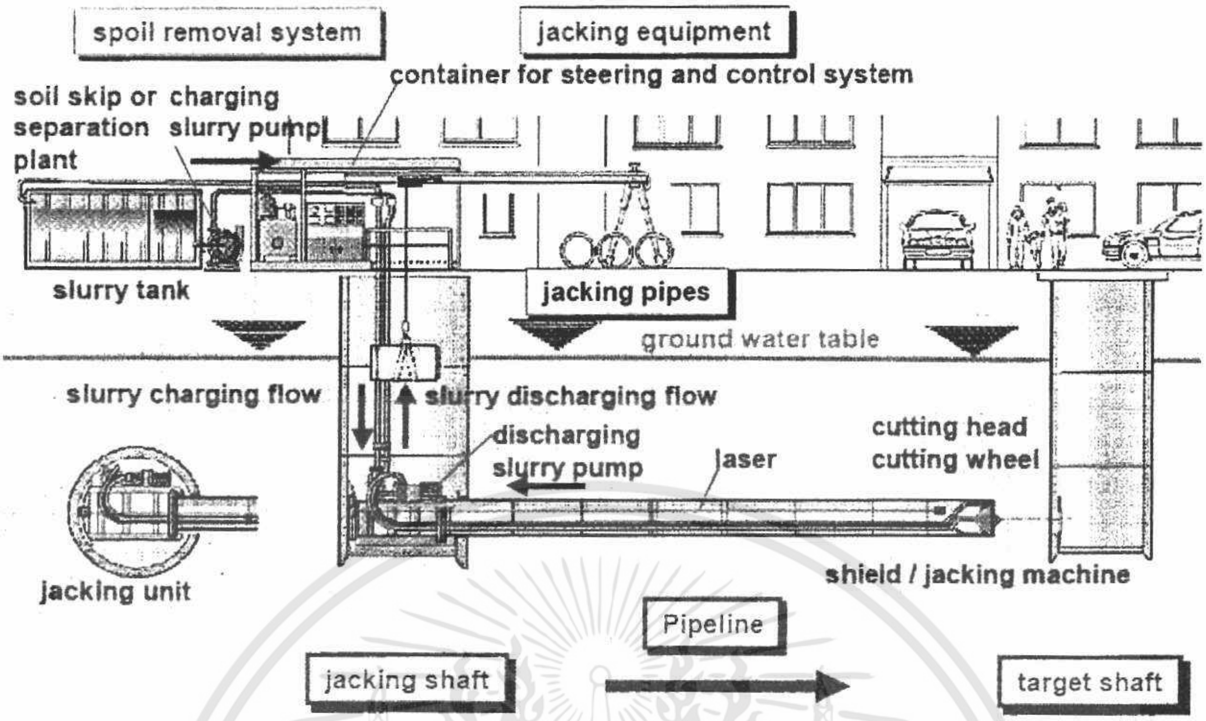
การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการดันท่อ (Pipe jacking) จะใช้แม่แรงในการดันชิ้นส่วนของท่อไปตามแนวที่ได้ขุดเป็นอุโมงค์ไปแล้ว การดันท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 150 มิลลิเมตรขึ้นไป ใช้ระบบติดตั้งหัวเจาะ (Shield) โดยใช้เครื่องดันท่อไฮโดรลิก (Hydraulic jacking) จากช่องบ่อดัน (Jacking pit) โดยการดันท่อจะดันต่อเนื่องกันไป การดันท่อในช่วงแรกๆที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 900 มิลลิเมตร. จะให้คนเข้าไปในชิ้นส่วนของท่อที่ต่อกันเรื่อยๆ โดยสามารถใช้ได้กับท่อที่มีหน้าตัดกลมและหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ในงานดันท่อขนาดเล็กโดยที่คนไม่สามารถเข้าไปทำงานในท่อได้ จะใช้รีโมทคอนโทรลติดไว้ที่หัวเจาะ ใช้แสงเลเซอร์ในการนำทิศทางและติดตั้งท่อไปพร้อมกัน โดยใช้เทคนิคการสำรวจด้วย

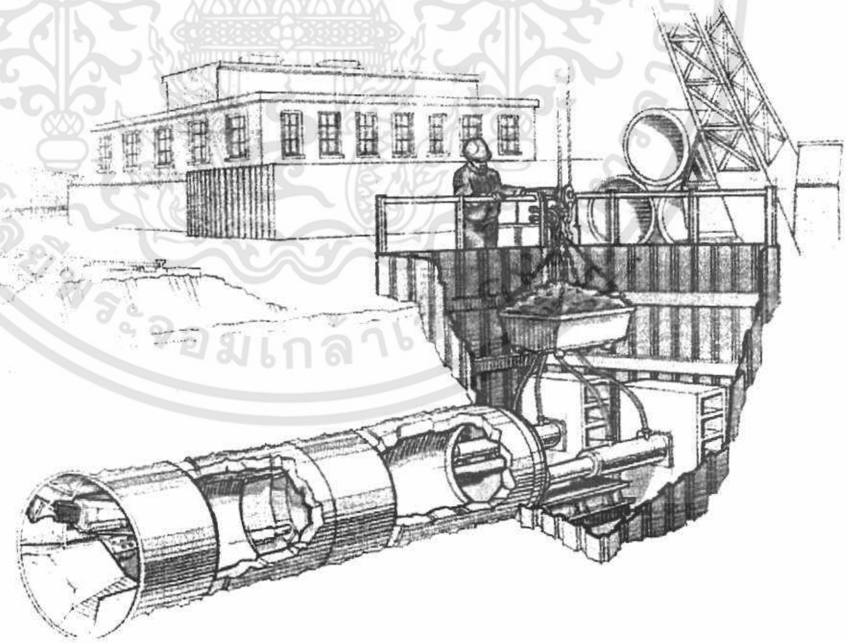
เทคโนโลยีสมัยใหม่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อให้การดันท่อขนาดใหญ่และขนาดเล็กสามารถทำได้กับสภาพดินที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ทรายอิ่มตัว กรวด ดินเหนียว โคลน และหินแข็ง โดยจะต้องปฏิบัติตามหลักการอย่างเคร่งครัด ควบคุมทิศทางอย่างแม่นยำ และมีข้อกำหนดอย่างจำกัด ในการประยุกต์ใช้งานท่อระบายน้ำจะต้องมีแนวทิศทาง ความลึก ซึ่งจะความคุ้มค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเปิดหน้าดิน

การดันท่อจำเป็นที่จะต้องมีการขุดบ่อดันเพื่อวางเครื่องจักรโดยออกแบบให้เหมาะกับการทำงาน ซึ่งต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของตัวบ่อรับเอง การขุดเจาะดินของการดันท่อจะเริ่มจากการใช้หัวเจาะโดยการบังคับและย้ายดินออกจากหัวเจาะ หากสภาพดินแตกต่างกันหัวเจาะที่ใช้ก็จะแตกต่างกันด้วย เช่น Backacter หรือ Cutter boom หรือ Rotating cutter head ต่อจากนั้นเป็นการเปิดหัวเจาะ เพื่อลำเลียงดินออกโดยใช้ระบบรอกหรือสะพานมาที่ปล่องเครื่องจักร ระบบสูญญากาศถูกลำเลียงดินออกจากอุโมงค์โดยเป็นดินเหลว เมื่อดินไม่เกาะกลุ่มกันจะใช้หัวเจาะแบบ Rotating cutter head และใช้เทคนิคลำเลียงดินเหลวโดยใช้ความดัน (Earth pressure balance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบต่างๆในการดันท่อ



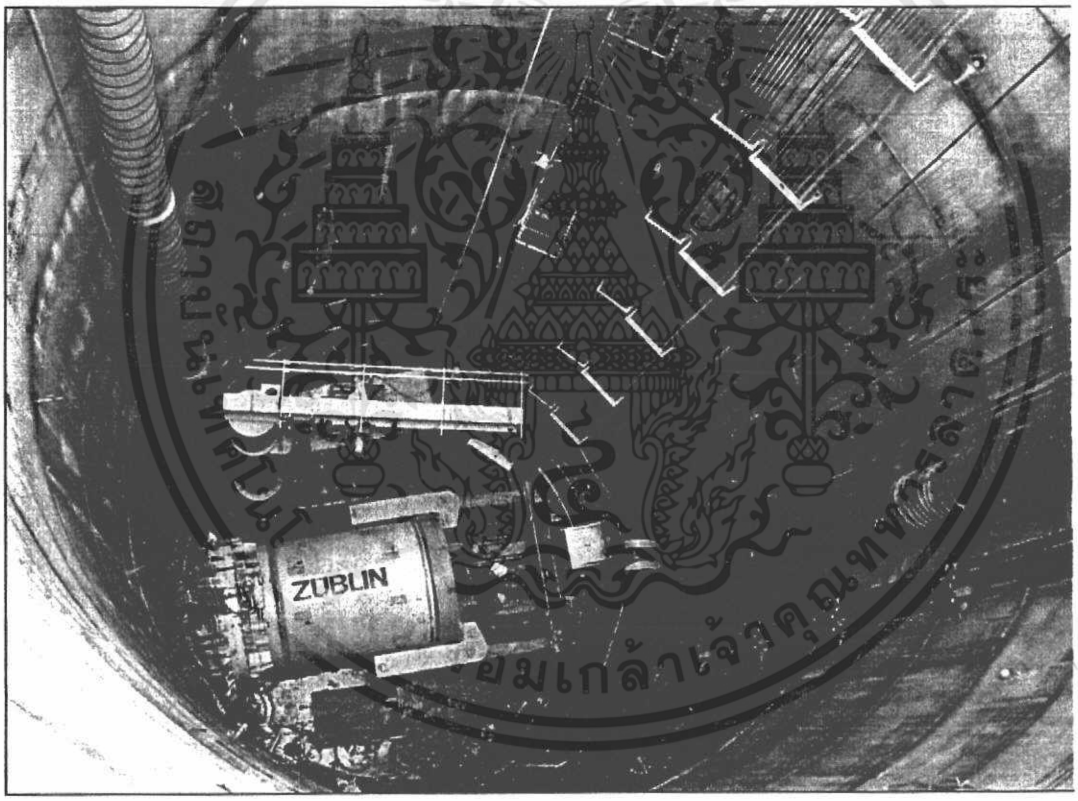
รูปภาพที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการลำเลียงดินที่ได้จากดันท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 บ่อสำหรับการดันท่อ

บ่อสำหรับในการดันท่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 บ่อ คือบ่อดัน (Jacking pit) และบ่อรับ (Receiving pit) วิธีการก่อสร้างบ่อทั้ง 2 บ่อนี้ส่วนมากจะเป็นการก่อสร้างชั่วคราว โดยใช้วิธีการป้องกันดินแบบเข็มพืดเหล็ก (Sheet pile) ตอกกันดินและมีค้ำยันด้านใน ในการจมบ่อจะเอาน้ำหนักมากดทับบริเวณปากบ่อเพื่อให้บ่อจมลงไปใต้ดิน ซึ่งการจมบ่อคอนกรีตสามารถทำได้ 2 วิธี คือการจมบ่อแบบหล่อคอนกรีตกับที่ (Cast in place) โดยบ่อที่ใช้จะเป็นบ่อสำเร็จรูปที่หล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว และการจมบ่อแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูป (Precast segment) ซึ่งจะนำชิ้นส่วนของบ่อแต่ละชิ้นมาประกอบกัน

ในการก่อสร้างบ่อก่อสร้างนั้นจะสร้างบ่อดันสลับกับบ่อรับโดยมีระยะห่างกันตั้งแต่ 150 – 300 เมตร



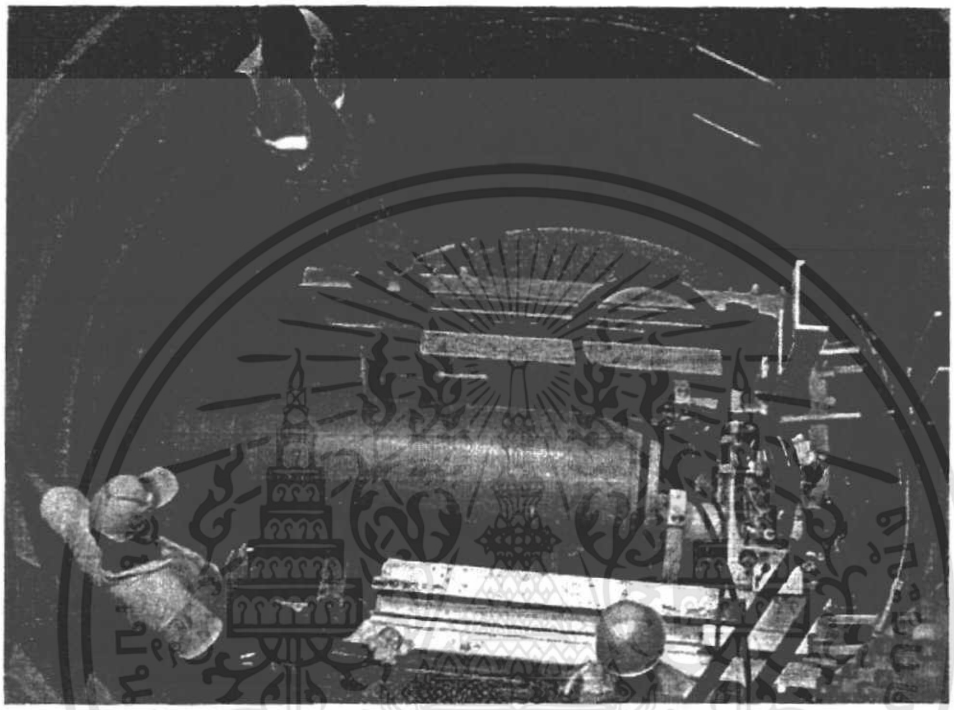
รูปภาพที่ 3.3 แสดงบริเวณภายในบ่อดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดันท่อ

แรงที่ใช้ในการดันท่อ (Jacking load) เป็นสิ่งสำคัญในการเคลื่อนย้ายท่อไปข้างหน้าโดยแม่แรง (Jacks) จะถูกใช้เพื่อดันท่อผ่านบ่อที่ขุดไว้ ในงานวางท่อที่มีความยาวมากจำเป็นต้องมีท่อลดแรงดัน (Intermediate jacking pipes) เพื่อช่วยเพิ่มแรงดันในการดันท่อไปยังบ่อรับ

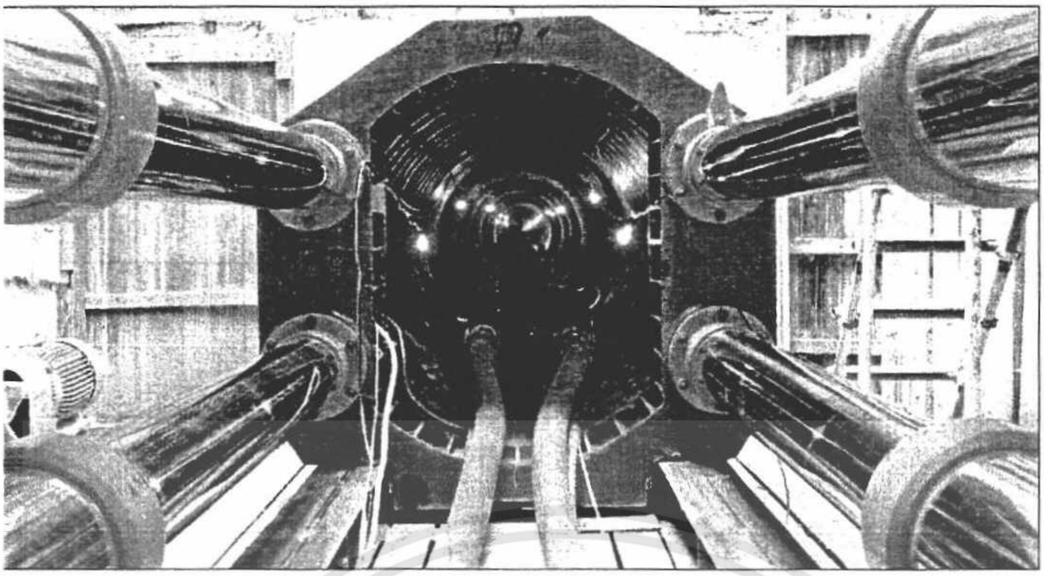


รูปภาพที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบการดันท่อ

3.3.1 ชุดแม่แรง (Jacking rigs)

แม่แรงส่วนใหญ่จะมีรูปทรงกระบอก ส่วนโครงของแม่แรงจะส่งถ่ายแรงไปยังกำแพงกันดินและบางส่วนของ Thrust ring ความเร็วของแม่แรงจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพของดินและกระบวนการที่ใช้ในการขุดเจาะ วงแหวนรองรับ (Rigs) ที่ใช้จะต้องจัดวางให้เหมาะสมเพื่อที่จะสะดวกในการจัดการและควบคุม บางครั้งในการออกแบบอาจมีการรวมไฮโดรลิกและเครื่องกำเนิดพลังงานไว้ในชุดแม่แรง ส่วนกำลังในการดันโดยทั่วไปจะอยู่ประมาณ 2,000 ตัน ไฮโดรลิกแต่ละตัวจะมีแรงดันอยู่ประมาณ 300 - 650 บาร์ และมีความสามารถในการดันตั้งแต่ 30 - 300 ตัน

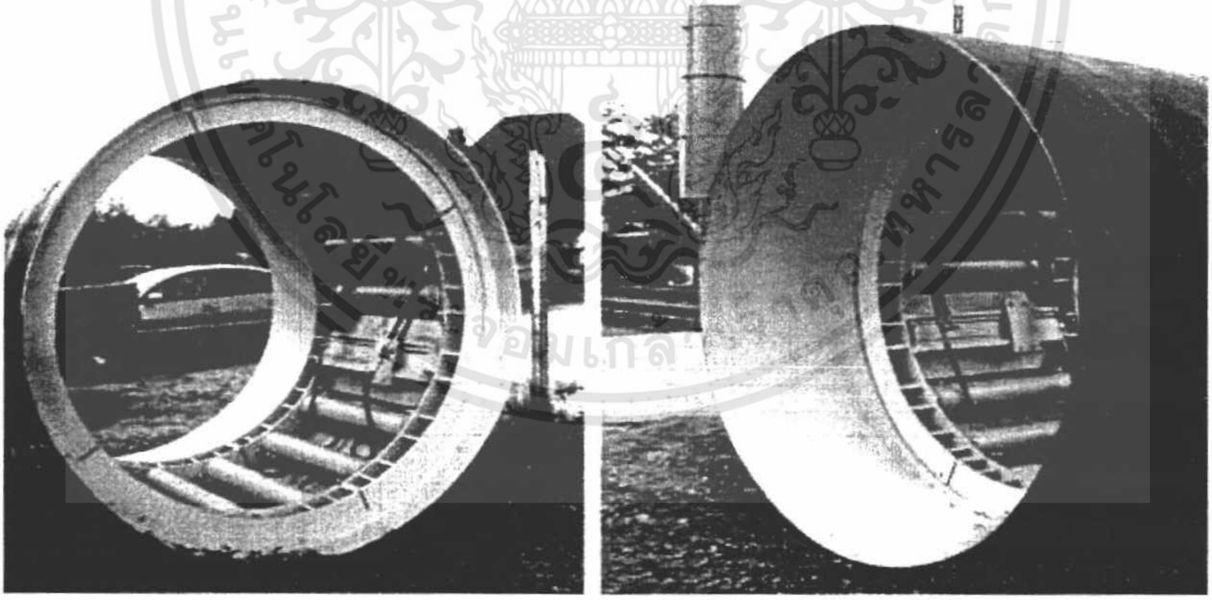
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.5 แสดงบริเวณ Jacking rigs

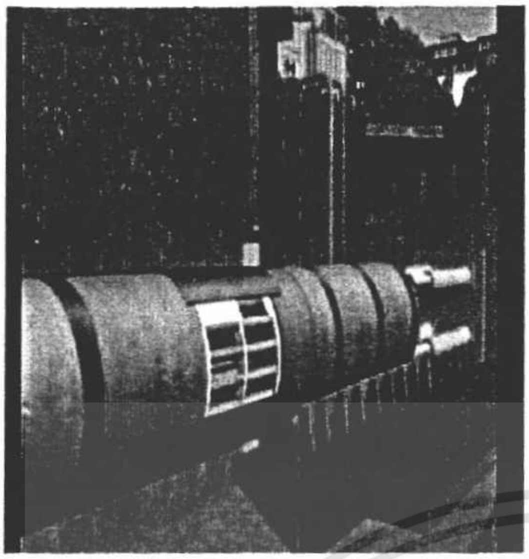
3.3.2 ท่อลดแรงดัน (Intermediate jacking pipes)

ท่อลดแรงดันจะใช้สำหรับเพิ่มแรงที่ใช้ดันท่อสำหรับการขุดเจาะที่มีระยะทางยาว หรือสภาพดินที่ขุดยาก แรงที่ใช้ในการดันท่อจะเพิ่มขึ้นตามระยะทาง ท่อลดแรงดันจะมีปลอกเหล็กที่ส่วนท้ายของท่อ และมีแถบยางเพื่อป้องกันน้ำและเม็ดดินขนาดเล็ก แรงจะส่งผ่านไปยังส่วนท้ายโดย Fixed ring เมื่อการขุดเจาะเสร็จสิ้นแล้วอุปกรณ์ไฮโดรลิกสามารถถอดออกได้

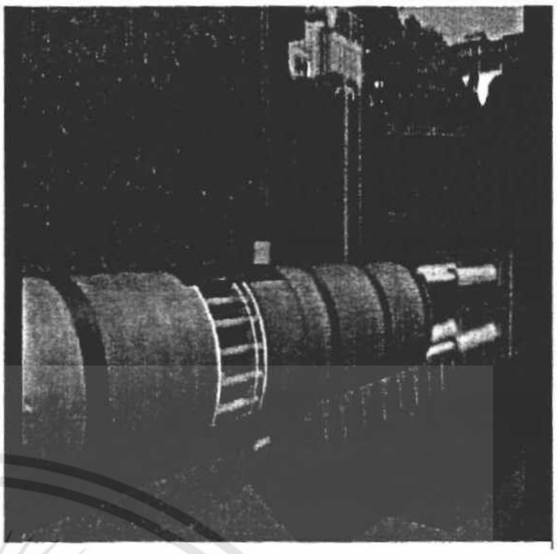


รูปภาพที่ 3.6 รูปแสดงท่อลดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

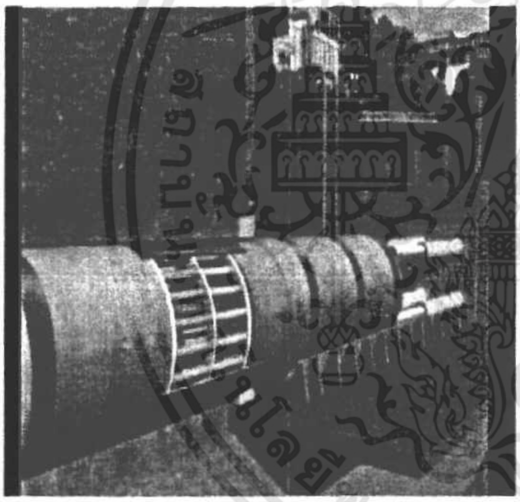


ลักษณะของท่อลดแรงดัน



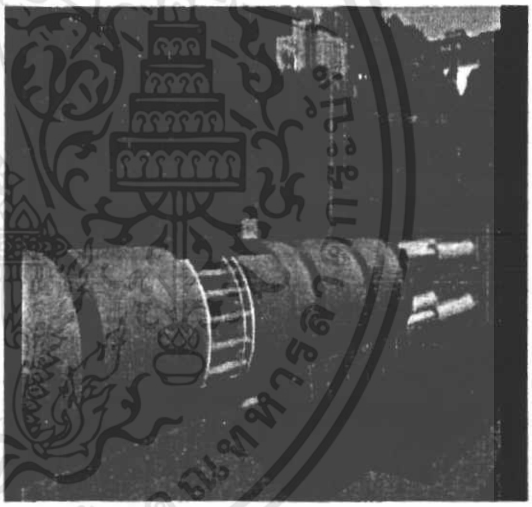
ขั้นที่ 1 ดันแม่แรง

(ท่อลดแรงดันหดสั้นลง)



ขั้นที่ 2 ดันท่อลดแรงดัน

(ส่วนหัวเจาะเคลื่อนไปข้างหน้า)



ขั้นที่ 3 ถอยแม่แรง

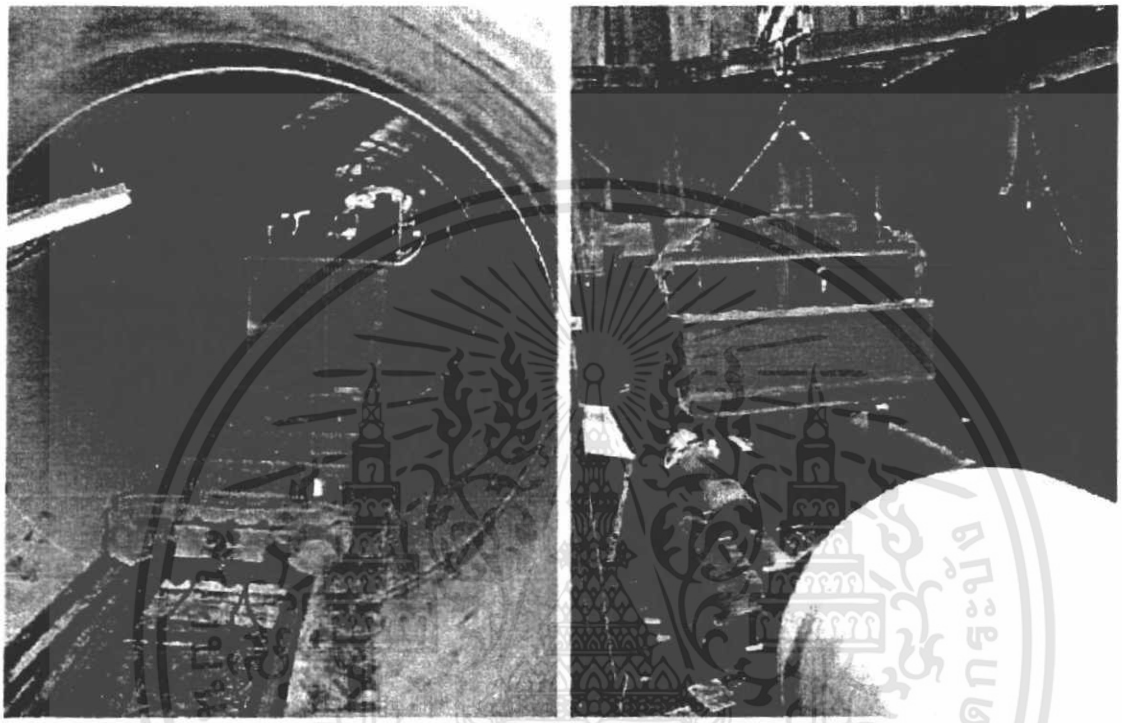
แล้ววางท่อคอนกรีตท่อนใหม่

รูปภาพที่ 3.7 แสดงการทำงานของท่อลดแรงดัน

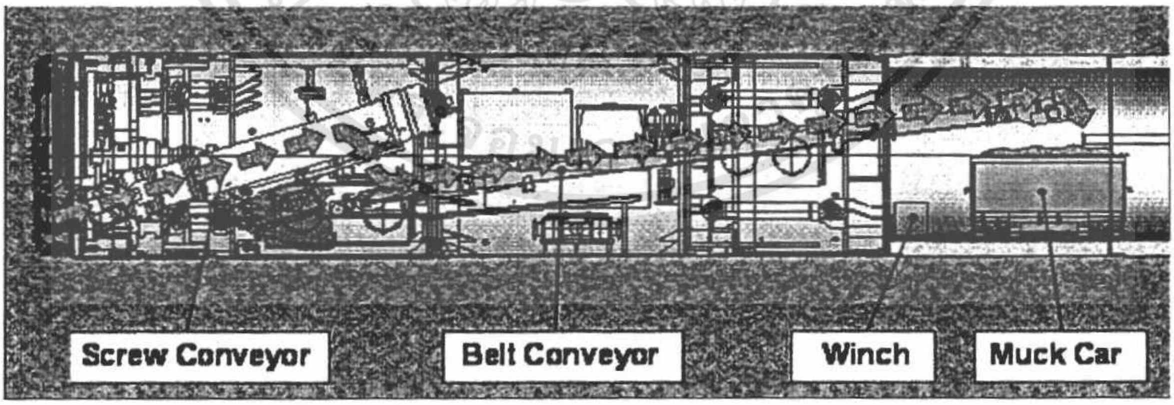
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบลำเลียงดิน (Spoil removal)

หลักการของการดันท่อเกี่ยวข้องกับงานสำรวจพื้นที่และการเจาะสำรวจดิน โดยจะต้องทำการสำรวจเพื่อที่จะสามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้เหมาะสมกับสภาพดินมากที่สุด เพราะหากเลือกใช้ไม่เหมาะสม อาจทำให้เครื่องจักรเสียหายส่งผลต่อราคาการดำเนินการอาจสูงขึ้น



รูปภาพที่ 3.8 แสดงการขนย้ายดิน



รูปภาพที่ 3.9 แสดงกระบวนการขนย้ายดิน

ระบบการขนส่งลำเลียงดินจะขึ้นอยู่กับสภาพดินและปริมาณดินที่ได้จากการขุดเจาะ โดยระบบการลำเลียงดินที่ใช้โดยทั่วไปประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ระบบล้อเลื่อน (Wheeled systems)

ในอุโมงค์ที่ความยาวไม่มากนักและคนสามารถเข้าไปทำงานได้ การลำเลียงดินออกโดยใช้ระบบล้อเลื่อนจะถูกนำมาพิจารณาในการใช้งาน แต่ก็ต้องคำนึงถึงแรงงานคนที่ใช้จะต้องทำงานหนักและเมื่อยล้า ส่งผลต่อความปลอดภัยในการทำงานด้วย

ในการเคลื่อนที่ของล้อเลื่อนจะใช้สายเคเบิลในการดึงแทนที่การใช้เส้นลวด เนื่องจากสายเคเบิลสะดวกและปลอดภัยมากกว่า ความเร็วของรอกที่ใช้ดึงจะอยู่ที่ 5 - 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรืออาจจะสูงกว่านั้นหากความยาวมากกว่า 250 เมตร

การเพิ่มความยาวของท่อ ราง และแรงงานคน จะทำให้ราคามีความคุ้มค่ามากขึ้น ลูกล้อที่ใช้ควรจะติดตั้งแยกออกจากตัวรถเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน ล้อที่ใช้ควรจะเป็นล้อยางเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับท่อ ในการลำเลียงดินควรจะลำเลียงออกให้ได้มากที่สุดเพื่อความประหยัด แต่ก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย

รูปภาพที่ 3.10 แสดงการขนย้ายดินแบบล้อเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 Positive displacement pumps

การลำเลียงดินด้วยวิธีนี้มีการใช้ครั้งแรกในญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1980 สำหรับงานอุโมงค์ขนาดใหญ่ หลังจากนั้นก็มีการพัฒนาและประยุกต์ให้สามารถใช้กับอุโมงค์ขนาดเล็กได้

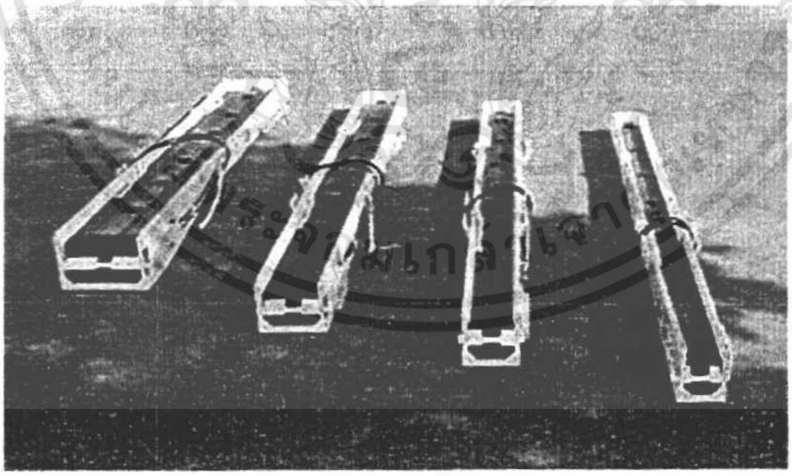
ดินที่ลำเลียงผ่านหัวเจาะจะต้องผสมกับน้ำและสารเบนโทไนต์หรือสารโพลิเมอร์ ด้วยแรงดันประมาณ 120 บาร์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลำเลียงสูงที่สุด

ขนาดของท่อที่ใช้จะมีขนาดเป็น 3 เท่าของขนาดวัสดุหยาบที่ใหญ่ที่สุด โดยดินจะอยู่ภายในท่อประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ วิธีนี้จะมีการทำงานต่อเนื่องตลอดความยาวและมีการปั๊มดินขึ้นไปที่ปล่องโดยตรง วิธีนี้มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งก็คือไม่ต้องแยกดินก่อนการทำงาน

3.4.3 ระบบสายพาน (Belt conveyors)

ระบบสายพานจะลำเลียงดินโดยใส่ในภาชนะแล้วเคลื่อนย้ายโดยสายพาน แต่การใช้ระบบลำเลียงด้วยวิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้ตลอดความยาวของอุโมงค์เนื่องจากปัญหาความสูงต่ำของภายในอุโมงค์ แต่ระบบนี้อาจจะใช้เป็นระบบหลักในการลำเลียงแล้วใช้ระบบอื่นเสริมมาด้วย ในการลำเลียงก็ควรจะคำนึงถึงความเร็วของสายพานจะต้องไม่สูงเกินไปเพราะอาจจะทำให้ดินที่ขนย้ายร่วงหล่น ส่งผลให้เกิดอันตรายได้

เมื่อใช้ระบบนี้กับอุโมงค์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่และความยาวไม่มาก จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการลำเลียงและมีความประหยัด ถ้าหากใช้กับอุโมงค์ที่มีความยาวมาก จะช่วยลดเวลาได้พอสมควร



รูปภาพที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์สำหรับระบบสายพาน

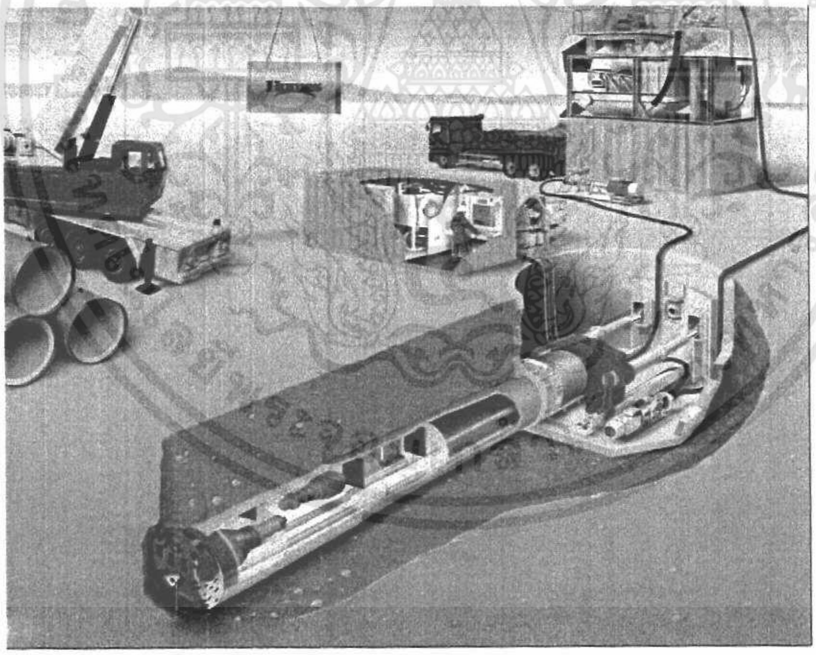
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ระบบปั๊มพ์ของเหลว (Pumps slurry)

การเคลื่อนย้ายดินโดยวิธีนี้เป็นที่นิยมในอุโมงค์ขนาดเล็ก เหตุผลหนึ่งที่ใช้วิธีนี้คือสามารถควบคุมที่ด้านหน้าของหัวเจาะ ระบบนี้จะประหยัดพื้นที่ในการทำงานโดยสามารถเคลื่อนย้ายวัสดุปริมาณมากๆตามความยาวไปที่บ่อและผิวหน้าได้

ระบบปั๊มพ์จะลำเลียงดินออกไปด้านหลังหัวเจาะ โดยดินที่ขุดออกจะต้องผสมกับของเหลวซึ่งวัสดุที่ใช้ผสมเป็นของเหลวจะขึ้นอยู่กับสภาพดินของแต่ละแห่ง โดยอาจจะเป็นน้ำซึ่งเป็นสารผสมที่มีราคาถูก หรืออาจจะเป็นสารเบนโทไนต์หรือโพลิเมอร์ซึ่งจะนิยมใช้กับดินและกรวด ความหนาแน่นของของเหลวที่สามารถปั๊มพ์ได้จะอยู่ที่ 1.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักมากที่สุดซึ่งสามารถลำเลียงได้จะอยู่ที่ 4000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดของปั๊มพ์ขึ้นอยู่กับหัวเจาะและชนิดของดิน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ความเหลว และความเร็ว จะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความเร็วของปั๊มพ์จะต้องมากกว่าความเร็ววิกฤต ความเร็ววิกฤตของของเหลวจะต้องน้อยกว่าน้ำ การไหลและความหนาแน่นจะถูกวัดโดยอุปกรณ์ที่มีอยู่ของผู้รับเหมาโดยใช้ความเร็วมาตรฐานในการตรวจสอบบวกกับประสบการณ์จากการทำงาน



รูปภาพที่ 3.12 รูปแสดงการขนย้ายดินแบบปั๊มพ์ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 Screw conveyors

วิธีนี้จะใช้งานร่วมกับท่อเหล็กหล่อ นิยมใช้ในงานอุโมงค์ขนาดเล็ก วิธีนี้จะมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณของดินที่ลำเลียง และความยาวของระยะทางที่ลำเลียง โดยหากปริมาณที่ลำเลียงจำนวนมากและระยะทางยาว จะสร้างปัญหากับกำลังที่ใช้เป็นสาเหตุให้ปล่องทางเข้าเสียหายโดยการแตกร้าว

ระบบนี้จะสำคัญอยู่ที่การควบคุมปริมาตรของวัสดุที่เข้าไปข้างไม่ให้มีขนาดใหญ่เกินไป โดยจะต้องพิจารณาความเสียดทานที่เพิ่มขึ้น

วิธีนี้จะใช้กับหัวเจาะที่ใช้แรงดันสมดุล โดยจะมีการเคลื่อนย้ายดินจากห้องควบคุมแรงดันไปยังระบบการเคลื่อนย้ายดินเพื่อที่จะคงไว้ซึ่งความดันสมดุล ความเร็วของวิธีนี้จะต้องควบคุมอย่างระมัดระวังให้มีการเคลื่อนย้ายดินไปข้างหน้า การลำเลียงจะต้องพอดีกับขนาดของประตูเปิดปิด

3.4.6 Vacuum extraction

เป็นการลำเลียงโดยการลดความดันให้ใกล้เคียงกับสูญญากาศเพื่อลำเลียงดินออกจากอุโมงค์ โดยจะใช้ท่อด้านดูดที่มีขนาดตั้งแต่ 50 มิลลิเมตร ถึง 250 มิลลิเมตร และใช้ปั๊มพ์ที่สร้างสภาวะใกล้เคียงกับสภาวะสูญญากาศ วัสดุจะถูกลำเลียงสู่ถังเก็บที่อยู่บริเวณหน้าหัวเจาะแล้วลำเลียงไปยังถังต่อไป โดยประสิทธิภาพของการลำเลียงในระยะ 200 เมตร สามารถลำเลียงได้ 100 ตันต่อชั่วโมง และมีความต้องการปริมาณอากาศ 11,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดด้านชนิดของดินที่ทำการขุดเจาะ เช่น ดินเหนียวอาจสามารถอุดตันเส้นทางลำเลียงได้

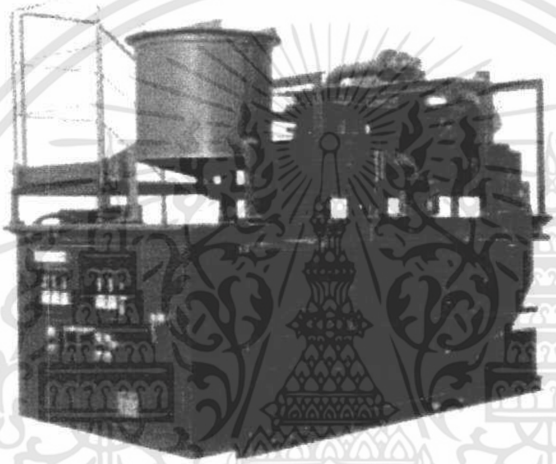
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สารหล่อลื่น

แรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการดันท่อ คือแรงเนื่องจากน้ำหนักของท่อและแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของผิวท่อกับดินในระหว่างการดันท่อ โดยแรงเสียดทานนี้จะเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

ปัญหาเรื่องแรงเสียดทาน สามารถแก้ได้โดยการใช้ท่อขนาดเล็กหรือการใช้สารหล่อลื่น หากสารหล่อลื่นที่ใช้ไม่ดีเพียงพอส่งผลให้แรงต้านเกิดขึ้นมากกว่าแรงที่แรงที่โครงของแม่แรง (Jacking frames) รับได้ อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ โดยสารสารหล่อลื่นทั่วไปที่นิยมใช้คือเบนโทไนท์ หรือสารผสมระหว่างเบนโทไนท์กับโพลิเมอร์



รูปภาพที่ 3.13 แสดงเครื่องเบนโทไนท์ปั้มพ์

ส่วนผสมของเบนโทไนท์ที่นำมาใช้จะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพตรงตามชนิดของดินที่ทำการเจาะ โดยข้อคำนึงหลักๆของสารหล่อลื่นที่ใช้คือจะต้องไม่ให้ซึมหรือแห้งไปในดิน สารหล่อลื่นจะถูกลำเลียงโดยท่อติดตั้งในท่อหลักและฉีดผ่านผนังท่อแต่ชิ้นโดยการฉีดสารหล่อลื่นจะจัดเป็นแนว การฉีดจะถูกควบคุมโดยมนุษย์ในห้องปฏิบัติการผ่านจอมอนิเตอร์ ระบบนี้เป็นที่นิยมมาก ซึ่งสามารถวัดสารหล่อลื่นที่ฉีดไปในตำแหน่งต่างๆได้

หากโครงการเลือกใช้สารหล่อลื่นได้เหมาะสมกับวัสดุและวิธีการ สารหล่อลื่นที่นำมาใช้จะสามารถลดแรงที่ใช้ในการดันอีกทั้งยังสามารถลดขนาดโครงแม่แรงซึ่งทำให้บ่อที่ใช้ในการวางเครื่องจักรเล็กลง ส่งผลให้ราคาของโครงการลดถูกลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบสำหรับการดันท่อ

3.6.1 การออกแบบแรงที่ใช้ในการดันท่อ (Jacking loads)

ในการออกแบบการดันท่อมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

1. คำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นแนวตั้งตามแกนของท่อ (Effective vertical stress) โดย

Effective vertical stress = Total Vertical Stress - Water pressure

2. คำนวณความเค้นแนวนอนตามแกนของท่อ (Total horizontal stress) โดย

Total horizontal stress = Effective horizontal stress + Water pressure

3. คำนวณแรงดันบริเวณด้านหน้าของหัวเจาะ โดย

แรงดันหน้าหัวเจาะ = (Frictional resistance x length of head machine) + Total Face Pressure

4. คำนวณแรงดันที่เกิดจากแรงเสียดทานของท่อ (Friction force)
5. รวมแรงดันทั้งหมดก็จะได้เป็นแรงดันที่ต้องใช้ในการดันท่อ

แรงดันทั้งหมด = แรงดันหน้าหัวเจาะ + (Total friction force x Length of pipe lines)

6. หากใช้สารหล่อลื่นจะสามารถลดแรงดันที่ต้องใช้ได้ประมาณ 30 – 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างออกแบบแรงดันในการดันท่อ

จากข้อมูลที่ให้มา

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (d)	เท่ากับ	1600	มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ (Dp)	เท่ากับ	1800	มม.
ความหนาท่อ (t)	เท่ากับ	100	มม.
ความลึกท้องท่อ	เท่ากับ	4700	มม.
ความลึกศูนย์กลางท่อ	เท่ากับ	3900	มม.
ความยาวแนวท่อ	เท่ากับ	6800	มม.
ระดับน้ำใต้ดิน	เท่ากับ	2000	มม.

แรงดันที่ใช้สามารถคำนวณได้ ดังนี้

<u>การคำนวณ</u>

สมมติ เป็นดินกรวด ผสมทราย SPT N ประมาณ 25

ระดับน้ำใต้ดิน มีความลึก 2.00 เมตร จากระดับพื้นดิน

หน่วยน้ำหนักดิน $(\gamma_S) = 1.95\ T/m^3$

แรงดันน้ำในแนวแกนท่อ (Water pressure at axis of pipe)

$= (\gamma_W) \times$ (ระดับน้ำเหนือความลึกศูนย์กลางท่อ)

$= 1.0 \times (3.9 - 20) = 1.9\ T/m^2$

ความเค้นแนวดิ่งทั้งหมดที่แกนท่อ (Total Vertical Stress at axis of pipe)

$\delta v = (\gamma_S) \times$ (ความลึกศูนย์กลางท่อ)

$= 1.95 \times 3.9 = 7.60\ T/m^2$

Effective vertical stress at axis of pipe

$\delta v'$ = ความเค้นแนวดิ่งทั้งหมดที่แกนท่อ – แรงดันน้ำในแนวแกนท่อ

$= 7.6 - 1.90 = 5.7\ T/m^2$

จากการสมมุติว่าเป็นดินกรวด ผสมทราย SPT N ประมาณ 25 จะได้ Friction angle of soil (Ø) = 33̊

ดังนั้น $K_O = 1 - \sin Ø = 0.455$

Effective horizontal stress at axis of pipe

$\delta h' = (K_O) \times (\delta v')$

$= 0.455 \times 5.7 = 2.60\ T/m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total horizontal stress at axis

δh = Effective horizontal stress at axis of pipe + ความดันน้ำในแนวแกนท่อ

= $2.60 + 1.90 = 4.50\ T/m^2$

Face Pressure

สำหรับหัวเจาะ Face Pressure ควรจะเท่ากับ Total horizontal stress คิดเป็น 5.00 Ton

ดังนั้น Total Face Force = $\delta \times A$

= $5 \times [\P/4 \times (1.80)^2]$

= 12.72 Tons คิดประมาณ 13.0 Tons

Frictional resistance $F = (\P D) \times [(\delta v' + \delta h') \tan \varnothing']/2$

ดังนั้น $\varnothing' = 0.87\,\varnothing = 0.87 \times 33 = 28.7'$

$F = 12.8$ Ton/m

แรงดันที่ต้องการเนื่องจากเริ่มดันหัวเจาะประมาณ 2 ตัน และความยาวของหัวเจาะเท่ากับ 3 เมตร

ดังนั้นแรงดันหน้าหัวเจาะ = (12.8 x 3.0) + 13.0 + 2.0 = 53.4 Tons

Pipe Friction

For Fully Lubricate Pipe Uplift Force = $1.0 \times [\P/4 \times (1.80)^2]$

= 2.54 Ton/m

น้ำหนักท่อ (Pipe Weight) = พื้นที่หน้าตัด x หน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก

= $\P(1.8^2 - 1.6^2)/4 \times 2.4 = 0.5$ Ton/m

แรงสุทธิ (Net force) = 2.54 – 0.5 Ton/m

= 2.04 Ton/m

Friction force = $2.05 \tan \varnothing$ $\varnothing' = 0.87\,\varnothing = 0.87 \times 33 = 28.7'$

Friction force = 1.12 Ton/m

คิดแรงดันเพิ่มเผื่ออีก 20 เปอร์เซนต์

แรงดันรวมทั้งหมด = 1.2 x 1.12 = 1.34 Ton/m

ความยาวของท่อทั้งหมด = 68.0 m.

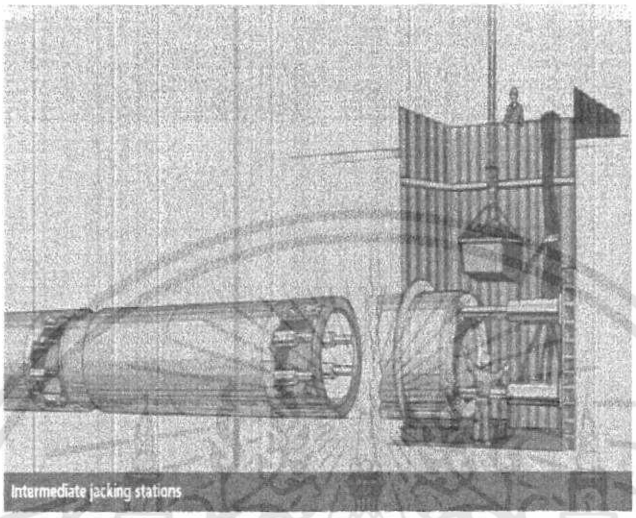
แรงดันทั้งหมดที่ต้องใช้ในการดันท่อ = 53.4 + (1.34 x 68.0)

= 144.52 Tons คิดประมาณ 150.0 Tons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากใช้สารหล่อลื่นจะช่วยลดแรงที่ต้องใช้ในการดันท่อได้ประมาณ 30-50 เปอร์เซนต์
แรงดันที่ต้องใช้ในการดันท่อหากใช้สารหล่อลื่นประกอบด้วย = 150 x 0.70 = 105 Tons

3.6.2 การออกแบบท่อลดแรงดัน (intermediate jacking pipes)

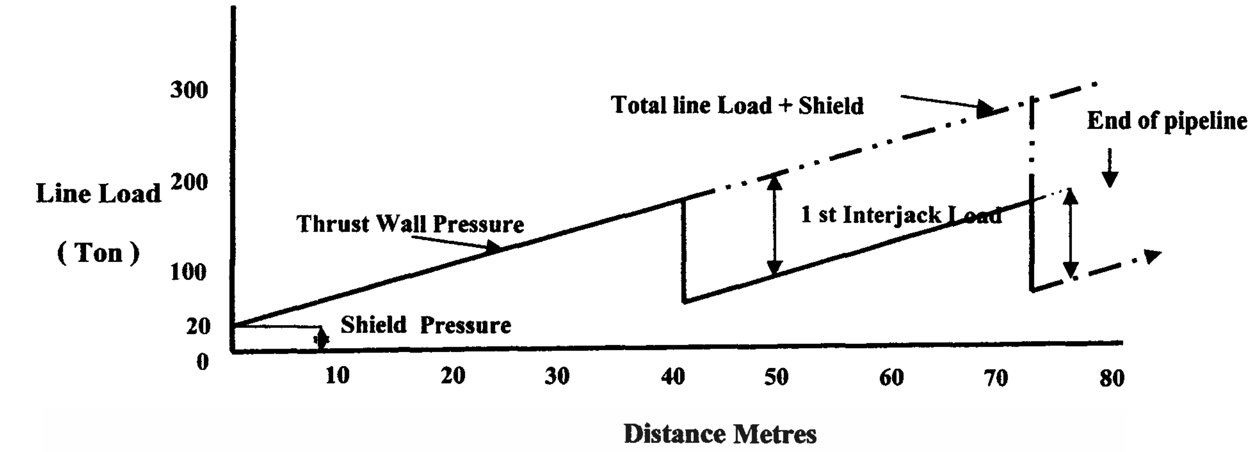


รูปภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างท่อลดแรงดัน

ในการสร้างบ่อดัน สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือแรงในการดันท่อ ตัวบ่อสามารถออกแบบให้รับแรงดันของแม่แรงเท่าไรก็ย่อมได้ แต่สิ่งสำคัญอีกอย่างก็คือ Passive force ของบ่อเอง หากแรงดันของแม่แรงมากเกิน Passive force จะทำให้บ่อจะถูกดันถอยหลังแทนที่ท่อจะถูกดันไปข้างหน้า

ดังนั้นจึงมีวิธีการแก้ไขปัญหานี้โดยการใช้ท่อลดแรงดันเพื่อลดความดันหน้าท่อในการดันท่อ ในการดันท่อหากใช้แม่แรงหลักเพียงอย่างเดียวจะทำให้แรงดันภายในท่อเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง แต่หากใช้ท่อลดแรงดันจะทำให้แรงดันลดลง ดังรูปที่ 3.15

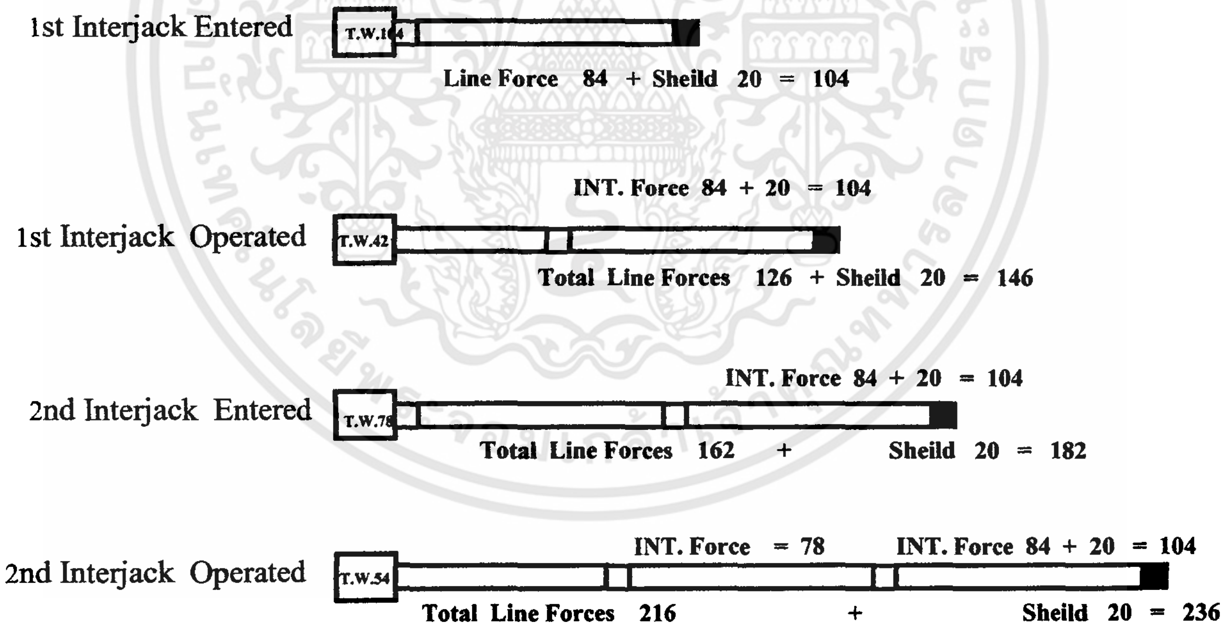
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.15 แสดงตัวอย่างแรงดันที่ลดลงเนื่องจากใช้ท่อลดแรงดัน

ตัวอย่างการคำนวณท่อลดแรงดัน

สมมุติ ท่อความยาวออกแบบ 80 เมตร โหลดทั้งหมดคือ 260 ตัน โดยใช้ท่อลดแรงดันจำนวน 2 ตัว และท่อโหลดถูกจำกัด 146 ตัน



รูปภาพที่ 3.16 แสดงการออกแบบท่อลดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าแรงดันท่อที่ต้องใช้แยกเป็น แรงเสียดทานของตัวผิวท่อและแรงจากด้านหน้าหัวเจาะ หากใช้แม่แรงดันอย่างเดียวทำให้แรงเสียดทานจากผิวท่อมากขึ้นเรื่อยๆ หากท่อมีขนาดยาวมากๆทำให้เกิดแรงเสียดทานตรงนี้สูง อาจสูงกว่า Passive force ดังนั้นจึงเพิ่มท่อลดแรงดันในระยะ 40 เมตร เพื่อลดแรงดันทำให้กราฟแรงดันลดลงมา ซึ่งแรงของท่อลดแรงดันแต่ละตัว จะมีเพียงแค่แรงเสียดทานจากท่อ 84 ตัน และหน้าหัวเจาะอีก 20 ตัน รวมเป็น 104 ตัน ทำให้แม่แรงทำงานใช้แรงน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามยังเป็นผลดีอีกเพราะการที่นำท่อลดแรงดันมาเสริมในการดันท่อทำให้ช่วยเพิ่ม Passive force ของท่อลดแรงดัน เพราะจะมีแรงเสียดทานจากผิวท่อที่อยู่ด้านหลังของท่อลดแรงดันทำหน้าที่เป็น Passive force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
หัวเจาะสำหรับการดันท่อ

4.1 ประวัติความเป็นมาของหัวเจาะ

คำว่า Shield นั้นแปลว่า เกราะป้องกัน แต่ในที่นี้ Shield ก็คือหัวเจาะซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ภายในบริเวณที่มีการขุดเจาะอุโมงค์ โดยทำหน้าที่ในการป้องกันการยุบตัวของผนังหรือพื้นที่ด้านบนของส่วนที่หัวเจาะอุโมงค์เพิ่งได้ถูกขุดเจาะขึ้น และไม่ได้มีเครื่องมืออื่นใดที่ช่วยในการค้ำยันดินไม่ให้พังทลาย ทว่าเมื่ออุโมงค์ถูกขุดเจาะในดินที่มีเสถียรภาพ จะเห็นได้ชัดว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้หัวเจาะอุโมงค์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันความสำคัญของหัวเจาะไม่ใช่เป็นเพียงแค่ช่วยในการค้ำจุนตัวอุโมงค์เพียงเท่านั้นแต่มันยังเป็นเครื่องมือในการขุดเจาะอุโมงค์ให้ยาวออกไปอีกด้วย ดังนั้นเมื่อมีการขุดเจาะอุโมงค์ในดินที่มีสภาพดี จึงเป็นธรรมดาที่จะมีการใช้หัวเจาะแบบง่ายๆ เพื่อช่วยทำให้มีที่พักสำหรับสิ่งก่อสร้างส่วนต่างๆ ทั้งชุดประกอบชิ้นส่วนผนังอุโมงค์ หน่วยลำเลียงดิน อุปกรณ์เครื่องมือการ Grouting ขณะเดียวกันหัวเจาะก็ยังเปรียบเสมือนเป็นตัวประสานงานระหว่างแนวอุโมงค์ที่ตั้งขึ้นมาและด้านหน้าของอุโมงค์ ทำให้การขุดเจาะตัวอุโมงค์ให้ยาวออกไปนั้นสามารถทำไปพร้อมกับการขุดดินที่ส่วนหน้าได้อย่างต่อเนื่อง

การใช้หัวเจาะในการขุดเจาะอุโมงค์เริ่มจากหัวเจาะสำหรับดินอ่อนที่พัฒนาขึ้นโดย Marc Isambard Brunel ในประเทศอังกฤษ ซึ่ง Brunel ได้คิดค้นหัวเจาะวงกลม 2 ชนิดสำหรับมาเอามาใช้งาน ซึ่งได้จดลิขสิทธิ์ไว้ในปี 1818 หัวเจาะประกอบด้วย หลายส่วนที่แตกต่างกัน ในแต่ละส่วนนี้ คนงานหนึ่งคนสามารถทำงานได้อย่างอิสระและปลอดภัย หัวเจาะประเภทแรกคือ ‘screw shield’ ซึ่งผิวของหัวเจาะทั้งหมดถูกดันไปข้างหน้าโดยอาศัยแม่แรงไฮโดรลิก หัวเจาะชนิดนี้เรียกได้ว่าเป็นต้นแบบของหัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance) ในปัจจุบัน หัวเจาะประเภทที่สอง Brunel แบ่งหัวเจาะเป็นส่วนเล็กๆ ซึ่งสามารถถูกทำให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยแม่แรง ในขณะเดียวกับที่ คนงานในแต่ละส่วนย่อย (Cell) ภายในหัวเจาะจะลำเลียงเอาดินออกด้านเหนือหัวเจาะ แต่ละส่วนย่อยต่างก็สามารถทำงานได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน หลังจากที่การขุดเจาะในแต่ละรอบได้เสร็จสิ้นลง Thrust jack ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ด้านหลังของหัวเจาะก็จะมีปฏิกิริยาต่อแนวอุโมงค์ที่ตั้งขึ้นใหม่หรือ ต่อกับวงแหวนของแม่แรงผลัก และทำให้หัวเจาะเคลื่อนไปข้างหน้า พร้อมกันกับด้านหน้าของหัวเจาะและอุปกรณ์ที่ช่วยในการวางแนวการขุดเจาะ

โครงการขุดเจาะอุโมงค์ใต้แม่น้ำเทมส์ในลอนดอนช่วยทำให้ Brunel ได้เข้าใจหลักการดังกล่าว หัวเจาะแบบ Brunel ทำขึ้นมาจากเหล็ก มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

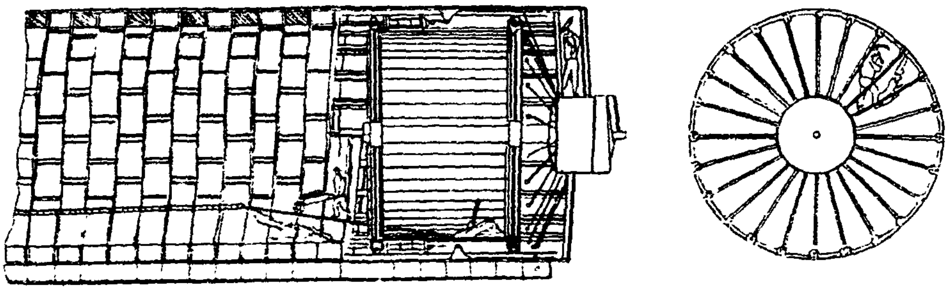
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วย ช่องที่ติดกันจำนวน 12 ช่อง แต่ละช่องมีความกว้างประมาณ 1 เมตรซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยๆ ได้แก่ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง แต่ละช่องจะอยู่บนขาที่หมุนได้ 2 อันที่ติดอยู่ด้วยลูกบอลที่ยึดอยู่กับพื้นแบนๆ 2 อัน แต่ละส่วนจะมีคนงานหนึ่งคน ดังนั้น คนงานทั้งหมดจึงเป็น 36 คน หัวเจาะจะทำงานไปตามแบบดังกล่าว คือ เริ่มจาก แผ่นไม้จะถูกดันเข้าไปในดินโดยอาศัยเพลาหมุนในแต่ละครั้งเมื่อแผ่นไม้ถอนตัวจากดิน ดินจะถูกขุดออกประมาณ 6 นิ้ว จากนั้นแผ่นไม้ก็จะถูกติดตั้งกลับเข้าที่เดิมและยึดอยู่ด้วยเพลาหมุน อิฐจะถูกก่อไว้ด้านหลังของหัวเจาะและทำหน้าที่เป็นที่ค้ำสำหรับช่องทั้งหมด กระบวนการทั้งหมดนี้ก็คือหนึ่งรอบของการขุดเจาะ อุโมงค์นี้เริ่มต้นขุดเจาะในปี 1825 และสำเร็จลงอย่างยากเย็นในปี 1843 ภายหลังจากที่ผ่านน้ำท่วมรุนแรงไปถึง 5 ครั้ง ต่อมาการใช้วิธี Compressed air ในหัวเจาะอุโมงค์ก็ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นครั้งแรกโดย Loed Cochran จากนั้นในปี 1869 หัวเจาะอุโมงค์แบบตอนเดียวได้ถูกจดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรก โดย Peter W. Barlow ในประเทศอังกฤษ ต่อมา James Henry Greathead ได้ขุดอุโมงค์ใต้แม่น้ำเทมส์โดยใช้หัวเจาะแบบ Circular สำหรับในตอนแรก แนวอุโมงค์เหล็กส่วนต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้ หัวเจาะ Greathead 's circular นั้นเป็นต้นแบบของหัวเจาะแบบส่วนหน้าเปิดที่พัฒนาขึ้นมาในภายหลัง หัวเจาะมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมที่หมุนหัวใบพัดที่ประกอบไปด้วยหลายใบพัดประกอบกัน ในปี 1959 ได้นำเอาน้ำเป็นตัวค้ำด้านหน้าอุโมงค์สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ระบายน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.35 เมตรในประเทศเยอรมนี ในปี 1967 หัวเจาะแบบ Slurry ที่ประกอบด้วยวงล้อสำหรับตัดและระบบกำจัดดินแบบไฮโดรลิก ได้ถูกพัฒนาใช้ในประเทศญี่ปุ่น สำหรับหัวเจาะแบบแรงดันดินสมดุล (Earth pressure balance : EPB) ได้ถูกเริ่มใช้ในปี 1966 ในประเทศญี่ปุ่นเช่นเดียวกัน รายละเอียดของพัฒนาการต่างๆ ของหัวเจาะเหล่านี้สามารถหาได้จากการศึกษาของ Stack (1982) และ Maidel et al.(1996)

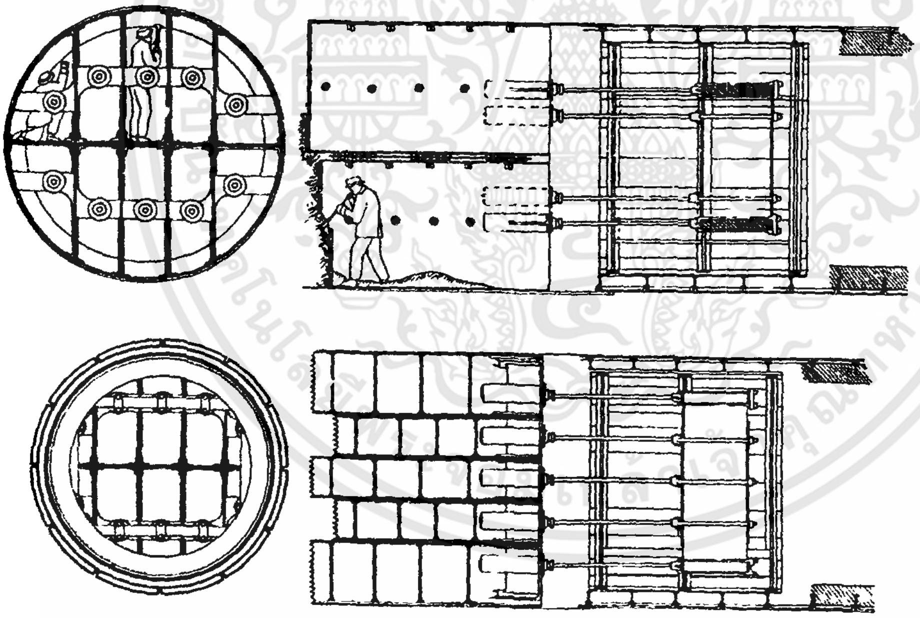
การใช้หัวเจาะอุโมงค์แบบผสมในการเจาะอุโมงค์โดยการใช้อัดอากาศร่วมกับการ grouting ด้วยสารเคมี เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของหน้าตัดดินนั้นไม่เหมาะสมในเรื่องความปลอดภัยและราคา จากจุดนี้จึงนำไปสู่การพัฒนาหัวเจาะ Mechanical shield ที่เป็นแบบส่วนหน้าปิด (Close-face) เรียกว่า Slurry shield และ Earth pressure balance (EPBS) Slurry shield ถูกพัฒนาขึ้นในยุโรป และ EPBS ถูกพัฒนาขึ้นในญี่ปุ่นในปี 1974 (NAITOH , 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 4.1 Marc Brunel's "screw" shield (1818)



รูปภาพที่ 4.2 Marc Brunel's "compartment" shield (1818)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หลักการขุดเจาะ

หลักการขุดอุโมงค์มีวิธีหลักอยู่ 2 วิธี คือ

4.2.1 Mechanical excavation

โดยใช้เครื่องขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ แบบ Partial Face คือโดยตัวของมันเองไม่สามารถที่จะขุดเจาะอุโมงค์เต็มหน้าตัดทีเดียวได้ และเครื่องเจาะประเภทนี้มักใช้ในตอนที่ทำการตกแต่งอุโมงค์ เพราะสามารถขุดเจาะ หรือกัดกร่อนหินและดินได้ตามจุดที่เราต้องการ แบบที่สองคือแบบ Full Face หรือที่เรียกว่า Tunnel Boring Machine (TBM) เป็นเครื่องเจาะที่สามารถขุดเจาะอุโมงค์ได้เต็มหน้าตัด โดยอาศัยการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ที่มาจากห้องควบคุมที่อยู่ในตัวของเครื่องเจาะในกรณีที่เป็นหัวเจาะขนาดใหญ่ ส่วนถ้าเป็นหัวเจาะขนาดเล็ก และ Micro TBM ก็จะใช้การควบคุมระยะไกลจากระดับพื้นดิน ซึ่งหัวเจาะประเภทนี้สามารถขุดเจาะได้ตั้งแต่ดินอ่อนจนถึงหินแข็ง มีหลายชนิดด้วยกัน หลักๆ ก็ 2 ชนิดด้วยกัน คือ เครื่องเจาะแบบ Slurry Shield และแบบ Earth Pressure Balance (EPB) โดยตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการเลือกว่าจะใช้แบบใด ประกอบด้วย การกระจายขนาดของหินหรือดิน โดยดูจาก Grain Size Distribution Curve ค่าการซึมน้ำ (Permeability) โดยเครื่องเจาะแบบ Slurry Shield จะเหมาะสำหรับหิน กรวด ทราย ที่มีค่าการซึมน้ำ หรือค่า k ตั้งแต่ 10-7 จนถึง k=10 m/s และเครื่องเจาะแบบ EPB เหมาะสำหรับดิน หรือทราย ที่มีค่า k<10-7 m/s และยังมีตัวแปรอื่นๆ อีกได้แก่ สภาพทางธรณีวิทยา คุณสมบัติของหินและแร่ คุณภาพของชั้นดิน และความแข็งแรงของหิน

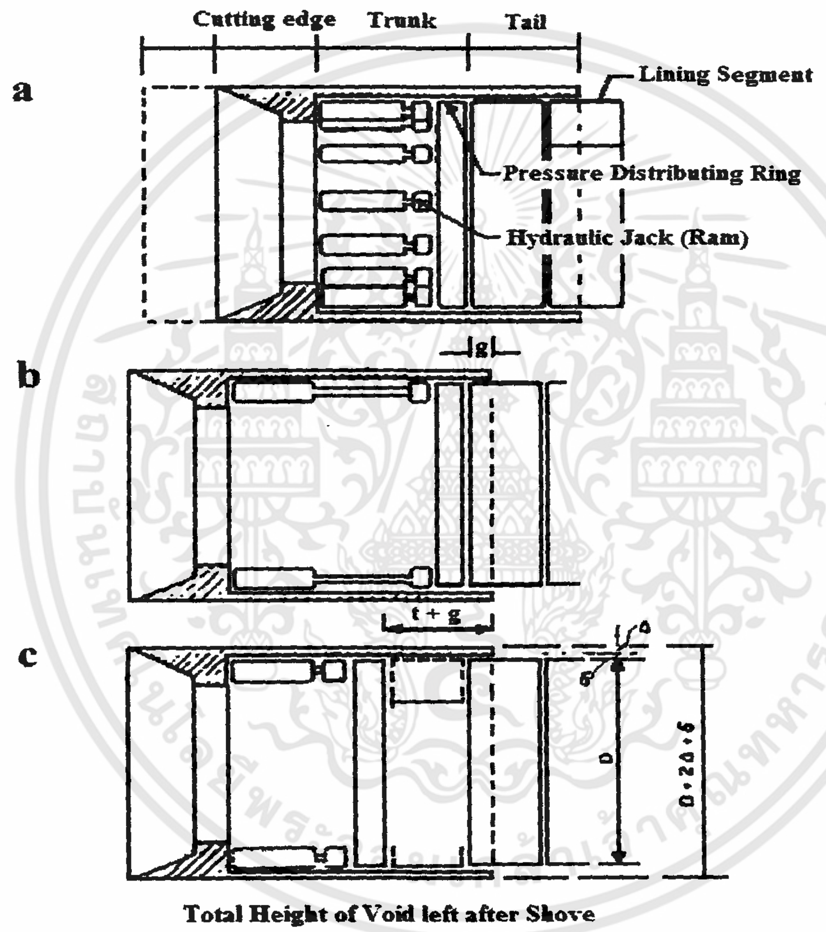
4.2.2 Drilling & Blasting

Drilling & Blasting หรือการขุดเจาะโดยใช้ระเบิดโดยรูเจาะแต่ละรูจะบรรจุวัตถุระเบิด ซึ่งอาจจะใช้เป็นแท่งไดนาไมต์ หรือปุ๋ยแอมโมเนียผสมกับน้ำมันดีเซล ซึ่งการขุดเจาะด้วยวิธีนี้เริ่มจากการเจาะรูเพื่อบรรจุระเบิด (Drilling) มีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือแบบ Parallel และแบบ V-cut โดยความลึกของรูบรรจุระเบิดจะมีความลึกไม่เท่ากัน แล้วแต่ตำแหน่งของรูเจาะ หลังจากนั้นบรรจุระเบิด และมีการหน่วงเวลาให้ระเบิดไม่พร้อมกัน โดยมีทฤษฎีอยู่ว่า เมื่อเกิดการระเบิดขึ้นจะเกิดคลื่นในมวลหิน และเมื่อคลื่นนั้นเคลื่อนที่ไปเจอช่องว่างหรืออากาศ จะทำให้เกิดแรงดึงขึ้น และด้วยแรงดึงเพียง 1-10 เท่าของแรงดึงนี้ก็จะสามารถเจาะอุโมงค์ในหินที่แข็งมากๆได้ ซึ่งทำให้เราต้องหน่วงเวลาของระเบิด เพื่อให้เกิดช่องว่างมากขึ้นทำให้ได้ผลดีที่สุด หมายเลขที่กำกับรูเจาะระเบิดคือ เบอร์ของแก๊ปจุดระเบิดที่ทำหน้าที่เป็นตัวปะทุระเบิดแต่ละเบอร์จะใช้เวลาต่างกันตามเบอร์ เช่น เบอร์ 1 จะทำการปะทุระเบิดก่อนเบอร์ 2 และเบอร์ 2 จะทำการปะทุระเบิดก่อนเบอร์ 3 ต่อไปเรื่อยๆ ต่อมาทำการดูดอากาศเสีย มลพิษ และเศษฝุ่นออก (Ventilation) เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเข้าไปทำงานต่อได้อย่างปลอดภัย ที่เครื่องดูดจะมี 2 ชนิด คือ แบบทางเดียว และแบบสองทาง เสร็จแล้วขนเศษหินออกนอกอุโมงค์ (Scoop) หลังจากนั้นจึงเริ่มสำรวจและตรวจสอบทิศทางและขนาดของอุโมงค์ว่าเป็นไปตามที่วางแผนไว้หรือไม่ ต่อมาทำการตกแต่งผนังอุโมงค์ด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์แบบ Partial Face Excavation เพื่อทำให้ผนังอุโมงค์เรียบ เมื่อขนาดและทิศทางของอุโมงค์ได้ตามกำหนดแล้วก็ดำเนินการในระยะต่อไปตามขั้นตอนตั้งแต่แรก ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนเสร็จ



รูปภาพที่ 4.3 หลักการของการขุดเจาะอุโมงค์โดยหัวเจาะอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ชนิดของหัวเจาะ

หัวเจาะแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 4 ประเภท คือ

1. Conventional shield
2. Compressed air shield
3. Auger-type shield
4. Pressured chamber shield

4.3.1 Conventional shield

ส่วนใหญ่จะรู้จักกันในชื่อ Open shield ซึ่งเป็นการให้คำจำกัดความโดยตรงว่าเป็นการทำงานแบบเปิดโดยตรงที่ด้านหน้า เป็นการทำงานอย่างง่ายมีความยืดหยุ่นสูง และราคาถูก ซึ่งเหมาะสำหรับการทำงานที่ต้องการความยาวสั้นๆในดินสภาพปกติ อย่างไรก็ตามในภายหลังก็มีการปรับปรุงด้านการทำงานในด้านการควบคุมดินที่ผิวด้านหน้าหัวเจาะ ความเร็วและการลำเลียง

โดยทั่วไปหัวเจาะประเภทนี้เหมาะสำหรับดินที่มีแรงยึดเกาะ รวมทั้งหินซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน หากเป็นดินซึ่งไม่มีแรงยึดเกาะจะต้องอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ข้อดีของหัวเจาะประเภทนี้คือสามารถเข้าถึงด้านหน้าหัวเจาะได้เมื่อมีปัญหาต่อการทำงาน หรือมีวัสดุซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำงาน

วิธีการนี้สามารถแบ่งเพิ่มตามการทำงานอีกได้เป็น 4 วิธีด้วยกัน คือ

1. Open manual
2. Blind
3. Semi-mechanical
4. Mechanical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 Open manaual

วิธีนี้จะทำงานโดยใช้แรงงานคนในการขุดดินออกเป็นอุโมงค์

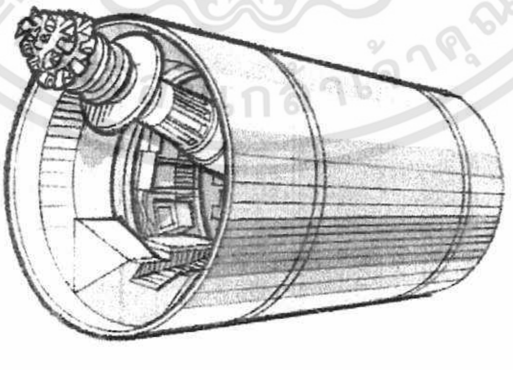
รูปภาพที่ 4.4 แสดงตัวอย่าง Open manaual

4.3.1.2 Blind

วิธีนี้เหมาะกับการทำงานในดินอ่อน ควบคุมโดยการใช้หลักการความดันสมดุล มีประตูไฮโดรลิกที่ประตูด้านหลังของส่วนหัวเจาะนี้ หัวเจาะจะมีส่วนวงแหวนที่ใช้ตัดซึ่งมีช่องว่างตรงกลาง ดินที่เข้าไปจะผ่านประตูและจะมีส่วนที่เป็นลวดทำหน้าที่ในการตัดให้มีชิ้นส่วนเล็กลง แล้วลำเลียงออกไป

4.3.1.3 Semi-mechanical

วิธีนี้พัฒนาขึ้นเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น การทำงานวิธีนี้ใช้การขุดโดยที่มีหัวตัดอยู่ที่ปลายแขน

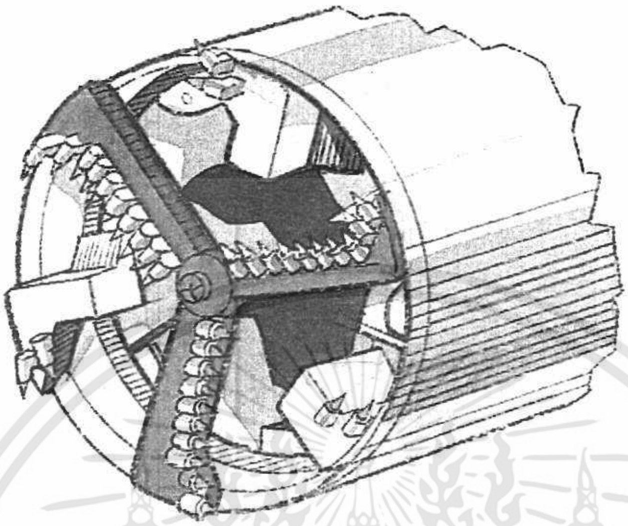


รูปภาพที่ 4.5 แสดงตัวอย่าง Semi-mechanical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.4 Mechanical

วิธีนี้จะเป็นหัวเจาะแบบหมุนอยู่ตรงกลางเพื่อการตัดหน้าดินด้านหน้า มีมอเตอร์คอยควบคุมการทำงาน



รูปภาพที่ 4.6 แสดงตัวอย่าง Mechanical

4.3.2 Compressed air shield

วิธีนี้ส่วนใหญ่ใช้ในงานอุโมงค์ โดยใช้หลักการความดันสมดุลเพื่อจัดการด้านการลำเลียงดินออกด้วย ซึ่งสามารถนำเอาหลักการนี้มาใช้กับการดันท่อ วิธีนี้จะไม่อนุญาตให้คนงานลงไปทำงานในพื้นที่ซึ่งอัดอากาศ โดยจะสามารถสังเกตการณ์ทำงานได้จากการมองผ่านกระจกออกไป หรือการสังเกตจากกล้องวงจรปิดเท่านั้น แต่คนงานก็สามารถเข้าไปได้ก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นจริงๆ เช่น เพื่อการนำเอาก้อนหินขนาดใหญ่ออกมาเท่านั้น

4.3.3 Auger-type shield

วิธีนี้จะใช้เครื่องจักรในการทำงานเป็นหลัก การเจาะดินจะเจาะเต็มหน้าตัดและมีการลำเลียงออกไปด้วย วิธีนี้เหมาะกับการใช้ท่อขนาดเล็กๆ

4.3.4 Pressured chamber shield

วิธีนี้จะใช้การควบคุมเครื่องจักรโดยรีโมทคอนโทรล การขุดเจาะดินด้วยวิธีนี้ก็ใช้เหมือนกับการขุดเจาะทั่วไปแต่จะเพิ่มการใช้ส่วนที่ใช้อัดแรงดันเข้าไปหลังหัวเจาะ อาจใช้น้ำโคลนหรือดินก็ได้แล้วแต่การออกแบบ โดยส่วนนี้ก็ขึ้นอยู่กับว่าเป็นท่อขนาดใดกล่าวคือ หากเป็นท่อขนาดใหญ่เครื่องจักรอาจจะอยู่หลังหัวเจาะก็ได้ แต่ถ้าเป็นท่อขนาดเล็กก็จะต้องติดตั้งภายนอกท่อก็ได้ วิธีนี้อาจแบ่งย่อยตามวัสดุที่ใช้อีกได้เป็น 3 วิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Water pressure balance shield
2. Bentonite slurry shield
3. Earth pressure balance shield

4.3.4.1 Water pressure balance shield

หลังจากการขุดเจาะดินที่หน้าหัวเจาะ จะมีส่วนที่บรรจุน้ำที่มีแรงดันที่สมดุลกับระดับน้ำใต้ดิน หัวเจาะจะออกแบบเฉพาะสำหรับชนิดของดิน โดยที่พลังงานของหัวเจาะจะทำให้เกิดการลำเลียงดินไปยังส่วนที่บรรจุแรงดันน้ำ บริเวณนี้เองที่จะทำการผสมและลำเลียงดินออกโดยวิธีปั๊มพ์ของเหลว

วิธีนี้ถูกออกแบบเพื่อการทำงานในดินที่มีสภาพเป็นก้อน เช่น ก้อนหินผุ กรวดที่หนัก โดยจะมีเครื่องย่อยวัสดุให้มีขนาดเล็กลงก่อน แล้วลำเลียงสู่ส่วนบรรจุแรงดันดันน้ำ เพื่อทำการปั๊มพ์ออกไปในรูปแบบของโคลนหรือเลน ดินที่เหมาะสมกับการใช้วิธีนี้จะเป็นดินประเภทที่มีแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งอาจมีก้อนหินเล็กๆ เช่น ทราย หรือกรวด

4.3.4.2 Bentonite slurry shield

วิธีนี้จะใช้การเจาะโดยการใช้หัวเจาะเต็มพื้นที่หน้าตัดโดยหัวเจาะจะเป็นแบบหัวหมุนเพื่อตัดดิน เมื่อมีการเจาะแล้วจะมีแรงดันจากส่วนอัดแรงดันด้านหลังหัวเจาะ ซึ่งมีประตูเปิดเพื่อควบคุมการเข้าออกของดิน ความดันในส่วนอัดแรงดันจะควบคุมให้สมดุลกับระดับน้ำใต้ดิน แรงดันวิธีนี้จะถูกควบคุมโดยเครื่องปั๊มพ์ ซึ่งควบคุมการเข้าออกของดินที่ถูกเจาะจากหัวเจาะในรูปของโคลน ดินโคลนซึ่งมีเบนโทไนท์จะแตกต่างกันแล้วแต่การใช้งาน หินที่เป็นก้อนใหญ่จะถูกแยกออกไปเพื่อทำการย่อยให้มีขนาดเล็กลงให้ได้ขนาดเล็กพอที่จะปั๊มพ์ได้

ความแตกต่างระหว่างวิธีแรงดันน้ำกับวิธีแรงดันโดยโคลนที่ใช้เครื่องปั๊มพ์ในการทำงาน สามารถบอกได้ว่าหากเป็นดินชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวจะใช้วิธีใช้น้ำ ในการผสมกับดินให้มีความเหลวเพื่อที่จะให้ไหลได้ง่ายเพื่อการลำเลียง หากเป็นดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว การที่จะทำให้เหลวและไหลได้จะต้องมีการเพิ่มสารเพื่อให้มันสามารถไหลได้และง่ายต่อการลำเลียง

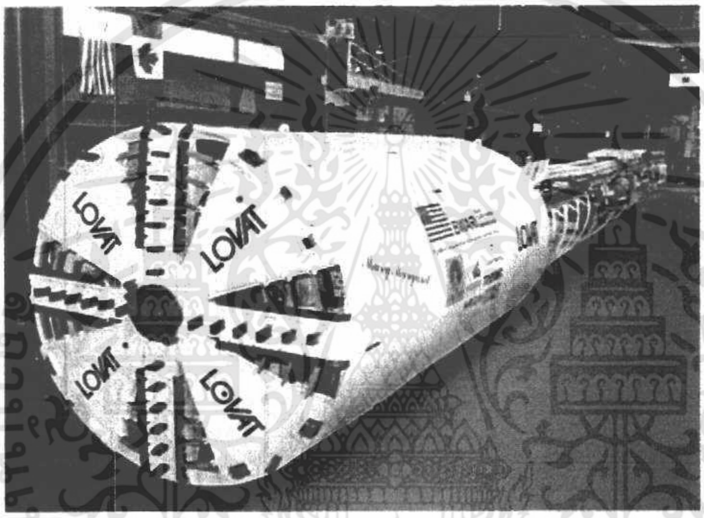
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

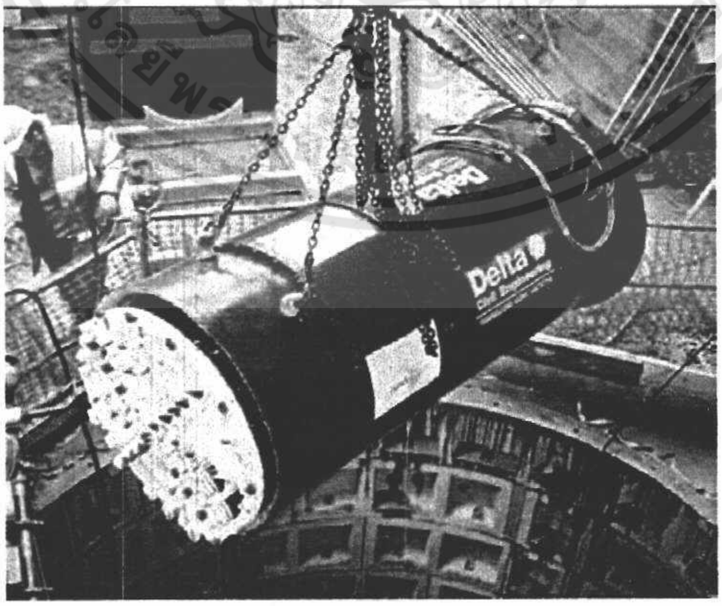
4.3.4.3 Earth pressure balance shield

หัวเจาะจะใช้ในการเจาะดินที่ไม่อ่อนหรือแข็งเกินไปเพื่อเก็บเป็นแรงดันดิน ส่วนใหญ่ใช้กับการเจาะอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่ แต่ก็มีการนำมาประยุกต์ใช้กับการดันท่อ

เมื่อหัวเจาะทำงาน ดินจะถูกดันไปในส่วนอัดแรงด้านหลัง หากดินไม่สามารถผ่านไปได้ก็ยังคงรักษาความดันไว้ ดินจะถูกเคลื่อนย้ายโดยใช้หัวเจาะในการจัดการความหลากหลายของการควบคุมด้านแรงดันและการลำเลียงดินออกจะต้องได้รับการรองรับด้วย ปัญหาที่โคลนติดที่หัวเจาะจะถูกพัฒนาให้ทำงานรับแรงดันสูงหรือในดินทรายซึ่งไม่สามารถลำเลียงได้ จะถูกแก้ปัญหาโดยการฉีดเบนโทไนท์หรือสารเคมีอื่นเข้าไปในส่วนที่อัดแรงดัน ทำให้เกิดการผสมของดินแล้วสามารถลำเลียงออกมาได้



รูปภาพที่ 4.7 แสดงตัวอย่างหัวเจาะชนิด Earth Pressure balance (1)



รูปภาพที่ 4.8 แสดงตัวอย่างหัวเจาะชนิด Earth Pressure balance (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ท่อสำหรับการดันท่อ

การเลือกชนิดของท่อและรอยต่อจะต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานด้วย นอกจากนั้นก็ยังขึ้นอยู่กับเทคนิคความรู้ความสามารถของตัววิศวกรเอง ปัจจัยพื้นฐานของการเลือกท่อที่จะนำมาใช้ได้แก่

- ความทนทานต่อการกัดกร่อนทั้งภายนอกและภายใน
- ความสามารถในการรับแรงทั้งแบบสแตติก และ ไดนามิกส์
- ความสามารถในการรับแรงดันทั้งภายนอกและภายใน
- มีการไหลที่ดี
- มีราคาที่เหมาะสมและน่าพอใจ

ท่อสำหรับการดันท่อต้องหนาพอที่จะต้านทานแรงที่ใช้ดัน (Jacking load) ที่กระทำกับตัวท่อ และจะต้องออกแบบให้ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด การเลือกชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงสูง คุณภาพสูงก็จะสามารถต้านทานทั้งน้ำหนักตายตัว (Dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live load) ได้กับทุกสถานการณ์ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละงาน โดยลักษณะการออกแบบเฉพาะที่พิเศษจะประกอบไปด้วย

-การรับแรงตามแนวแกนที่มีค่ามากๆ

-รอยต่อที่กันการซึมของน้ำ

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการใช้เทคนิคโดยไม่ใช้แรงดันไปไว้ด้านท้าย แต่จะกระจายน้ำหนักที่กระทำไปตามตัวท่อ ซึ่งในการพัฒนาครั้งนี้ทำให้มีโอกาสที่จะนำท่อนี้ไปติดตั้งกับผนังที่บางๆได้ อย่างไรก็ตามเมื่อท่อมีขนาดบางขึ้นก็จะมีความเสี่ยงต่อน้ำหนักที่กระทำมากขึ้น มาตรฐานในการใช้ท่อมีอยู่มากมาย ขึ้นกับแต่ละประเทศจะกำหนด

หน้าตัดความยาว : โดยทั่วไปมาตรฐานจะยาวตั้งแต่ 2 - 3 เมตร แต่หากหน้าตัดสั้นๆก็จะยาวประมาณ 1-1.25 เมตร ทั้งนี้หากท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ๆก็จะยาวมากกว่า

ท่อและรอยต่อที่ใช้สำหรับติดตั้งด้วยวิธีการดันท่อ ได้ถูกออกแบบให้รองรับทั้งแบบใช้แรงดึงดูดและแรงดัน วิธีการเลือกวัสดุพื้นฐานที่จะเอามาใช้ทำท่อก็เหมือนกับการเลือกวัสดุที่จะเอามาใช้ทำท่อทั่วๆไป ท่อที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ท่อคอนกรีต (Concrete pipe)

- ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete pipe)
- ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก (unreinforced concrete pipe)
- ท่อคอนกรีตผสม (composite concrete pipe)
- ท่อคอนกรีตโพลิเมอร์ (polymer concrete pipe)

2. ท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก (Glass reinforced plastic pipe)

3. ท่อซีเมนต์ผสมใยหิน (Asbestos fibre cement pipe)

4. ท่อดิน (clay pipe)

5. ท่อพลาสติก (Plastic pipe)

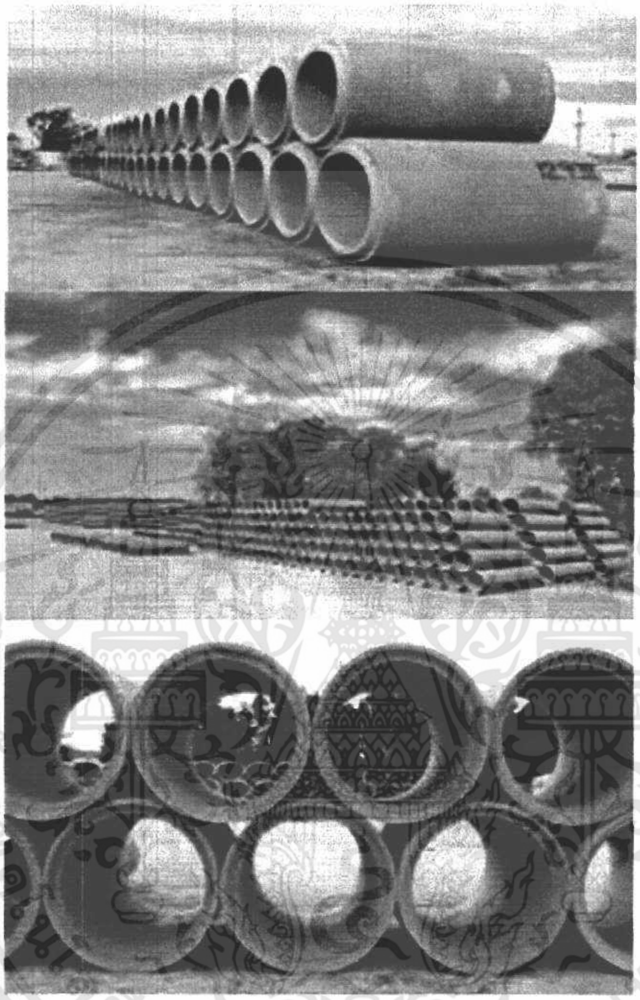
6. ท่อโลหะไออ่อน (Ductile iron pipe)

7. ท่อเหล็ก (Steel Pipe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ชนิดของท่อ

5.1.1 ท่อคอนกรีต (Concrete pipe)

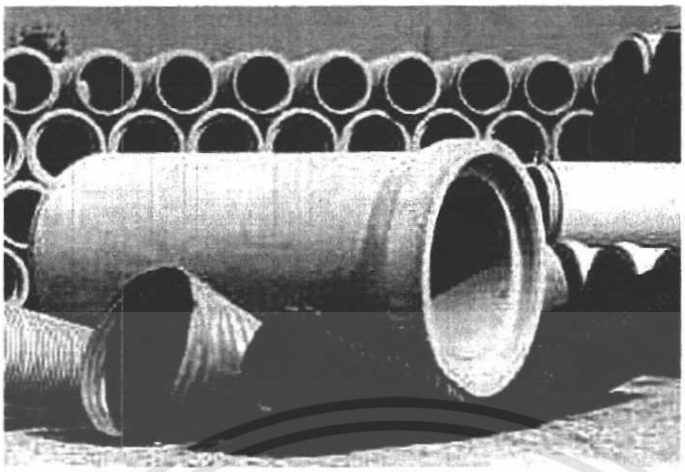


รูปภาพที่ 5.1 แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีต

ท่อคอนกรีตได้มีการนำมาใช้กันหลากหลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งหลักออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.1 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete pipe)

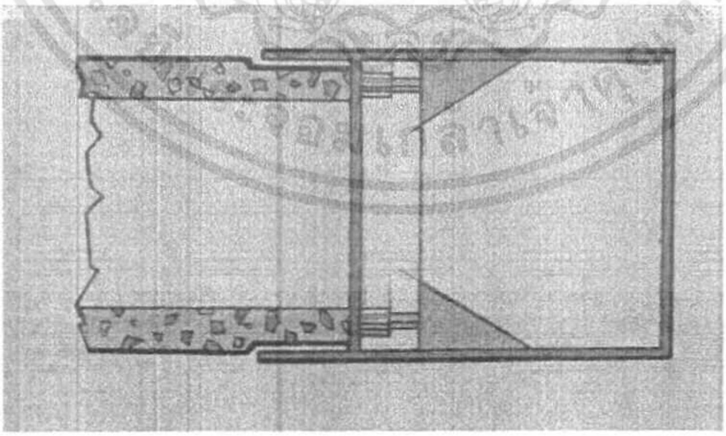


รูปภาพที่ 5.2 แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นท่อที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยท่อชนิดนี้ส่วนมากจะผลิตจากโรงงานด้วยกระบวนการ Pipe-spining หรือวิธี Vertically cast บางกรณีท่อก็จะถูกหล่อขึ้นบริเวณลานซึ่งอยู่ภายในบริเวณก่อสร้างเอง ท่อคอนกรีตอัดแรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 250 - 5000 มิลลิเมตร

รอยต่อสำหรับท่อคอนกรีต แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ Rebated และ Collared หรือ Sleeved

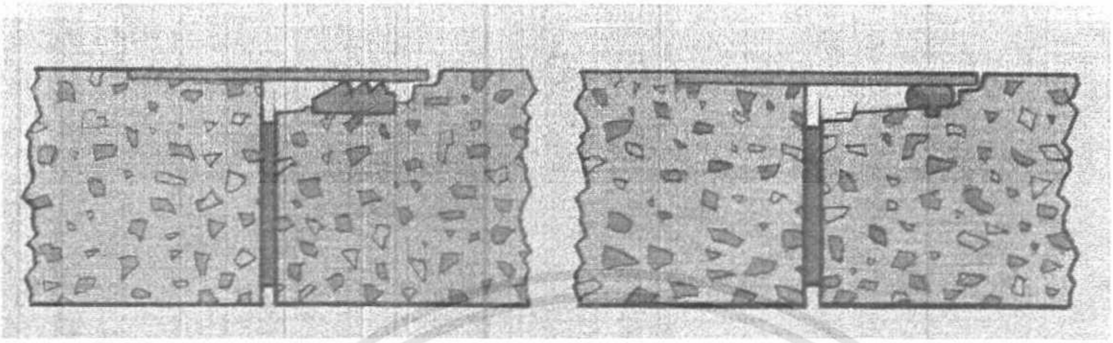
- Rebated จะมีลักษณะเป็นเบ้าเหล็กอยู่ภายในตัวท่อ Sealing ring จะถูกติดตั้งบริเวณตรงกลางของผนังท่อ



รูปภาพที่ 5.3 แสดงรอยต่อชนิด Rebate joint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Collared หรือ Sleeved จะใช้ในโครงสร้างหลักของท่อโดยจะมีเหล็กทาบเชื่อมติดกับวัสดุอื่นๆ Sealing ring จะถูกติดตั้งบริเวณภายนอกของตัวท่อ รอยต่อจะมีทั้งชนิด Fixed collar ด้วย rolling หรือ Confined และรอยต่อแบบ Loose collar ด้วย Confined ring



รูปภาพที่ 5.4 แสดงรอยต่อชนิด Butt joint

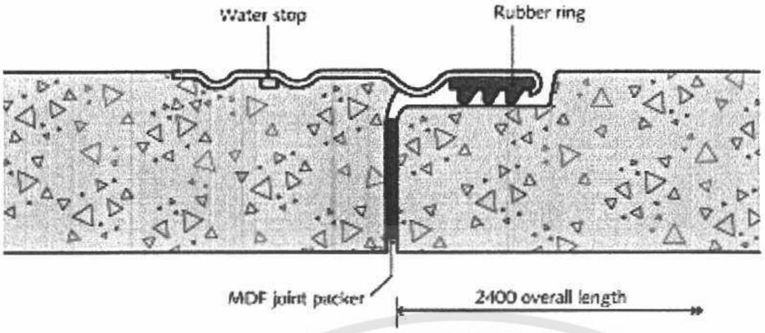
Rebated จะมีข้อจำกัดตรงแรงกระทำตามแกนที่เกิดขึ้นในการใช้งาน เพราะประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาของผนังท่อถ้าพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วจะรับแรงแบกทาน (Bearing load) การเสียหายจะเกิดจากการที่บริเวณรอยต่อรับแรงไม่เท่ากัน เพราะข้อจำกัดอย่างนี้ ปัจจุบัน Butt joint จึงนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก

ในยุโรป มักจะนิยมใช้รอยต่อ ชนิด Loose collar ในงานอุโมงค์ขนาดเล็ก (Microtunnelling) ในทางตรงกันข้ามรอยต่อชนิด Fixed collare นิยมใช้กันมากในการดันท่อ (Pipe jacking) Loose collar ring มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีใช้ในประเทศญี่ปุ่น เป็น collar ring ที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวที โดยด้านล่างของชิ้นส่วนจะมี Transfer ring อยู่

รอยต่อชนิด Sleeves จะต้องมีการป้องกันการกัดกร่อนที่ดี โดย Collars ทำจากวัสดุหลายชนิดประกอบด้วย เหล็กเชื่อม แสตนเลส อย่างไรก็ตามวัสดุที่หลากหลายเหล่านี้ก็ไม่สามารถใช้ได้กับท่อทุกขนาด ความหนาของ Sleeved stell ขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและก็อาจจะขึ้นอยู่กับความคงทนในขณะที่จมไปอยู่ในชั้นดินอีกด้วย ดังนั้นต้องมีสิ่งที่ใช้หุ้มที่แตกต่างกันสำหรับป้องกันมาห่อหุ้มเหล็ก ซึ่งได้เรียกสิ่งห่อหุ้มพวกนี้ว่า Secondary sealing gasget ในบริเวณที่มีการกัดกร่อนของดินที่สูง ก็ควรจะใช้ Collar ที่เหมาะสม ซึ่งควรมีความต้านทานการกัดกร่อนที่มากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อ CS มีใช้ในประเทศญี่ปุ่น โดยจะมีการปรับปรุงในส่วนของรอยต่อและ Collar โดยจะเน้นให้มีความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงต่างๆที่อาจเกิดขึ้น



รูปภาพที่ 5.5 แสดง CS pipe joint ของการดันท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Allowable jacking force สำหรับงานอุโมงค์ขนาดเล็กและการดันท่อ

Nomnal ID (mm)	OD (mm)	Effective area (m^2)	Allowable jacking force-tones
Microtunnelling diameters			
250	360	.0364	47.3
300	414	.0451	58.6
400	526	.0675	87.8
500	640	.0958	124.6
600	712	.1021	132.7
700	832	.1433	186.81
800	942	.1766	229.6
Pipejacking diameters			
900	1062	.2297	298.6
1000	1182	.2897	376.6
1100	1292	.3365	437.5
1200	1412	.4084	530.9
1350	1576	.4800	624.0
1500	1756	.6107	723.9

หมายเหตุ ค่าของ Jacking force ในตารางอาจจะมีค่าสูงกว่าค่า Allowable ของ German guidelines อยู่บ้าง เนื่องจากของญี่ปุ่นกำหนดให้ความเค้น (Stress) ของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 13 N/mm^2 ต่างจากเยอรมันที่ใช้แค่ 11 N/mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของแต่ละประเทศ

ในประเทศเยอรมันนี ค่ามาตรฐานที่สำคัญคือ DIN 4035 ในสหราชอาณาจักร และประเทศอื่นๆอย่างเช่น สวิตเซอร์แลน จะใช้มาตราฐาน BS 5911 ต่อมา European Community (EC) และ European Free Trade Association (EFTA) ได้มีการลงมติร่วมกันที่จะสร้างมาตรฐานขึ้นมาเพื่อใช้ในประเทศที่อยู่ในอาณัติ โดยมาตรฐานนี้จัดเตรียมโดย Commite European de Normalisation (CEN) สำหรับท่อคอนกรีตที่จะนำมาใช้ในการดันท่อ ของ CEN Techinacal Committee 165 โดยได้มีการตีพิมพ์มาตรฐานฉบับร่างออกมาแล้วก็เตรียมที่จะทำต่อไป

ในประเทศญี่ปุ่น The Japanese Sewage Agency ได้ตีพิมพ์ค่าที่ใช้งานเฉพาะของท่อสำหรับการดันท่อคือ JSWAS-A2 อย่างไรก็ตามในสหรัฐอเมริกายังไม่มีมาตรฐานสำหรับท่อที่ใช้ในการดันท่อกำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2 ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก (unreinforced concrete pipe)

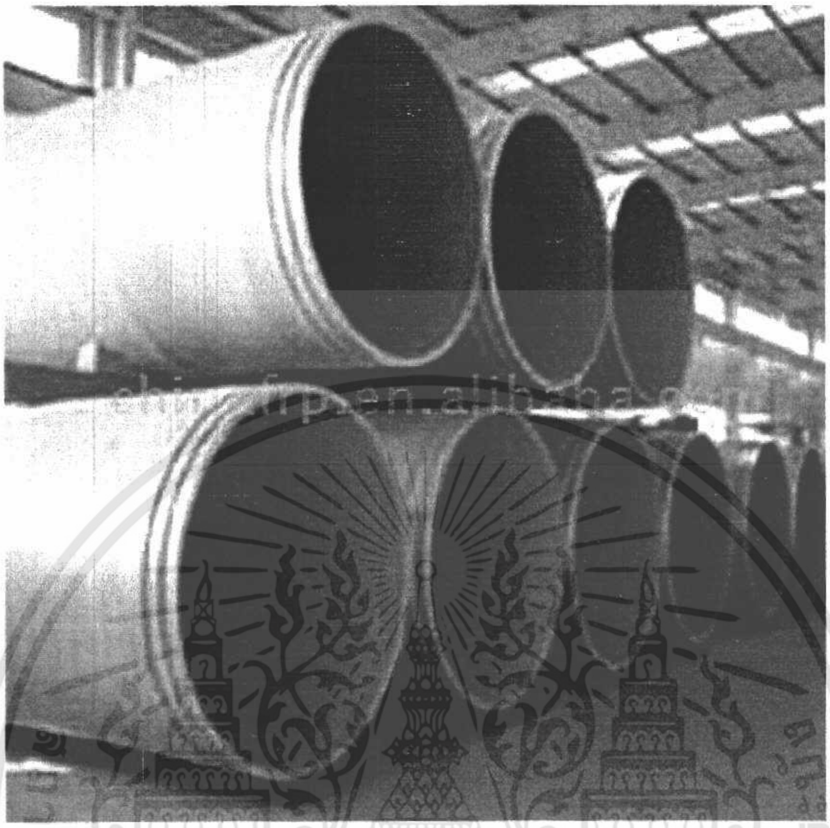
ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กหรือท่อคอนกรีตล้วนจะนิยมนำมาใช้ในงานอุโมงค์ขนาดเล็ก (Microtunnelling) เป็นส่วนใหญ่ โดยจะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรลงไป สำหรับท่อที่ต้องรับแรงดันด้านข้างด้วยก็จะมีขนาดเล็กลงมาคือเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 - 150 มิลลิเมตร ท่อคอนกรีตล้วนจะมีความหนามากกว่าท่อคอนกรีตเสริมเหล็กประมาณ 20% และจะมีน้ำหนักมากกว่าอีกด้วย ปัญหาที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการแตกหักของตัวท่อเนื่องจากแรงผิดปกติที่กระทำกับท่อ

ARC Concrete Ltd และ Yorkshire Water Plc ถูกพัฒนาขึ้นในสหราชอาณาจักร ซึ่งได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับท่อชนิดคอนกรีตล้วน โดยท่อชนิดนี้ผลิตโดยกระบวนการเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางด้วยความถี่ต่ำ คาบของการสั่นที่สูง ด้วยกระบวนการผลิตเช่นนี้ทำให้ท่อคอนกรีตที่ได้มีความหนาแน่นและความแข็งแรงที่มากทำให้เกิดความคงทน กระบวนการนี้จะใช้ผลิตท่อเพียงขนาดเดียวคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร

สำหรับรอยต่อของท่อชนิดนี้มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กรูปตัวที ส่วน Collar จะเป็นชนิด Loose collar โดยจะมี Confined sealing ring อยู่ด้วย บริเวณปลายท่อที่เป็นวงกลมจะถูกกระทำโดย Load transfer ring ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปขนมเปียกปูนโดยจะรวมความเค้นสูงสุดไว้ที่ส่วนกลางที่สามของหน้าตัด โดย Collar ทั้งหมดนี้จะมีพลาสติกคอยหุ้มอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.3 ท่อคอนกรีตผสม (composite concrete pipe)



รูปภาพที่ 5.6 แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตผสม

ท่อ Super line ได้ถูกจดลิขสิทธิ์กระบวนการผลิตโดย ARC ซึ่งเป็นหนึ่งในบริษัทที่มีชื่อเสียงท้างด้านการผลิตท่อคอนกรีตผสมและได้นำมาใช้มากในประเทศญี่ปุ่น บริเวณผิวหน้าข้างในและข้างนอกของท่อชนิดนี้จะเคลือบด้วย Glass-reinforced cement (GRC) ตัวท่อและรอยต่อจะแสดงไว้ดังรูป และมีค่า Allowable working stress เท่ากับ 22 N/mm^2

สำหรับท่อชนิดนี้ยังสามารถผลิตได้โดยกระบวนการอื่นอีก เช่น กระบวนการ Spun cast โดยการผลิตวิธีนี้แกนชั้นนอกและชั้นในจะใช้ Glass-fibre-reinforced polyester resin ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของที่ก็จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 400 มิลลิเมตร ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.4 ท่อคอนกรีตโพลิเมอร์ (polymer concrete pipe)

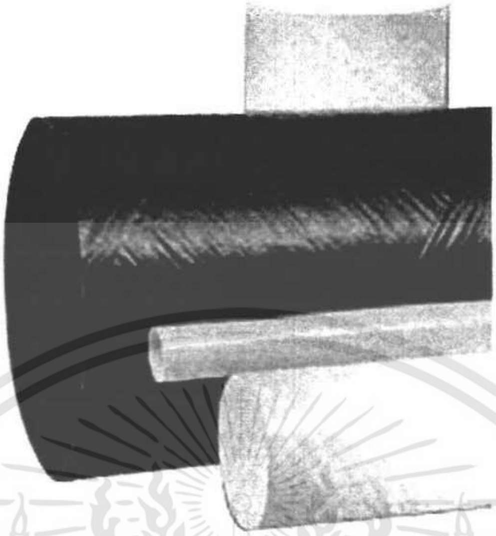
รูปภาพที่ 5.7 แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตโพลิเมอร์

ท่อชนิดนี้กันน้ำซึมผ่านได้ ทนต่อแรงดึง แรงอัดที่สูง และโพลิเมอร์ที่นำมาใช้ทำท่อชนิดนี้ก็สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี อย่างไรก็ตามท่อชนิดนี้ก็มีราคาสูงเมื่อเทียบกับท่อคอนกรีตทั่วไป แต่ก็มีประสิทธิภาพดีกว่าหากนำมาใช้ คอนกรีตที่ถูกผสมไว้จะถูกปั๊มเข้าไปใน Shutter โดยเราจะสามารถควบคุมเวลา Setting time ของโพลิเมอร์เพื่อให้เกิด Early strength และปฏิกิริยา Jacking ส่วนมากงานชนิดนี้จะใช้กับอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่โดยบริษัทในเยอรมัน ส่วนงานที่ใช่ท่อขนาดเล็กจะใช้รีโมตคอนโทลในการควบคุม ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า M2 และได้มีการนำมาใช้โดย NTT ประเทศญี่ปุ่น

ท่อคอนกรีตและรอยต่อชนิดนี้จะออกแบบเพื่อนำมาใช้รับแรงดันเป็นหลัก รอยต่อของท่อชนิดนี้จะสามารถกันน้ำซึมผ่านได้แต่ก็จะต้องมีการควบคุมแรงดันที่เกิดขึ้นภายในท่อไม่ให้เกินกว่าที่กำหนด ท่อทรงกระบอกอัดแรงจะใช้ในการส่งน้ำเป็นหลักโดยจะมีการปรับให้เหมาะสมสำหรับใช้ในการดันท่อและงานอุโมงค์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก (Glass reinforced plastic pipe)



รูปภาพที่ 5.8 แสดงตัวอย่างท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก

ท่อคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก สามารถผลิตได้ 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกคือการหล่อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ส่วนอีกวิธีคือใช้การม้วนพันของเส้นใยเดี่ยว การผลิตท่อด้วยวิธีการม้วนพันของเส้นใยเดี่ยวจะไม่ค่อยนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวกับการดันท่อ โดยจะนิยมใช้วิธีเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางหรือ Centrifugal cast fibre-glass-reinforced plastic matrix pipes (FRPM) มากกว่าซึ่งมีการใช้มานานแล้วตั้งแต่ก่อนปี 1980 ในประเทศแถบยุโรป ญี่ปุ่น และอเมริกาเหนือ โดยท่อชนิดนี้สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในการดันท่อและงานอุโมงค์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ท่อซีเมนต์ผสมใยหิน (Asbestos fibre cement pipe)

รูปภาพที่ 5.9 แสดงตัวอย่างท่อซีเมนต์ผสมใยหิน

ท่อซีเมนต์ผสมใยหิน (ใช้มาตรฐาน ISO 160 , 881 และ 2785) ท่อชนิดนี้มีการนำมาใช้มากขึ้นเรื่อยๆ เพราะว่าได้มีการลงทุนถึง 100 ล้านดอลล่าสหรัฐในการวิจัยหาทางเลือกในการนำเส้นใยหินมาใช้ โดยบริษัทผู้นำในการผลิตท่อชนิดนี้ได้ผลิตท่อซึ่งเรียกว่า Asbestos-free fibre cement ซึ่งบริษัทเหล่านี้ตั้งอยู่ที่ เยอรมัน เบลเยียม และ สวิตเซอร์แลน

ในงานที่ไม่สามารถนำเครื่องจักรเข้าไปได้จะมีการนำท่อใยหินซีเมนต์มาใช้ โดยมีการใช้ในแถบประเทศยุโรปในงานอุโมงค์ขนาดเล็ก เป็นส่วนใหญ่ จากข้อมูลที่สำรวจพบว่าในประเทศเยอรมันนีมีการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดเล็กเป็นจำนวนมากที่นำท่อชนิดนี้มาใช้ โดยขนาดของท่อที่นำมาใช้คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 - 400 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ท่อดิน (clay pipe)

ท่อดินจะนำมาใช้สำหรับงานที่ไม่สามารถนำเครื่องจักรเข้าไปทำงานได้ ซึ่งจะมีการใช้มากในแถบยุโรปแล้วก็ญี่ปุ่นบางส่วน โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่นำมาใช้อันดับแรกๆ โดยท่อชนิดนี้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจ ดังนี้

- ต้านทานปฏิกิริยาเคมีที่สูง โดยไม่ต้องมีการดาดผิว
- ต้านทานการกดและก็มีความแข็งแรงสูง ในการรับแรงที่ใช้ดัน

ได้มีการพัฒนาเทคนิคการผลิตท่อดินขึ้นมา โดยจะพยายามลดปัญหาเกี่ยวกับความแข็งแรงที่ยังมีน้อยอยู่ลง อย่างไรก็ตามท่อดินนี้ยังคงต้องให้ความดูแลเป็นพิเศษ เพราะว่ามันเปราะและแตกง่าย

หน้าตัดของท่อจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 750 - 1250 มิลลิเมตร สำหรับอุโมงค์ขนาดเล็ก และ 1.5 เมตร กับ 2 เมตร สำหรับอุโมงค์ขนาดใหญ่

ตารางที่ 5.2 แสดงขนาดของหน้าตัดและแรงปลอดภัยที่ใช้ดัน (Safe jacking load) ของท่อดิน

DN (mm)	O.D. (mm)	Wall thickness	Jacking Load
TYPE 1			
150	207	28	131
TYPE 2			
200	276	38	212
250	355	52	529
300	406	52	624
400	556	78	1315
500	658	78	1571
TYPE 3			
600	760	80	1609
700	862	80	1675
800	970	85	1982
1000	1178	88	2070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Collar ก็จะมีรูปร่างแตกต่างกันไป โดยจะมีรอยต่อ 3 ชนิดที่นิยมใช้ในประเทศเยอรมันนี

เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ตัวโครงทำจาก Polypropylene โดยจะมี Elastomer seal ด้วย

เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 – 400 มิลลิเมตร ตัวโครงทำจาก เหล็ก โดยจะมี Elastomer seal ด้วย

เส้นผ่าศูนย์กลาง 500 – 1000 มิลลิเมตร ตัวโครงทำจาก Stainless steel โดยจะมี eEastomer seal ด้วย

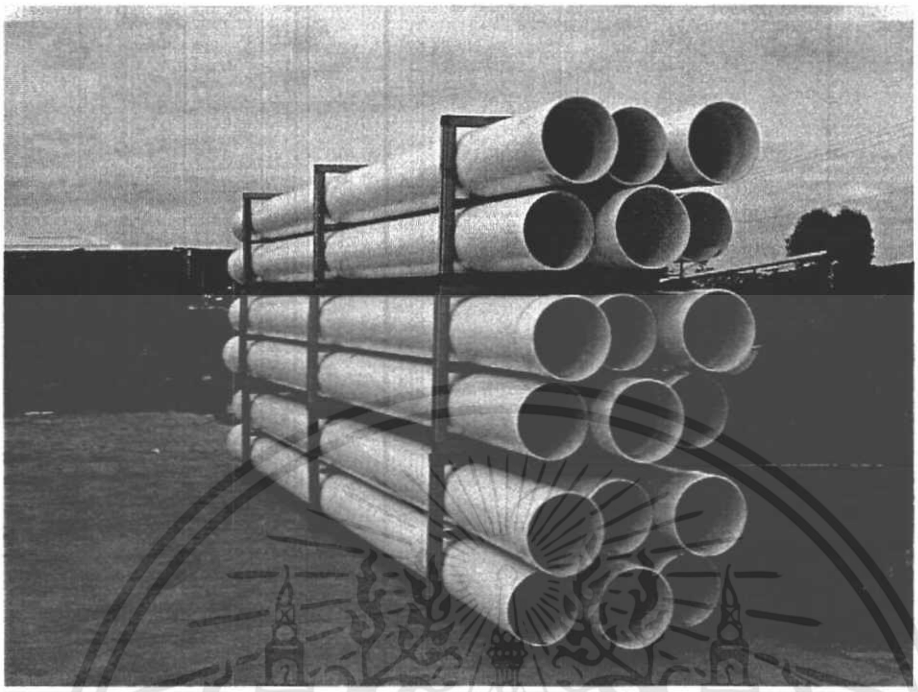
อย่างไรก็ตาม ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่เกิน 1000 มิลลิเมตร ก็ยังมีอยู่แต่ขนาดเล็กจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่า ในประเทศเยอรมันนี ท่อดินเป็นท่อที่นิยมใช้กันมากในงานอุโมงค์ขนาดเล็กโดยขนาดที่นิยมใช้จะอยู่ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ส่วนในสหราชอาณาจักรและญี่ปุ่น จะนิยมใช้อยู่ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 – 600 มิลลิเมตร

มาตรฐานที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสำหรับท่อดิน ได้แก่ German DIN 1230 และ British Standard 65 ส่วนประเทศยุโรปอื่นก็จะใช้มาตรฐาน European Standard EN 295 ในสหราชอาณาจักรก็จะใช้มาตรฐาน ASTM C 1298-91

รูปภาพที่ 5.10 แสดงตัวอย่างท่อดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 ท่อพลาสติก (Plastic pipe)



รูปภาพที่ 5.11 แสดงตัวอย่างท่อพลาสติก

ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำในการนำท่อพลาสติกมาใช้งาน โดยท่อพลาสติกที่ใช้ก็จะมีขนาดอยู่ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 – 300 มิลลิเมตร ในการนำท่อพลาสติกมาใช้ก็ควรคำนึงถึงบริเวณที่รองรับท่อจะต้องเหมาะสม

ที่น่าสนใจก็คือรอยต่อได้ถูกพัฒนาโดย Carlon,USA สำหรับ โดยท่อไวลอนจะมีโครงผนังเป็นรูป I-beam โดยจะมีการติดตั้ง Gripper เข้าไปและจะถูกควบคุมโดย Trenchless Excavation Centre (TEC) สำหรับรอยต่อของท่อที่ใช้ในอุโมงค์ขนาดเล็กจะมี Fiberglass insert ring กับ Multi-fin gasget ด้วย โดยขนาดของท่อชนิดนี้ก็จะมีขนาดประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6 ท่อโลหะไอออน (Ductile iron pipe)

รูปภาพที่ 5.12 แสดงตัวอย่างท่อโลหะไอออน

ในการนำท่อโลหะไอออนมาใช้งานเกี่ยวกับการดันท่อและงานอุโมงค์ขนาดเล็กได้ดีที่สุดคือประเทศญี่ปุ่น สำหรับประเทศสิงคโปร์ได้มีการนำท่อชนิดนี้มาทำเป็นท่อระบายน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนในจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย ก็ได้นำท่อนี้มาใช้บ้าง

ขนาดของท่อโลหะไอออนมีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 –2600 มิลลิเมตร โดยมาตราฐานจะยาว 4 เมตร

ค่าแรงดันที่ยอมให้ก็จะอยู่ที่ประมาณ 75% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1200 มิลลิเมตร ค่าแรงที่ใช้ดันจะประมาณ 900 ตัน ซึ่งขนาดนี้จะเป็นที่นิยมกันใช้มากกว่าขนาดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 ท่อเหล็ก (Steel Pipe)

รูปภาพที่ 5.13 แสดงตัวอย่างท่อเหล็ก

ท่อเหล็กที่นิยมใช้โดยทั่วไปสำหรับการดันท่อ โดยขนาดของท่อที่ใช้ส่วนมากก็จะมีขนาดใหญ่พอที่คนสามารถจะเข้าไปได้ ท่อชนิดนี้ส่วนมากมักจะมีความยาวตั้งแต่ 6 เมตรลงมา

ท่อชนิดนี้หากนำมาใช้ติดตั้งถาวรแล้ว ส่วนที่อยู่ภายนอกจะต้องถูกป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่หัวเจาะดันผ่านไปในดิน โดยค่าใช้จ่ายจะค่อนข้างสูง จึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สารที่ใช้เคลือบและห่อหุ้มท่อ

วัสดุที่นำมาผลิตท่อบางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตจะมีความสามารถในการต้านทานปฏิกิริยาเคมีซึ่งกระทำต่อภายในผนังท่อต่ำ ด้วยเหตุนี้วิศวกรและผู้เชี่ยวชาญจึงคิดค้นหาวิธีที่จะป้องกันปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น โดยการเคลือบบริเวณภายในของผนังท่อ

5.2.1 Plastic lining

รูปภาพที่ 5.14 แสดงตัวอย่างท่อที่เคลือบด้วยสารจำพวกพลาสติก

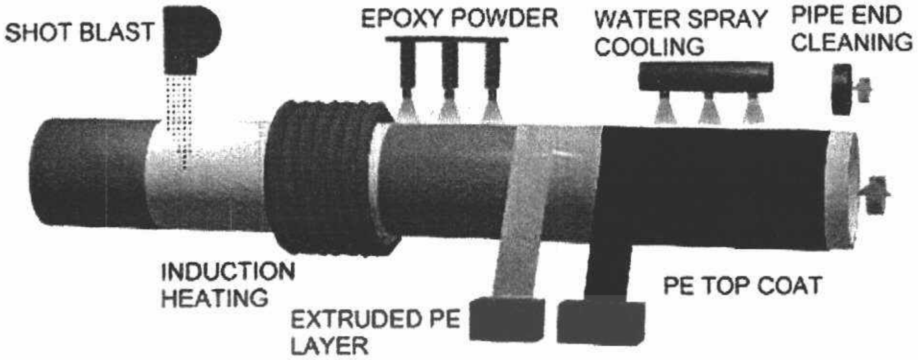
วิธีการเคลือบหรือดาดผิวภายในท่อเพื่อป้องกันปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นด้วยพลาสติก หรือ PVC เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยในการเคลือบผิวผนังภายในท่อสามารถทำในขณะที่กำลังผลิตหรือขณะที่ผลิตเสร็จแล้วก็ได้

ในประเทศญี่ปุ่นการผลิตด้วยกระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ Flush pipe ซึ่งเป็นท่อที่ผลิตจากคอนกรีตเสริมเหล็กโดยจะมีการเคลือบผิวด้วย Unplasticised PVC ซึ่งความหนาของชั้นที่เคลือบจะประมาณ 5 มิลลิเมตร ในการเคลือบจะเคลือบบริเวณผิวภายในท่อโดยจะปิดบริเวณปลายท่อแล้วเป่าแรงดันน้ำที่มีสารเคลือบอยู่เข้าไปภายในตัวท่อโดยจะให้สารเคลือบติดกับทั้งตัวคอนกรีตและตัวเหล็กที่เป็นรอยเชื่อมเพื่อให้มั่นใจว่าสารเคลือบติดแน่

สำหรับการเคลือบด้วยวิธีอื่นๆก็จะมีต้องออกแบบให้ป้องกันทั้งแรงดันภายนอกและภายในได้เป็นอย่างดี โดยแรงปฏิกิริยาที่กระทำระหว่างสารกับตัวท่อก็จะต้องให้เพียงพอไม่ให้สารเคลือบหลุดร่อน และสารที่เคลือบก็ควรที่จะเคลือบทั่วถึงทั้งตัวท่อรวมไปถึงรอยต่อระหว่างท่อโดยเฉพาะท่อขนาดเล็กที่คนไม่สามารถเข้าไปบำรุงรักษาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.1 3-Layer polyethylene coating



รูปภาพที่ 5.15 แสดงการเคลือบด้วยวิธี 3-Layer

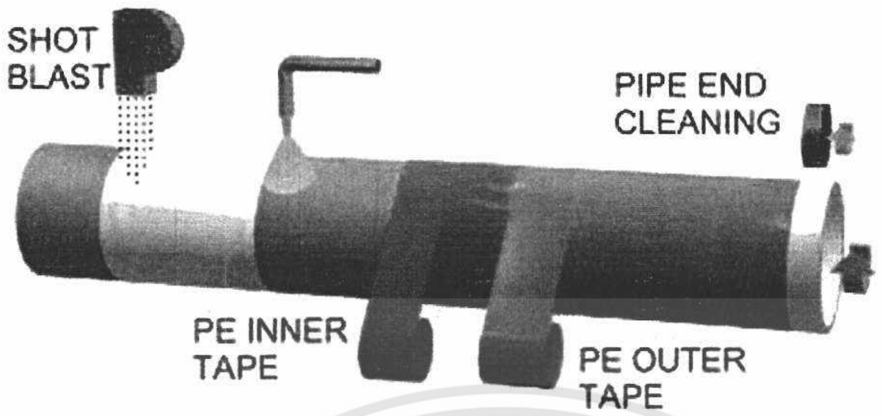
วิธี 3-Layer polyethylene coating เป็นการเคลือบผิวด้วยสารจำพวกพลาสติกวิธีหนึ่ง โดยการเคลือบวิธีนี้จะช่วยป้องกันสารพิษ กรดต่างๆ รวมไปถึงเชื้อโรค อาทิเช่นแบคทีเรียที่อาจเกิดขึ้นขณะลำเลียงได้

โดยจะใช้อีพอกซี่เคลือบรองพื้นตัวท่อเพื่อที่จะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาในการสร้างพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างตัว Polyethylene กับผนังท่อ ทำให้สารที่เคลือบยึดติดแน่นมากขึ้น

รูปภาพที่ 5.16 แสดงตัวอย่างท่อที่เคลือบด้วยวิธี 3-Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2 Polyethylene tape coating



รูปภาพที่ 5.17 แสดงการเคลือบด้วยวิธี Tape coating

วิธี Polyethylene tape coating ก็เป็นการเคลือบโดยใช้สารจำพวกพลาสติกอีกวิธีหนึ่งโดยท่อที่เคลือบด้วยวิธีนี้ก็จะนำไปใช้ในการลำเลียงของเสีย หรือการลำเลียงน้ำดื่ม

วิธีนี้ก็จะใช้อีพอกซี่ช่วยให้สารเคลือบยึดแน่นกับท่อมากยิ่งขึ้น โดยจะหุ้มชั้นแรกก่อนเพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อนได้ และก็จะหุ้มชั้นถัดไปเพื่อให้แน่นกระชับมากขึ้น โดยเมื่อหุ้มชั้นสุดท้ายเรียบร้อยแล้วท่อที่ได้จะมีความแข็งแรงต่อการลำเลียงและการติดตั้งมาก

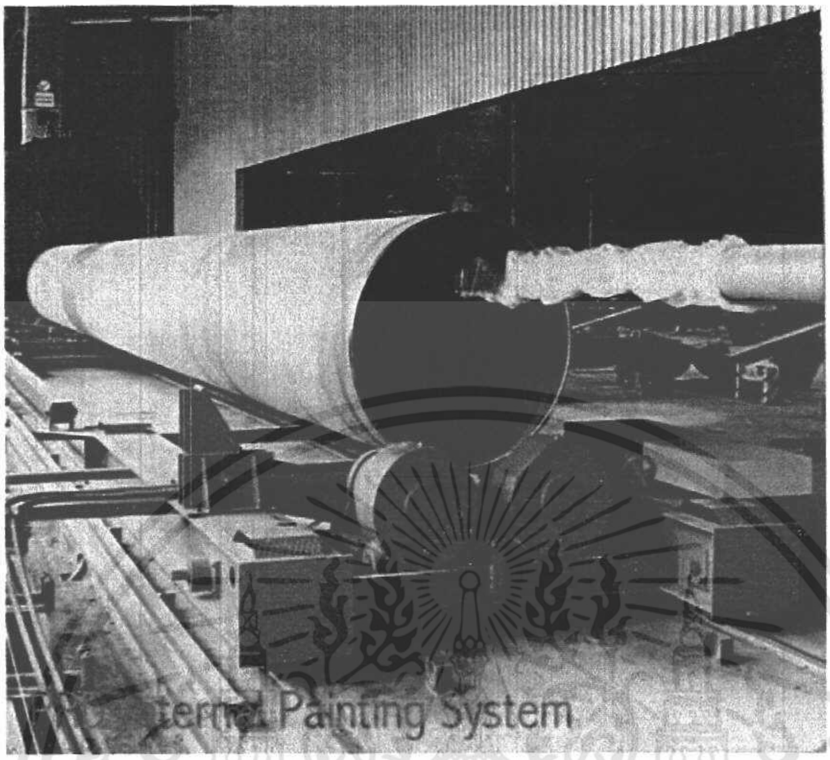
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 5.18 แสดงขั้นตอนการเคลือบด้วยวิธี Tape coating (1)

รูปภาพที่ 5.19 แสดงขั้นตอนการเคลือบด้วยวิธี Tape coating (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 Epoxy lining



รูปภาพที่ 5.20 แสดงการเคลือบด้วย Epoxy

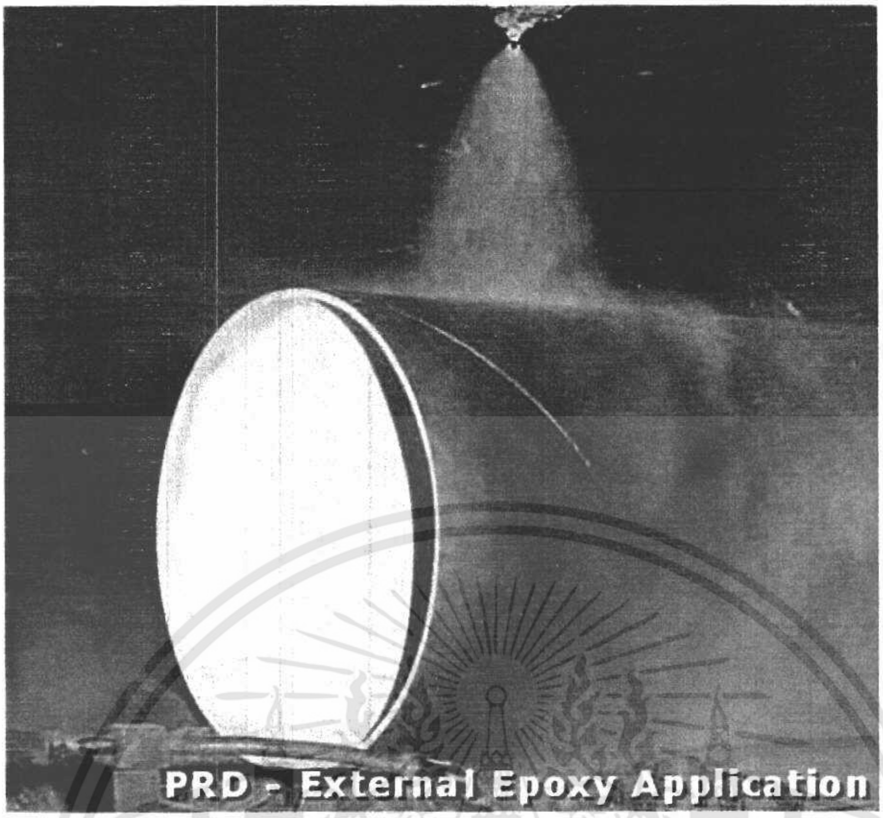
อีพอกซี่ถือว่าเป็นหนึ่งในสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งท่อที่เคลือบด้วยอีพอกซี่จะป้องกันการกัดกร่อนภายในตัวท่อ

ท่อที่เคลือบด้วยอีพอกซี่นี้จะนิมาใช้งานได้หลากหลายประเภทแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นท่อที่ใช้ในการส่งน้ำ (อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 140 องศาฟาเรนไฮต์) ท่อส่งก๊าซ หรือท่อที่ใช้ลำเลียงสารเคมี เป็นต้น

กระบวนการเคลือบท่อด้วยอีพอกซี่มีดังนี้

1. นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ตัวท่อแห้งปราศจากความชื้น
2. ทำความสะอาดผิวท่อให้ปราศจากสนิมที่เกาะติดกับท่อ
3. เคลือบอีพอกซี่ครั้งแรกบริเวณผิวด้านนอก
4. เคลือบอีพอกซี่อีกครั้งที่ผิวด้านในหน้า
5. ปล่อยให้แห้งแล้วนำไปให้ความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 5.21 แสดงการพ่นอีพอกซี่เคลือบผิวบริเวณด้านนอก

รูปภาพที่ 5.22 แสดงการพ่นอีพอกซี่เคลือบผิวบริเวณด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 Cement lining

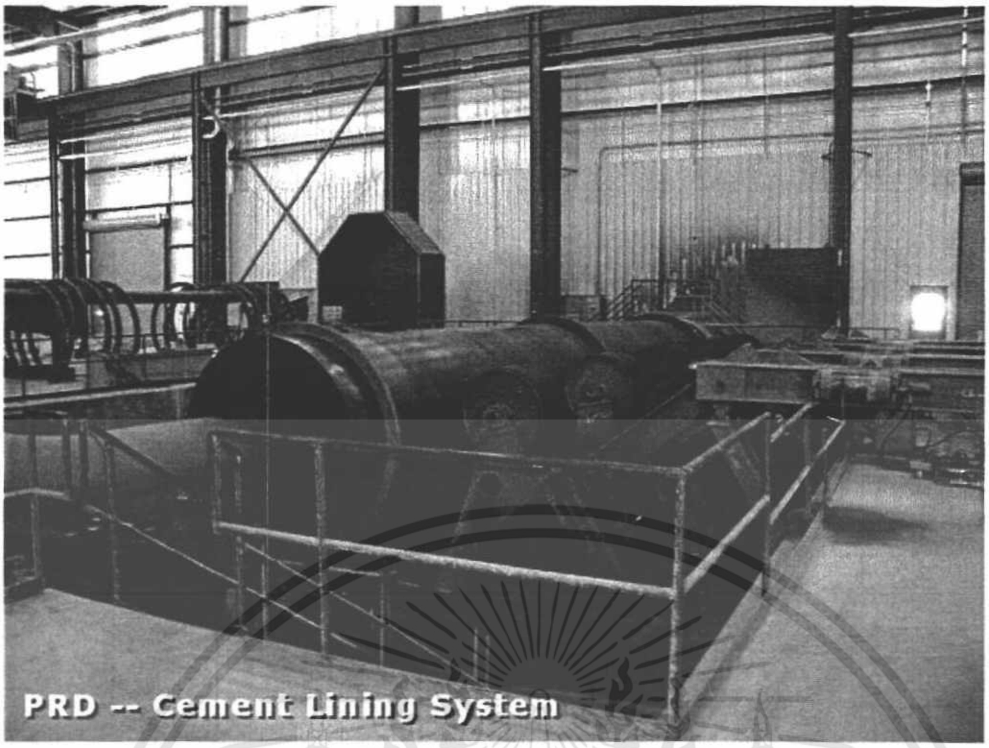
รูปภาพที่ 5.23 แสดงการเคลือบด้วยซีเมนต์

ท่อที่เคลือบด้วยซีเมนต์สามารถใช้ในการลำเลียงน้ำดื่ม ของเสีย หรือน้ำที่ใช้ในการดับเพลิงได้ โดนท่อที่หุ้มด้วยซีเมนต์จะมีความแข็งแรงมาก และยังช่วยรักษาอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ได้ด้วย

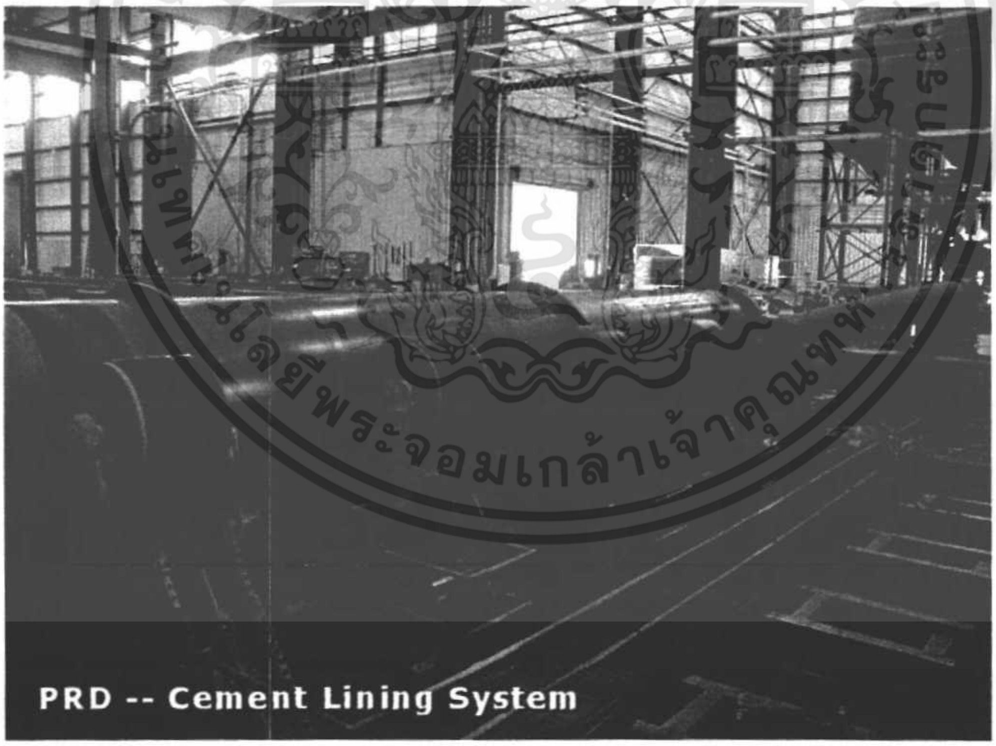
กระบวนการเคลือบท่อด้วยซีเมนต์มีดังนี้

1. ทำความสะอาดผิวหน้า
2. เคลือบด้วยซีเมนต์มอต้า
3. ทำให้ซีเมนต์มอต้าที่เคลือบแน่นขึ้น
4. ทำการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 5.24 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบด้วยซีเมนต์ (1)



รูปภาพที่ 5.25 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบด้วยซีเมนต์ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

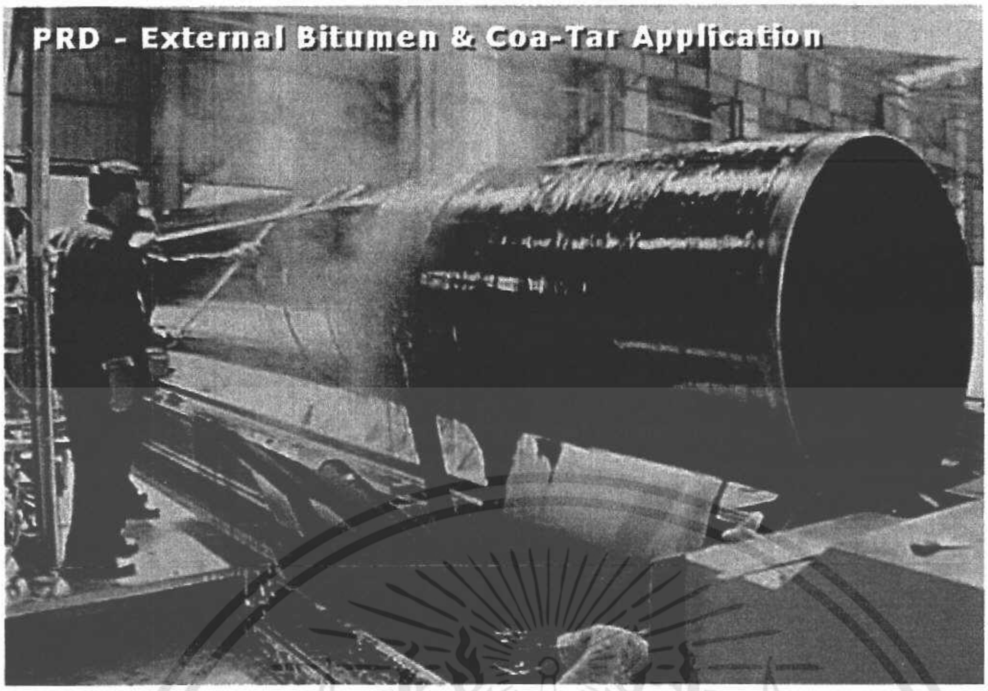
5.2.4 Bitument and coal tar coating

ท่อที่เคลือบด้วยสารจำพวกบิทูเมนต์เหมาะสำหรับใช้ในการลำเลียงน้ำ ก๊าซ น้ำมัน และของไหลอื่นๆ โดยสามารถใช้ได้ทั้งในการก่อสร้างใต้ดินและใต้น้ำ โดยอุณหมิที่เหมาะสมในการเลือกใช้ไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส

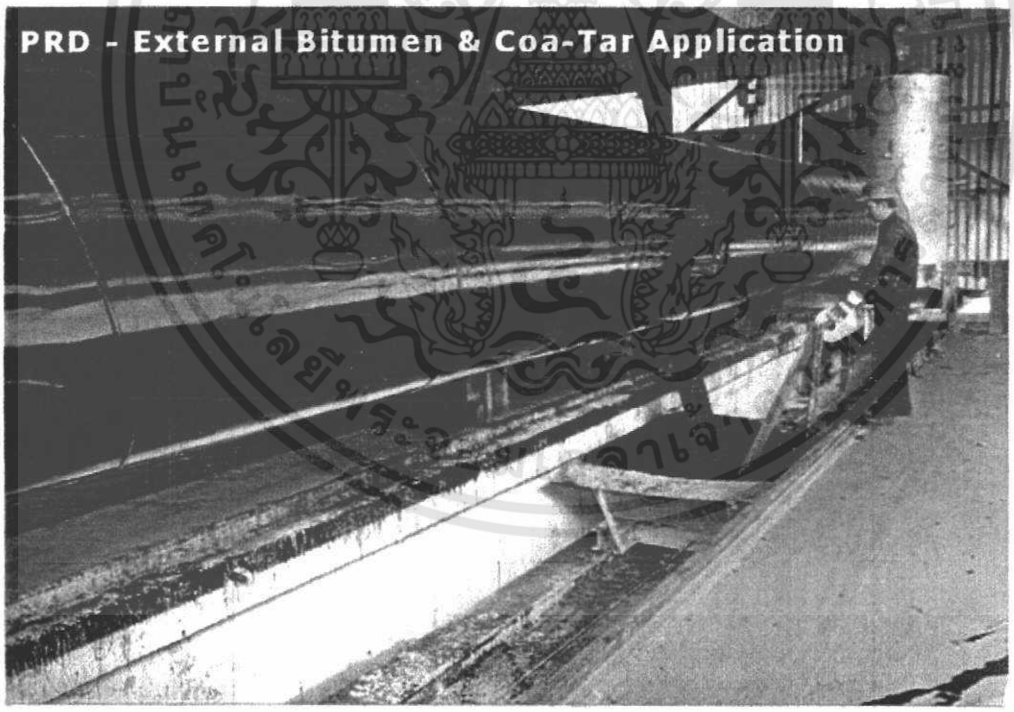
กระบวนการเคลือบท่อด้วยบิทูเมนต์มีดังนี้

1. นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ตัวท่อแห้งปราศจากความชื้น
2. ทำความสะอาดผิวท่อให้ปราศจากสนิมที่เกาะติดกับท่อ
3. เคลือบรองพื้นเพื่อให้ยึดแน่นขึ้น
4. ผิวภายนอกของท่อจะหุ้มด้วย Fiberglass ก่อน แล้วจึงหุ้มด้วยบิทูเมนต์ หรือ coal-tar อีกครั้งหนึ่ง
5. ทาสีภายนอกอีกครั้งเพื่อป้องกันรังสีอุลตราไวโอเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 5.26 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเคลือบท่อด้วยบิทูเมนต์



รูปภาพที่ 5.27 แสดงท่อที่เคลือบด้วยบิทูเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 Composite pipe

การแตกร้าวของท่อก็เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดจากการเคลือบผิวท่อด้วยวัสดุที่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีการนำท่อที่ผลิตจากวัสดุผสมเข้ามาใช้ซึ่งมีความคงทนมากกว่า โดยผิวในและผิวนอกก็จะสามารถต้านแรงดันที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า

ท่อ Superline ก็เป็นตัวอย่างท่อชนิดหนึ่งที่ผิวภายในและภายนอกจะมีความแข็งแรงมากเพราะเคลือบด้วยวัสดุพวกเส้นใยซีเมนต์อัดแรง (GRC) ซึ่งสารที่เคลือบจะทำให้ท่อสามารถต้านทางปฏิกิริยาทางเคมีและต้านทานการกัดกร่อนได้สูง ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ประเทศญี่ปุ่นนิยมใช้ท่อชนิดนี้กันมาก

ท่อ Cerahume ก็เป็นท่อชนิดหนึ่งที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้พัฒนาขึ้นมา ท่อชนิดนี้ผลิตด้วยกระบวนการเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง โดยผิวท่อจะเคลือบด้วยวัสดุจำพวกเซรามิกและเรซินซึ่งสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ส่วนบริเวณรอยต่อของท่อจะเคลือบด้วยเรซินเพียงอย่างเดียวสำหรับท่อที่ใช้ในประเทศไต้หวันก็จะนิยมใช้ท่อที่เคลือบด้วยสารจำพวก อีพอกซี่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ขั้นตอนการก่อสร้าง

ก่อนการก่อสร้างการดันท่อ (Pipe jacking) จะต้องมีการขุดเจาะสำรวจข้อมูลใต้ดินหรืออุปสรรคใต้ดิน เพื่อประกอบการออกแบบและแนวทางการก่อสร้าง จากนั้นจะสำรวจและกำหนดทิศทางแนวของท่อที่จะทำการดัน เพื่อนำเสนอเจ้าของโครงการ หรือควบคุมงาน โดยขั้นตอนการทำงานแบ่งเป็นหลักๆได้ดังนี้

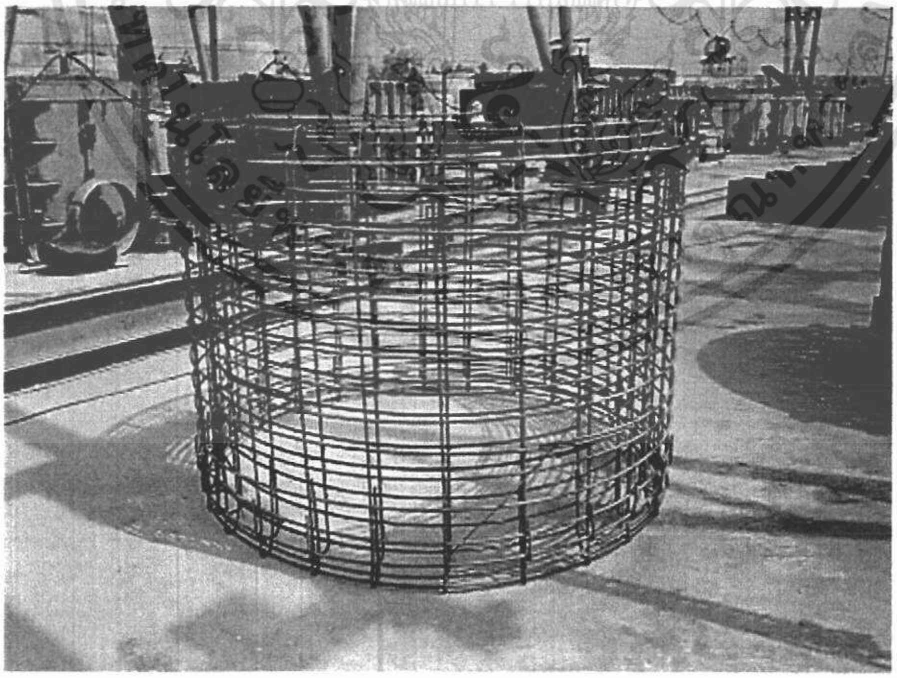
1. หล่อแบบท่อสำหรับใช้ในการดันท่อ (Shaft casting)
2. การจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง (Site clean)
3. งานก่อสร้างบ่อดัน (Jacking Pit) และบ่อรับ Receiving Pit)
4. การติดตั้งชุดแม่แรงที่ใช้ดันหัวเจาะและท่อ Launching Cradle)
5. งานดันท่อ
6. ระบบระบายอากาศ (Ventilation System)
7. การควบคุมแนวและระดับของหัวเจาะและท่อที่ดัน
8. การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 หล่อแบบท่อที่ใช้ในการดันท่อ (Shaft casting)

1.จัดวางเหล็กเสริมและเชื่อมเหล็กเสริมตามที่ได้ออกแบบไว้

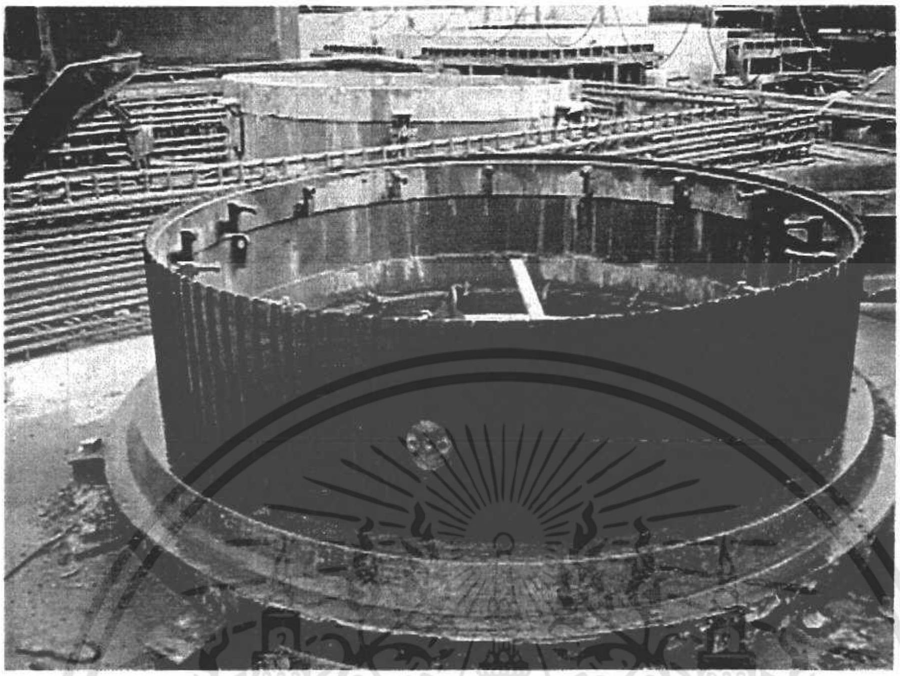
รูปภาพที่ 6. 1 แสดงการวางเหล็กสำหรับท่อคอนกรีต



รูปภาพที่ 6. 2 แสดงตัวอย่างโครงเหล็กที่ทำเสร็จแล้ว

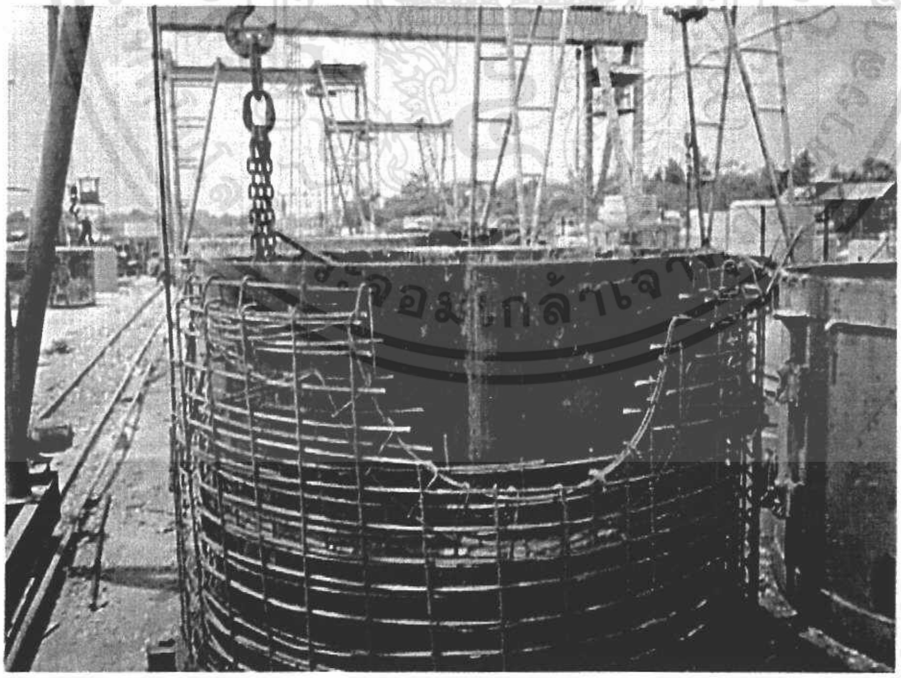
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมแบบหล่อที่ใช้ประกบด้านในของท่อ โดยต้องทำความสะอาดแบบหล่อก่อนนำมาใช้



รูปภาพที่ 6. 3 แสดงแบบที่ใช้หล่อด้านในของท่อ

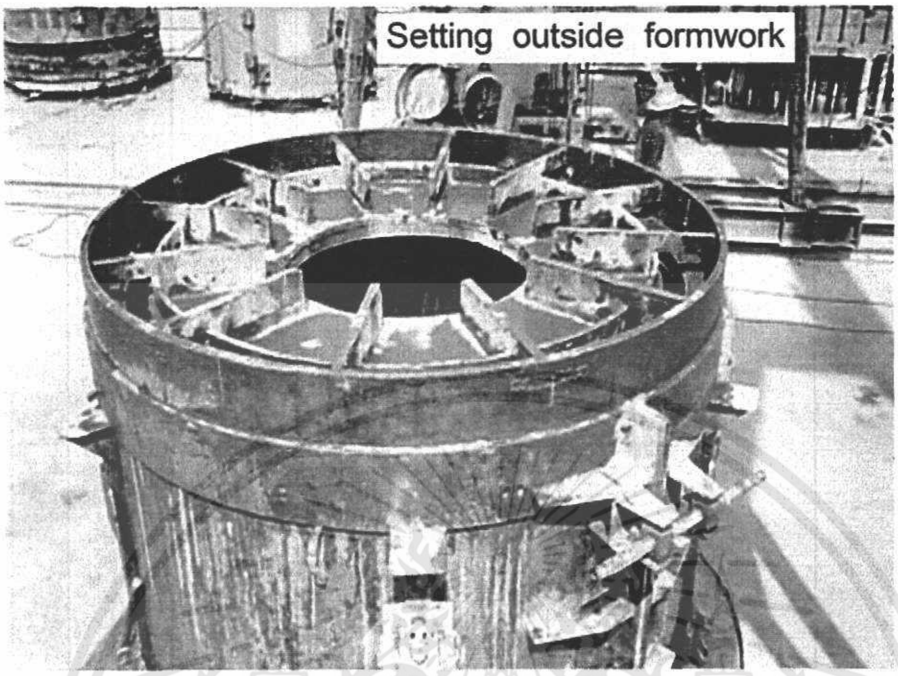
3. นำโครงเหล็กที่ได้เตรียมไว้มาประกบด้านภายนอกของแบบหล่อ



รูปภาพที่ 6. 4 แสดงรูปโครงเหล็กที่ประกอบอยู่ภายนอกแบบหล่อเรียบร้อยแล้ว

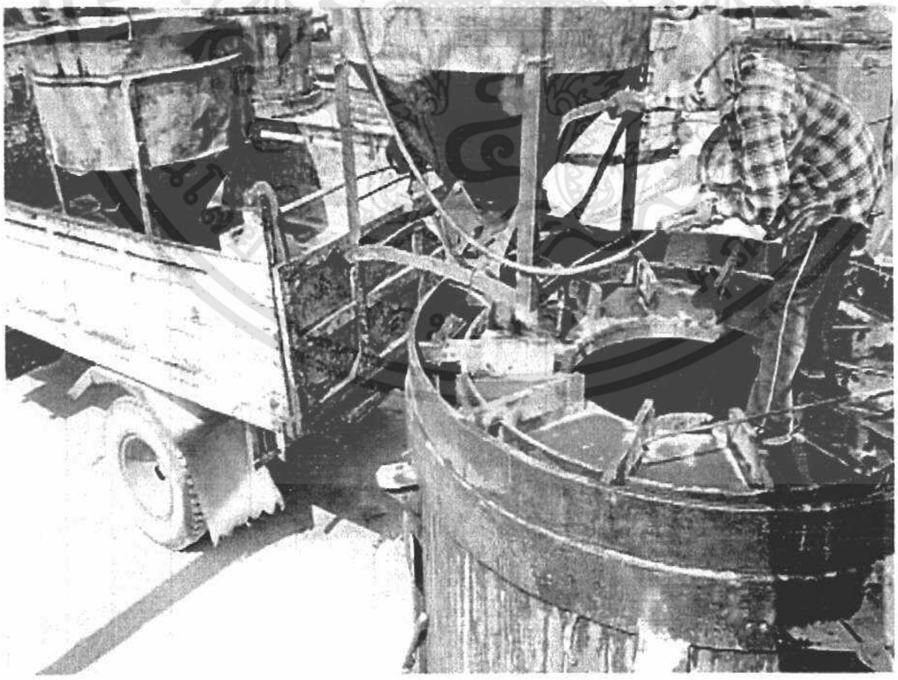
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำแบบภายนอกมาประกบโครงเหล็กอีกครั้งหนึ่งเพื่อเตรียมการหล่อ



รูปภาพที่ 6. 5 แสดงแบบภายนอกที่นำมาประกบโครงเหล็ก

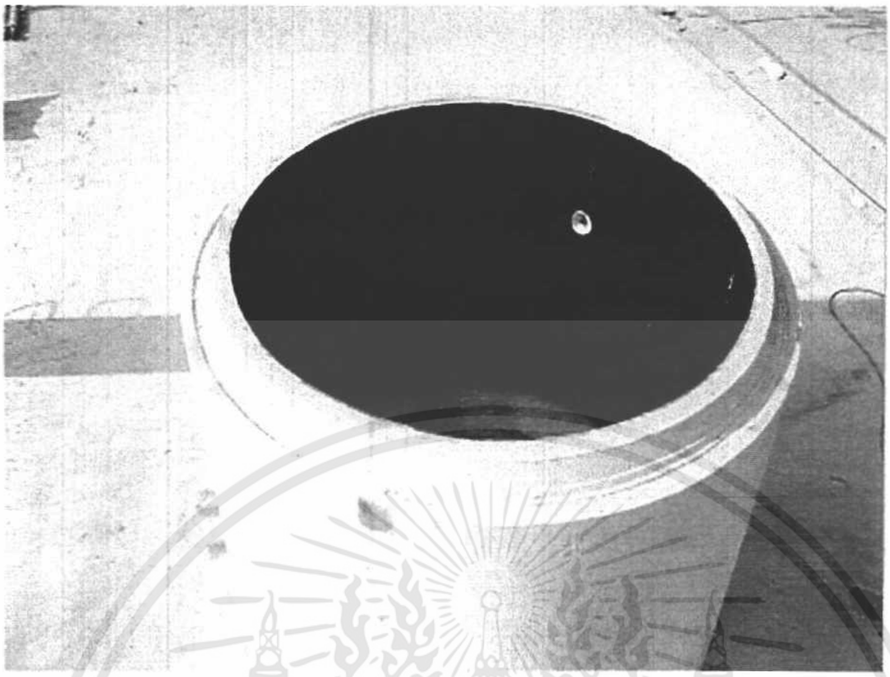
5. เทคอนกรีตเข้าไปในแบบที่เตรียมไว้ พร้อมทั้งไล่ฟองอากาศออก



รูปภาพที่ 6. 6 แสดงการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจากที่คอนกรีตได้อายุแล้ว ก็ทำการถอดแบบหล่อออก



รูปภาพที่ 6. 7 แสดงท่อคอนกรีตเมื่อแกะออกจากแบบแล้ว

รูปภาพที่ 6. 8 แสดงท่อคอนกรีตที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

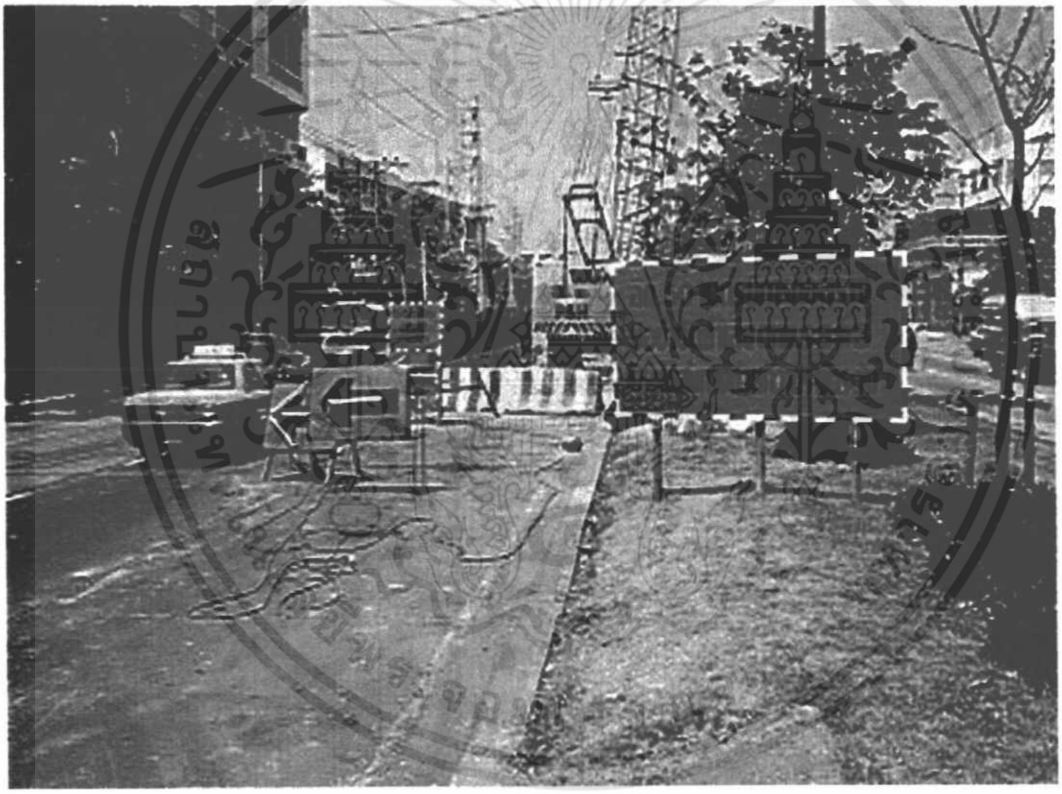
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง (Site clean)

1. รื้อพื้นผิวการจราจรออกและปรับผิวดินให้เรียบเพื่อสามารถเดินเครื่องจักรและอุปกรณ์ทำงานได้ เมื่อการก่อสร้างบ่อดันและบ่อรับตลอดจนการดันท่อแล้วเสร็จจึงปรับปรุงพื้นที่เพื่อคืนผิวถนนให้สมบูรณ์ดังเดิม

2. รื้อย้ายสาธารณูปโภคต่างๆที่ขวางการดำเนินการก่อสร้างออกชั่วคราวออกและดำเนินการก่อสร้างในภายหลัง

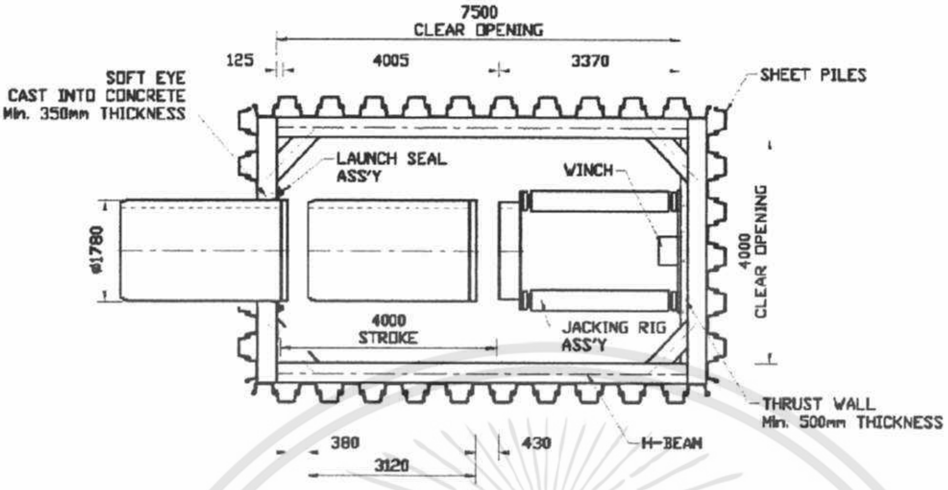
3. นำแผงรั้วคอนกรีตชั่วคราวนำแผงรั้วคอนกรีตชั่วคราว (Concrete Barrier) สูงประมาณ 0.90 เมตร เรียงชิด แต่ละท่อนต่อเป็นแนวตลอดแนวของพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อแสดงขอบเขตพื้นที่ทำงาน พร้อมทั้งติดตั้งสัญญาณไฟกระพริบบนแผงรั้วคอนกรีตทุกระยะ 10 เมตร ตลอดแนวโดยเปิดสัญญาณไฟกระพริบ ตลอด 24 ชั่วโมง



รูปภาพที่ 6. 9 แสดงการติดตั้งป้าย สัญญาณไฟ และแผงคอนกรีต บริเวณสถานที่ก่อสร้างเพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 งานก่อสร้างบ่อดัน (Jacking Pit) และบ่อรับ (Receiving Pit)

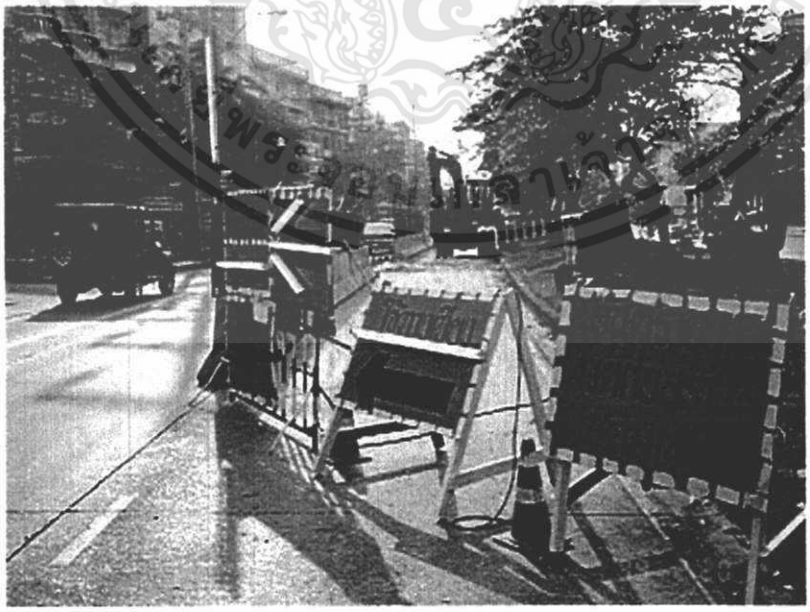


รูปภาพที่ 6. 10 แสดงตัวอย่างแบบก่อสร้างบ่อดัน

6.3.1 ใช้วิธีตอกเสาเข็มพืดและค้ำยัน (Sheet Pile Cofferdam)

ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. จัดการจราจรตามข้อกำหนดแผนงานตามที่รับอนุมัติจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และทำการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภคหากมีความจำเป็นเพื่อไม่ให้กีดขวางการทำงานและส่งผลกระทบตามมาภายหลัง เช่น ติดตั้งป้ายสัญญาณจราจร พร้อมทั้งจัดให้มีรั้วชั่วคราวรอบบริเวณก่อสร้าง ติดตั้งไฟจราจรและไฟฉุกเฉิน



รูปภาพที่ 6. 11 แสดงการติดตั้งไฟจราจรและป้ายสัญญาณเพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการติดตั้งผนังเสาเข็มพืด (Sheet Pile) ด้วยวิธีใช้ปั้นจั่นสั่นสะเทือน (Vibro Hammer) รอบขอบท่อ

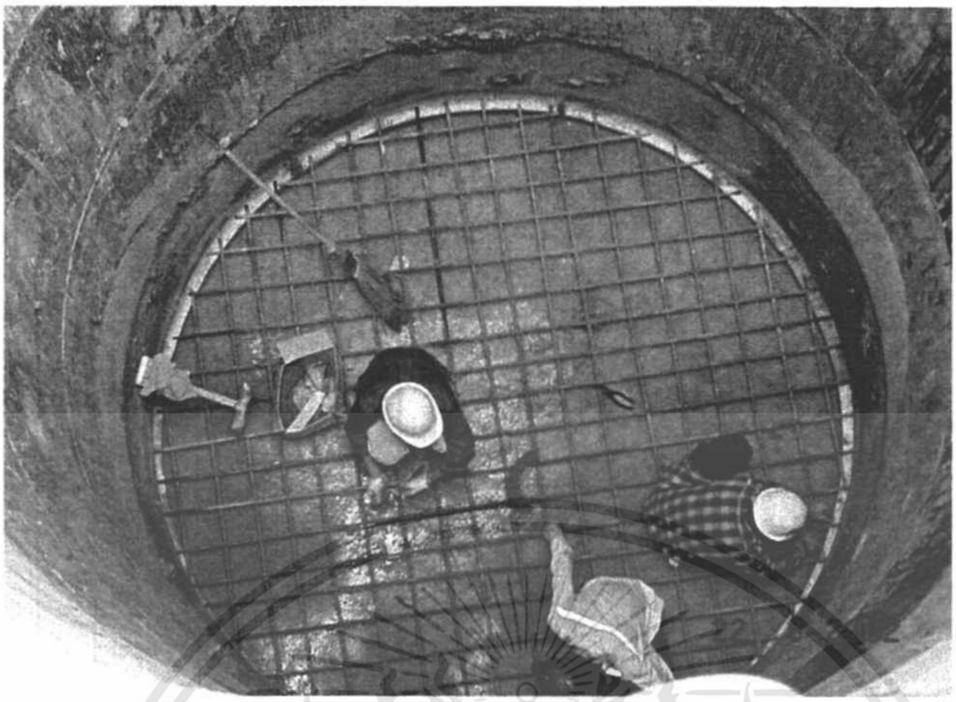
รูปภาพที่ 6. 12 แสดงการติดตั้งเสาเข็มพืด

3. ทำ Jet Grouting ที่ก้นบ่อเพื่อป้องกันดินอูด (Heave) หากมีความจำเป็น

4. ทำการขุดดินภายในบ่อออก ทำการค้ำยันเสาเข็มพืดไปพร้อมกับการขุดดินออกจนถึงก้นบ่อตามแบบ เทคอนกรีตที่ฐานเพื่อเป็นแท่นสำหรับเครื่องไฮโดรลิก

รูปภาพที่ 6. 13 แสดงการขุดดินออกจากบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

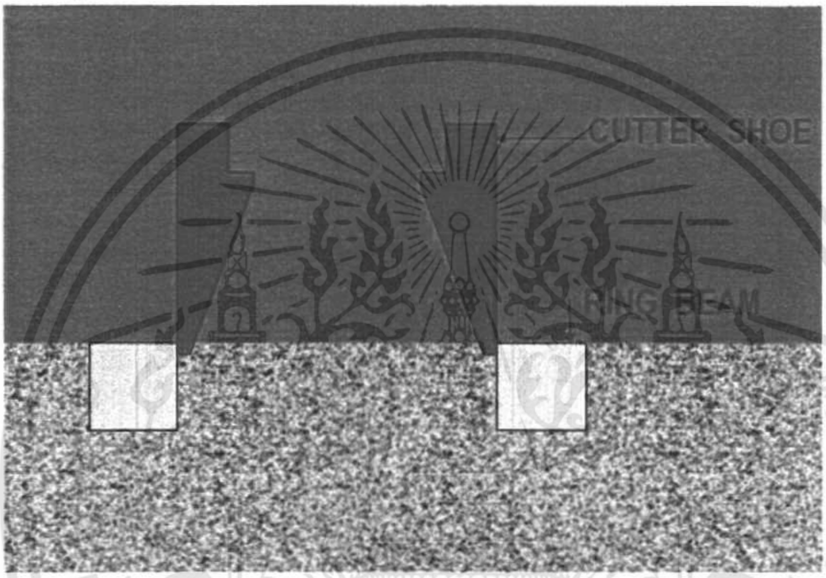


รูปภาพที่ 6. 14 แสดงบริเวณก้นบ่อที่หล่อด้วยคอนกรีตเพื่อเตรียมวางเครื่องไฮโดรลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 ใช้วิธีการจมบ่อ (Sinking Caisson)

โดยวิธีการนี้ยังสามารถแบ่งได้ 2 วิธีตามขั้นตอน คือ วิธีแรกเป็นการจมบ่อแบบหล่อในที่ (Cast in place) วิธีนี้จะใช้เวลาค่อนข้างนานในการก่อสร้างเพราะต้องรอให้คอนกรีตที่หล่อแข็งตัวก่อนจึงสามารถทำชิ้นส่วนต่อไปได้ ส่วนอีกวิธีหนึ่งเป็นการจมบ่อแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูป (Precast segment) เหมาะสำหรับสถานที่จำกัดในเรื่องเวลาการทำงาน เช่น กรุงเทพมหานคร ซึ่งในทั้ง 2 วิธีนี้จะมี Segment ตัวล่างสุดจะเป็น Ring Beam และ Cutter shoe ซึ่ง Cutter shoe นั้นจะมีรูปเหมือนลิ่ม เมื่อทำการกดน้ำหนักลงไป ทำให้ดินอูดขึ้นมาของในบ่อ ดังแสดงในรูปที่ 6.15



รูปภาพที่ 6. 15 แสดงวิธีการจมบ่อ

6.3.2.1 การจมบ่อแบบหล่อในที่ (Cast in place)

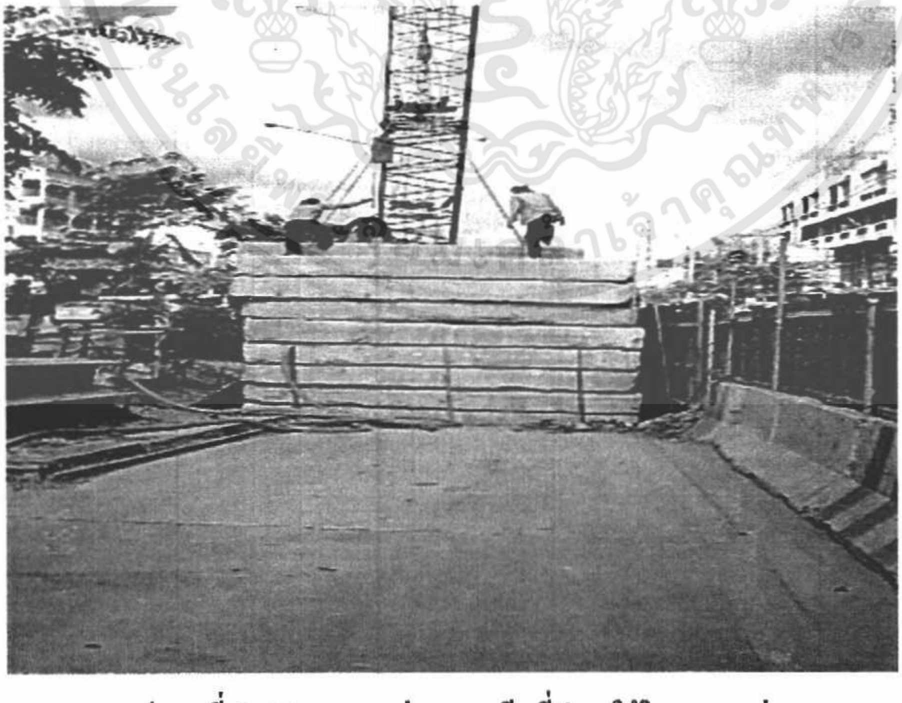
มีขั้นตอนการก่อสร้าง 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการติดตั้งผนังเสาเข็มพืด (Sheet Pile) รอบบ่อเพื่อป้องกันการพังของดินขณะทำการจมบ่อ (Sinking Caisson) อาจมีค้ำยัน (Bracing) ตามความจำเป็น ทำการขุดดินออกไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร จากระดับดินเฉลี่ยบริเวณรอบบ่อแล้วทำการติดตั้งแบบหล่อเหล็กเสริมและหล่อผนังของบ่อจมส่วนล่างสุดในบ่อที่ขุดขึ้นนี้ โดยจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่กำหนดไว้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 6. 16 แสดงโครงเหล็กของบ่อแบบหล่ออยู่กับที่

2. เมื่อคอนกรีตสามารถรับน้ำหนักตามที่ได้ออกแบบไว้ ทำการกดน้ำหนักจากด้านบนของบ่อเพื่อให้บ่อจมลงไปจนใกล้เคียงระดับผิวดินที่ขุดไว้ในข้อ 1 การจมน้ำหนักลงควรให้ชิ้นส่วนของบ่อเสียน้อยที่สุดเนื่องคอนกรีตยังแข็งไม่พอต่อการรับน้ำหนักที่มาก

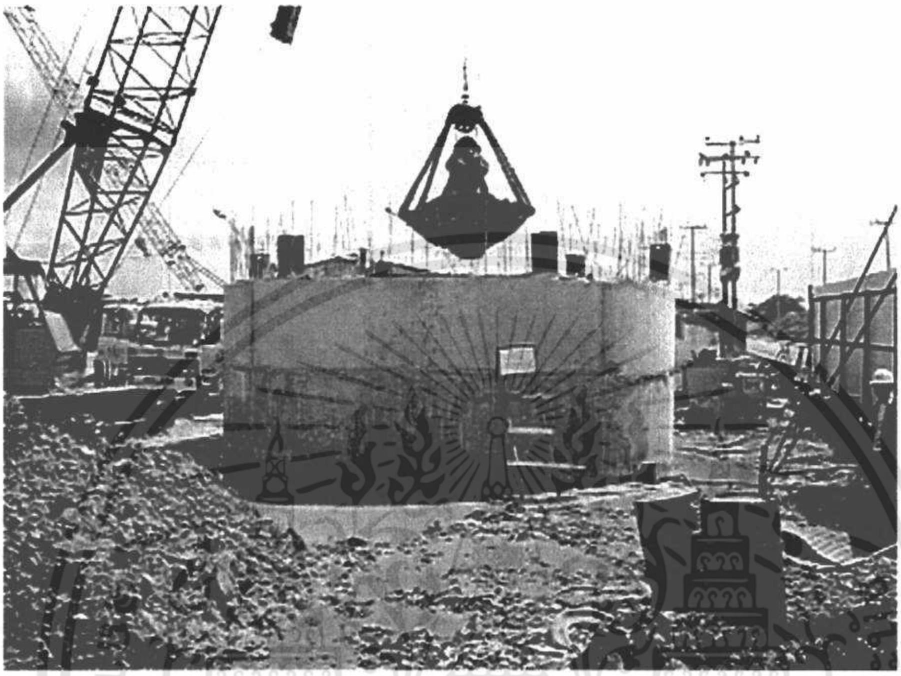


รูปภาพที่ 6. 17 แสดงแผ่นคอนกรีตที่นำมาใช้ในการจมบ่อ

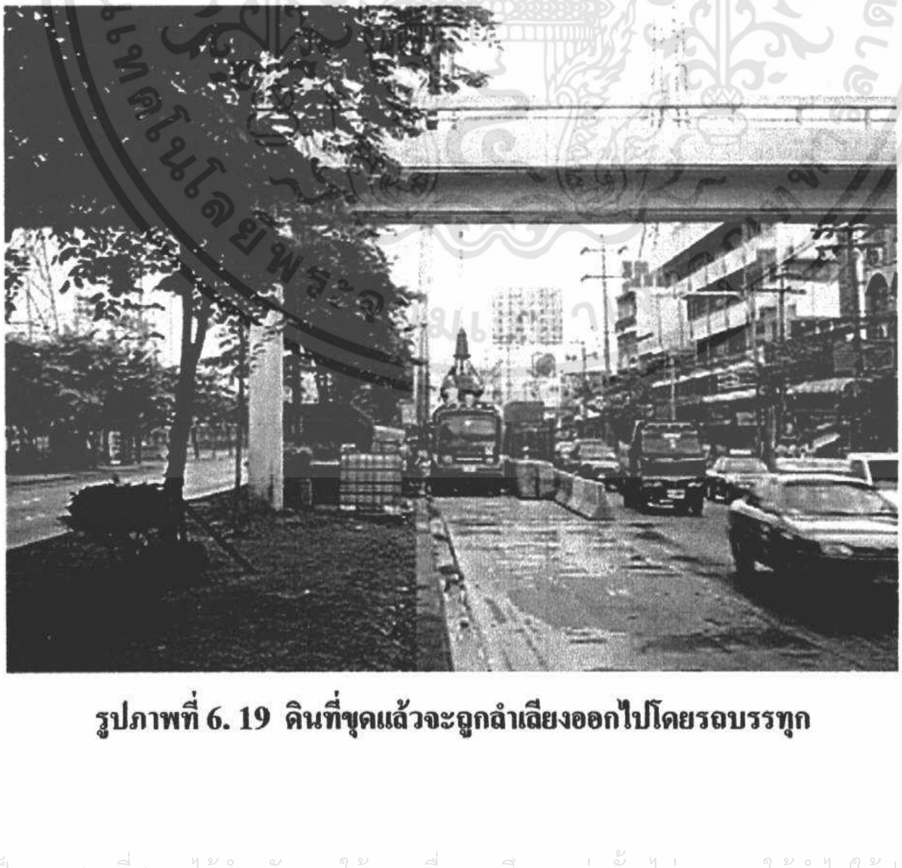
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการติดตั้งแบบหล่อและค้ำยันเรียบร้อย แล้วเทคอนกรีตของชั้นต่อไปบนชั้นที่จมลงไปแล้ว จากนั้นจึงทำการกดด้วยน้ำหนักจากด้านบนเพื่อให้บ่อที่หล่อให้จมลงไปจนเสมอระดับดิน อาจมีการขุดดินภายในและใช้สารลดแรงเสียดทานภายนอกบ้างตามความเหมาะสมเพื่อช่วยลดขนาดน้ำหนักที่จะกดทับ



รูปภาพที่ 6. 18 แสดงการขุดดินออกจากบ่อ



รูปภาพที่ 6. 19 ดินที่ขุดแล้วจะถูกลำเลียงออกไปโดยรถบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำซ้ำตามข้อ 3 ไปเรื่อยๆ จนบ่อจมลงไปถึงระดับที่กำหนด โดยระหว่างนี้คอยตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินรอบบ่อ หากมีสัญญาณว่ามีการเคลื่อนตัวของดินจะต้องหยุดและทำการแก้ไขตามรูปสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นกรณีไปโดยวิธีเป็นกรณีตามรูปการ

5. เมื่อบ่อทั้งหมดจมถึงระดับที่กำหนดไว้แล้ว ขุดดินภายในส่วนที่ยังเหลืออยู่จนถึงระดับใต้ท้องพื้นบ่อตามที่กำหนด แล้วทำการปรับแต่งดินและก่อสร้างพื้นบ่อโดยเทคอนกรีตเริมเหล็กเชื่อมเข้ากับกำแพงบ่อตามรอยต่อที่เตรียมไว้พร้อมทั้งปิดฝาบ่อชั่วคราวและควรติดป้ายระวังอันตรายจากบ่อลึก เพื่อรอเครื่องจักรมาติดตั้งทำการดันท่อ

รูปภาพที่ 6. 20 บริเวณก้นบ่อจะทำการเทคอนกรีตเพื่อเตรียมวางเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2.2 การจมบ่อแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูป (Precast segment)

การผลิตชิ้นส่วนบ่อดันและบ่อรับ (Precast Sement)

1. เตรียมแบบหล่อให้สะอาดพร้อมทาน้ำมันก๊าด จัดวางเหล็กเสริมและ เชื่อมยึดเหล็กเสริมตามที่ออกแบบไว้

2. นำเหล็กเสริมที่ทำการเชื่อมยึดแล้ว เข้าแบบหล่อ เทคอนกรีตพร้อมทั้งการไล่ฟองอากาศ และทำคอนกรีตให้แน่น

3. เก็บตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อ เพื่อทดสอบกำลังของคอนกรีตจะได้ตามที่ออกแบบหรือไม่ หากไม่ได้ต้องทำการหล่อชิ้นส่วนนั้นใหม่

4. เมื่อคอนกรีตได้อายุ ถอดแบบออกพร้อมบ่ม เตรียมนำไปใช้งาน ชิ้นส่วนของบ่อรับ จะพ่นสีติดไว้ที่ผิวด้านข้างของทุกชิ้นส่วน เสมอที่ถอดแบบ ซึ่งจะบ่งบอกลำดับของท่อและทิศทางของท่อ

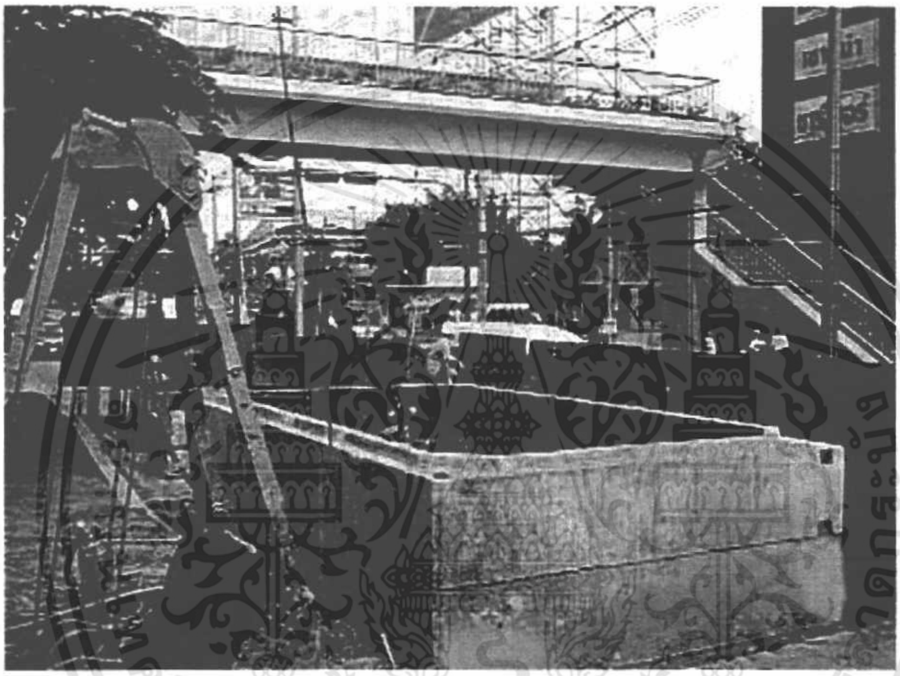
รูปภาพที่ 6. 21 แสดงชิ้นส่วนของบ่อที่หล่อเสร็จแล้วเพื่อนำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจมบ่อแบบแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูป มีขั้นตอนการก่อสร้างดังนี้

1. ทำการติดตั้งผนังเสาเข็มพืด (Sheet piles) รอบบ่อเพื่อป้องกันการพังของดินขณะทำการจมบ่อ (Sinking Caisson) อาจมีการค้ำยัน (Bracing) ตามความจำเป็น

2. ทำการขุดดินออกไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร จากระดับดินเฉลี่ยบริเวณรอบบ่อแล้วทำการติดตั้งผนังของบ่อจมส่วนล่างสุดที่ขุดนี้ โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ



รูปภาพที่ 6. 22 แสดงชิ้นส่วนบ่อคอนกรีตที่นำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

3.ทำการกดด้วยน้ำหนักจากด้านบนของบ่อเพื่อให้บ่อจมชั้นแรกลงไปจนใกล้เคียงระดับผิวดินที่ขุดไว้ในข้อ 2 ในการจมน้ำหนักควรมีเฟรมมารองก่อน เพื่อลดความเสียหายของ Segment

4. ทำการติดตั้งผนังของบ่อชั้นต่อไปบนชั้นที่จมลงไปแล้ว พร้อมทั้งวางยางกันน้ำ (Water Stop) ระหว่างรอยต่อแต่ละชิ้นส่วน และใส่ Tie Rod เพื่อยึดแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้เชื่อมติดกันและทำการกดด้วยน้ำหนักจากด้านบนเพื่อให้บ่อสำเร็จรูปจมลงไปจนเสมอระดับดิน อาจมีการขุดดินภายในและใช้สารลดแรงเสียดทานภายนอกบ้างตามความเหมาะสม เพื่อช่วยลดขนาดของน้ำหนักที่จะกดทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำซ้ำตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 ไปเรื่อยๆ จนบ่อจมจมลงไปจนถึงระดับที่กำหนด โดยระหว่างนี้ต้องคอยตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินรอบบ่อ หากมีสัญญาณว่าการเคลื่อนตัวของดินจะต้องหยุดและทำการแก้ไขตามรูปการที่เกิดขึ้นเป็นกรณีไปโดยวิธีเป็นกรณีไปตามรูปการ

6. เมื่อบ่อทั้งหมดจมถึงระดับที่กำหนดไว้แล้ว ขุดดินภายในส่วนที่ยังเหลืออยู่จนถึงระดับใต้ท้องพื้นบ่อตามที่กำหนด แล้วทำการปรับแต่งดินและก่อสร้างพื้นบ่อโดยเทคอนกรีตริมเหล็กเชื่อมเข้ากับกำแพงบ่อตามรอยต่อที่เตรียมไว้พร้อมทั้งปิดฝาบ่อชั่วคราวและควรติดป้ายระวังอันตรายจากบ่อลึก เพื่อรอเครื่องจักรมาติดตั้งทำการดันท่อ

รูปภาพที่ 6. 23 แสดงการขุดดินออกจากภายในตัวบ่อ

6.4 การติดตั้งชุดแม่แรงที่ใช้ดันหัวเจาะและท่อ (Launching Cradle)

ทำการติดตั้งชุดแม่แรงที่ใช้ดันหัวเจาะและท่อ (Launching Cradle) โดยอิงแนวทางและระดับจากค่าสำรวจ ดังนี้

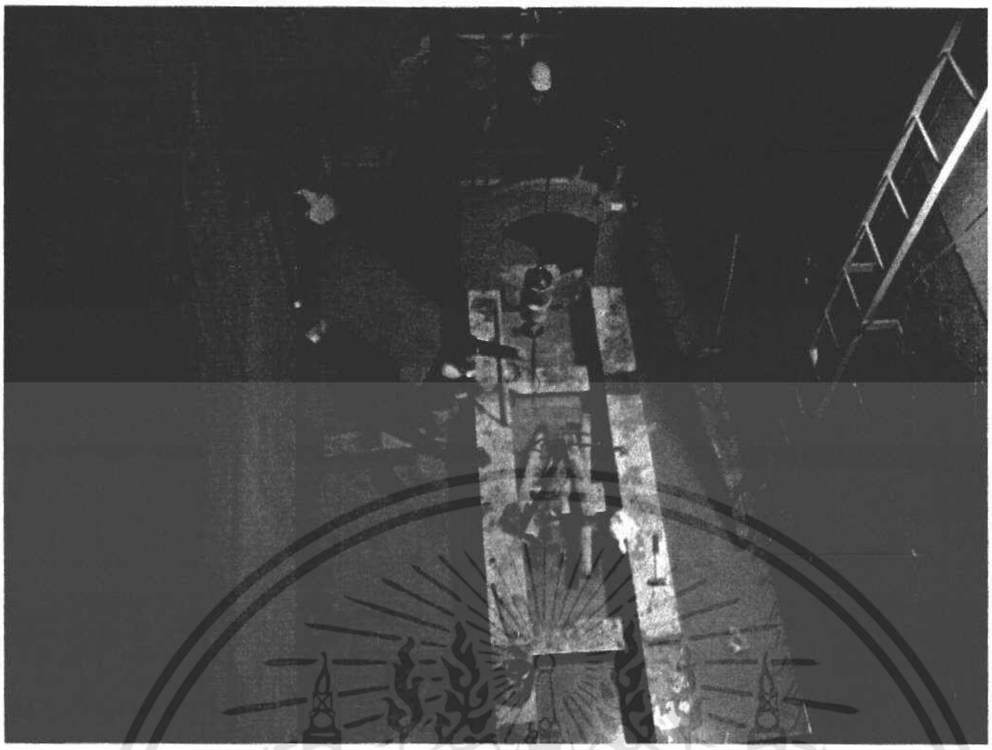
1. ทำการดันคอนกรีตที่ปิดบริเวณ Soft Eye ออกด้วยเครื่องดันไฮโดรลิก แต่ยังไม่ตัดเสาเข็มพืดออก มิฉะนั้นดินจะไหลเข้าสู่บ่อดันเป็นอุปสรรคในการทำงาน

2. ปิดปากท่อที่ดันเสร็จเรียบร้อยด้วยแผ่นเหล็กที่เตรียมไว้

3. ติดตั้งแท่นเจาะให้ตั้งฉากกับแนวท่อที่ดัน พร้อมเสริมเหล็กและเทคอนกรีตที่หลังแท่นเจาะ เพื่อให้แท่นเจาะสามารถรับแรงดันได้ดีในการดันท่อ

4. ติดตั้งรางหัวเจาะและรางวางท่อ ให้ได้แนวท่อและระดับที่ท่อวาง ในการติดตั้งนั้นจะนำท่อดันมาทดสอบวางเพื่อเช็คขนาด ระดับ และแนวดันท่อ (Line of Pipejacking)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 6. 24 แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดแม่แรงดันท่อ

5. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องปั๊มดินออก ระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ่อดัน เมื่อทำการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบกำลังไฮโดรลิกแล้วเสร็จ ทำการต่อประกอบอุปกรณ์หัวเจาะ และทดสอบความพร้อมของหัวเจาะ ในการดันท่อนั้นจะมีระบบควบคุม (Control System) อยู่ด้านบนบ่อดัน เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

6. ติดตั้งแผ่นยางกันดินไหลเข้าบ่อดันที่หน้า Soft Eye แล้วทำการตัดเสาเข็มพืดที่ตอกไว้หน้า Soft Eye ออก และดันหัวเจาะเข้าสู่แนวการดันท่อผ่าน Soft Eye เพื่อเริ่มการดันท่อ

7. ติดตั้ง แท่นเลเซอร์ที่ด้านหลังแท่นดัน โดยกำหนดทิศทางแนว และ ระดับจากที่ได้สำรวจออกแบบ

8.ที่ทางออก Soft Eye ติดตั้งวง Exit Seal เพื่อป้องกันดินรั่วไหลเข้ามาในตัวบ่อพักในขณะดันท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 งานดันท่อ

1. การเจาะนำท่อไปใช้งานนั้น จะต้องเรียงหมายเลขของท่อก่อนเพื่อที่จะได้ท่อที่ผลิตช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เพราะท่อที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันนั้นจะได้มาตรฐานที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว

2. ก่อนนำท่อลงสู่รางดันท่อนั้น ต้องใส่ยางกันน้ำที่ลิ้นของท่อเสียก่อนเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าภายในท่อ

3. ทำการลงหัวเจาะในบ่อ ตรวจสอบแนวการดันของท่อที่จะดันและระดับให้ถูกต้องกับแบบก่อสร้าง ยึดหัวเจาะจากนั้นทำการดันหัวเจาะ และใช้ Cutting Wheel กัดเจาะคอนกรีตมอร์ตาร์ตรงบริเวณ Soft Eye ทำการดันจนหัวเจาะเคลื่อนตัวผ่านเข้าไปในดิน

รูปภาพที่ 6. 25 แสดงเจาะที่ใช้ในการดันท่อ

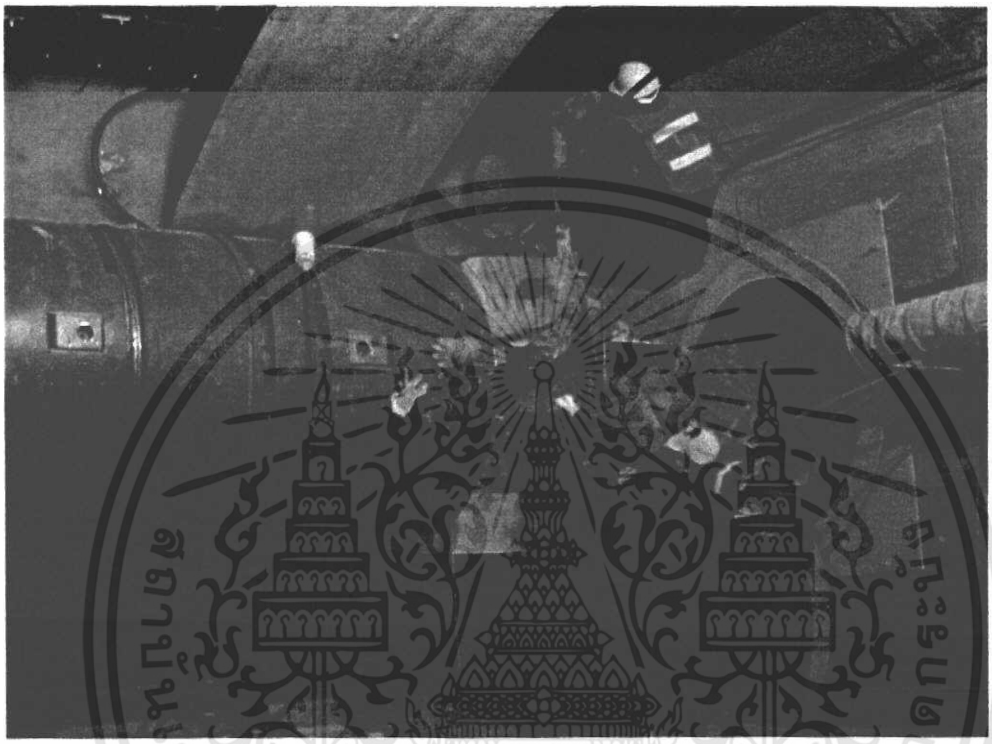
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 6. 26 ภาพหัวเจาะที่ใช้ในการดันท่อ

รูปภาพที่ 6. 27 แสดงการติดตั้งหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการดันท่อต่อไป โดยดินจะถูกลำเลียงออกผ่านทางท่อโดย Pump Slurry ลงในแท็งค์เพื่อเก็บไว้รอการขนย้าย และขณะที่มีการดันท่อถ้าระยะทางในการดันท่อไกลทำให้มีแรงตึงผิวระหว่างผิวท่อคอนกรีตกับดิน ดังนั้นเพื่อช่วยลดแรงดังกล่าวซึ่งทำให้การดันท่อไม่ส่งผลกระทบกับสภาพดินใต้ถนน รวมทั้งผนังของโครงสร้างบ่อพักจะใช้สารหล่อลื่นเคลือบบริเวณผิวท่อโดยใช้ Pressure Pump ส่งออกทางท่อคอนกรีตที่มีรูช่อง (Lubrication Pipe)



รูปภาพที่ 6. 28 การเตรียมงานดันหัวเจาะเข้า soft eye

5. ประกอบท่อฉีดน้ำและท่อปั๊มดินออก เข้ากับชุดหัวเจาะและเครื่องสูบ พร้อมทั้งระบบไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมชุดหัวเจาะ

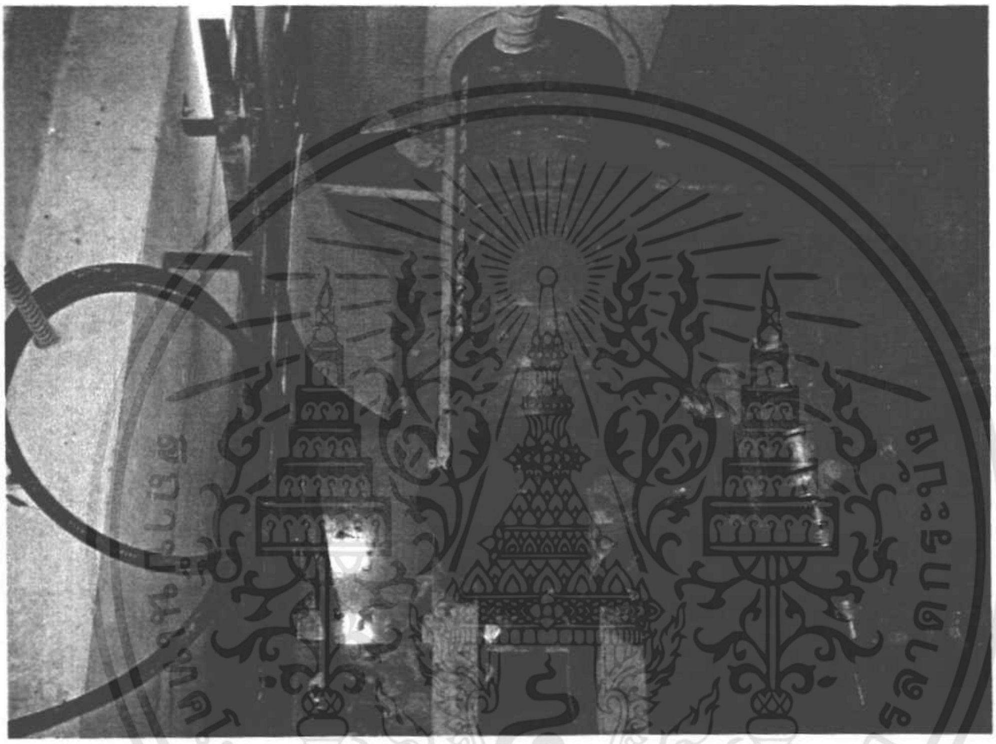
6. เปิดระบบกรทำงานของชุดหัวเจาะ และเดินเครื่องจักร (Pipejacking machine) จากห้องควบคุม ผู้ควบคุมจะสังเกตการณ์ทำงานของชุดหัวเจาะจากโทรทัศน์วงจรปิดที่ติดตั้งไว้ที่ชุดหัวเจาะ และการทำงานของชุดแม่แรงที่ใช้ดันท่อผ่านโทรทัศน์วงจรปิดที่ติดตั้งไว้ที่บ่อก่อสร้าง

7. เมื่อระยะช่วงชักของแม่แรงสุดกำลังแล้ว ปิดการทำงานของชุดหัวเจาะและชุดแม่แรงแล้วเสริมด้วย Spacer จากนั้นเดินระบบการทำงานตามขั้นตอนที่ 6 ต่อไป จนดันท่อเข้าไปในดินสุดความยาวของท่อ โดยดินที่ถูกปั๊มออกมานั้นจะถูกนำมาเก็บในบ่อพักบริเวณปากบ่อเพื่อนำไปทิ้งในที่ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ในขณะที่ดันท่อนั้นเนื่องจากบางแนวทางของท่อคอนกรีตมีระยะทางมาก เพื่อไม่ให้แรงที่ใช้ในการดันท่อสูงจนเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบกับโครงสร้างของผนังบ่อพัก จึงมีการติดตั้งท่อพิเศษที่สามารถเพิ่มตัวกระบอกดันช่วยลดแรงดัน (Interjack Pipe) โดยตำแหน่งที่ติดตั้งจะขึ้นอยู่กับการคำนวณแรงที่จะต้องใช้ดันท่อ และผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับถนน

9 ทำเหมือนขั้นตอนที่ 4-8 จนชุดหัวเจาะนั้นเจาะไปทะลุถึงบ่อรับ ซึ่งอยู่ห่างออกไปตั้งแต่ 150-300 เมตร แล้วจึงยกหัวเจาะออกจากบ่อรับ



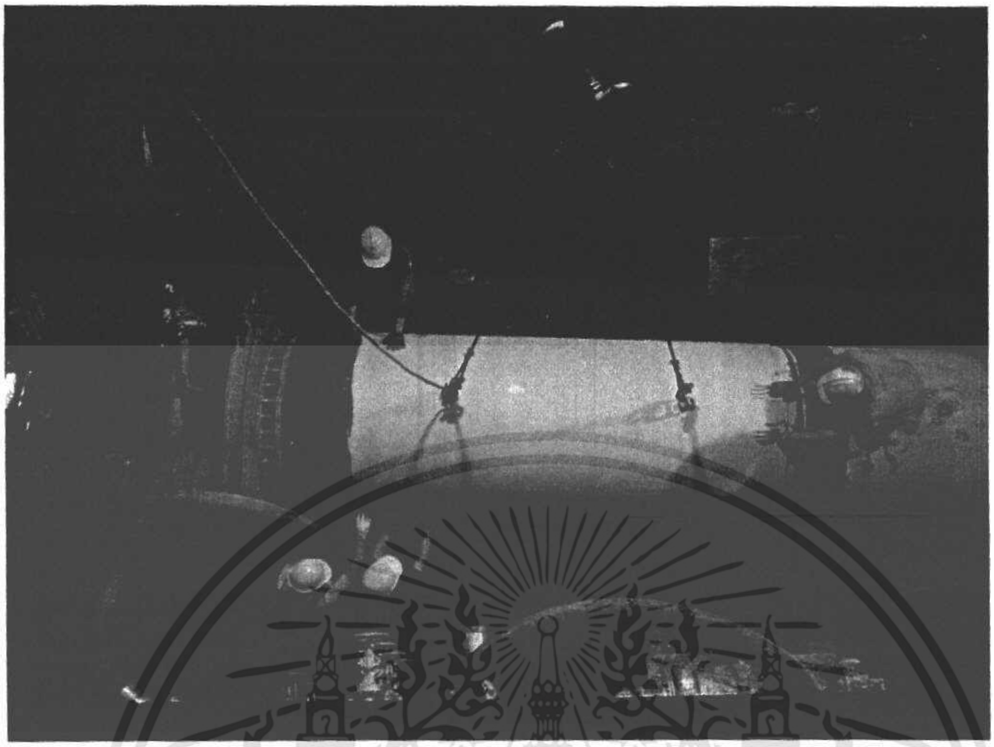
รูปภาพที่ 6. 29 ภาพการเริ่มดันหัวเจาะเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 6. 30 รายละเอียดระบบควบคุมหัวเจาะในการดันท่อลอดที่ห้องควบคุม

รูปภาพที่ 6. 31 การติดตั้งท่อที่จะทำการดัน (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 6.32 การติดตั้งท่อที่จะทำการดัน (2)

รูปภาพที่ 6. 33 ภาพขณะการดันท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 6. 34 ภาพหัวเจาะที่ดันทะลุแล้ว

6.6 ระบบระบายอากาศ (Ventilation System)

โดยปกติการดันท่อจะมีระบบควบคุมอยู่บริเวณภายนอกหัวเจาะ แต่บางครั้งถ้าเกิดปัญหาภายในหัวเจาะจำเป็นต้องเข้าไปตรวจสอบหรือทำงานภายในหัวเจาะ จึงต้องมีระบบระบายอากาศช่วยเหลือ ระบบระบายอากาศจะประกอบด้วยพัดลมระบายอากาศแบบหลายใบพัด Multi Stage Blower System เพื่อเป่าอากาศเย็นด้านบนของบ่อดันผ่านลงไปภายในท่อหรือหัวเจาะ

6.7 การควบคุมแนวและระดับของหัวเจาะและท่อที่ดัน

1. การควบคุมด้วยกล้องสำรวจ ใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งพิกัดของระบบโครงข่ายสำรวจที่ใช้ควบคุมงานเจาะ โดยจะควบคุมทั้งงานในแนวราบ (Horizontal Control by Closed Traverse Loop & Coordinate System) การควบคุมงานในแนวดิ่ง (Vertical control Benchmark)

2. การถ่ายตำแหน่งพิกัดลงสู่บ่อดันด้วยวิธี Wire Drop Survey Method โดยใช้ 2 ดิ่งในปล่องเดียวเป็นระบบ Coordinate N , E

3. การถ่ายค่าระดับลงสู่บ่อพักโดยใช้เทปพิเศษการสำรวจและวางแนวงานดันท่อในแนวราบนั้น จะใช้กล้องสำรวจแบบ Total Station เพื่อใช้เปรียบเทียบและแก้ไขข้อมูลกับระบบควบคุมทิศทางของหัวเจาะ ซึ่งจะใช้ระบบ Laser Guidance System แล้วแก้ปรับข้อมูล ให้มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยจะกระทำวันละครั้งหรือขึ้นอยู่กับการตรวจสอบคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ

ในการก่อสร้างงานวางท่อโดยใช้วิธีการดันท่อ จำเป็นต้องมีระบบควบคุมและตรวจสอบคุณภาพทุกขั้นตอนของการก่อสร้าง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการก่อสร้างต้องถูกต้องตามรูปแบบและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

6.9 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการดันท่อ

6.9.1 ปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวของชั้นดิน

ปัญหาสำคัญสำหรับการดันท่อคือ การทรุดตัวของชั้นดินเหนืออุโมงค์ หรือการพังทลายของอุโมงค์ การขุดเจาะอุโมงค์ที่มีสภาพเป็นดินอ่อนและการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นของดินทรายที่แทรกตัวออกตามช่องว่างระหว่างผนังด้านนอกของอุโมงค์กับผนังของบ่อพักและทำให้เกิดแรงฉุดลากชิ้นงานของอุโมงค์ให้แยกออกจากกันจนทำให้โครงสร้างของอุโมงค์เกิดความเสียหาย

แนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นใช้เทคโนโลยี jet grouting มาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพโครงสร้างของดินเหนืออุโมงค์ หรือบริเวณหัวเจาะ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถทำได้รวดเร็วเพราะวัสดุและอุปกรณ์ในการใช้งานสามารถจัดเตรียมได้ง่ายคือประกอบด้วย ชุด Pump แรงดันสูง สายน้ำและท่อเหล็กปลายแหลมขนาด 1 นิ้วถึง 3 นิ้ว และเจาะท่อเหล็กตรงใกล้กับปลายแหลมนั้นเพื่อให้น้ำปูนซีเมนต์ไหลออกสู่ภายนอกได้ ขนาดและความยาวของท่อที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และทั้งนี้สามารถใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหน้างานได้ทันทีโดยที่ไม่จำเป็นจะต้องใช้เครื่อง Jet Grouting โดยตรง เพราะอุปกรณ์ในการใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ได้แบบง่าย

6.9.2 ปัญหาที่เกิดจากมีสิ่งกีดขวางใต้ดิน

ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับการทำงานใต้ดินและงานขุดเจาะอุโมงค์คือ การดันตัวของชั้นดินเหนืออุโมงค์ การขุดเจาะอุโมงค์ที่มีสภาพเป็นดินแข็งและมีสิ่งกีดขวางใต้ดินเยอะเช่น ซากไม้ซุงต้นใหญ่ บล็อกคอนกรีตเก่า เสาตอม่อขนาดใหญ่เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดแรงดันดินหน้าหัวเจาะมากขึ้นจนทำให้เกิดการปูดหรือนูนขึ้นของถนน และดันสาธารณูปโภคของถนนขึ้นมาหรือทำให้แตกร้าวได้

แนวทางแก้ปัญหาในกรณีที่ดินแข็งนั้นใช้การ Jet Grouting แต่มีการดันท่อที่ใช้ลำเลียงสารหล่อลื่นเข้าไประหว่างท่อหลัก ซึ่งใช้ในการดันท่ออยู่แล้ว ท่อลำเลียงสารหล่อลื่นนี้ส่วนมากจะใช้สำหรับหัวเจาะที่ต้องยิงในระยะทางไกลๆ และดินมีสภาพที่แข็งหรือเป็นทราย การดันท่อ ลำเลียงสารหล่อลื่นนั้น ใช้เครื่องมือเหมือนกับการ Jet Grouting แต่ต่างกันตรงที่ชนิดของสารที่ใส่เข้าไป ก็คือ เบนโทไนต์และโพลิเมอร์ ซึ่งช่วยทำให้ดินที่มีสภาพแข็งเกิดการอ่อนตัวและลดแรงดันระหว่างดินกับท่อและหัวเจาะช่วยให้การดันท่อเป็นไปได้อย่างคล่องตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.9.3 ปัญหาเรื่องทิศทางของหัวเจาะเกิดการหนีออกจากตำแหน่งเนื่องจากการดินแน่นไม่เท่ากัน

ในการก่อสร้างการดันท่อที่บริเวณริมถนนที่มีคลองเลียบขนานตามความยาวไปกับถนน เนื่องดินบริเวณด้านล่างของถนนเป็นดินที่มีการอัดตัวสูง แต่ดินบริเวณด้านข้างซึ่งเป็นคลองเมื่อมีน้ำลดจะไม่มีการอัดตัว เนื่องจากน้ำลดต่ำลงมาก ทำให้เมื่อมีการดันท่อ แนวของท่อจะเกิดการหนีออกมาจากตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงการการทำงานได้

แนวทางแก้ไขปัญหาคือผู้ควบคุมงานจะต้องทำงานอย่างระมัดระวัง ต้องคอยตรวจสอบตำแหน่งอย่างเคร่งครัด เพราะหากรู้ก่อนเราจะสามารถแก้ไขสถานการณ์ได้ทันเวลา ลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

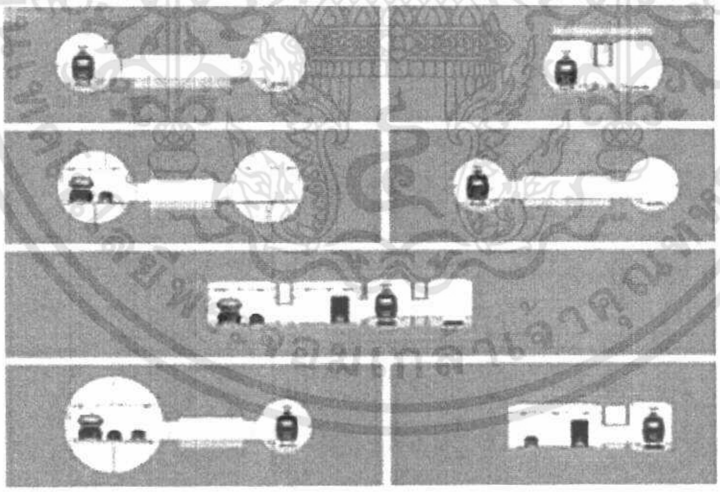
อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ (Immersed Tunnel) เป็นอุโมงค์ซึ่งประกอบกันจากชิ้นส่วนของอุโมงค์แต่ละชิ้นนำมาต่อเชื่อมกัน ความยาวของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะยาวประมาณ 100 เมตร โดยน้ำหนักของอุโมงค์ก็ต้องมากพอที่จะทำไม่ให้ลอยขึ้นเหนือน้ำ

20 ปีที่ผ่านมา การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีอุโมงค์ประกอบใต้น้ำเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการจราจร มีการสร้างขึ้นแล้วมากกว่า 100 แห่ง ทั่วโลก

7.1 ลักษณะเด่นของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

1. อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ สามารถออกแบบได้หลากหลาย

อุโมงค์ชนิดนี้สามารถใช้เป็นช่องทางการจราจรได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นช่องทางรถยนต์ รถไฟ เป็นต้น อีกทั้งรูปร่างหน้าตัดสามารถออกแบบให้ได้มากมาย เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม หกเหลี่ยม เป็นต้น

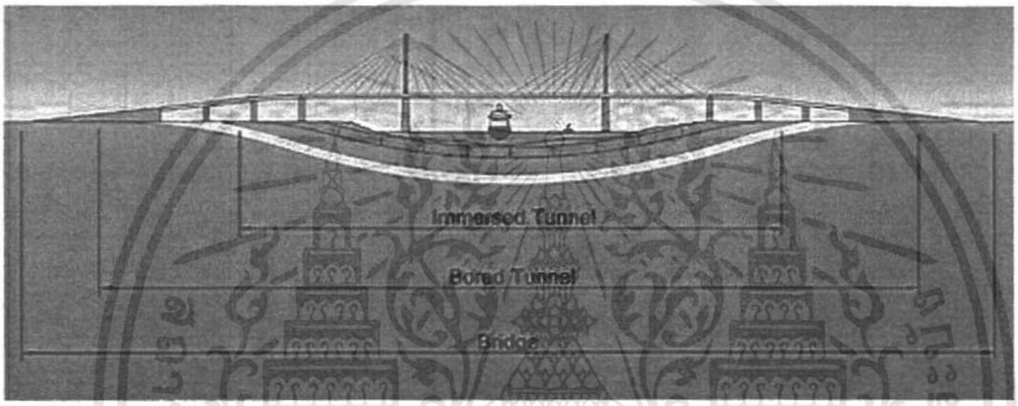


รูปภาพที่ 7. 1 แสดงตัวอย่างหน้าตัดของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วงความยาวที่ใช้ในการก่อสร้างสั้นกว่า เมื่อเทียบกับการก่อสร้างด้วยสะพานและอุโมงค์โดยทั่วไป

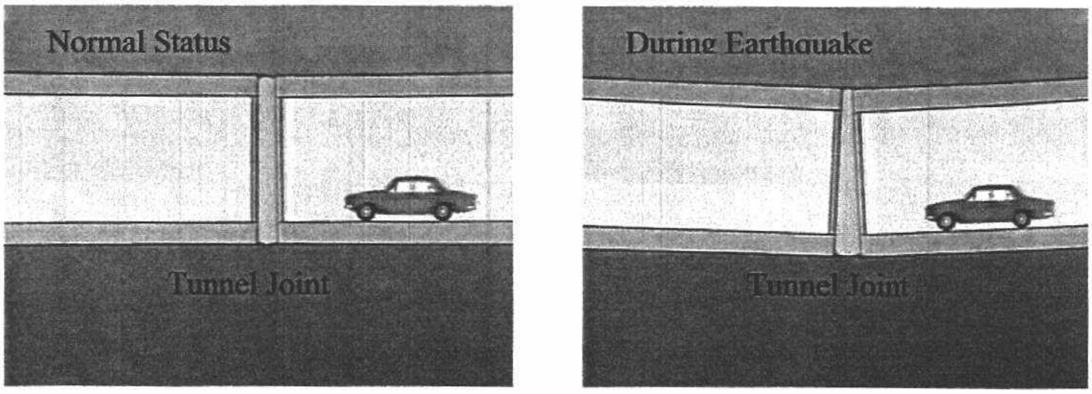
ลักษณะเด่นที่สำคัญของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำก็คือมันเป็นการก่อสร้างที่มีความยาวไม่มาก ในการก่อสร้างด้วยสะพานก็จะต้องยกตัวสะพานให้สูงเพื่อที่จะให้เรือขนาดใหญ่สามารถลอดผ่านไปได้ การที่ต้องทำให้สูงก็ถือว่าเป็นการเพิ่มความยาวให้กับสะพานไปในตัว หรือว่าถ้าเป็นการก่อสร้างอุโมงค์ในการก่อสร้างก็จำเป็นที่จะต้องขุดลึกลงไปใต้ดินก็ถือว่าเป็นการเพิ่มความยาวในการก่อสร้างเช่นเดียวกับสะพาน ส่วนที่อุโมงค์ประกอบใต้น้ำต่างจากสะพานและอุโมงค์ทั่วไปก็คือ ในการก่อสร้างที่ระดับน้ำลึกไม่มากนักการใช้อุโมงค์ประกอบใต้น้ำจะช่วยลดความยาวในการก่อสร้างไปได้มาก



รูปภาพที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบของอุโมงค์แต่ละชนิด

3. สำหรับบริเวณที่ต้องการป้องกันพวกภัยพิบัติต่างๆ การเลือกใช้อุโมงค์ประกอบใต้น้ำก็สามารถออกแบบให้ป้องกันภัยพิบัติที่เกิดขึ้นได้หลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับภัยพิบัติที่เกิดขึ้นบริเวณที่จะสร้าง ส่วนโครงสร้างพวกสะพานและอุโมงค์ก็จะมีข้อเสียเปรียบเมื่อเกิดแผ่นดินไหว โครงสร้างเหล่านี้จะเสียหายได้ง่าย ชิ้นส่วนของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำแต่ละชิ้นเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อที่สามารถยืดหยุ่นได้ เพื่อที่จะช่วยลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการทรุดตัวที่มีสาเหตุมาจากแผ่นดินไหวได้ สำหรับบริเวณรอยต่อก็จะต้องมีการป้องกันน้ำเป็นอย่างดีไม่ให้น้ำไหลเข้าไปในส่วนของอุโมงค์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7. 3 แสดงรอยต่อป้องกันการเคลื่อนไหว

7.2 หลักการที่ควรจะพิจารณาหากเลือกใช้อุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

ในการเลือกใช้อุโมงค์ประกอบใต้น้ำควรจะพิจารณาหลักการ ดังต่อไปนี้

7.2.1 แนวเส้นทาง (Alignment)

อุโมงค์ประกอบใต้น้ำเหมาะที่จะใช้ในการก่อสร้างที่มีพื้นใต้น้ำค่อนข้างราบเรียบ ไม่ลึกเกินไป และระยะทางที่ก่อสร้างไม่ยาวมากนัก

7.2.2 หน้าตัดของอุโมงค์ (Cross section)

หน้าตัดของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำเหมาะมากที่จะใช้กับถนนหลวงที่มีความกว้างมากและเหมาะกับทางที่ถนนและรถไฟตัดรวมเข้ามา

7.2.3 ระดับน้ำ (Water depth)

อุโมงค์ประกอบใต้น้ำเหมาะที่จะก่อสร้างที่ความลึกของน้ำระหว่าง 5 – 30 เมตร แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยี Submerged floating tunnel สามารถสร้างได้ที่ระดับน้ำลึกถึง 100 เมตร

7.2.4 สภาพของชั้นดิน (Ground condition)

อุโมงค์ประกอบใต้น้ำสามารถสร้างในบริเวณที่มีสภาพดินอ่อน เช่น ดินโคลนพัดพา ดินทรายได้ นอกจากนั้นยังสามารถสร้างในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวได้อีกด้วย

7.2.5 สภาพบริเวณโดยรอบที่เหมาะสม (Land availability)

อุโมงค์ประกอบใต้น้ำมักก่อสร้างก่อนล่วงหน้าไว้ในสถานที่ห่างไกลจากบริเวณก่อสร้าง จากนั้นก็จะใช้เรือจูงลากมา ดังนั้นบริเวณที่ๆมีการจราจรหนาแน่นก็จะเป็นอุปสรรคในการลำเลียงชิ้นส่วนตัวอุโมงค์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

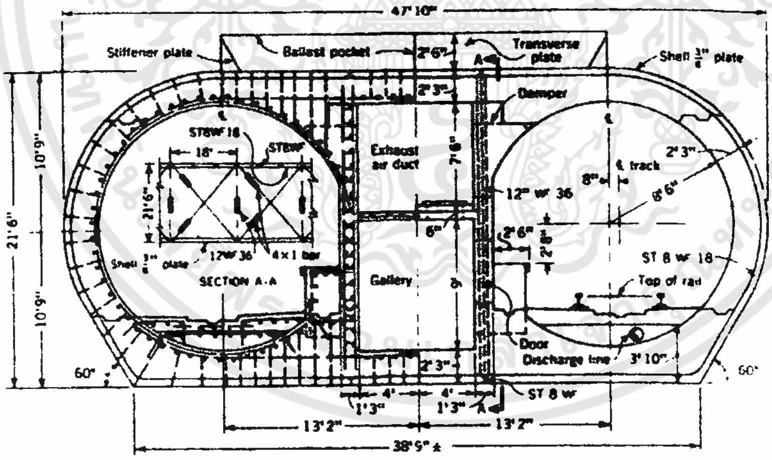
7.3 ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

ในการก่อสร้างอุโมงค์ก็จะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์
2. การลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์
3. การจมชิ้นส่วนอุโมงค์
4. การฝังกลบตัวอุโมงค์

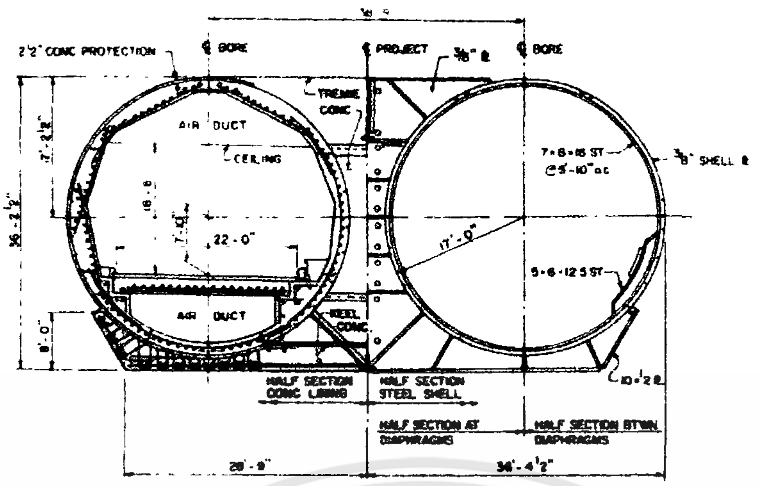
7.3.1 การก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์

ชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะถูกใช้โดยทั่วไปสำหรับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งมี 4 เลน หรืออาจจะมีมากกว่า 4 เลน โดยเฉพาะการใช้คอนกรีตจะประหยัดได้มากกว่าการใช้เหล็ก สำหรับการออกแบบทางหลวงในอุโมงค์ซึ่งมีถนน 2 - 3 เลน (ซึ่งมีช่องด้านบนเป็นส่วนสำหรับเดินสายเคเบิลและด้านล่างเป็นทางออกฉุกเฉิน) ซึ่งแสดงไว้ในรูปภาพที่ 7.4 ซึ่งแสดงรูปตัดของอุโมงซีเบอร์เกอร์ซึ่งตั้งอยู่ที่ถนนวงแหวนรอบนอกของเมืองอัมสเตอร์ดัม ความยาวช่วงทั้งหมด 2900 ฟุต มีส่วนที่อยู่ใต้น้ำ 370 ฟุต ซึ่งมีเสาเข็มรองรับฐานราก ซึ่งเป็นถนน 6 เลน ในอุโมงค์ที่มี 2 ชิ้นส่วน มีความกว้าง 34.5 ฟุต เมื่อรวมความกว้างทั้งหมดจะได้ 87.6 ฟุต และความสูง 23.7 ฟุต จุดเด่นของอุโมงค์รวมถึงการขจัดน้ำออกและการติดตั้งโดยการใช้เสาเข็ม



รูปภาพที่ 7.4 แสดงรูปตัดของอุโมงซีเบอร์เกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7.5 แสดงถนน 4 เลน พร้อมทั้งช่องระบายอากาศด้วยของทั้ง 2 ด้าน

7.3.1.1 การหล่อชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนจะถูกก่อสร้างที่บริเวณริมหาดที่มีความแห้งหรือในสภาวะที่เป็นอ่างและสามารถนำน้ำออกจากอ่างใกล้กับพื้นที่ก่อสร้าง และสามารถปล่อยน้ำเข้าทำให้ชิ้นส่วนลอยได้ หากหาพื้นที่นี้ไม่ได้จริงๆ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องก็สร้างเพิ่มเพื่อความสะดวกสำหรับการก่อสร้างของโครงการ อาจมีผลทำให้ราคาและเวลาในการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ถนนในอุโมงค์ลอดใต้อ่าวที่ฮ่องกงแต่เดิมถูกออกแบบเป็นถนน 4 เลน ชิ้นส่วนเป็นรูปสี่เหลี่ยมคอนกรีตอัดแรง แต่ก็มีเสนอทางเลือกโดยการใช้ชิ้นส่วนหน้าตัดเหล็กดังรูปภาพที่ 7.4 หน้าตัดเหล็กถูกออกแบบเพื่อประหยัดเงินหลายล้านดอลลาร์และประหยัดเวลาไปหนึ่งปี โครงสร้างพื้นหลังคาและโครงสร้างพื้นผนังด้านข้างรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กถูกออกแบบโครงสร้างตามลักษณะของการใช้งาน โดยทั่วไปกำลังอัดของคอนกรีตจะอยู่ที่ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และกำลังอัดของเหล็กเสริมคอนกรีตอยู่ที่ 60,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามหลักการออกแบบของ ASTM A-615 ตามที่ชิ้นส่วนซึ่งเป็นทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้นจะทำให้มีจุดรองรับในการก่อสร้างที่ต่อเนื่องกันไป และไม่เกิดการวิกฤติ อย่างไรก็ตามจะต้องมีการควบคุมการแตกของคอนกรีต โดยทั่วไปการเลือกใช้ชิ้นส่วนตามยาว จะอยู่ที่ 20 – 60 ฟุตและเกิดการแตกร้าวให้น้อยที่สุด โครงสร้างพื้นจะต้องสามารถกันน้ำรวมทั้งด้านในของผนังด้านบนและด้านล่างจะต้องมีความเรียบสม่ำเสมอ

คอนกรีตจะต้องมีน้ำหนักที่เพียงพอสำหรับการจมในกรณีที่มีจุดรองรับที่เป็นทุ่นลอยสำหรับการลอยตัว ณ ตำแหน่งที่ต้องการ หากชิ้นส่วนสามารถลอยได้อย่างสมบูรณ์ มันจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักเพื่อที่จะทำให้จมได้ การถ่วงน้ำหนักโดยชั่วคราวจะทำภายในโดยการใช้น้ำโดยการใช้ทรายหรือใช้บล็อกหรือตัวถ่วงน้ำหนักถาวรซึ่งประกอบด้วยกรวดหรือคอนกรีตหยาบโดยการวางไว้ด้านบนของชิ้นส่วน

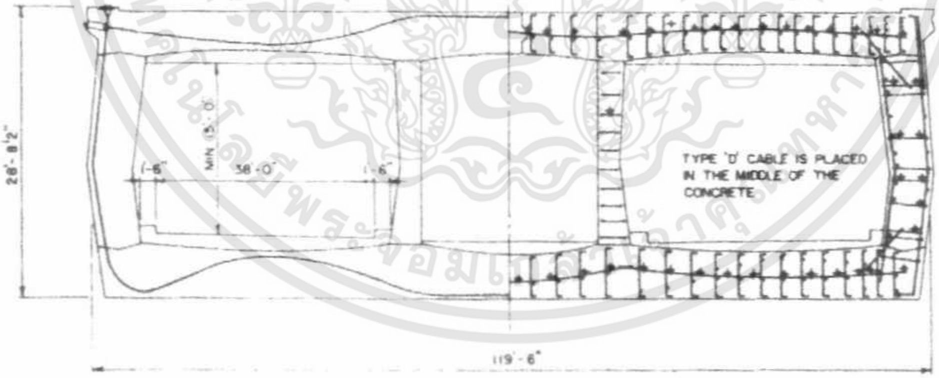
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ทำหน้าที่กั้นจะใช้เหล็กหรือไม้ซึ่งสามารถกันน้ำได้หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก การเลือกใช้ส่วนที่ทำหน้าที่กั้นว่าจะใช้วัสดุใดก็ขึ้นอยู่กับสภาวะเศรษฐกิจในตอนนั้นด้วย

รูปภาพที่ 7.6 แสดงบริเวณสถานที่ทำการก่อสร้างตัวอุโมงค์

7.3.1.2 การอัดแรง

ความหนาของคอนกรีตจะถูกพิจารณาโดยให้น้ำหนักของตัวมันเองสามารถต้านทานการยกตัวได้ การอัดแรงจะเป็นการประหยัดความหนาของหน้าตัดเท่านั้น แต่สำหรับการกันน้ำนั้นยังมีข้อถกเถียงกันอยู่ ตามรูปภาพที่ 7.7 แสดงอุโมงค์ซึ่งมีถนน 4 เลน การอัดแรงในส่วนที่เหลือมีค่าประมาณ 200-300 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งสามารถกันน้ำได้



รูปภาพที่ 7.7 แสดงชิ้นส่วนอุโมงค์ที่ใช้การอัดแรงมาช่วยลดความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.1.3 การกันน้ำ

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการก่อสร้างอุโมงค์คอนกรีตใต้น้ำซึ่งสามารถกันน้ำได้ เป็นหนึ่งในสองของการออกแบบโดยใช้ปัจจัยให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการควบคุมการแตกร้าว ที่ได้รับมาของคอนกรีต หรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับระบบป้องกันการซึมน้ำ การวัดการซึมน้ำเป็นสิ่งสำคัญและเป็นการป้องกันการแตกร้าว

ผนังเหล็กซึ่งมีความหนา 0.25 นิ้ว โครงสร้างเหล็กแผ่นถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุโมงค์คอนกรีตเพื่อการกันน้ำ โดยจุดต่อทั้งจะถูกเชื่อมและยึดติดโดยการเชื่อมติดอยู่กับผิวของมันที่คอนกรีต การทำให้แข็งชั่วคราว โดยการใช้แผ่นเหล็กเพื่อรักษารูปของคอนกรีต สำหรับการประมูลงานการออกแบบของโครงการเกรตเบลต์ ในประเทศเดนมาร์ก มีการใช้เหล็กแผ่นอย่างต่อเนื่องตามความยาวถูกใช้รอบตามเส้นรอบวงของรูปตัด ในกรณีส่วนใหญ่แล้วเหล็กแผ่นนั้นจะถูกใช้ในการกันน้ำที่แผ่นพื้นหลักและในส่วนของพื้นผนัง เมื่อเร็วนี้ได้มีโครงการอุโมงค์คอนเวย์ในประเทศอังกฤษ สร้างเสร็จแล้วโดยการใช้แผ่นเหล็กขนาด 0.25นิ้ว ที่แผ่นพื้นด้านล่างและผนังด้านข้าง พื้นด้านบนถูกป้องกันโดยใช้ยางมะตอยสองชั้นปิดทับด้วยคอนกรีต ส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งความสนใจไปที่จุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นเหล็กกับส่วนของผนังยางมะตอย แผ่นเหล็กจะทำการป้องกันการกัดกร่อนได้โดยใช้วิธีแคโทดิก (Cathodic protection)

แผ่นอเนกประสงค์ซึ่งทำจากผ้าและน้ำมันดำจากถ่านหินเป็นชั้นๆ ซึ่งประยุกต์สำหรับพื้นส่วนบนของชิ้นส่วนหน้าตัดสี่เหลี่ยมเพื่อที่จะป้องกันผนังให้มีความต้านทานต่ออันตรายจะต้องปิดทับด้วยคอนกรีต อิฐ คอนกรีต ไม้กระดาน ยางมะตอย หรือไม้เนื่องจากความยากของการประกอบเป็นชิ้นส่วนและการป้องกัน มันจึงไม่ง่ายนักที่จะนำมาใช้กับผนังด้านข้างและพื้นด้านล่าง

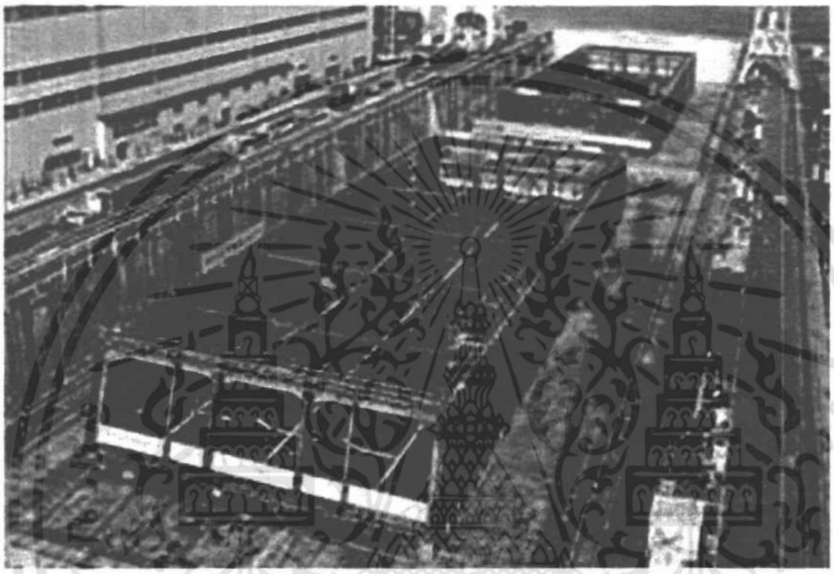
แผ่นพลาสติกซึ่งถูกทำขึ้นจากยางสังเคราะห์หรือยางเรซินถูกพัฒนาขึ้นเพื่อที่จะกันน้ำโครงสร้างคอนกรีต แผ่นวัสดุเหล่านี้หนาประมาณ 0.25 นิ้ว ความหนาเหล่านี้สามารถใช้ติดกันกับหลังคาและผนังด้านข้าง เนื่องจากความยากจากการป้องกันในแนวดิ่งเพื่อต้านทานความเสียหาย จึงทำให้กระบวนการใช้นี้มีข้อจำกัด

การเคลือบอีพ็อกซี ส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันดำจากถ่านหิน ส่วนใหญ่ถูกประยุกต์ใช้เพื่อที่จะกันน้ำจากด้านข้างและด้านบนของอุโมงค์ การดูแลที่ดีที่สุดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเตรียมผสมอีพ็อกซีให้เพียงพอตามความต้องการด้านความยืดยุ่นและการยึดติดสำหรับการประยุกต์ใช้กับผิวคอนกรีต การเคลือบจะถูกประยุกต์ใช้โดยการใช้แปรงทาหรือสเปรย์ฉีดในพื้นผิวที่แห้ง การป้องกันผนังในแนวดิ่งจะสามารถต้านทานการทำลายซึ่งมีความยากมาก

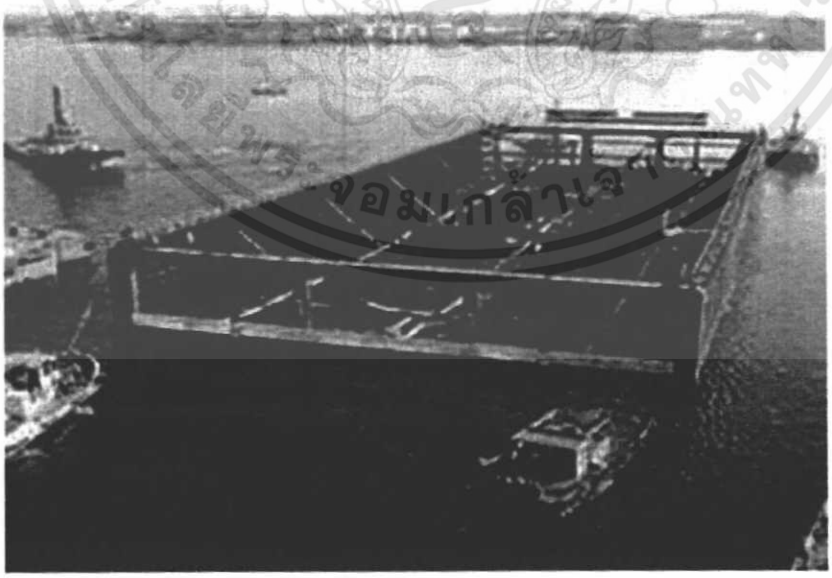
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.1.4 การควบคุมน้ำหนักของชิ้นส่วน

มีการควบคุมเกี่ยวกับความสอดคล้องของวิธีการก่อสร้าง ชิ้นส่วนถูกสร้างขึ้นในพื้นที่แห้งและมีที่รองรับที่แข็งแรง ความต่อเนื่องของการเทคอนกรีตถูกควบคุมโดยองค์ประกอบต่างๆ คือ การรักษาให้ชิ้นส่วนอยู่บนแกน การเพิ่มขึ้นของแรงดันบนแผ่นเหล็กและโมเมนต์ตัดตามขาวจากน้ำหนัก น้ำหนักสุดท้ายของชิ้นส่วนทั้งหมด รวมทั้งโครงสร้างหลัก การตกแต่งภายในและการฝังกลบถูกควบคุมเพื่อต่อต้านแรงพยุง ความหนาของคอนกรีตจะถูกโดยพิจารณาตามความต้องการของน้ำหนักมากกว่าความแข็งแรงของโครงสร้าง



รูปภาพที่ 7.8 แสดงโครงสร้างเหล็กที่ถูกประกอบขึ้นที่โรงงาน

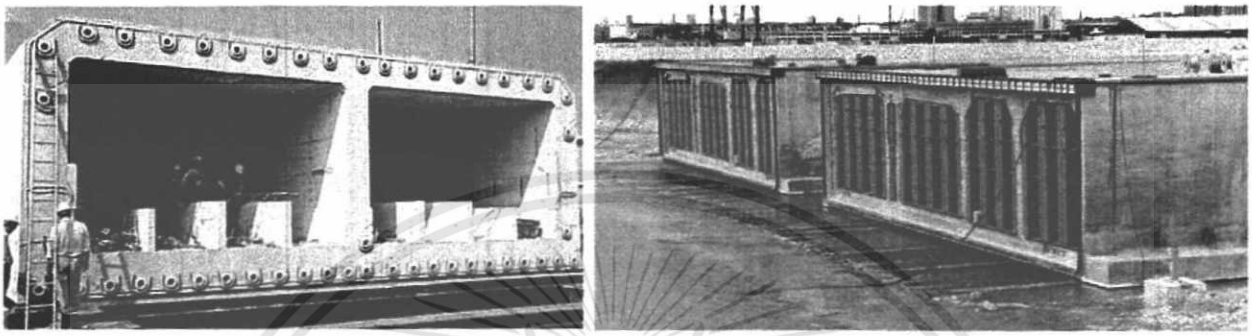


รูปภาพที่ 7.9 แสดงโครงสร้างเหล็กที่ถูกเรือลากจูงไปยังสถานที่ทำการหล่อชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 การลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์

ในการทำให้ชิ้นส่วนลอยขึ้นจะต้องมีถังอับเฉา (Ballast Tank) คอยถ่วงดุลก่อนที่จะปล่อยน้ำเข้ามาบ่อที่ทำการหล่อชิ้นส่วนอุโมงค์เพื่อที่จะเคลื่อนชิ้นส่วนอุโมงค์ไปยังสถานที่ปล่อยชิ้นส่วน โดยถังอับเฉาจะอยู่ด้านในของชิ้นส่วนอุโมงค์ นอกจากนั้นจะต้องทำการปิดปากชิ้นส่วนของอุโมงค์ทั้ง 2 ข้างก่อน เพื่อที่จะทำให้มันลอย



รูปภาพที่ 7.10 แสดงชิ้นส่วนที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว

การถ่วงน้ำหนักโดยกรวดถ่วงน้ำหนักจะถูกใส่เข้าไปในช่องด้านบนของชิ้นส่วน น้ำและทรายจะถูกใส่เข้าไปข้างในชั่วคราวในชิ้นส่วนเพื่อที่จะให้ทำงานได้ น้ำจะถูกจำกัดในชิ้นส่วนนั้นเพื่อที่จะป้องกันการไม่สมดุลซึ่งเป็นสาเหตุของการเอียงซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยบังเอิญหรือเพื่อการรักษาระดับไว้ มีการถ่วงน้ำหนักภายนอกโดยการใช้ทุ่นลอย การถ่วงน้ำหนักภายในจะถูกย้ายออกไป หลังจากนั้นจะใช้การฝังกลบหรือเพิ่มน้ำหนักถาวรให้เกินค่าการลอยตัว

รูปภาพที่ 7.11 แสดงการลำเลียงชิ้นส่วนอุโมงค์ไปยังสถานที่ทำการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 การจมชิ้นส่วนอุโมงค์

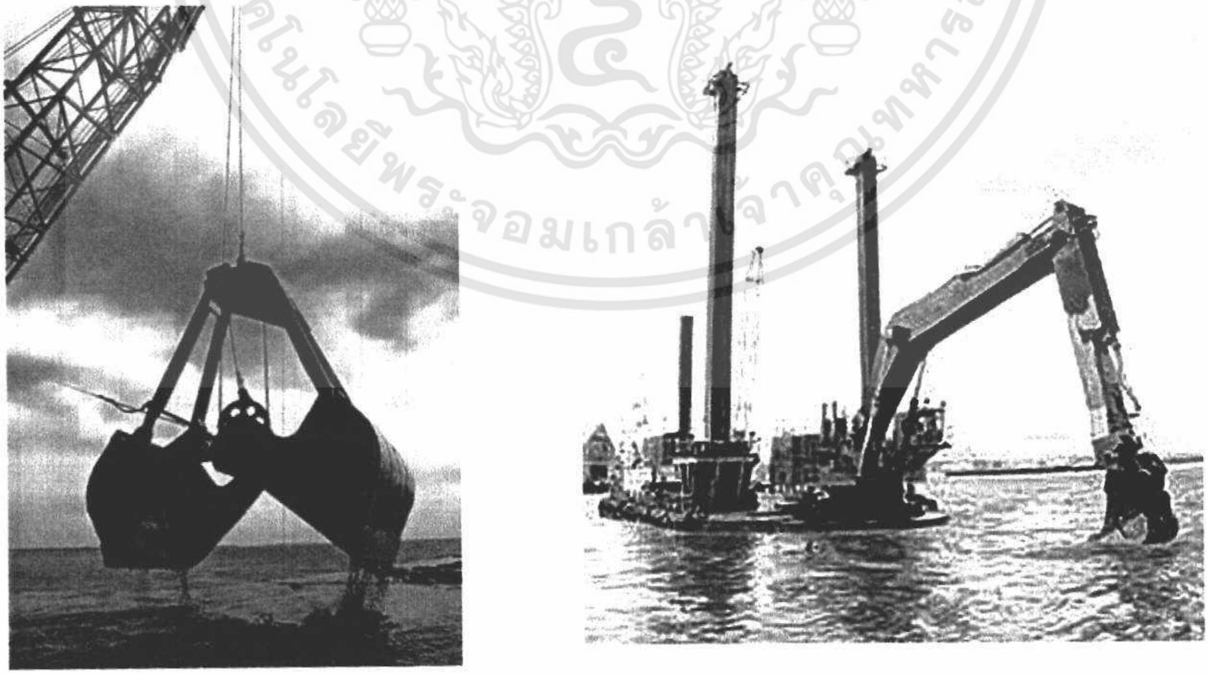
7.3.3.1 การเตรียมการก่อนการจมชิ้นส่วนอุโมงค์

1. การขุดลอก

แนวอุโมงค์จะต้องลึกเพียงพอเพื่อที่สร้างโครงสร้างฐานรากใต้อุโมงค์ ความสูงของชิ้นส่วน ส่วนดินถมจะมีความหนาน้อยสุด 5 ฟุต ภายใต้สภาวะแนวที่ตื้นจะใช้ระยะทางสั้นๆ เพื่อให้บางส่วนของโครงสร้างอุโมงค์อยู่สูงกว่าปกติ รูปภาพที่ 7.13 และรูปภาพที่ 7.14 แสดงหน้าตัดโดยทั่วไปของแนวอุโมงค์ที่ขุดลอก รูปภาพที่ 7.15 แสดงแนวอุโมงค์ที่ถูกขุดลอกและฉีดสารเพื่อป้องกันแนวเหนือพื้น ความชันด้านข้างขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและความหลากหลายของดินและหินข้างๆ โดยเป็น 1:4 ในดินอ่อน โดยทั่วไปค่าความชันมีค่าเป็น 1:1.5 ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมแล้ว ในความลึกที่ไม่ปกติรูปตัดของแนวท่อจะถูกพิจารณาเพิ่ม

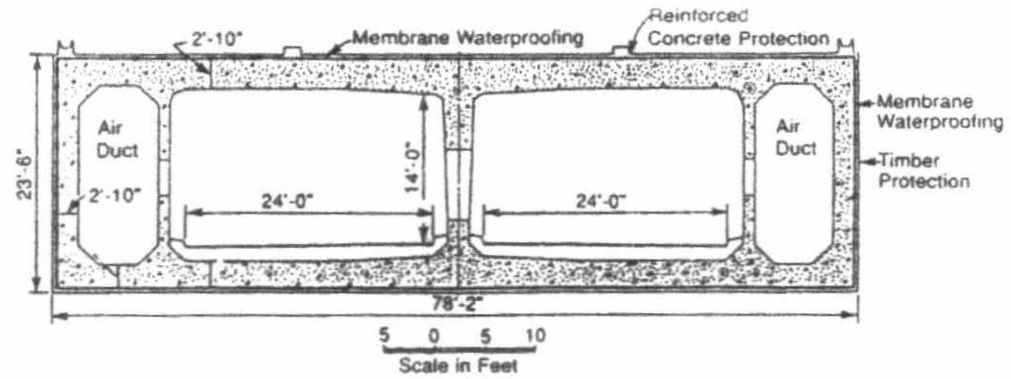
การจ่ายเงินเพื่อทำการขุดลอกจะใช้หลักการของปริมาณคงที่พิจารณาโดยความชันด้านข้างที่ถูกเลือกความคงตัวของความชันกล่าวคือ 1:1.5 สำหรับดินทั่วไปโดยที่ผู้รับเหมามีทางเลือกอื่นอีกได้คือ 1:1 ในความเสี่ยงของผู้รับเหมาเองหรือแบบที่แบนกว่าคือ 1:2 ซึ่งแต่ละหน่วยการจ่ายเงินของงานขุดลอกจะจ่ายตามสภาวะที่ต้องการเท่านั้น

โดยทั่วไปในการทำงานผู้รับเหมาจะมีทางเลือกเพื่อความต่อเนื่องของการทำงาน การขุดจะใช้สถานที่ซึ่งเหมาะสมกับความลึกและวัสดุและที่ซึ่งรองรับดินเพื่อประหยัดระยะทางในการสูบดินออก เมื่อความลึกมากขึ้นการขนส่งของดินจะใช้การขนส่งโดยเรือสำหรับวัสดุที่มีน้ำหนักหนักมาก

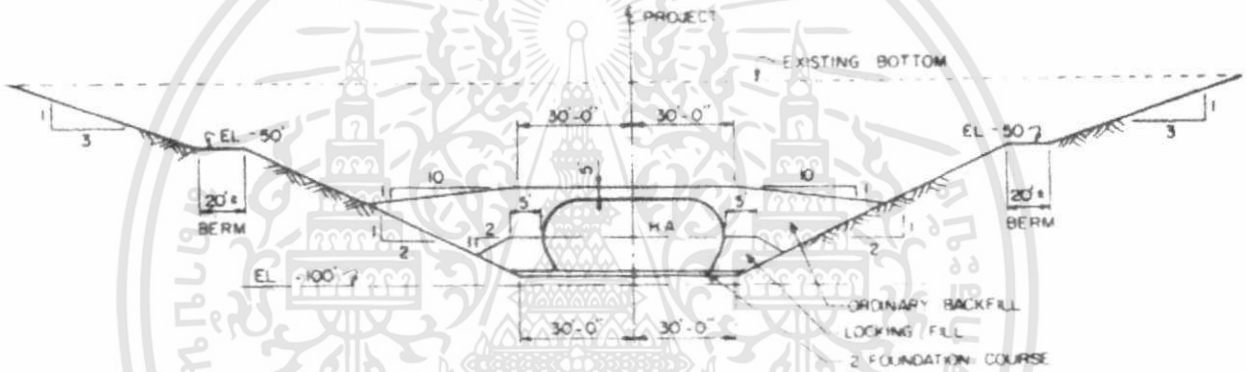


รูปภาพที่ 7. 12 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการขุดลอก

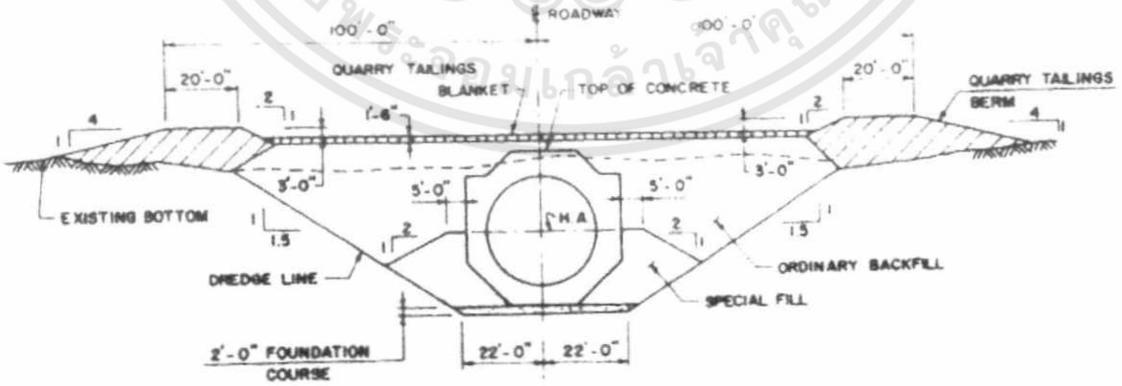
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7.13 แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ deas island (ถนน 4 เลน ใช้การอัดแรง)



รูปภาพที่ 7.14 แสดงหน้าตัดโดยทั่วไปของแนวอุโมงค์ที่ขุดลอก



รูปภาพที่ 7.15 แสดงแนวอุโมงค์ที่ถูกขุดลอกและฉีดสารเพื่อป้องกันแนวเหนือพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การก่อสร้างฐานราก

ฐานรากมีหลายหลายประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมรอบบริเวณก่อสร้าง โดยฐานรากจะทำหน้าที่รับน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนอุโมงค์และดินที่ใช้ฝังกลบตัวอุโมงค์ โดยฐานรากสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- ฐานรากที่มีความยาวมาก (Screeded foundation course)

การขุดลอกมีค่าน้อยสุดประมาณ 2-3 ฟุต ที่ด้านล่างของชิ้นส่วน ทรายเม็ดใหญ่หรือกรวดที่มีการคละกันดีจะถูกใส่เข้าไปในแนวอุโมงค์และระดับที่ถูกต้อง การคละกันของวัสดุจะมีความหลากหลายจาก 0.25 นิ้ว ถึง 1.5 นิ้ว บางครั้งอาจจะสูงถึง 6 นิ้ว ระดับที่เกิดขึ้นจากขุดออกไปจะมีความยาวมากทำให้ต้องมีคานเหล็กบนพื้นผิว และต้องมีการเพิ่มวัสดุรองด้วย โดยเครื่องมือกว้านที่มีลักษณะเป็นล้อสี่ล้อบนแนวซึ่งลากด้วยเรือ ทำให้รางจะถูกปรับให้ขนานกับระดับ อุปกรณ์ในการยึดให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องคือหลัก การปักตำแหน่งจะถูกทำขึ้นให้ได้ระดับด้วย ฐานรากขนาด 300 ฟุต ซึ่งยาวมากจะมีการติดตั้ง 2-3 จุด สำหรับอุโมงค์บาร์ทในเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา มีชิ้นส่วน 58 ชิ้น และมีอุปกรณ์ที่ใช้สร้างยาวถึง 240 ฟุต รองรับการลอยตัวของแท็งก์ซึ่งบางส่วนสามารถลอยตัวในน้ำได้เพื่อลดแรงพยุง มีสมอยึดเพื่อต้านทานการเปลี่ยนตำแหน่ง ความลาดเอียงจะถูกขจัดออกไป

ความแม่นยำโดยทั่วไปจะให้ค่าที่ยอมรับได้เป็นค่าบวกลบ 1.5 นิ้ว ที่ระดับ 300 ฟุต ชิ้นส่วนของอุโมงค์ทางหลวง ชิ้นส่วนของอุโมงค์ในอ่าวซานฟรานซิสโก

- ฐานรากที่ก่อสร้างโดยใช้วิธีการฉีดทรายและวิธีการไหลของทรายในฐานราก (Jetted sand and sand flow foundations)

วิธีการฉีดทรายในฐานรากเกิดขึ้นในครั้งแรกที่อุโมงค์มาสในประเทศฮอลแลนด์ เมื่อปี ค.ศ.1986 ตั้งแต่นั้นมาจำนวนอุโมงค์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีนี้มีมากขึ้น เมื่อทรายและน้ำถูกผสมกันและฉีดเข้าไปใต้ชิ้นส่วนอุโมงค์ขณะที่ชิ้นส่วนอยู่บนตำแหน่งและระดับที่จุดรองรับชั่วคราว การฉีดจะสำเร็จเมื่อมีการเปิดใช้อุโมงค์แล้ว โครงเหล็กตัวช่วยสำหรับใช้ในการฉีดจะเป็นโครงสร้างที่ถูกสร้างขึ้นอยู่บนอุโมงค์และสามารถเคลื่อนย้ายตามยาวของอุโมงค์เพื่อความสะดวกในการดำเนินการฉีด หัวฉีดจะถูกปรับให้เหมาะสมในการฉีดโดยการเปลี่ยนความเร็วได้ ค่าเฉลี่ยของทรายต่อน้ำอยู่ที่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนใหญ่ทรายจะหลวมลงและมีอัตราส่วนช่องว่างประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาน้อยสุดของทรายที่ฐานรากจะใช้ที่ 3 ฟุต เพื่อความง่ายในการดำเนินการ ในช่วงแรกของการก่อสร้างอุโมงค์รวมถึงอุโมงค์มาสจะมีการกำหนดค่าการไหลซึ่งมันไม่ง่ายเลยที่จะกำหนดได้เพราะตำแหน่งต่างๆที่จัดไว้สำหรับท่อ (ตั้งฉากกับแนวของอุโมงค์) ในอุโมงค์ต่อๆมามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการจัดตำแหน่งท่อรอบๆโดยอยู่ด้านข้างของอุโมงค์ซึ่งต่อกับโครงเหล็กที่อยู่ด้านบนของชิ้นส่วนของอุโมงค์ พื้นฐานของกระบวนการฉีดทรายซึ่งไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์คือมีชิ้นส่วนของการดำเนินงานอยู่รอบๆซึ่งทำให้แนวท่อติดขัด เพราะว่าเหตุผลนี้ทำให้การออกแบบอุโมงค์เวสเทอร์นเชลด์ในประเทศฮอลแลนด์เมื่อปี ค.ศ.1969 โดยการใช้วิธีการไหลของทราย

วิธีการไหลของทราย เป็นที่รู้จักในเวลาต่อมา (ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์เวลคเมื่อปี ค.ศ.1976) ถูกพัฒนาต่อมาในรูปแบบของเวสเทอร์นเชลด์ (ซึ่งไม่ได้ถูกก่อสร้าง) ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์เวลคเรือบรรทุกทรายจะปั๊มทรายไปในทิศทางต่างๆ ทรายจะมีการไหลเข้าไปในแต่ละชิ้นส่วนท่อซึ่งมีหน้าตัดที่เปิดไว้อยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างของพื้นโดยมีรัศมีประมาณ 35 ฟุต แต่ละชิ้นส่วนซึ่งมี 412 ฟุต มีทั้งหมด 26 หน้าตัดซึ่งสามารถใช้ได้ หน้าตัดจะมีวาล์วเปิดและบรรจุลูกบอลเหล็กเคลือบด้วยยางอยู่ภายใน ระหว่างการปั๊มทรายและน้ำจะถูกผสมและผลักลูกบอลลงไปทำให้การไหลสามารถผ่านไปได้ เมื่อการปั๊มหยุดลงลูกบอลจะกลับมาในตำแหน่งเดิมโดยมีความดันมา ทรายจะไหลไปในช่องและถูกควบคุมอย่างดี ซึ่งเป็นที่น่าพอใจสำหรับสภาวะนี้

- ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations)

ในสภาวะไม่ปกติ ดินใต้อุโมงค์อ่อนเกินที่จะรับน้ำหนักอุโมงค์และดินถมได้และไม่เป็นการประหยัดหากว่ามีการขุดและแทนที่ด้วยวัสดุอื่น ชิ้นส่วนควรที่จะมีที่รองรับโดยตรงบนเสาเข็ม ความหลากหลายของระบบการรองรับถูกใช้ระหว่างด้านบนของเสาเข็มและด้านล่างของแผ่นพื้น ทำให้ค่าจากการทำงานลดลง

ความอ่อนตัวของชั้นดินจะแข็งแรงขึ้นโดยการอัดแรงจากเสาเข็ม การตอกซึ่งลดลงทีละ 1-2 ฟุต ซึ่งสามารถใช้กับโครงสร้างฐานรากที่ยาวได้

ในประเทศฮอลแลนด์ โครงการอุโมงค์หลายๆโครงการสนใจลักษณะฐานรากที่ใช้เสาเข็มซึ่งเคยก่อสร้างแล้ว ในปี ค.ศ. 1961 โครงการอุโมงค์ไอเจในเมืองอัมสเตอร์ดัมส์ถูกสร้างขึ้นบนฐานรากเสาเข็มซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 ฟุต หล่อคอนกรีตในที่ยาว 100 ฟุต การเจาะและการวางของเสาเข็มจะเสร็จสมบูรณ์เมื่อให้ตำแหน่งของทุ่น 4 ตำแหน่ง โดยเสาเข็มจะรับน้ำหนักเพียงแค่ 30 ฟุต ส่วนที่เหลือก่อสร้างเพื่อควบคุมการลอยตัว การติดต่อของส่วนประกอบอุโมงค์กับเสาเข็มทำโดยการติดด้วยยางความหนาหนึ่งนิ้วที่ด้านล่างของพื้นของชิ้นส่วนอุโมงค์ โดยการกำหนดเสาเข็มก่อนแล้ววางแผ่นยางและทำการเกราต์จากภายในอุโมงค์แต่ละส่วน ส่วนประกอบในตำแหน่งต่างๆจะถูกติดตั้งชั่วคราวระหว่างดำเนินการ

ปี ค.ศ.1990 อุโมงค์ซีเบอร์เกอร์ ที่เมืองอัมสเตอร์ดัมส์ ถูกสร้างขึ้นบนฐานรากเสาเข็มเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.65 ฟุต ที่ความลึก 140 ฟุต ความถูกต้องที่ต้องการสำหรับการติดตั้งชิ้นส่วนอุโมงค์กับเสาเข็มโดยใช้การปรับการล็อค เริ่มต้นส่วนประกอบของอุโมงค์ถูกรองรับด้วยเสาเข็มสองต้นขณะทำการติดตั้ง ขั้นสุดท้ายจะทำการยึดชิ้นส่วนชิ้นล่างโดยการใช้การเกราต์ด้วยความดันที่ตำแหน่งนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฐานรากที่ก่อสร้างโดยวิธีฉีดมอร์ตาร์ที่โครงสร้างฐานราก (mortar injection as foundation course)

หลายสิบปีที่ผ่านมาในประเทศญี่ปุ่นกระบวนการฉีดมอร์ตาร์ได้ถูกใช้บ่อยครั้งขึ้นในงานทางด้านฐานราก ระบบนี้รวมทั้งการใช้มอร์ตาร์ขนาดชิ้นส่วนรองรับโดยแม่แรง แผ่นหินถูกออกแบบให้มีขนาด 4 x 4 เมตร โดยมีช่องทางเข้าสามารถฉีดมอร์ตาร์เข้าไปได้ที่ความดัน 0.1-0.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรหรือมากกว่าความดันน้ำที่กระทำต่อฐานรากต่อเนื่อง

การฉีดมอร์ตาร์จะถูกควบคุมโดยการใช้ความถี่เหนือเสียงในการตรวจสอบช่องว่างระหว่างส่วนล่างของแผ่นพื้นกับส่วนบนของการเกราต์ โดยทั่วไปความเร็วต่ำ การแยกตัวของมอร์ตาร์ถูกใช้ที่ความดันสมดุลเพื่อให้ได้มาซึ่งความแข็งแรงที่ต้องการในโครงสร้างฐานราก โดยทั่วไปความหนาของการเกราต์จะใช้ที่ขนาด 500 มิลลิเมตร ข้อจำกัดของฐานรากซึ่งใช้มอร์ตาร์คือการบวมและการแตกของหินที่มุมของฐานรากก่อนการวางชิ้นส่วนลงบนจุดรองรับชั่วคราว ก่อนหน้าที่จะวางชิ้นส่วนลงบนจุดรองรับชั่วคราวนั้น จะเกิดการบวมขึ้นภายในจุดรองรับชั่วคราวและเกิดการแตกของหินตามขอบด้านนอกของฐานราก การบวมตัวจะถูกขยายด้วยน้ำก่อนการฉีดสารเบนโทไนต์ การบวมตัวถูกใช้ร่วมกับการแตกที่มุมเพื่อป้องกันไม่ให้การเกราต์เลื่อนตัวออกจากฐานราก ระบบนี้ได้ถูกค้นพบครั้งแรกที่อุโมงค์โตเกียวพอร์ตในปี ค.ศ.1976 และมันได้ถูกใช้ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาในญี่ปุ่น

7.3.3.2 การจมชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนถูกเคลื่อนย้ายจากสถานที่สร้างชิ้นส่วนโดยลอยอยู่เหนือน้ำประมาณ 12-18 นิ้ว ชิ้นส่วนคอนกรีตซึ่งหนักจะถูกทำให้ลอยโดยการพยุงซึ่งรองรับด้วยทุ่นลอย ใช้การลากโดยเรือลากจูง กระบวนการเคลื่อนย้ายจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของที่รองรับของฐานรากและชนิดข้อต่อระหว่างชิ้นส่วน ในช่วงเริ่มแรกน้ำใช้ในการเคลื่อนย้ายในแม่น้ำซึ่งมีอัตราการไหลคงที่หรือที่ซึ่งมีน้ำขึ้นน้ำลงน้อยมาก ความถ่วงจำเพาะของน้ำในส่วนล่างของชิ้นส่วนจะถูกตรวจสอบโดยเกจให้เพียงพอสำหรับการลอยตัว

เรือลากจูงประกอบด้วย เรือ 2-3 ลำ วิ่งขนานกันไปโดยมีระยะห่างที่เพียงพอระหว่างเรือกับชิ้นส่วน โดยประกอบกันเป็นระยะที่คงที่ เรือลากจูงจะควบคุมตำแหน่งโดยใช้ลวดลาก ซึ่งใช้ส่วนที่มีน้ำหนักมากมาช่วยจัดการด้านตำแหน่งที่ส่วนล่างและระยะห่างหลายร้อยฟุต น้ำหนักที่ให้จะต้องเพียงพอสำหรับองค์ประกอบความปลอดภัยเพื่อต้านทานความดันสูงสุดในขณะนั้นและแรงลมบนเรือลากจูงและชิ้นส่วนอุโมงค์ ความจุต่ำสุดของรอกและลวดจะถูกพิจารณาโดยการใช้ค่าน้ำหนักสุทธิของชิ้นส่วนระหว่างการเคลื่อนย้าย ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100-400 ตัน ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ ข้อจำกัดด้านน้ำหนักจะต้องต่ำเพียงพอที่จะป้องกันการเสียหาย

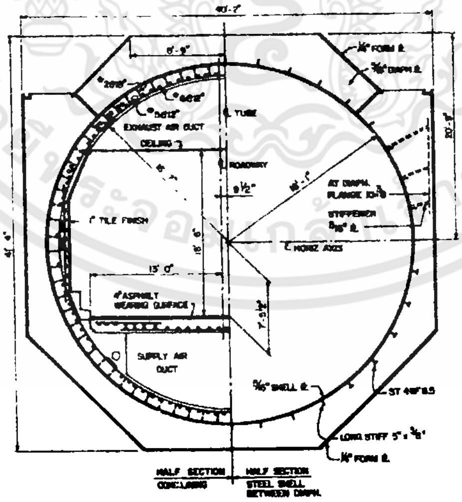
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลวดที่ใช้ลากได้ จะเกิดอันตรายขึ้นหากมีคลื่นแรงๆในน้ำซึ่งชิ้นส่วนไม่สามารถรับได้ การกำหนดความเร็วขึ้นอยู่กับยานพาหนะที่ใช้ขนส่งและอันตรายน้อยที่สุด

ในบางกรณีที่ลมปะทะกับเรือจะต้องใช้การรองรับที่ชิ้นส่วนขณะเคลื่อนย้ายด้วย ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ต่ำกว่าน้ำหนักอยู่ประมาณ 100 ตัน แต่มันสามารถผ่านการปรับตำแหน่งของชิ้นส่วนโดยปราศจากการเคลื่อนที่ของเรือลากจูง

งานก่อสร้างอุโมงค์ลอดแม่น้ำอลิซาเบธแห่งที่สองที่รัฐเวอร์จิเนีย เริ่มขึ้นจากการสร้างที่เมืองคอปัสคริสทีรัฐเท็กซัส โดยใช้โครงสร้างเหล็กโดยแกนกลางเป็นคอนกรีตเป็นส่วนค้ำยันสำหรับการลากจูงเป็นระยะทางมากกว่า 2000 ไมล์ ผ่านอ่าวแม็กซิโกและมหาสมุทรแอตแลนติกไปยังรัฐเวอร์จิเนีย รายละเอียดพิเศษถูกพัฒนาขึ้นเพื่อที่จะสร้างส่วนประกอบของชิ้นส่วนและการลากจูงระหว่างการเดินทางไกล ชิ้นส่วนจะถูกสร้างขึ้นที่อู่แห้งที่นอโฟคและหลังจากจะเคลื่อนย้ายออกไปที่พอร์ตมัทโดยการลากจูง หลังจากการประกอบที่พอร์ตมัทชิ้นส่วนจะถูกนำไปที่โครงการก่อสร้าง คอนกรีตแกนถูกสร้างขึ้นในเท็คซัสเพื่อที่จะให้โครงสร้างอยู่ตัวระหว่างการขนส่งไปที่หน้าโครงการ

การถ่วงน้ำหนักของชิ้นส่วนถูกนำมาใช้หลังจากการลากจูงมาถึงตำแหน่งที่ต้องการ ชนิดของการถ่วงน้ำหนักขึ้นอยู่กับการก่อสร้างชิ้นส่วน เช่นโครงการก่อสร้างอุโมงค์แฮมตันโรด ดังรูปภาพที่ 7.16 จำนวนของที่ว่างจะถูกเติมเต็มโดยการใส่คอนกรีตให้เพียงพอที่จะต้านทานแรงพยุงขึ้นเพื่อจมชิ้นส่วน ส่วนช่องว่างที่เหลืออยู่ของชิ้นส่วนจะถูกทำให้ลดลงเพื่อให้มีน้ำหนักที่เพียงพอที่จะลงในตำแหน่งของการฝังกลบ ชิ้นส่วนถูกถ่วงน้ำหนักโดยการใส่กรวดเข้าไป อุโมงค์ดีไอแลนด์ใช้น้ำในแท็งก์ในการถ่วงน้ำหนักภายในชิ้นส่วน



รูปภาพที่ 7.16 แสดงหน้าตัดอุโมงค์แฮมตันโรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-	การจมชิ้นส่วนที่วางบนฐานรากเดี่ยว

หลังจากการถ่วงน้ำหนัก ชิ้นส่วนจะค่อยๆจมลงใกล้กับฐานราก ภายในชิ้นส่วนจะมีช่องว่างไว้เพื่อให้ชิ้นส่วนสามารถเคลื่อนย้ายได้ หลังจากตรวจสอบตำแหน่งขั้นสุดท้ายแล้ว หลังจากนั้นเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ชิ้นส่วนจะถูกต่อกับข้อต่อที่เตรียมไว้บนฐานราก หากน้ำหนักของชิ้นส่วนเบา จะต้องดำเนินการโดยใช้เครนร่วมกับการถ่วงน้ำหนักในการวางชิ้นส่วน อย่างไรก็ตามในการใส่คอนกรีตเข้าไปหรือถ่วงน้ำหนักโดยใช้คอนกรีตบล็อคเพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนจะต้านทานการยกตัวได้

-	การจมชิ้นส่วนกรณีวางบนฐานรากซึ่งใช้วิธีการฉีดทรายและวิธีการไหลของทรายใต้ฐานราก

ในยุโรปการเลือกใช้จุดรองรับแบบชั่วคราวสำหรับวิธีการฉีดทรายหรือวิธีการไหลของทรายใต้ฐานรากถูกใช้โดยผู้รับเหมา จุดรองรับชั่วคราวมีความหลากหลายจากฐานรากคอนกรีตบล็อกจนถึงส่วนที่ขยายตัวได้ ขึ้นอยู่กับระบบของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

ในอุโมงค์ก่อนหน้านี้ ฐานรากชั่วคราวจะถูกหล่อในอู่แห้งและนำไปที่แนวอุโมงค์ ในการก่อสร้างเร็วๆนี้การใช้บล็อคชั่วคราวในการวางที่ส่วนล่างของแนวท่อถูกแยกออกจากอุโมงค์ซึ่งเป็นการลดความลึกที่ต้องการของอู่แห้ง โดยทั่วไปฐานรากชั่วคราวจะถูกวางบนกรวดตามแนวยาวโดยมีโครงเหล็กหรือแนวในการวางและมีการดันตามแนวยาวด้วย ค่าเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจะมีขนาด 15x15x3 ฟุต เพื่อที่จะรับแรงจากตัวดันซึ่งวางอยู่ในชิ้นส่วน เพื่อที่จะรักษาชิ้นส่วนของอุโมงค์ให้อยู่ในแนวและระดับที่ต้องการ องค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงคือการไหลของทรายที่ฐานราก ทั้งสองระบบหลังจากการเคลื่อนย้ายจุดรองรับชั่วคราวออก องค์ประกอบของอุโมงค์จะถูกตั้งขึ้นที่ 3 นิ้ว การทรุดตัวจะเฉลี่ยอยู่ที่ 3ส่วน 8 นิ้ว ซึ่งสามารถคาดเดาได้ภายใต้สภาวะปรกติ สำหรับเหตุผลในประเทศฮอลแลนด์ อุโมงค์คอนกรีตประกอบใต้น้ำจะถูกออกแบบร่วมกับการขยายตัวของจุดต่อทุกๆ 60-75 ฟุต โดยเกิดขึ้นพร้อมกับหน่วยของขนาด ข้อต่อเหล่านี้ถูกออกแบบให้ส่งถ่ายแรงเฉือนเพื่อที่จะป้องกันความแตกต่างด้านการทรุดตัวระหว่างชิ้นส่วน ในเวลาเดียวกันจะอนุญาตให้การหมุน ดังนั้นชิ้นส่วนคอนกรีตจะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างรวมถึงการทรุดตัวของฐานรากที่มีทรายหรือชั้นดินซึ่งไม่มีอิทธิพลต่อค่าโมเมนต์ดัดตามยาว ความสำเร็จของระบบการฉีดทราย ส่วนของทรายจะมีรูปแบบที่คงที่ประมาณ 0.02 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ซึ่งเป็นสาเหตุของการทรุดตัวของฐานราก

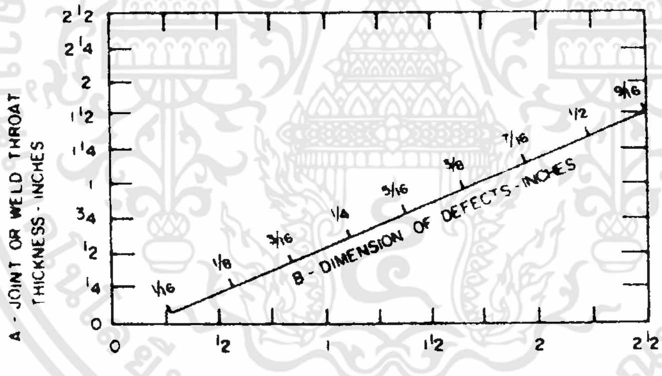
หนึ่งในความท้าทายที่ไม่มีที่สิ้นสุดของระบบฐานรากชนิดนี้คือ คุณภาพการไหลของทรายหรือการฉีดทราย หลายปีที่ผ่านมาจำนวนของเครื่องมือของระบบนี้ถูกพัฒนาให้มีความสัมพันธ์กับความดันน้ำที่หน้าตัด การอัดทรายให้แน่น การรวมตัวของทราย การอัดความดันที่จุดรองรับชั่วคราวและเสียงก้องภายนอกผนังอยู่ภายในข้อกำหนด และค่าความดันข้างบนต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นพื้นมีค่าต่ำสุด ระหว่างโครงสร้างอุโมงค์เวลคมีการทรุดตัว 2.8 นิ้ว ในภายหลังการฉีด ในการสมมติความสัมพันธ์ของโคลนระหว่างการดำเนินการไหลของทราย สำหรับขั้นที่สอง ความยาว 412 ฟุต ความกว้าง 90 ฟุต ของอุโมงค์เวลค ปริมาตรทรายทั้งหมด 13000 ลูกบาศก์หลา ใช้เวลาทำงานทั้งหมด 200 ชั่วโมง(30 วัน) ทั้งๆที่ เกินกว่ากำลังการใช้เครื่องมือเหล่านั้น ความสัมพันธ์ระหว่างการผสมและความดันที่หัวฉีดและความดันข้างบนของพื้นไม่ถูกรวมไปด้วย ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาเวลาในการวางฐานรากสำหรับการวางฐานรากแบบวิธีการไหลของทรายถูกพัฒนาขึ้น เร็วๆนี้อุโมงค์ลิฟเคนโชคที่เมืองอันเวิร์ปของประเทศเบลเยี่ยมต้องการเวลาทำงาน 60 ชั่วโมงสำหรับการวางฐานรากซึ่งยาว 460 ฟุต และกว้าง 106 ฟุต

7.3.3.3 การควบคุมทิศทางและระดับ

เพื่อที่จะตรวจสอบตำแหน่งของทิศทางแนวราบและแนวดิ่งของชิ้นส่วนระหว่างการดำเนินการวางตำแหน่ง การสำรวจชั่วคราว ดังรูปภาพที่ 7.17 ซึ่งตั้งอยู่บนชิ้นส่วนใกล้กับจุดสิ้นสุด โครงการนี้อยู่เหนือน้ำและนำการสำรวจมาใช้งานเพื่อที่จะควบคุมระดับของชิ้นส่วนและทำให้มั่นใจได้ว่าตำแหน่งของที่ตั้งของชิ้นส่วนอยู่ด้านล่าง ลูกตุ้มในแนวดิ่วถูกติดตั้งในการสำรวจของอุโมงค์ทรานเบย์ในซานฟรานซิสโก เกี่ยวกับความลึกของน้ำ



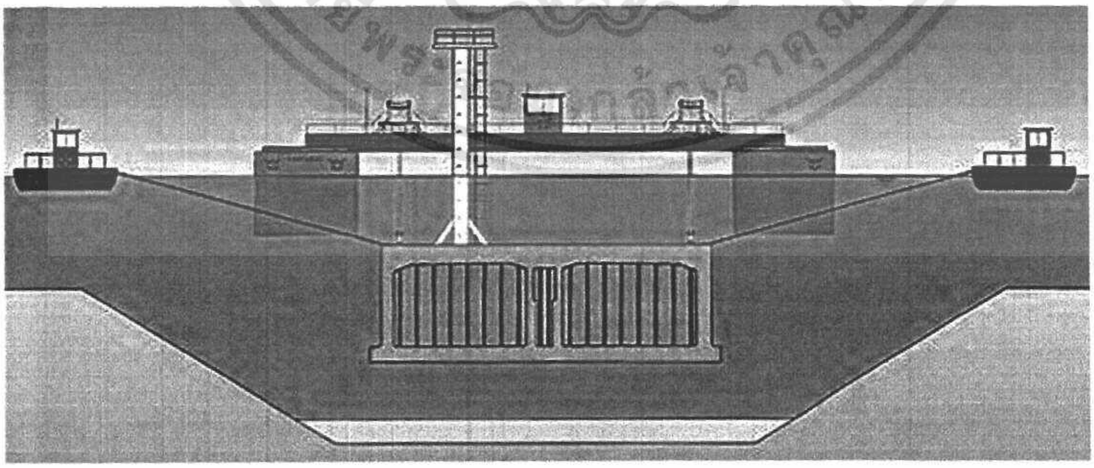
รูปภาพที่ 7.17 แสดงค่าระดับที่ได้จากการสำรวจ

ในขั้นแรกชิ้นส่วนจะถูกวางในที่ของแต่ละตัว ขั้นที่สอง ทำการสำรวจที่ตั้งของมันว่าแต่ละตัวตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งที่ถูกต้องหรือไม่ แต่ละตัวจะถูกติดตั้งจนเสร็จจนกระทั่งตัวต่อไปถูกติดตั้งตามมา ตำแหน่งภายในของแต่ละตัวจะถูกเรียงต่อกัน ดังนั้นการสำรวจตำแหน่งของชิ้นส่วนเป็นความจำเป็นที่อยู่ภายนอก หลังจากมีการเตรียมการทำงานเรียบร้อยจะทำการติดต่อกับนักประดาน้ำและให้ไปทำงานอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบตำแหน่งที่ติดตั้งบนเสาค้ำของแต่ละตัว ความยาวของอุโมงค์หรือความโค้งในแนวราบที่เกิดขึ้น รวมถึงอุปกรณ์จะถูกติดตั้งบนเสาเข็มที่รองรับบนแท่นซึ่งอยู่ในน้ำ กล้องทีโอโดไลท์จะถูกใช้งานซึ่งจะถูกสำรวจเพิ่มเติมด้วยลูกดิ่งในแนวดิ่ง เครื่องมือนี้จะถูกติดตั้งและสามารถมองเห็นเป้าหมายซึ่งอยู่ที่ชายฝั่งได้ การตรวจสอบขั้นสุดท้ายของตำแหน่งจะถูกทำขึ้นหลังจากวางชิ้นส่วนเรียบร้อยแล้ว

โดยทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนประกอบของอุโมงค์จะถูกติดตั้งจากเรือเล็กซึ่งแนวทิศทางจะถูกควบคุมโดยสายเคเบิลซึ่งถูกปักไว้แล้ว ในยุโรปจะมีการควบคุมในแนวราบผ่านทางลูกรอกจากชิ้นส่วนซึ่งเป็นอิสระจากสมอ ทางเลือกแต่ละวิธีจะถูกควบคุมจากภายนอกของอุโมงค์ตัวสุดท้าย อย่างไรก็ตามการดำเนินการจะซับซ้อนขึ้นอีกจนกระทั่งโครงการเสร็จสิ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาก่อนหน้านี้ในการก่อสร้างอุโมงค์บาร์ท ชิ้นส่วนของอุโมงค์จะถูกต่อกันที่ข้อต่อ ข้อต่อแบบแผ่นแกสเกตถูกใช้ขึ้นเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกาที่อุโมงค์บาร์ท ซึ่งชนิดของข้อต่อชนิดนี้จะมีความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อยหากควบคุมจากเรือขนาดเล็ก ความถูกต้องจะเกิดขึ้นโดยการใช้แผ่นรองในการวางตำแหน่งซึ่งอาจจะไม่ได้ผลก็ได้ วิธีการนี้จะใช้ระบบการปรับเป็นรูปลิ่มเป็นครั้งแรกในงานก่อสร้างอุโมงค์ฟอร์ดแมคเฮนรี่ ชุดของรูปลิ่มความยาวประมาณ 16 ฟุต ความกว้าง 15 ฟุต ความหนามีหลายค่าตั้งแต่ 4.5 นิ้วขึ้นไป จะมีการวางแผ่นยางในแต่ละด้านที่แนวศูนย์กลางของชิ้นส่วนแต่ละส่วน แต่ละชิ้นส่วนของข้อต่อจะถูกขจัดน้ำออกไปและรูปลิ่มจะมีน้อยมาก จากการสำรวจที่ตำแหน่งของชิ้นส่วนจะทำให้รู้ว่าความถูกต้องของการจัดตำแหน่งที่จุดเริ่มต้นเป็นอย่างไรหากถูกต้องตามต้องการข้อต่อจะถูกสวมเข้าไปและให้จัดการรูปลิ่มเพื่อให้ได้ตำแหน่งสุดท้ายตามต้องการ การดำเนินการทั้งหมดสามารถควบคุมโดยระบบไฮโดรลิก โดยเฉลี่ยจะไม่เกินครึ่งชั่วโมง เวลาที่ลดสำหรับระบบการใช้รูปลิ่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ภายใต้ท่าเรือที่มีการจราจรคับคั่ง



รูปภาพที่ 7.18 แสดงตัวอย่างการจมชิ้นส่วนอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4 การฝังกลบตัวอุโมงค์

การกลบอุโมงค์เป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยจะกลบตัวอุโมงค์หลังจากที่ทำการเชื่อมรอยต่อทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว โดยในการฝังกลบตัวอุโมงค์จะแบ่งออกเป็นชั้นๆจำนวน 3 ชั้น คือ

1. ชั้นที่ทำหน้าที่ยึดตัวอุโมงค์ให้แน่น

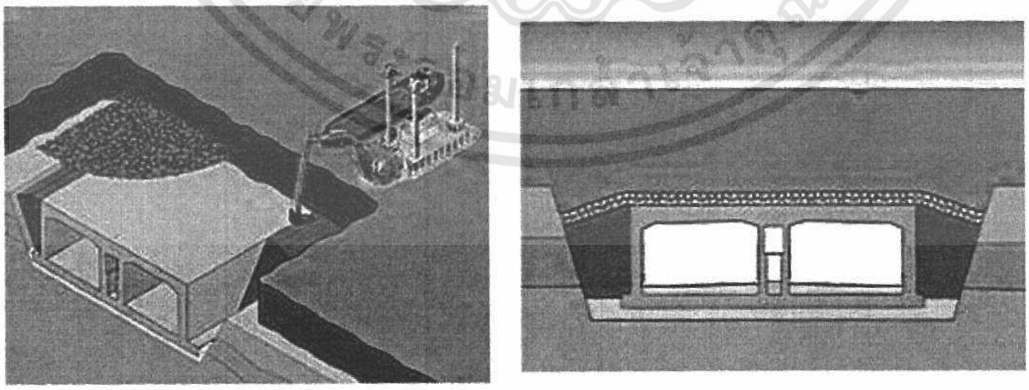
วัสดุพิเศษที่ใช้จะถมลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอุโมงค์เพื่อยึดตัวอุโมงค์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการหลังจากนำมาต่อกันเรียบร้อยแล้ว วัสดุที่ใช้จะเป็นวัสดุที่มีคุณภาพ สามารถอัดตัวกันแน่นได้ดี อาจจะใช้ทรายหรือวัสดุที่หยาบ (Coarse material) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะหาได้ในแต่ละพื้นที่ วัสดุที่ใช้จะมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว ขึ้นไป โดยขนาด 8 นิ้ว จะนิยมใช้มากในปัจจุบัน โดยทั่วไปจะใช้ทรายถมทับตัวอุโมงค์ลงไปเป็นชั้นแรกจากนั้นจะใช้วัสดุหยาบ (Coarse material) ถมทับลงไปอีกชั้นหนึ่ง

2. ชั้นที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุรองพื้น

วัสดุที่ใช้รองพื้นจะถมขึ้นมาสูงประมาณ 5 ฟุตเหนือตัวท่อ ซึ่งวัสดุที่ใช้จะต้องแข็งแรงแล้วสามารถหาได้ในพื้นที่ ในอุโมงค์ยาวๆวัสดุที่ใช้ฝังกลบจะเป็นวัสดุที่ได้จากการขุดลอกก่อนที่จะวางตัวท่อลงไป โดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ควรจะเป็นวัสดุที่ไม่ง่ายต่อการทำปฏิกิริยาเคมี และต้องกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3. ชั้นที่ป้องกันการเสียดสีจากสิ่งต่างๆภายนอก

วัสดุที่ใช้ถมชั้นนี้จะอยู่สูงเหนือจากชั้นวัสดุรองพื้น วัสดุที่ใช้จะต้องแข็งแรง เช่น หิน โดยจะถมหนาประมาณ 2-3 นิ้ว ขนาดของวัสดุที่ใช้ก็จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการสึกกร่อนของแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 1 นิ้ว ถึง 10 นิ้ว และจะถมโดยรอบตัวอุโมงค์กว้างประมาณ 100 ฟุต นับตั้งแต่จุดศูนย์กลางตัวอุโมงค์



รูปภาพที่ 7. 19 แสดงตัวอย่างการฝังกลบชิ้นส่วนอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การออกแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

ในการออกแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำนั้นมีปัจจัยในการออกแบบหลักอยู่ 3 หลักด้วยกัน คือ

1. การออกแบบขั้นต้น
2. การออกแบบรูปแบบของอุโมงค์
3. การออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนของตัวอุโมงค์

7.4.1 การออกแบบขั้นต้น

ในการออกแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำขั้นต้นนั้นเราจะคำนึงถึงองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบด้วยกัน ซึ่งได้แก่

1. แนวเส้นทางของอุโมงค์ ในการออกแบบเราควรจะออกแบบให้ระยะของอุโมงค์สั้นที่สุดเพื่อที่จะทำการขุดลอกแนวทางอุโมงค์สั้นที่สุด ทำให้ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

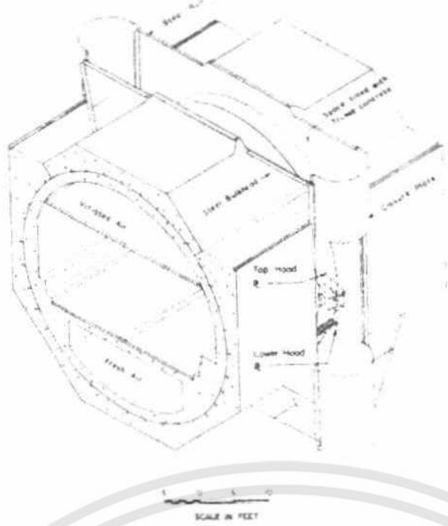
2. จำนวนชิ้นส่วนของอุโมงค์ การออกแบบเราจะต้องออกแบบให้จำนวนชิ้นส่วนของอุโมงค์มีจำนวนน้อยที่สุดเพื่อที่จะง่ายต่อการก่อสร้าง อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการหล่อชิ้นส่วนและลดระยะเวลาในการก่อสร้าง

3. รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนอุโมงค์ ในการออกแบบส่วนรอยต่อนี้จะต้องมั่นใจว่าสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ ซึ่งรอยต่อที่ใช้นั้นมีอยู่ 3 ชนิด คือ

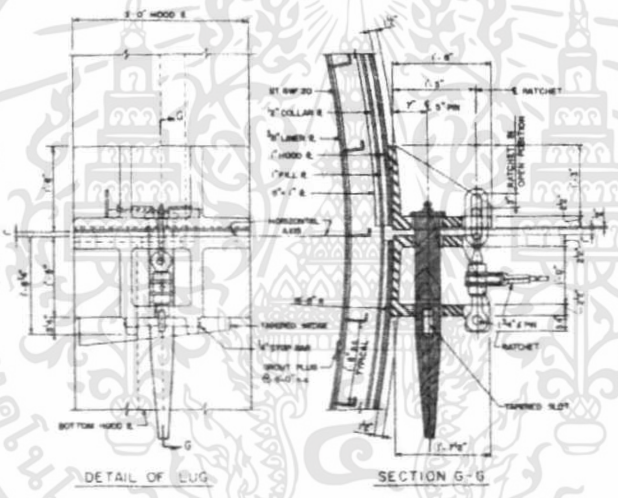
- รอยต่อแบบทรีมี่ (Tremie joints)

รอยต่อทรีมี่แสดงดังรูปภาพที่ 7.20 แผ่นเหล็กปลอกวงกลมจะถูกเชื่อมที่ภายนอกของผนังท่อ แผ่นที่ใช้คลอบจะถูกเชื่อมด้านบนของปลอกของชิ้นส่วนสุดท้าย การเติมจะถูกจัดไว้ที่รอบๆเป็นระยะหนึ่งนิ้วระหว่างแผ่นหมวกครอบ (hood) และปลอก เมื่อชิ้นส่วนลดต่ำลงไป มันจะอยู่ในระยะซึ่งพอดีกับหมวกครอบของชิ้นส่วนก่อนหน้านี้ เส้นผ่าศูนย์กลางในแนวราบด้านบนและด้านล่างของแผ่นเหล็กครอบเจอกันจะใช้การเชื่อมกับแท่นรองรับซึ่งมีตัวยึดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว หลังจากชิ้นส่วนถูกดึงเข้าด้วยกันโดยใช้เรือในการทำงานโดยมีนักประดาน้ำช่วยในการยึดชิ้นส่วน นักประดาน้ำจะทำการผนึกทับหมุดเหล็กเพื่อความปลอดภัยของหมุดโดยการเชื่อมที่หมุด ดังรูปภาพที่ 7.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7.20 แสดงลักษณะรอยต่อทรีมี่



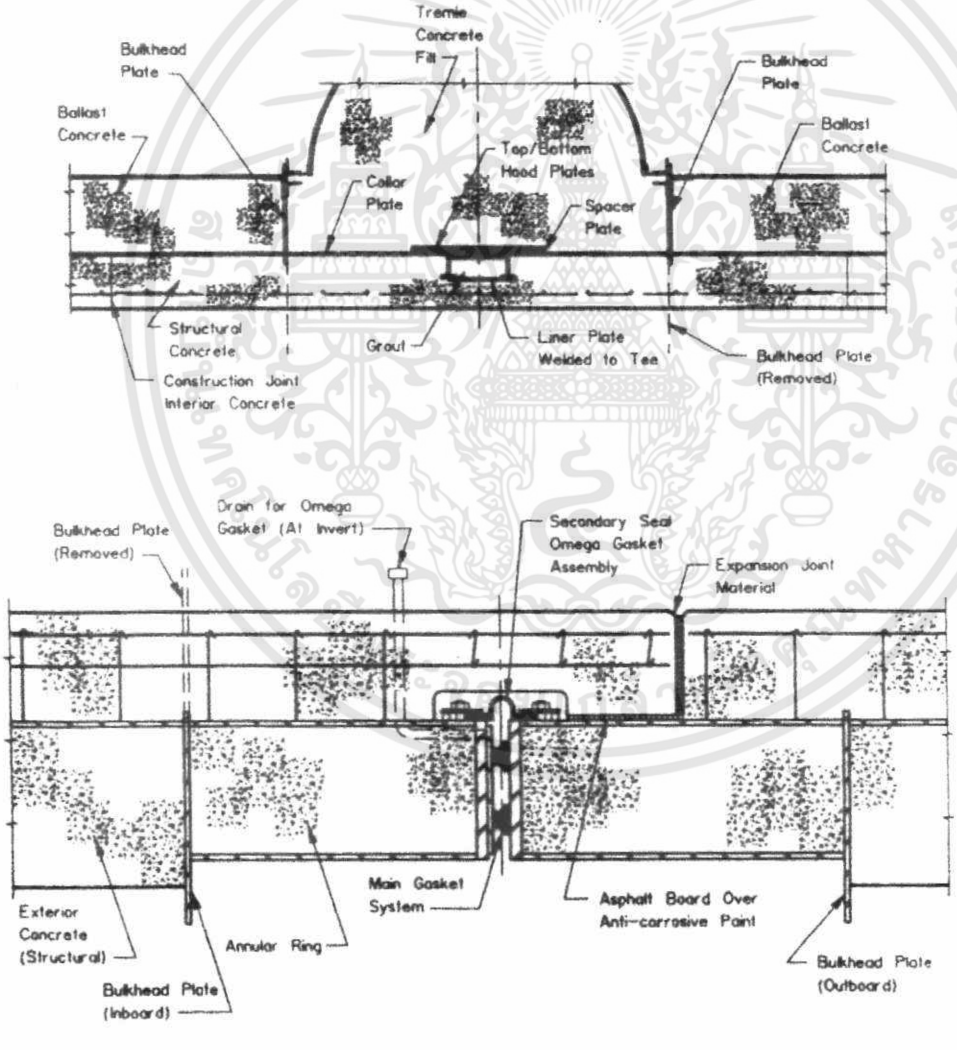
รูปภาพที่ 7.21 แสดงรายละเอียดหมุดของรอยต่อทรีมี่

แผ่นโค้งที่ใช้ในการปิดจะถูกใส่เข้าไปที่ขอบในแนวดิ่งของชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมตัวสุดท้าย ชิ้นส่วนของเสาเข็มพืด (Sheet pile) หรือเหล็กสามเหลี่ยมจะถูกใช้ในการต่อกับแผ่นรูปโค้งเพื่อทำการกั้นผนัง บางครั้งรูปแบบของเสาเข็มพืด จะมีรูปร่างโค้งจะถูกใช้งานแทนแผ่นเหล็กที่ใช้ปิดเสาเข็มจะถูกตอกลงไปที่ด้านล่างของแนวอุโมงค์ โครงสร้างฐานรากจะถูกเว้นช่วงที่ข้อต่อดังนั้นที่ว่างจะถูกปิดซึ่งจัดไว้ที่ส่วนสุดท้ายของแผ่นกั้นซึ่งถูกปิดด้วยคอนกรีต เพื่อที่จะป้องกันคอนกรีตไหลเข้าไปข้างในข้อต่อ ที่ว่างรอบๆระหว่างแผ่นหมวกเหล็กและปลอกจะถูกปิดโดยนักประดาน้ำ สิ่งที่จะต้องระวังจะต้องทำให้มั่นใจได้ว่าคอนกรีตไหลผ่านส่วนข้างล่างของข้อต่อระดับส่วนบนของมันจะอยู่เหนือแผ่นกีดกั้นจะมีการปิดข้อต่อไว้เพื่อป้องกันรอยรั่วที่จะเกิดขึ้นได้ทุกๆรูรั่วจะถูกปิดโดยการเกราต์ก่อนที่ข้อต่อจะเสร็จสมบูรณ์การกำจัดน้ำออกจากข้อต่อจะมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมวาล์วไว้ที่ผนังส่วนสุดท้ายของชิ้นส่วนก่อนหน้านั้น ข้อต่อซึ่งต่อผ่านประตูจะมีการขจัดน้ำออกที่ผนังชิ้นสุดท้ายก่อนการเปิดประตู อากาศภายในข้อต่อจะถูกทดสอบเกี่ยวกับการระเบิดของแก๊สเพื่อความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรวมตัวกันของสารอินทรีย์ในน้ำที่ข้อต่อ

แผ่นชิ้นส่วนในแนวตรงจะถูกเชื่อมเป็นชิ้นส่วนรูปตัวทีที่ภายในแผ่นเหล็กปลอก เพื่อที่จะให้เกิดการขจัดน้ำที่ผนังของแผ่นเหล็กอย่างต่อเนื่องภายในอุโมงค์ ที่ว่างระหว่างแผ่นเหล็กในแนวตรงและแผ่นเหล็กปลอกจะถูกปิดด้วยการเกราต์ภายใต้ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หลังจากนั้นชิ้นส่วนภายในและเหล็กที่ใช้ปิดกั้นจะถูกถอดออกและผนังภายในจะถูกนำเข้ามาแทนที่ข้อต่อจึงเสร็จสมบูรณ์ กระบวนการเดียวกันนี้จะถูกใช้ขึ้นกับแผ่นรองที่ข้อต่อ เหล็กแผ่นในแนวตรงจะถูกเชื่อมกับชิ้นส่วนรูปตัวทีหลังจากเริ่มทำการปิดด้วยคอนกรีตและก่อนหน้าการเทคอนกรีต แผ่นเหล็กในแนวตรงที่จุดต่อและแผ่นรองจุดต่อ



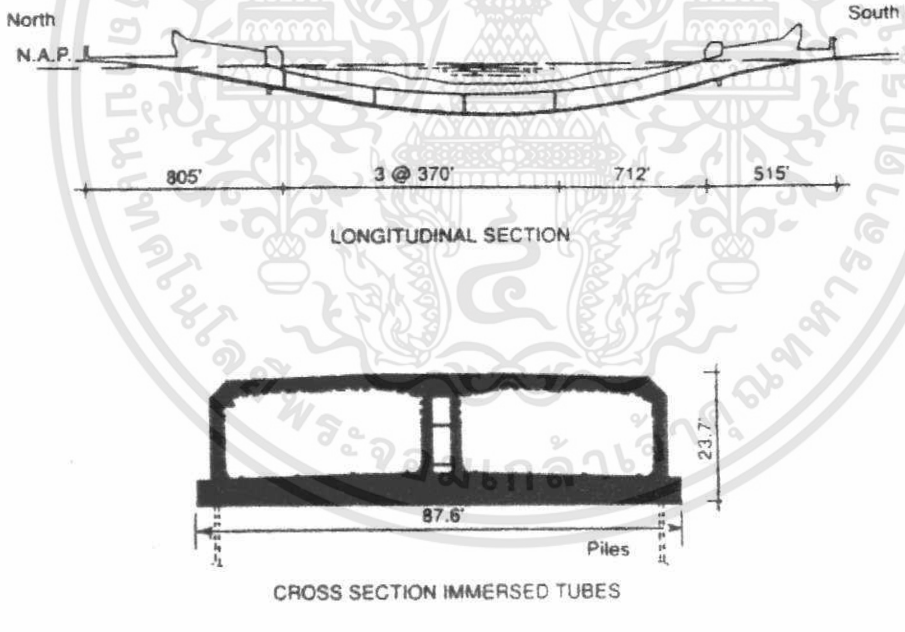
รูปภาพที่ 7. 22 แสดงรายละเอียดของรอยต่อทรีมี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รอยต่อแบบยาง (Rubber gasket joint)

ในกรณีนี้ชนิดของข้อต่อเริ่มต้นจากการปิดทับที่ข้อต่อจะใช้การกดของแผ่นยางของชิ้นส่วนหนึ่งทับกับผิวซึ่งมีความเรียบของอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ความหลากหลายของรูปร่างของแผ่นรองจะถูกใช้ในหลักการเดียวกัน ชิ้นส่วนจะถูกนำมาวางต่อเนื่องกันที่เส้นรอบวงของผิวภายใน หลังจากนั้นชิ้นส่วนถูกย้ายเพื่อที่จะปิดผนังเรียบๆภายนอกชิ้นสุดท้ายโดยการเชื่อมต่อกันโดยแรงดันของแม่แรง โดยจะมีการยืดออกจากชิ้นส่วนหนึ่งทำให้สามารถปิดส่วนหนึ่งของอีกชิ้นส่วน แม่แรงเหล่านี้จะดึงชิ้นส่วนให้สัมผัสกับแผ่นรองได้การปิดชิ้นส่วนจะเพียงพอสำหรับการระบายจากภายในนำมาซึ่งการกระทำทั้งหมดของแรงดันของชิ้นส่วน ความกดดันที่แผ่นรองจะเกิดขึ้นชั่วคราวที่ส่วนปิดของข้อต่อ จะมีข้อจำกัดของแผ่นรองซึ่งถูกออกแบบไว้ในช่วงที่กำหนด หลังจากการขจัดน้ำออกไปข้อต่อจะสามารถเข้าสู่ประตูภายในช่องส่วนที่ถูกต่อไว้โดยถาวร

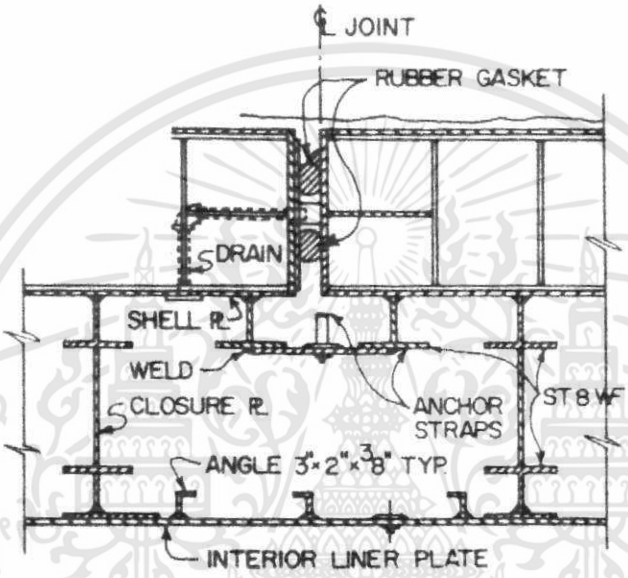
แผ่นรองเดี่ยวขนาดใหญ่ถูกใช้ที่อุโมงค์ดีส ไอแลนด์และเหมือนกับชิ้นส่วนอุโมงค์ในยุโรปดังแสดงไว้ในรูปภาพที่ 7.23 ส่วนปลายของแผ่นรองจะเผื่อไว้สำหรับการปิดผนึกภายใต้ความดันประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักที่ถ่ายเข้าไป



รูปภาพที่ 7.23 แสดงตัวอย่างหน้าตัดอุโมงค์ซีเบอร์เกอร์ในประเทศฮอลแลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นรองคู่จะมีขนาดเล็กกว่าชิ้นส่วนถูกใช้ขึ้นสำหรับชิ้นส่วนของอุโมงค์บาร์ท แผ่นรองจะถูกติดกับหมุดชนิดขยายตัวได้อย่างต่อเนื่องของโครงสร้างชิ้นส่วน ส่วนที่ยื่นออกมาภายนอกแผ่นรองจะส่งผลต่อการดึงโดยแม่แรงซึ่งให้ไว้ในช่วงเริ่มต้นของการปิดผนึก นอกเหนือจากการขจัดน้ำออกที่ข้อต่อแผ่นรองจะถูกกดดันที่ระยะ 1.5 ของความสูง ท่อนเหล็กจะถูกเชื่อมขึ้นที่ผิวหน้าเพื่อยับยั้งการเคลื่อนตัวที่ทำให้เกิดช่องว่างภายในข้อต่อดังรูปภาพที่ 7.24 แนวของวาล์วระบายน้ำระหว่างน้ำที่ซึมเข้ามากับแผ่นรองภายในระหว่างการอัดตัว แผ่นรองจะถูกรวมกับการขจัดน้ำออก



รูปภาพที่ 7.24 แสดงรอยต่อยางชนิดแผ่นรองคู่

- รอยต่อโคลสเซอร์ (Closer joint)

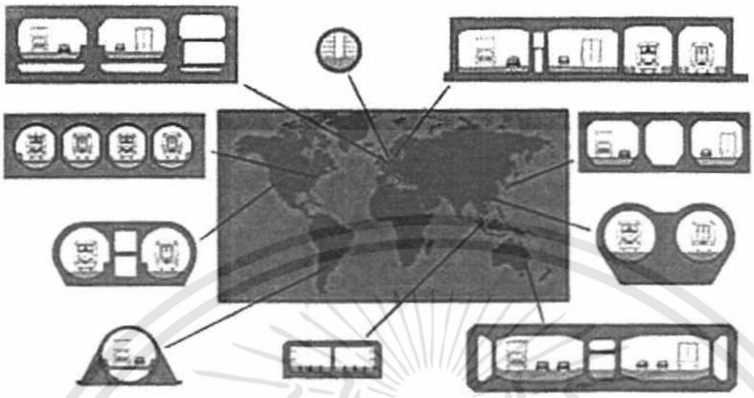
ในอุโมงค์ที่ยาวและมีชิ้นส่วนต่อกันจำนวนมาก วิธีการเริ่มก่อสร้างที่สะดวกที่สุดคือเริ่มวางท่อจากปลายทั้งสองด้าน ชิ้นส่วนชิ้นสุดท้ายที่จะทำการวางจะมีพื้นที่ว่างสำหรับวางน้อย และในการวางชิ้นส่วนชิ้นสุดท้ายจะต้องควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนให้อยู่ในเกณฑ์ รอยต่อโคลสเซอร์ ก็เป็นรอยต่อชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากรอยต่อชนิดนี้สามารถใช้กับพื้นที่ว่างน้อย และใช้กับงานที่ต้องการความคลาดเคลื่อนน้อยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.2 การออกแบบรูปแบบของอุโมงค์

ในการออกแบบรูปแบบของอุโมงค์มีสิ่งที่ควรคำนึงถึง 3 กรณีด้วยกัน คือ

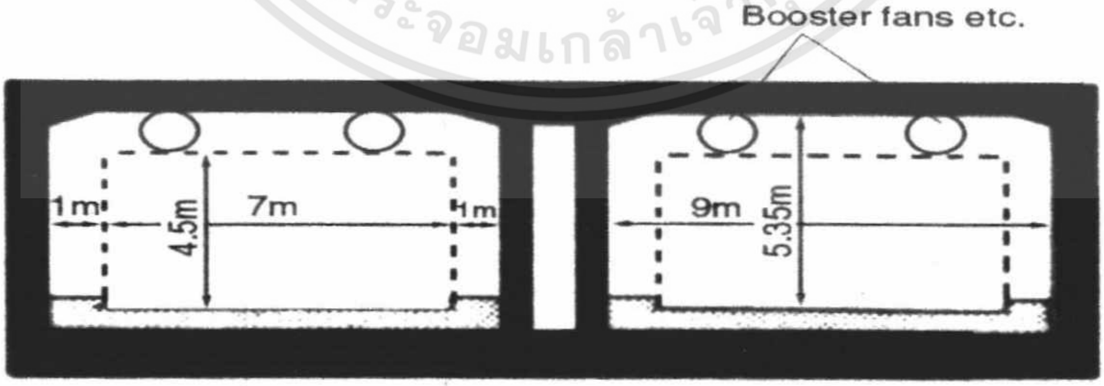
1. รูปหน้าตัดของอุโมงค์จะต้องมีรูปแบบ และจำนวนเลนแบบเดียวกับถนนที่อุโมงค์เชื่อมต่อ



รูปภาพที่ 7.25 แสดงหน้าตัดที่หลากหลายของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

2. ขนาดของอุโมงค์จะแปรเปลี่ยนตามลักษณะของถนนที่มีการเชื่อมต่อ โดยทั่วไปความกว้างของเลนถนนจะอยู่ที่ 3 เมตร และความสูงของอุโมงค์โดยเว้นพื้นที่ด้านบนไว้แล้วจะอยู่ที่ประมาณ 5 เมตร โดยขึ้นอยู่กับข้อบังคับในพื้นที่นั้นๆ (ตัวอย่างเช่นที่ประเทศฮอลแลนด์จะกำหนดไว้ที่ 4.5 เมตร)

3. ช่องว่างระหว่างริมทางกับผนังอุโมงค์ควรอยู่ที่ 0.8 – 1.0 เมตร โดยเผื่อไว้สำหรับรถที่มีปัญหาระหว่างการเดินทาง และเพื่อที่จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากกำแพงซึ่งผู้ขับขี่อาจเกิดอาการตกใจ (Wall effect) ดังนั้นเราควรที่จะลดความหนาแน่นของปริมาณรถ ที่ว่างบริเวณด้านบนจะต้องเพียงพอสำหรับช่องระบายอากาศ ในอุโมงค์ควรจะมีช่องทางเดินบริเวณตำแหน่งที่มีสายเคเบิลเชื่อมต่อระหว่างอุโมงค์ทั้งคู่

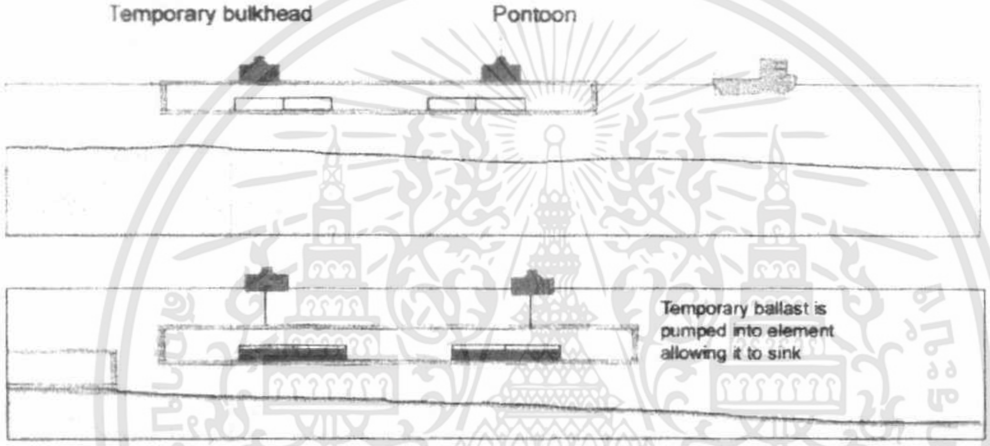


รูปภาพที่ 7. 26 แสดงรายละเอียดของหน้าตัดอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

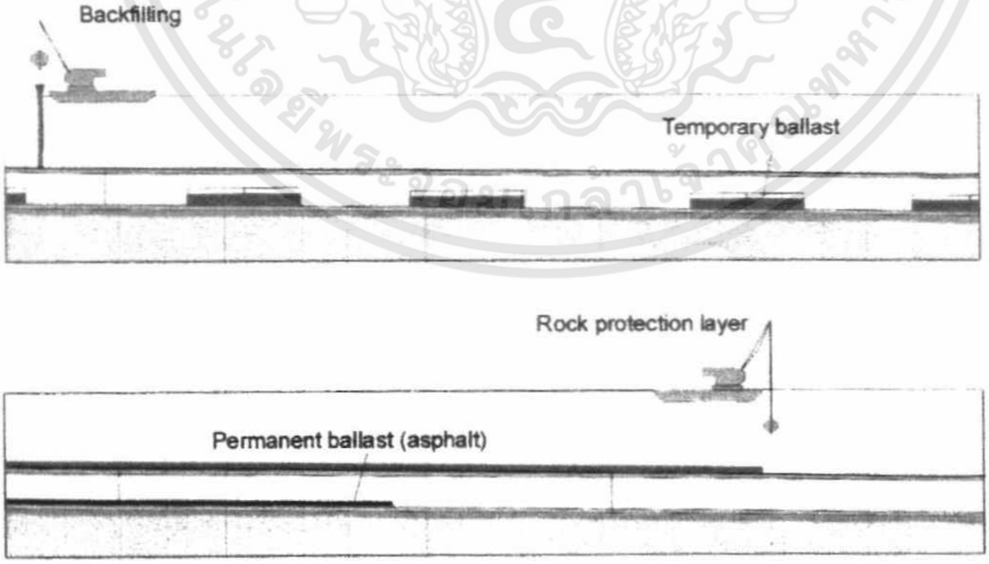
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 การออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์

หลังจากการก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์เสร็จแล้วก็จะทำการเคลื่อนย้ายอุโมงค์ไปยังตำแหน่งที่ทำการก่อสร้าง ชิ้นส่วนอุโมงค์มีขนาดใหญ่มากทำให้ยากต่อการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนจึงต้องมีการถ่วงน้ำหนักชั่วคราว (ส่วนมากจะใช้น้ำ) หลังจากทำให้คงอยู่ได้ชั่วคราวก็จะใช้อุปกรณ์ในการลอยชิ้นส่วนมาคอยพยุงไว้ หลังจากนั้นก็จะใช้ตัวถ่วงน้ำหนักที่สมบูรณ์ที่สุดมาแทนที่ตัวใช้คอยถ่วงน้ำหนักตัวเดิมในรูปแบบของคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กบริเวณด้านล่างของเส้นทางวิ่งในอนาคตหรือภายนอกหรือโครงสร้างคอนกรีตภายในที่อยู่ในชั้นรองอื่นๆ โดยในเวลานี้จะเอาอุปกรณ์ที่ใช้ในการลอยอุโมงค์และฝากั้นออก โดยชิ้นส่วนของอุโมงค์ต้องมีน้ำหนักเพียงพอเพื่อที่จะไม่เกิดการลอยตัว



รูปภาพที่ 7.27 แสดงการลากชิ้นส่วนอุโมงค์มายังสถานที่ทำการวางชิ้นส่วนอุโมงค์ (บน) และภาพแสดงการใส่ตัวถ่วงชั่วคราวในถังอับเฉา (ล่าง)



รูปภาพที่ 7.28 แสดงการวางชิ้นส่วนอุโมงค์ที่ใส่ตัวถ่วงชั่วคราวในถังอับเฉา (บน) และภาพแสดงการใส่ตัวถ่วงน้ำหนักถาวร

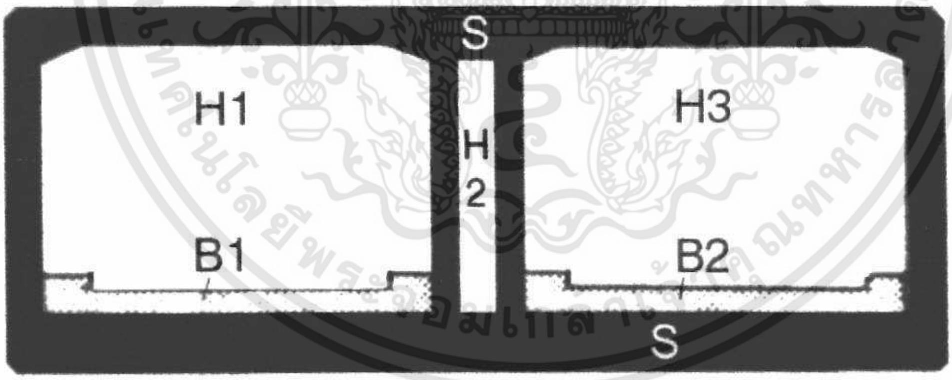
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันของน้ำใต้ดินที่บริเวณด้านล่างของอุโมงค์อาจจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับของน้ำในแม่น้ำ ในขณะที่มีน้ำขึ้นน้ำลงอาจจะเป็นเหตุให้เกิดแรงดันขึ้น ในการแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้จะมีเกณฑ์ในการออกแบบที่นำมาใช้เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับกรณีนี้ซึ่งก็คือ น้ำหนักของอุโมงค์ต้องเกินกว่าที่น้ำจะเข้ามาแทนที่ได้โดยจะต้องต่อต้านแรงที่จะทำให้อุโมงค์เกิดการลอยตัวได้อย่างสมบูรณ์แบบแม้ว่าจะนำเอาของต่างๆและดินถมออก ขอบเขตของการลอยตัวอาจจะอยู่ในช่วง 1.075 แต่ค่าที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของโครงการนั้นๆ ค่าขอบเขตที่มีความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเพราะว่าด้านข้างและด้านบนของทางที่ทำการขุดลอกที่ซึ่งไปอยู่แทนที่นั้นจะเป็นดินถม

ด้วยเหตุนี้เป็นผลให้มีการคิดน้ำหนักที่กระทำบริเวณด้านบนเป็นอันดับแรก ในทางตรงกันข้ามแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณกำแพงจะไม่นำมาคิด การป้องกันการกัดกร่อนเป็นบริเวณที่ต้องมีการดูแลอย่างต่อเนื่องซึ่งค่าต่อต้านแรงลอยตัวที่ปลอดภัยอยู่ที่ 1.15 หรือ 1.2 ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ว่าจ้างและการป้องกันในเรื่องของการจมของเรือและการทอดสมอ ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณน้ำหนักแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1. ขั้นตอนการเคลื่อนย้าย ในขั้นตอนนี้จะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น 2.46 และมีการเพิ่มค่าน้ำหนักในสมการอีก 3 ตัน เพื่อให้ชิ้นส่วนของอุโมงค์ลอยอยู่ได้ในขณะทำการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนอุโมงค์

$$2.46S + 3 = 0.99\ (B + H + S)$$



รูปภาพที่ 7.29 แสดงหน้าตัดที่ใช้คำนวณน้ำหนักของชิ้นส่วนอุโมงค์

2. ขั้นตอนการจุ่มชิ้นส่วนอุโมงค์ ในขั้นตอนนี้จะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น 2.42 และมีค่าเพิ่มเติมอีก 7.5 – 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ว่าจ้างและการป้องกันในเรื่องของการจมของเรือและการทอดสมอ

$$2.42S + 2.25B = 1.075\ (B + H + S)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 ตัวอย่างโครงการที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ

7.5.1 เส้นทางผ่านช่องแคบ Oresund ระหว่างเดนมาร์กกับสวีเดน

เส้นทางผ่านช่องแคบ Oresund เป็นเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างกรุง Copenhagen ประเทศเดนมาร์ก และกรุง Malmo ประเทศสวีเดน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการสร้างการจราจรบนแผ่นดินจากสแกนดิเนเวียไปยังแผ่นดินใหญ่ โดยเส้นทางนี้ประกอบด้วยอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ 3.5 กิโลเมตร เส้นทางบนแผ่นดิน 4 กิโลเมตร และสะพาน 8 กิโลเมตร ซึ่งช่วงเคเบิลของสะพานอยู่ที่ 490 เมตร ตลอดเส้นทางนี้ใช้คอนกรีตรวมกันประมาณ 1,000,000 ลูกบาศก์เมตร

หน้าตัดของอุโมงค์ที่ออกแบบจะใช้สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินและรถทั่วไป โดย 2 ช่องทางสำหรับรถไฟฟ้าใต้ดิน และ 2 ช่องทางสำหรับถนนสายหลัก 4 เลน มีการติดตั้งทางเชื่อมระหว่างอุโมงค์ของถนนสายหลักทั้งสองเพื่อความปลอดภัยและใช้เป็นช่องทางในการหลบหนีไฟในกรณีฉุกเฉิน

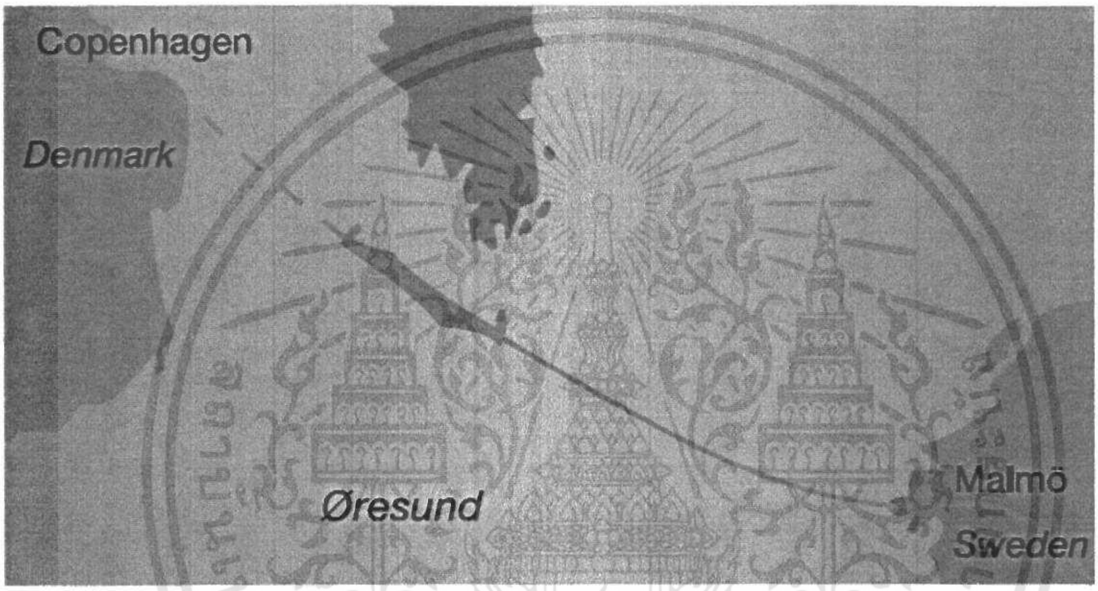
ส่วนที่เป็นอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ ประกอบด้วยชิ้นส่วนอุโมงค์จำนวน 20 ชิ้น แต่ละช่วงยาวประมาณ 175 เมตร ซึ่งแต่ละชิ้นประกอบด้วย 8 ส่วนย่อยเชื่อมต่อกันโดยลวดอัดแรงชั่วคราวและน้ำหนักโดยประมาณอยู่ที่ 56,000 ตัน หน้าตัดภายนอกของอุโมงค์กว้าง 38.8 เมตร สูง 8.6 เมตร ชิ้นส่วนของอุโมงค์จะถูกวางลงบนแนวที่ทำการขุดลอกที่รองด้วยกรวดไว้แล้ว ดินถมที่นำมาถมบริเวณด้านข้างและด้านบนตัวอุโมงค์จะออกแบบให้ป้องกันทุกๆเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นกับอุโมงค์ได้อย่างถาวร

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำอุโมงค์จะอยู่ด้านล่างของระดับใต้ท้องทะเลและเหนือดินถมจะต้องมีช่องว่างเพื่อการเดินเรืออย่างน้อย 10 เมตร หินที่นำมาใช้ถมจะต้องออกแบบให้ทนทานต่อการทิ้งสมอเรือหรือเรือที่จมได้ นอกจากนี้จะต้องมีการป้องกันถึงการเสียดสีอย่างแรงและการกัดเซาะทั่วไปได้

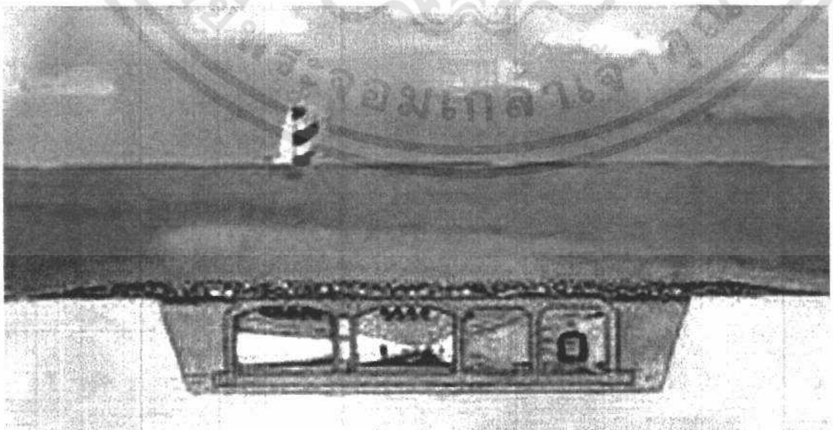
พระจอมเกล้าเจ้าคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 7.30 แสดงภูมิทัศน์โดยรอบสถานที่ที่จะทำการก่อสร้าง



รูปภาพที่ 7.31 แสดงแผนที่แนวเส้นทางที่จะทำการก่อสร้าง



รูปภาพที่ 7.32 แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

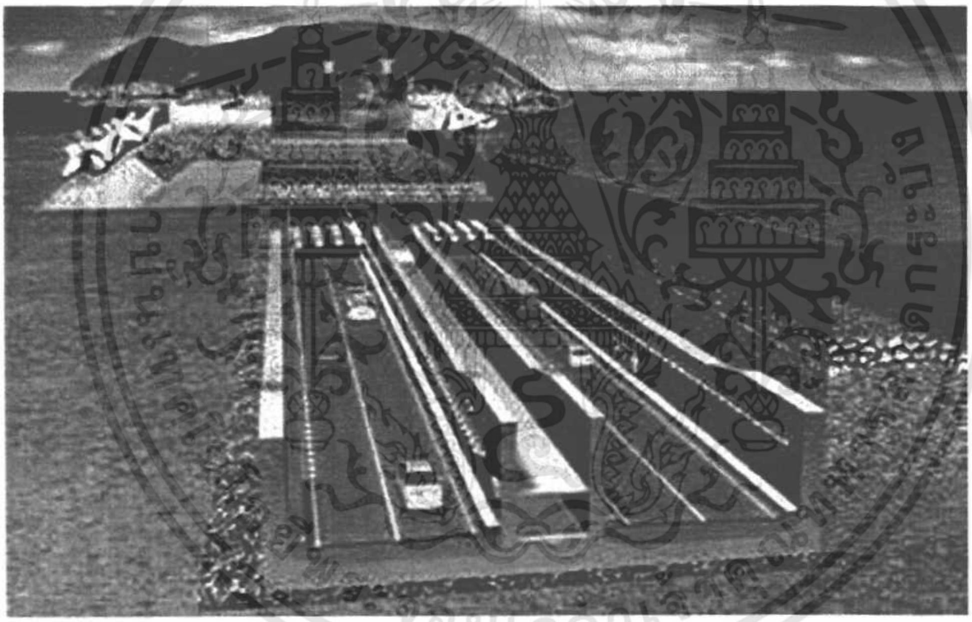
7.5.2 เส้นทางจากปูซานไปยังเกาะโจจีของประเทศเกาหลี

โครงการก่อสร้างเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างปูซานซึ่งเป็นเมืองที่อยู่ทางใต้สุดของเกาหลีไปยังเมืองใหญ่เป็นอันดับที่สองคือเกาะโจจี ประกอบด้วยอุโมงค์ประกอบใต้น้ำเป็นระยะทาง 3.4 กิโลเมตร ซึ่งถือว่ามีระยะทางยาวมากอีกแห่งหนึ่งของโลกและมีสะพานแขวนเคเบิลอีก 2 ช่วงๆละ 2 กิโลเมตร ระยะเวลาก่อสร้าง 6 ปี ราคาค่าก่อสร้าง 1.2 ล้านเหรียญดอลล่าสหรัฐ

ระยะทางรวมของอุโมงค์ทั้งหมดจะอยู่ที่ประมาณ 4.27 กิโลเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเกาะโจจีกับส่วนของสะพาน

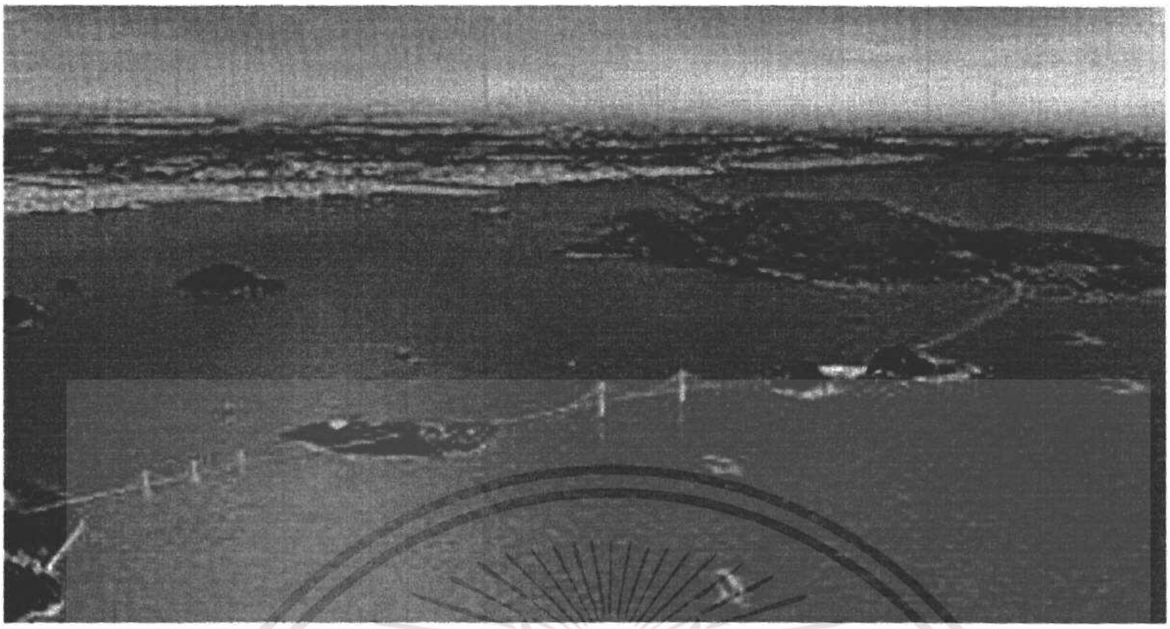
อุโมงค์ประกอบใต้น้ำออกแบบให้มี 4 เลน และมีเส้นทางฉุกเฉิน ตรงกลางของหน้าตัดอุโมงค์ระหว่างทางหลวง 2 เส้นทางวิ่งจะมีช่องหลบหนีกรณีฉุกเฉินอยู่

อุโมงค์ประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบกันจำนวน 18 ชิ้น ซึ่งขุดลอกและวางชิ้นส่วนที่ระดับความลึกสูงสุด 50 เมตร



รูปภาพที่ 7. 33 แสดงหน้าตัดอุโมงค์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7.34 แสดงลักษณะของเส้นทางที่จะทำการก่อสร้าง

รูปภาพที่ 7.35 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งที่ทำการก่อสร้างกับระดับของเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.3 เส้นทางจาก Preveza ไปยัง Aktio ประเทศกรีซ

โครงการนี้ประกอบด้วยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี cut and cover ทางฝั่ง aktio เป็นระยะทาง 152 เมตร อุโมงค์ประกอบใต้น้ำที่อยู่ใต้ช่องแคบเป็นระยะทาง 909 เมตร และอุโมงค์แบบ cut and cover ทางฝั่ง Preveza เป็นระยะทาง 509 เมตร

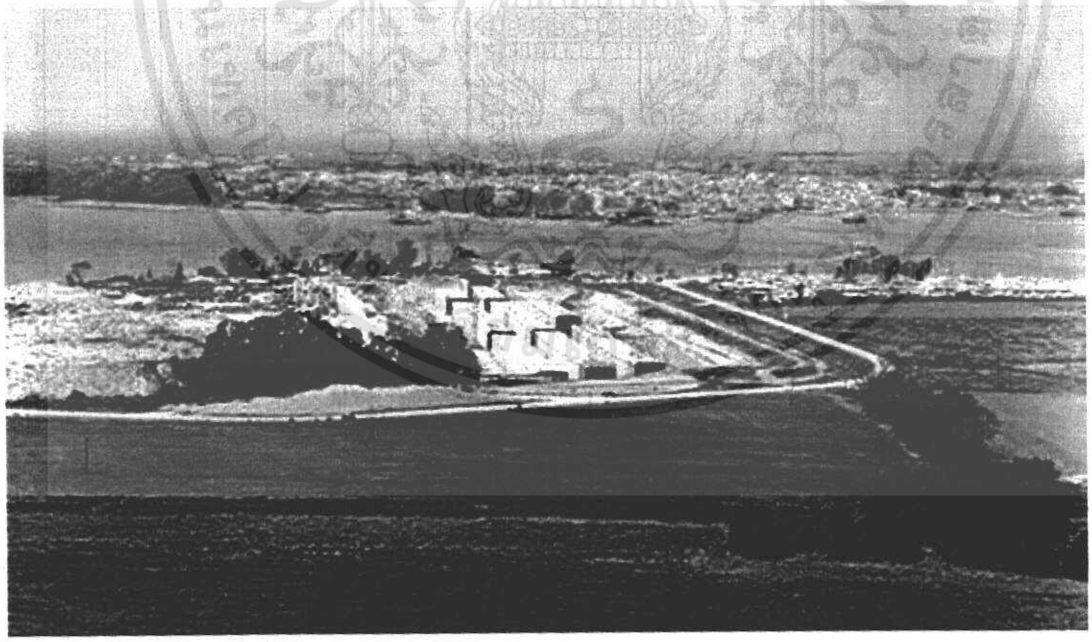
อุโมงค์ประกอบใต้น้ำนี้ออกแบบไว้สำหรับการจราจร 2 เลน มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยมีความกว้างภายใน 10.6 เมตร และภายนอกมีความกว้าง 12.6 เมตร สูง 8.75 เมตร

ทางฝั่ง aktio ใช้การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี cut and cove ซึ่งเป็นการก่อสร้างแบบเปิด และในช่วงเริ่มต้นใช้พื้นที่บริเวณนี้เป็นสถานที่ก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์

ทางฝั่ง Preveza ก็ใช้การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี cut and cove เช่นเดียวกัน และมีการใช้กำแพงกันดินเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์โดยถาวรในโครงสร้างอุโมงค์

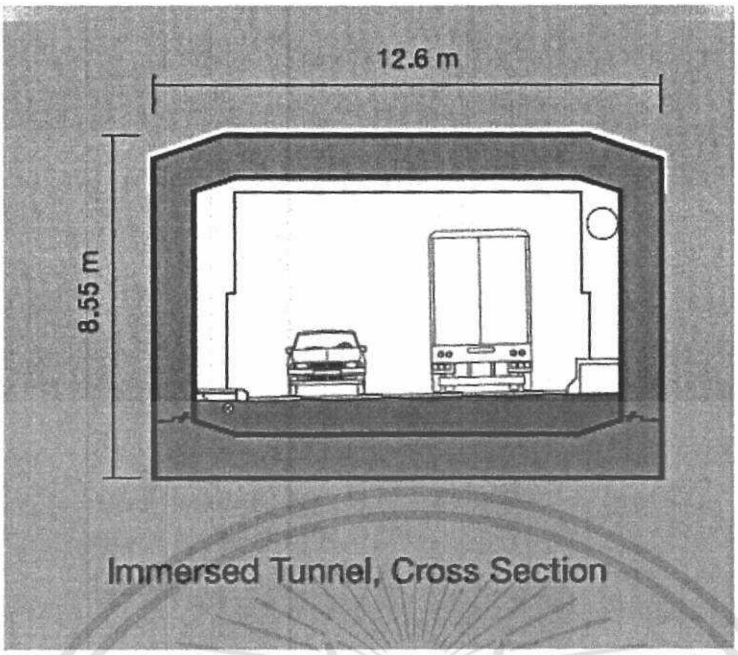
ชิ้นส่วนอุโมงค์ 8 ชิ้นที่สร้างไว้ล่วงหน้ามีความยาวตั้งแต่ 59.2-134.5 เมตร ซึ่งก่อสร้างในบ่อที่ใช้หล่อชิ้นส่วนอุโมงค์ที่อยู่ทางฝั่ง aktio ซึ่งบ่อนี้มีช่องทางแคบที่เชื่อมต่อกับลำน้ำ 150 เมตร โดยช่องทางนี้ใช้กำแพงกันดินทั้ง 2 ด้าน

หลังจากการก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์แล้วก็จะทำการปล่อยน้ำเข้าสู่บ่อหล่อชิ้นส่วนอุโมงค์เพื่อให้ชิ้นส่วนอุโมงค์ลอยตัวขึ้นและลากชิ้นส่วนอุโมงค์ไปยังสถานที่ก่อสร้างแล้วก็จมชิ้นส่วนอุโมงค์ลงไปยังแนวที่ได้ทำการขุดลอกเส้นทางไว้แล้ว

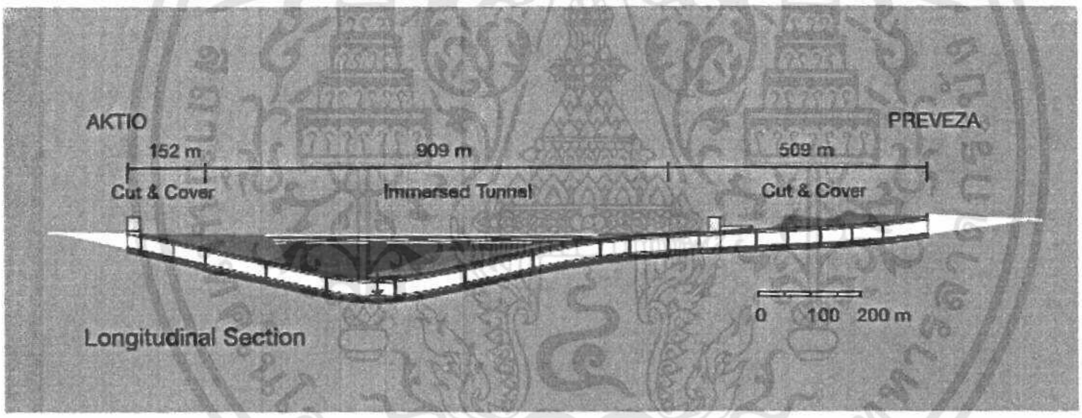


รูปภาพที่ 7. 36 แสดงบริเวณที่ทำการก่อสร้างชิ้นส่วนอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 7.37 แสดงหน้าตัดของอุโมงค์ประกอบใต้น้ำ



รูปภาพที่ 7.38 แสดงระดับความลึกของอุโมงค์ที่ทำการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตติ บุญนิจรอด, ชัยวัฒน์ นาคประดิษฐ์, ธเรศ พรหมเด่น, 2549. การศึกษาพฤติกรรมของผนังอุโมงค์ในดินอ่อนและเปรียบเทียบกับการออกแบบ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Haley&Aldrich, 2007, August. Knowledge Sharing (http://www.haleyaldrich.com/nodes/5.aspx?path=/knowledge_sharing)
- Herrenknecht, 2008, January. Support Techniques: Pipe Jacking (http://www.herrenknecht.com/projects/projektsuchergebnis.html)
- James C. Thomson, Pipejacking and microtunnelling(London : Blackie Academic & Professional, 1993)
- Jim Schill, 2001, August. Trenchless Technology (http://www.tttechnologies.com/jstories/gram/index.html)
- Willy De Lathauwer, 2003, September. Immersed Tunnels (http://www.ita-aites.org/cms/159.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้