

# 세미섀드 공법의 소개 및 설계

(Introduce and Design of Semi-Shield Method)

이 은 섭\* Lee, Eun Seop

장 래 옥\*\* Jang, Rae Ug

## 요 지

세미섀드 공법은 소음, 진동이 개착식공법에 비해 매우 적은 공법으로 민원의 소지가 적어 도심지 공사 시 유리하다. 또한 공사의 대부분이 지하에서 이루어지므로 굴착에 따른 교통통제 및 넓은 작업장이 불필요하게 되어 도심지 공사에 매우 적합한 공법이다. 도로, 하천의 횡단이나 도심지에서 관로를 매설할 때 적용할 수 있는 세미섀드 공법을 소개하고 설계 시 검토되어야 할 사항들을 간략히 설명하고자 한다.

## Abstract

As the semi-shield method gives lower level of noises and vibrations comparing with excavation method so that it has little probability of civil appeal, and it has more advantages when constructing in urban area of city. In addition, most construction processes have been carried out underground, so traffic restrictions or spacious workshops for excavation work are unnecessary. Consequently, it is more appropriate for the construction project in urban area.

Therefore, this study introduces applicable semi-shield method when embedding pipes to across a river or urban area, and briefly cover some matters to be considered at the design stage.

\* 대우엔지니어링 인프라사업본부 해양사업그룹 차장

\*\* 대우엔지니어링 인프라사업본부 해양사업그룹 부장

## 1. 서론

교통, 통신 등의 발달에 따라 도로, 철도, 하천, 상하수도, 전력구, 통신구등 선형이 긴 구조물들이 점점 늘어나 서로 얹히고 간섭되며, 새로운 시설물의 설치를 어렵게 만들고 있는 실정이다. 따라서 과거에 선형이 긴 구조물 설치 시 적용하였던 개착식공법으로는 교통장애, 민원발생, 각종 장애물의 보호에 한계가 있으며, 비용의 급격한 증가를 초래하고 있다.

이에 대한 대안으로 비개착식 공법이 연구되었으며 지표면에 영향을 미치지 않으면서 기존 구조물이나 장애물의 하부를 터널식으로 통과하는 방법이 개발되었다. 과거의 터널굴착공법은 소요되는 단면보다 큰 단면을 굴착하여 공간을 확보한 후 소요되는 단면의 구조물을 설치하는 방법이 널리 사용되었으나, 시공 중 발파 등에 의한 소음, 진동, 지표면의 침하 등과 굴착단면의 안정을 유지하기 위한 부수적인 공정이 많아 시공상 많은 문제점을 노출하였다.

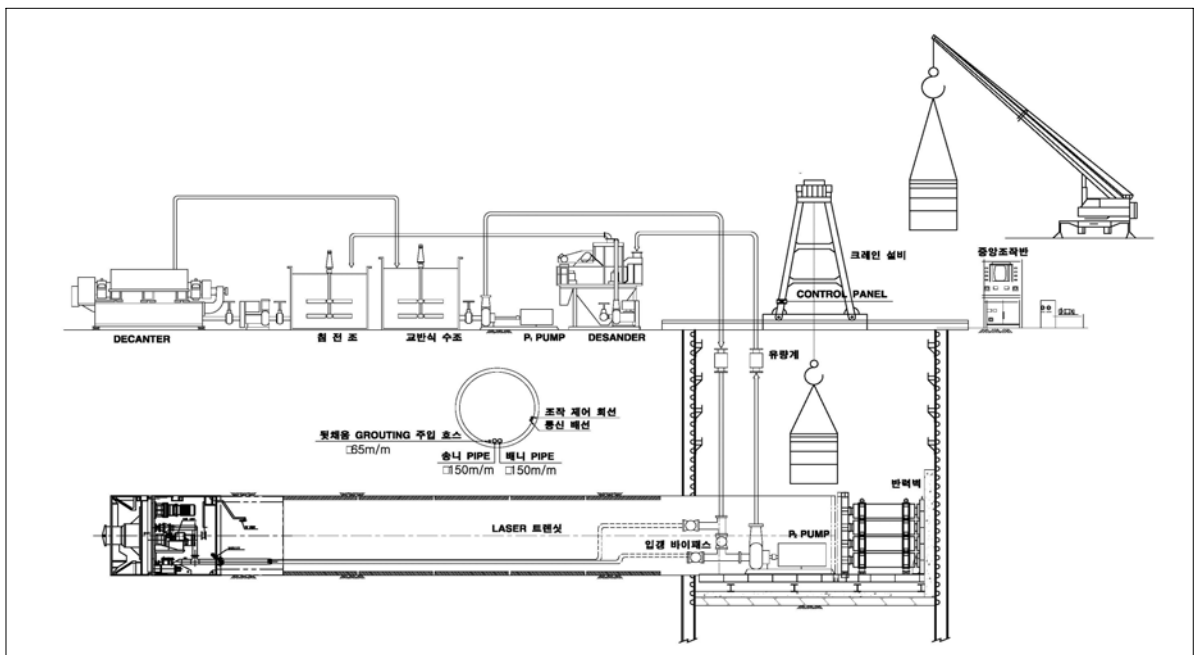
이에 대한 대안으로 개발된 세미셴드(Semi-Shield)공법은 세미셴드기라는 강제 원통형 굴착기계를 이용하여 소요되는 단면만을 굴착하고 후면의 추진관으로 굴착단면의 안정을 유지하는 공법으로 앞서 제시된 많은 시공상의 문제점을 해결할 수 있다.

본문에서는 장애물을 지중으로 통과시킬 때 적용할 수 있는 세미셴드 공법을 소개하고, 설계 시 검토되어야 할 사항들을 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 세미셴드 공법의 개요

### 2.1 세미셴드 공법의 구성

세미셴드 공법은 추진공법의 일종으로 수직구에 추진력을 얻을 수 있는 반력대를 설치 후 기성제품인 추진관을 추진적으로 지중에 관입시키고 관내에서 토사를 굴착, 반출하는 공정을 연속적으로 시행하여 관을 매설하는 공법이다.



[그림 1] 세미셴드공법 개요도

세미셴드 공법은 크게 굴진기 및 추진설비가 설치되는 발진구, 셴드기에 추진력을 전달하고 굴착된 단면의 안정을 유지하며 최종적으로 관로를 형성하는 추진관과 굴진기가 인양되는 도달구로 구성된다.

## 2.2 셴드 공법의 분류

### (1) 일반사항

셴드의 분류는 전면의 구조형식에 따라 개방형 셴드와 밀폐형 셴드로 구분한다. 개방형 셴드는 전면 개방형과 부분 개방형으로 구별된다. 전면 개방형 셴드는 굴착방법에 의해 인력식 셴드와 반기계식 셴드 및 기계식 셴드의 3가지로 분류되며, 부분 개방형 셴드에는 블라인드식 셴드가 있다. 밀폐형 셴드는 토압식과 이수가압식으로 구분되며, 토압식 셴드는 토압셴드와 이토압 셴드로 구분된다.

### (2) 셴드의 형식과 적용토질

〈표 1〉 셴드의 형식과 적용토질

토 총 실드형식			밀 폐 형						개 방 형					
			토 압 식				이 수 식		인력굴착식		반기계굴착식		기계굴착식	
			토 압		이 토 압									
토 질		N치	적 합 성	유의점	적 합 성	유의점	적 합 성	유의점	적 합 성	유의점	적 합 성	유의점	적 합 성	유의점
층 적 점 성 토	부 식 토	0	×	—	△	지반변형	△	지반변형	×	—	×	—	×	
	실트,점토	0-2	○	—	○	—	○	—	△	지반변형	×	—	×	
	사질실트 사질점토	0-5	○	—	○	—	○	—	△	지반변형	×	—	×	
		5-10	○	—	○	—	○	—	△	지반변형	△	지반변형	△	지하수압
홍 적 성 점 토	흙,점토	10-2 0	△	굴착도에 의한 폐쇄	○	—	○	—	○	—	○	—	△	굴착도에 의한 파쇄
	사 질 흙 사질점토	15-2 5	△	굴착도에 의한 폐쇄	○	—	○	—	○	—	○	—	○	—
		25이 상	△	굴착도에 의한 폐쇄	○	—	○	—	△	굴착기계	○	—	○	—
이암(풍화암)		50이 상	△	굴착도에 의한 폐쇄	△	BIT마모	△	BIT마모	×	—	△	지하수압	△	지하수압
사 질 토	실트점토 혼합모래	10-1 5	○	—	○	—	○	—	△	지하수압	△	지하수압	△	지하수압
	느슨한 모래	10-3 0	△	세립분 함유량	○	—	○	—	△	지하수압	×	—	△	지하수압
	단단한 모래	30이 상	△	세립분 함유량	○	—	○	—	△	지하수압	△	지하수압	△	지하수압
사 력 옥 석	느슨한 사력	10-4 0	△	세립분 함유량	○	—	○	—	△	지하수압	△	지하수압	△	지하수압
	고결사력	40이 상	△	지하수압	○	—	○	—	△	지하수압	△	지하수압	△	BIT마모
	옥석혼합사력	—	△	스크류컨베 이어 장착	○	—	△	BIT장착	△	굴착작업의 안전성	△	지하수압	△	BIT마모
	전석옥석	—	△	BIT장착	△	BIT장착	△	자갈의 파쇄	△	자갈의 파쇄	△	지하수압	×	—

\* 적합성의 기호는 아래와 같다.

○ : 원칙적으로 토질조건에 적합하다.    × : 원칙적으로 토질조건에 적합하지 않다.

△ : 적용에 있어서 보조공법, 보조기계 등의 점토가 필요함.

### (3) 각 쉘드의 특징

가. 개방형 쉘드 : 전면 개방형 쉘드는 터널 막장면의 전부 또는 대부분이 개방되어 있는 쉘드를 말하여, 막장의 자립을 전제로 하고 있다. 자립하지 않는 막장에 대해서는 보조공법에 의해, 자립조건을 만족시켜야 한다. 부분 개방형 쉘드는 막장의 대부분이 밀폐되어 있지만, 그 일부에 토사 유입구를 설치하여 토사의 유입을 조절하는 것에 의해 막장의 안정을 유지하는 구조로 되어 있다.

①인력식 쉘드 : 토사의 굴착을 쇼벨, 곡괭이, 브레카 등에 의해 인력으로 작업하며, 벨트컨베이어와 굴착토 운반차 등으로 배토하는 쉘드 공법이다. 이 쉘드에는 토질의 상태에 따라, 후드(hood) 기타 토류공 및 토류 등 막장의 안정 기구를 설치하는 것이 바람직하다.

②반기계식 쉘드 : 인력식 쉘드에 굴착기, 적입기, 굴착적입겸용기 등을 조립한 것으로 굴착중의 막장은 크게 개방되어 있는 것이 많고 굴착중의 토류는 곤란하다.

③기계식 쉘드 : 전면에 커트헤드를 장착하여 토사의 굴착을 기계적인 연속작업으로 하는 쉘드이다. 커트헤드 등에 의해 어느 정도의 토류효과를 기대할 수 있다.

④블라인드식 쉘드 : 막장면을 밀폐하여, 그 일부에 조절 가능한 토사 유입구를 장착한 쉘드를 말한다. 이 쉘드는 쉘드 전면을 지반에 관입시켜 관입부분의 토사를 소성유동화하여 토사 유입구에 의해 배토하는 것이기 때문에

소성유동화 상태의 배토저항을 조절하는 것에 의해 막장의 안정을 꾀한다.

나. 밀폐형 쉘드 : 격벽을 갖고 있으며 막장과 격벽 사이의 챔버(chamber)내를 토사 또는 이수로 채우고, 토사 또는 이수에 충분한 압력을 유지시켜 막장의 안정을 도모하는 구조의 기계 굴착식 쉘드를 말한다.

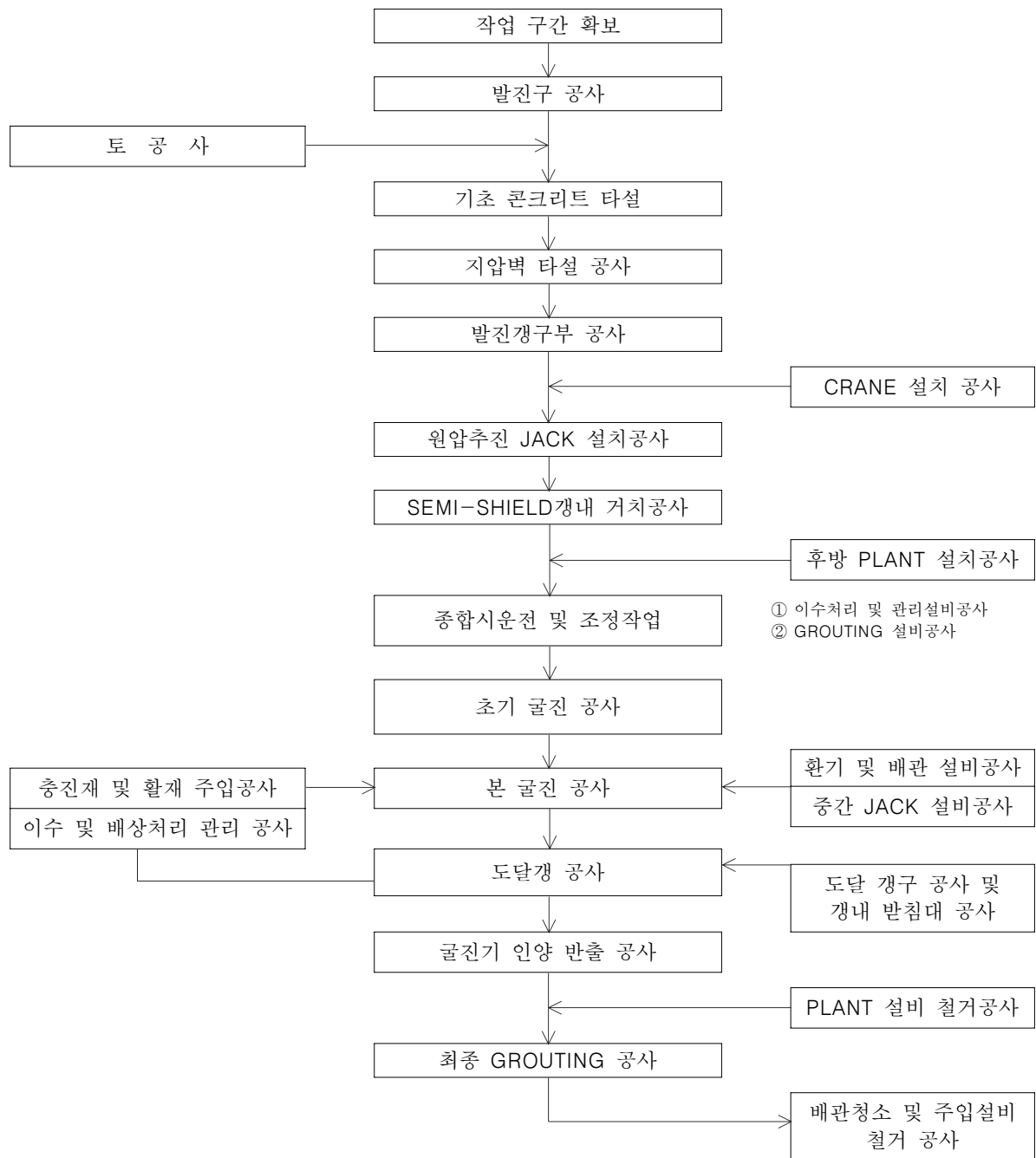
① 토압식 쉘드 : 굴착토를 이토화 시켜 소정의 압력을 가하여 막장의 안정을 꾀하는 것으로 혼합기구, 굴착토를 배출하는 배토기구, 굴착토의 압력을 일정하게 유지하는 제어기구 등의 설비를 장착한 쉘드를 말한다.

토압 쉘드 : 회전커터헤드로 굴착, 교반한 토사를 막장과 쉘드격벽 사이에 충만 시켜 쉘드의 추진력에 의해 굴착토를 가압하여 막장전체에 작용시켜 막장의 안정을 유지하면서 스크류컨베이어 등으로 배토하는 쉘드를 말한다.

이토압 쉘드 : 첨가재를 주입하면서 회전커터로 굴착한 토사와 첨가재를 강제적으로 교반하여 토사를 소성유동화 시켜 토압쉘드와 같은 방법으로 막장의 안정을 유지하면서 스크류컨베이어 등으로 배토하는 쉘드를 말한다.

② 이수가압식 쉘드 : 이수에 소정의 압력을 가하여 막장의 안정을 유지하며, 이수의 순환에 의해 굴착토의 액상수송을 시행하는 방식이다. 지반을 굴착하는 굴착기구, 이수를 순환시켜 이수에 일정한 압력을 가하기 위한 설비, 굴착 수송된 이수를 분리하여 이수를 소정의 소성상태로 조정하기 위한 설비, 이수처리설비를 구비한 쉘드이다.

(4) 시공흐름도



[그림 2] 시공흐름도

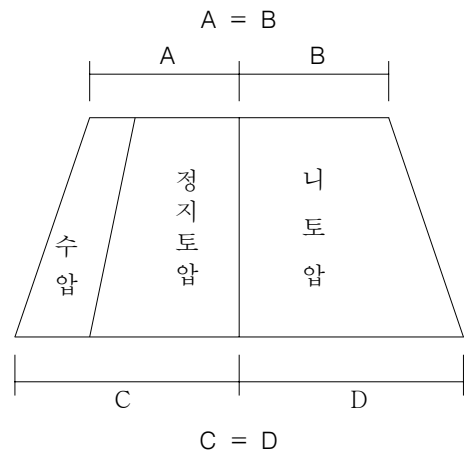
### 2.3 막장의 안정

세미셴드 공법은 최소한의 굴착면으로 공사를 완료하는 공법으로 시공시 가장 중요한 요소는 막장붕괴를 방지하는 것으로 붕괴방지를

위해 막장에 작용하는 수압과 토압을 굴착토나 이수압으로 대응하도록 유지 관리하는 것이다. 막장의 안정을 유지하는 방법으로는 굴진기 후방에 간벽을 만들어 작니토실로 하고, 굴착전

토사를 작니토재로써 주입하여 혼합해서 굴착 토사를 불투수성과 소성유동성을 가진 이토로 변환시켜 작니토실내와 스크류콘베이어 내를 가득 채우고, 이 상태를 계속 유지시키며 추진 JACK의 추진력에 의해 작니토실내의 니토에 니토압을 발생시켜 막장의 토압과 지하수압에 대응하고, 실드의 굴진량과 배토량의 밸런스를 유지하면서 굴진해 나가는 토압식추진공법과 밀폐된 막장측에 이수를 가압해서 보내어 막장의 안정을 도모하면서, 회전 컷타에 의해 굴착된 토사를 이수와 함께 지상으로 유체수송하는 이수가압식공법이 대표적이다.

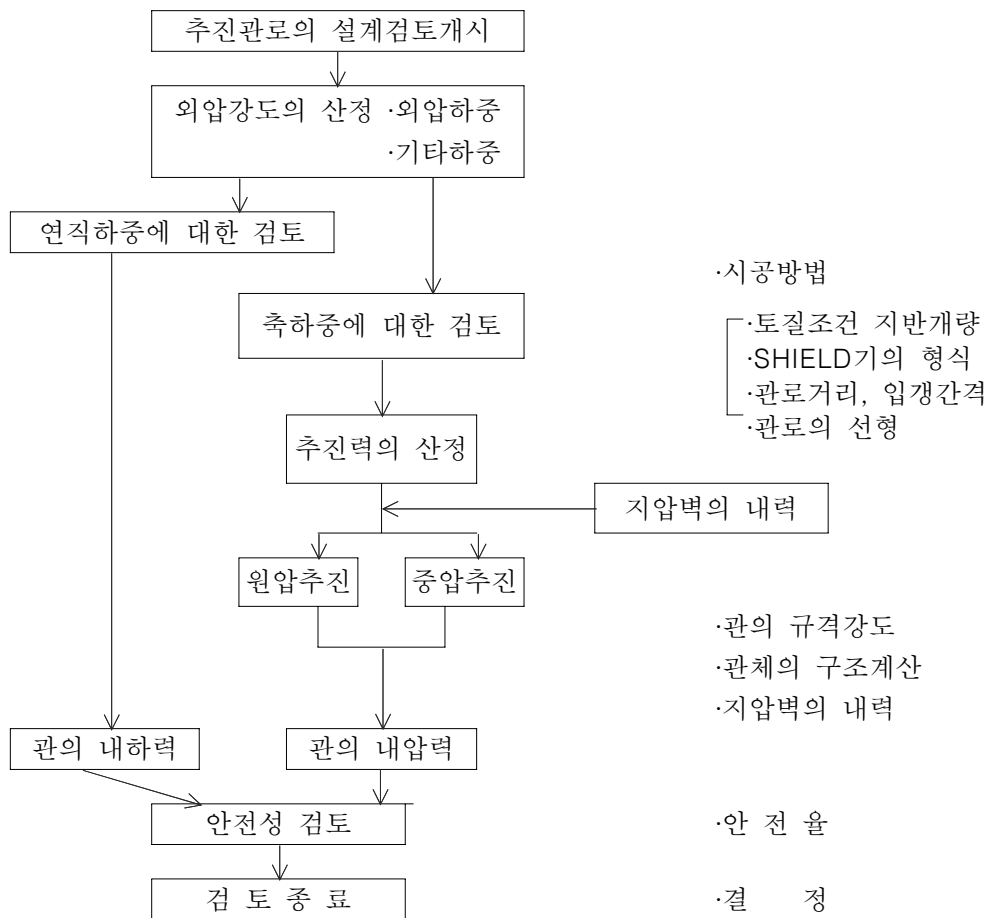
이때 막장은 다음과 같이 안정을 유지한다.  
니토압 or 이수압 = 정지토압 + 지하수압



[그림 3] 토압안정 개념도

### 3. 세미실드의 설계

#### 3.1설계



[그림 4] 추진관로의 설계순서

일반적으로 설계에는 다음 사항이 검토되어 진다.

- 매설 환경조건의 조사
- 공법의 선정 (설비 및 보조공법 포함)
- 관 재료의 선정
- 설계 (매설조건, 관에 작용하는 하중의 산정, 안정성의 검토)

#### (1) 추진관로의 설계순서

추진관로의 검토는 연직하중(토압하중, 활하중)과 추진 JACK에 의한 추진방향 하중(추진력)에 의해 결정되어지는데, 관의 추진력에 대응하는 내압력에 대한 검토가 설계의 요점이 된다.

### 3.2 추진관에 작용하는 연직하중과 내하력

#### (1) 관에 작용하는 연직하중

추진관에 작용하는 연직하중에는 정적인 하중인 토압하중과 상부에 재하되는 활하중이 있고 이들은 다음 식과 같이 구한다.

$$q = W + P \quad \text{-----}(식 1)$$

여기서,

$q$  : 관에 작용하는 연직하중( $t/m^2$ )

$W$  : 토압하중( $t/m^2$ )

$P$  : 활하중( $t/m^2$ )

#### (2) 토압하중

관에 작용하는 토압하중은 Terzaghi의 공식을 사용한다.

추진관에 걸리는 토압하중은 다음과 같이 구한다.

$$W = \left( \gamma - \frac{2C}{B_e} \right) C_e \quad \text{-----}(식 2)$$

$$C_e = \frac{1}{\frac{2K\mu}{B_e}} \left[ 1 - e^{-\left(\frac{2K\mu}{B_e}\right)H} \right]$$

$$B_e = B_t \left[ \frac{1 + \sin(45^\circ - \frac{\phi}{2})}{\cos(45^\circ - \frac{\phi}{2})} \right]$$

여기서,

$W$  : 연직 토압 ( $t/m^2$ )

$\gamma$  : 흙의 단위 체적 중량 ( $t/m^3$ )

$C$  : 흙의 점착력 ( $t/m^2$ )

$B_e$  : 관 위의 느슨해진 흙의 폭 (m)

$C_e$  : Terzaghi에 의한 토압 하중 계수 (m)

$B_t$  : 터널의 직경 ( $B_c + 0.1$ , m)

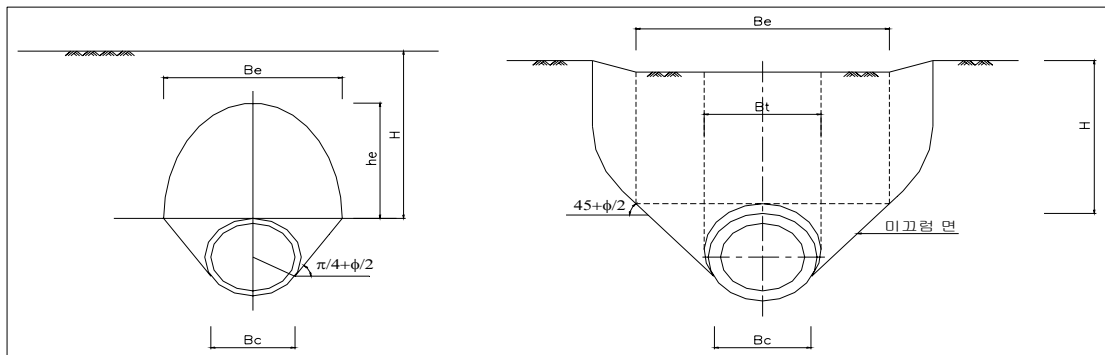
$B_c$  : 추진 관의 외경 (m)

$K$  : Terzaghi 의 측면 토압 계수  
(일반적으로  $K=1$ 로 함)

$\mu$  : 흙의 내부 마찰 계수 ( $=\tan \phi$ )

$\phi$  : 흙의 내부 마찰각 (°)

$H$  : 토 피 (m)



Terzaghi의 터널형 토압하중상태

추진관의 토압하중상태

[그림 5] Terzaghi의 터널형 토압하중상태와 추진관의 토압하중상태

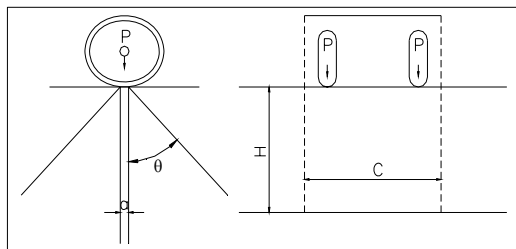
### (3) 활하중

활하중에 의한 연직토압은 하수도시설기준(환경부)을 적용하고 도로부 활하중으로 DB24하중을 재하한다.

$$p = \frac{2P(1+i)}{C(a+2H\tan\theta)} \quad \text{-----}(식 3)$$

여기서,

- p : 활하중 (kg/cm<sup>2</sup>)
- P : 후륜하중 (DB-24 : 9600kg)
- a : 차륜접지길이 (=20cm)
- C : 차륜점유폭 (=275cm)
- θ : 분포각 (=45°)
- i : 충격계수 (아래 표 참조)
- H : 토피 (cm)



[그림 6] 활하중 분포도

<표 2> 충격계수

H (m)	H ≤ 1.5	1.5 ≤ H ≤ 6.5	H ≥ 6.5
i	0.5	0.65 - 0.1H	0

### (4) 내하력

연직하중에 대항하는 내하력은 다음 공식에 의해 구하여진다.

$$q_y = \frac{M_y}{0.275 r^2} \quad \text{-----}(식 4)$$

여기서,

- q<sub>y</sub> : 연직 방향 외압하중에 대한 내하력 (t/m<sup>2</sup>)
- M<sub>y</sub> : 관의 균열보장모멘트 (t/m)
- r : 관의 평균(관 두께중심)반경 (m)

관이 갖는 저항모멘트 M<sub>y</sub>은

$$M_y = 0.318Pr + 0.29Wr$$

여기서,

- P : 외압강도(규격하중) (t/m)
- W : 관의 중량 (t/m)

관에 작용하는 굽힘모멘트 M은

$$M = Kqr^2$$

여기서,

- K : 기초에 의하여 결정되는 지승계수 (120°, K=0.275)
- q : 연직방향의 등분포하중 (t/m<sup>2</sup>)

상기공식에서 M<sub>y</sub>을 M으로 치환하여 q로 정리하면 다음과 같다.

$$q = \frac{0.318Pr + 0.239Wr}{Kr^2} = \frac{M_y}{Kr^2} = \frac{M_y}{0.275r^2}$$

### (5) 관의 안전성

관의 연직방향의 외압하중에 대항하는 안전성에 대하여는 식(1)에서 구한 전연직하중과 식(4)에서 구한 관 내하력의 비로 관계식을 나타내어 관의 안전여부를 판단하였다.

$$\frac{q_y}{q} \geq 1.2$$

만약, 위의 관계가 성립하지 않을 경우는 재검토되어야 한다.



### 3.3 관에 작용하는 축방향하중과 내압강도

#### (1) 추진력

이수가압식 추진공법에서는 하수도 협회식에서 이수식 추진공법의 특이성을 고려하여 수정한 다음 식을 이용한다.

$$F = F_0 + \pi \cdot B_c \cdot \tau_a \cdot L$$

$$\tau_a = C_a + \sigma' \cdot \mu'$$

$$\sigma' = \alpha \cdot q + \frac{2 \cdot W}{\pi^2(B_c - t)}$$

$$\mu' = \tan \delta$$

여기서,

$F$  : 총 추진력 (tf)

$F_0$  : 초기 저항력 (tf)  $= (P_e + P_w)(B_c/2)^2 \cdot \pi$

$P_e$  : 막장 단위 면적당 추력 (tf/m<sup>2</sup>)  
(=일반적으로 15tf/m<sup>2</sup>)

$P_w$  : 니수압 (tf/m<sup>2</sup>)

$B_c$  : 관 외경 (m)

$\tau_a$  : 관과 흙의 전단강도 (tf/m<sup>2</sup>)

$L$  : 추진연장 (m)

$C_a$  : 관과 흙의 부착력 (tf/m<sup>2</sup>)

$\sigma'$  : 관에 작용하는 법선방향의 압력 (tf/m<sup>2</sup>)

$\mu'$  : 관과 흙의 마찰계수

$\alpha$  : 관에 작용하는 법선방향압력을 나타내는 계수

$q$  : 관에 걸리는 등분포하중 (tf/m<sup>2</sup>)

$W$  : 관의 중량 (tf/m)

$t$  : 관의 두께 (m)

$\delta$  : 관과 흙의 마찰각 (°)

관과 흙의 전단강도는 상행량에 영향을 받으나, 활재 주입에 의해 저감시킬 수 있다.

#### (2) 관의 내압강도

관의 추진방향의 내압강도는

$$F_a = 10 \sigma_{ma} A_e$$

여기서,

$F_a$  : 내압강도 (t)

$\sigma_{ma}$  : 콘크리트의 허용평균 압축응력도 (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_e$  : 관의 유효단면적 (m<sup>2</sup>)

콘크리트 압축강도가( $\sigma_c$ ) 500kg/cm<sup>2</sup>의 경우  $\sigma_{ma}$ 은 130kg/cm<sup>2</sup>, 700kg/cm<sup>2</sup>의 경우는 일반적으로  $\sigma_{ma} = 175\text{kg/cm}^2$ 로 본다.

#### (3) 관의 안전성

추진방향의 하중에 대응하는 관의 안전성은 기본적으로 다음 식을 만족해야 한다.

$$F_a > F$$

여기서,

$F$  : 총 추진력 (t)

$F_a$  : 내압강도 (t)

그러나 전술한 관의 내압강도는 추진력이 관 단면에 균등하게 작용할 때의 경우에만 만족하고, 시공 중에 추진관에 JACK추력이 균등하게 작용하지 않을 때는 축방향 하중이외의 편심하중에 대해서도 고려해야 한다.

### 3.4 허용 추진연장(추진설비)의 검토

추진설비는 필요 추진력, 관의 허용 내하력, 추진JACK추력을 비교 검토하여 결정한다.

#### (1) 원압추진 공법의 장비추력

가. 원압추진 공법의 장비추력

추진설비의 장비추력(J)은 JACK의 유효추력을 고려하여 40%의 여유를 준다.

JACK의 추력은 다음 식에서 구하나, 최대배치대수에서 장비추력은 제한된다.

$$J \geq F \times 1.4$$

여기서,

F : 총 추진력 (t)

J : JACK 용량 (t)

나. 원압 허용추진연장 ( $L_a$ )

$$L_a = \frac{F_m - F_o}{f_0} \text{ (m)}$$

여기서,

$F_{ma}$  :  $F_{me}$ 와  $F_a$ 을 비교하여 적은 값

$F_{me}$  : 원압JACK 최대 배치유효추력  
( $=F_m/1.4$ )

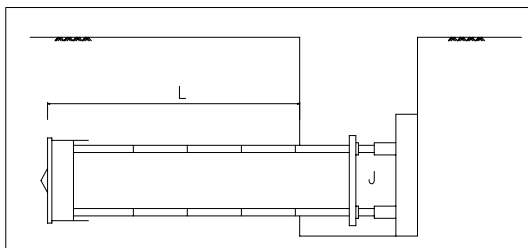
$F_m$  : 원압JACK 최대 배치추력

$f_0$  :  $\pi \times Bc \times \tau a$  (tf/m)

다. 추진연장 L(m)과의 비교

$L_a \geq L$  의 경우 원압JACK 설비로서 추진가능

$L_a < L$  의 경우 중압공법으로 분할 검토



[그림 7] 추진연장 개념도

(2) 중압공법의 추진설비

가. 중압공법의 관의 내하력

중압공법의 허용 내하력( $F_m$ )은 관의 허용 내하

력과 같다.

$$F_m = F_a \text{ (t)}$$

나. 중압공법의 장비추력

중압추진설비의 추력( $J_n$ )은 JACK의 유효추력을 고려하여 20%의 여유를 두어 다음식과 같이 구한다.

$$J_n \geq F_n \times 1.2$$

여기서,

$F_n$  : 중압 추진력

다. 원압JACK의 허용추진연장 ( $L_m$ )

$$L_m = \frac{F_{ma}}{f_0} \text{ (m)}$$

라. 선단중압 JACK의 허용추진연장 ( $L_1$ )

$L_1$ 은  $L_n$ 과  $L_a$ 을 비교하여 작은 값 사용

$$L_n = \frac{F_{na} - F_o}{f_0} \text{ (m)}$$

여기서,

$L_n$  : 선단중압JACK의 추진연장 (m)

$F_{na}$  :  $J_{ne}$ 와  $F_m$ 을 비교하여 적은 값

$J_{ne}$  : 중압JACK 최대 배치 유효추력  
(t) ( $=J_n/1.2$ )

$J_n$  : 중압JACK 최대 배치 추력

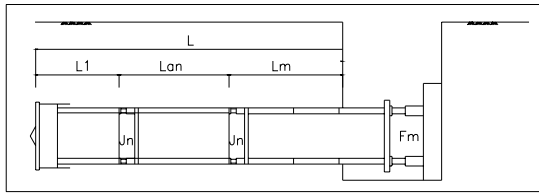
$J_{ne}$ ,  $J_n$ 에 대해서는 중압추진설비 참고

마. 중간중압 허용추진연장 ( $L_{an}$ )

$$L_{an} = \frac{F_{ma}}{f_0} \text{ (m)}$$

바. 중간단수 (M)

$$M = \frac{L - (L_m + L_1)}{L_{an}} + 1 \text{ (단)}$$



[그림 8] 중압추진 개념도

### 3.5 반력벽 검토

추진력이 결정되면 추진 반력을 얻기 위해 작업 구내 반력벽을 설치하며, 벽체 뒷면의 지반내력과 반력벽의 저항력에 의해 반력이 얻어진다. 지압벽 뒤의 수동토압은 Rankine의 식으로 산출한다.

$$R = \alpha B (\gamma H^2 \frac{Kp}{2} + 2CH\sqrt{Kp} + \gamma hHKp)$$

여기서,

R : 반력 (t)

$\alpha$  : 계수 (1.5~2.5 통상 2.0 채택)

B : 지압벽의 폭

$\gamma$  : 흙의 단위 체적중량 (t/m<sup>3</sup>)

H : 지압벽의 높이 (m)

Kp: Rankine의 수동 토압 계수

$$[\tan^2(45^\circ + \frac{\theta}{2})]$$

$\theta$  : 흙의 내부 마찰각 (°)

C : 흙의 점착력 (t/m<sup>2</sup>)

h : 지표에서 지압벽 상단까지의 심도 (m)

◦ 무근콘크리트의 경우

$$M_r = 0.28 b t^2 \sigma_{ct}$$

여기서,

$M_r$  : 지압벽의 저항 Moment (kg · cm)

b : 지압벽의 폭 (cm)

t : 지압벽의 두께 (cm)

$\sigma_{ct}$  : 콘크리트의 인장강도 (kg/cm<sup>2</sup>)

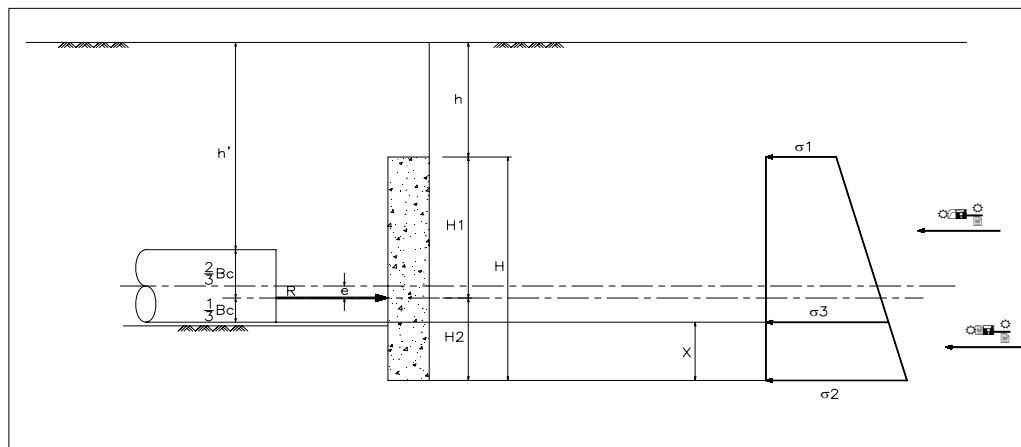
$$(\sigma_{ct} = \frac{\sigma_c}{10} \sim \frac{\sigma_c}{15})$$

◦ 철근콘크리트의 경우

무근일 때 저항모멘트가 부족할 경우 또는 반력벽의 두께가 너무 두꺼울 때는 철근 등에 의하여 보강하는 것으로 한다.

$$M_r = j d A_s \sigma_t$$

여기서,



[그림 9] 지압벽의 하중상태

- j : 전 압축응력의 합력의 작용점에서  
인장철근단면의 도심까지의 거리와  
유효높이와의 비
- d : 유효높이
- $A_s$  : 인장철근의 단면적 ( $\text{cm}^2$ )
- $\sigma_t$  : 철근의 항복점강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

### 3.6 추진 작업구

- (1) 추진작업구 설치시 고려사항
- 교통사정 및 시공환경
  - 잔토반출 및 추진기자재 반출, 입
  - 작업구 주변의 갱외설비 및 자재 적치장
  - 기타

#### (2) 작업구 축조 공법

추진공법에 이용되는 작업구의 축조공법에는 대표적인 것으로서 H-Pile 토류 공법, Sheet-Pile 공법, 라이너 플레이트 공법 등 3가지 공법이 있다.

#### 가. H-Pile 토류 공법

H-Pile 토류 공법은 널리 알려진 공법으로 H-Pile을 토류선에 연하여 세운 후 굴삭과 병행하여 횡널판을 끼워 넣고 토류시키는 공법이다. H-Pile로는 레일, I-형강, H-형강 등이 이용되며, 횡널판으로는 목재판이 일반적으로 사용된다.

H-Pile의 시공은 타입 방식과 천공 건입 방식이 있으나, 공해방지측면에서 천공 건입 방식이 많이 사용되는 경향이 있다. 이 천공 건입에서는 공벽의 붕괴방지 대책이나 건입 후 되메우기에 주의하고, 주변 굴착지반을 느슨하게 하지 않고 시공할 필요가 있다. 따라서 로움이나 점토 등과 같이 점착성이 있거나 자립성이 있는 지반에서 지하수에 의한 문제가 없는 것이 적용 조건이다.

#### 나. Sheet-Pile공법

Sheet-Pile 공법은 차수성을 필요로 하는 지반에서 적용되며, 설계 조건 등에 의해 필요한 단면형상의 Sheet-Pile이 이용된다.

Sheet-Pile의 시공은 타입 방식과 압입 방식이 있으나, H-Pile공법과 같이 공해 방지측면에서 압입 방식을 많이 쓴다. 시공에 대해서는 H-파 일공법의 건입 방법에 준하는 외에 이음의 연속성에 주의할 필요가 있다.

#### 다. 라이너 플레이트(Liner Plate) 공법

이 공법은 파형(波形)의 강판제 라이너 플레이트를 굴착하면서 1령씩 조립하여 토류하는 것으로서 심초 공법(深礎工法)의 일종이다. 시공은 인력 또는 기계와의 병용으로 굴착하면서 시공되기 때문에 굴착지반이 자립할 필요가 있고, 특히 연약층이나 지하수가 많은 지역에서는 지반개량이 필요하다. 라이너 플레이트 공법은 H-Pile 공법이나 Sheet-Pile공법에 비하여, 작업기지가 넓을 필요가 없거나 소음이나 진동이 적음 등의 이유로 소규모 및 도심지 작업구에 많이 적용되고 있다.

### 3.7 추진 관

추진관의 종류에는 철근 콘크리트관, 강관, DCIP주철관, GLASS유지 보강 콘크리트관 등이 있으나, 현재 철근 콘크리트관이 보편적으로 사용되고 있다.

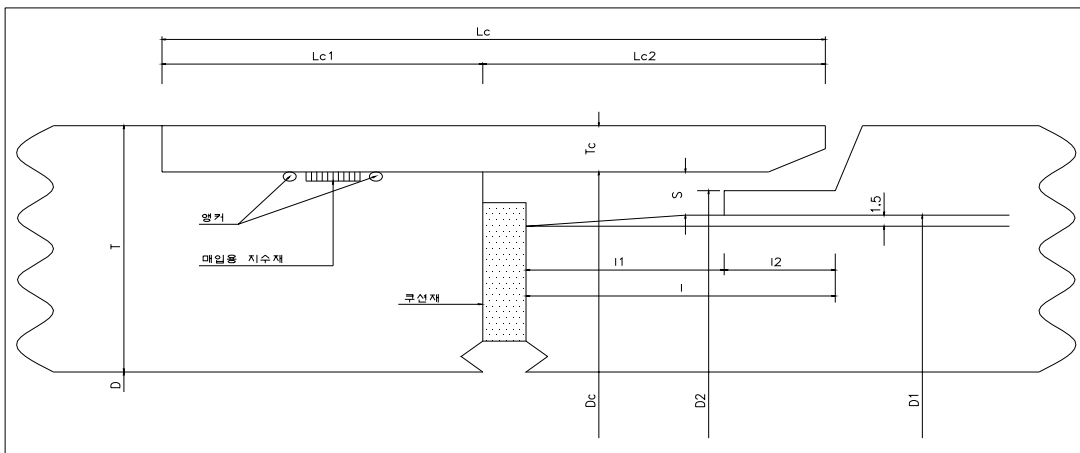
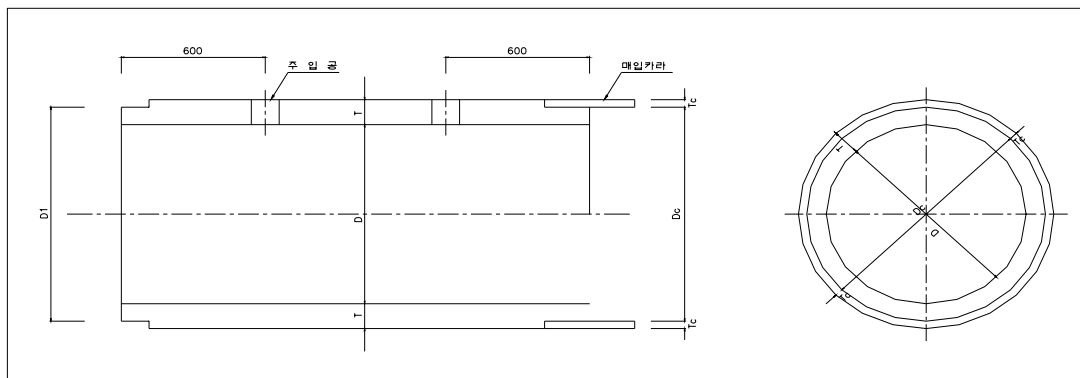
#### (1) 관의 종류

관의 종류는 표준형관과 중압 추진시에 중압장치를 장착할 수 있는 중압관으로 분류하며, 외압강도에 따라 1종 및 2종으로 구분한다.

〈표3〉관의 종류

칼라 종류별	종 류		강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	호 칭 경
E 형 또는 NS 형	표 준 형	1종 - 500	500	φ 300 ~ φ 3000
		1종 - 700	700	
		2종 - 700	700	
		2종 - 500	500	
	중 압 관	S 형		φ 900 ~ φ 3000
		T 형	1종-500	
			2종-500	

(2) 형상 및 치수



[그림10] 추진관 및 연결부 상세도

〈표4〉관의 치수

직 경	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	두께	유효 길이	$\ell_1$	$\ell_2$	$\ell$	L <sub>C1</sub>	L <sub>C2</sub>	L <sub>C</sub>	T <sub>C</sub>	D <sub>C</sub>	참고중량 (kg)
800	933	942	80	2500	60	72	132	120	130	250	4.5	951	1330
900	1053	1062	90	2500	60	72	132	120	130	250	4.5	1071	1670
1000	1173	1182	100	2500	60	72	132	120	130	250	4.5	1191	2060
1100	1283	1292	105	2500	60	72	132	120	130	250	4.5	1301	2380
1200	1403	1412	115	2500	60	72	132	120	130	250	4.5	1421	2840
1350	1563	1577	125	2500	60	72	132	120	130	250	6	1588	3460
1500	1743	1757	140	2500	60	72	132	120	130	250	6	1768	4310
1650	1913	1927	150	2500	60	72	132	120	130	250	6	1938	5060
1800	2083	2097	160	2430	60	72	132	120	130	250	6	2108	5890
2000	2313	2327	175	2430	60	72	132	120	130	250	6	2338	7140
2200	2543	2557	190	2430	60	72	132	120	130	250	6	2568	8520
2400	2763	2779	205	2430	70	82	152	150	150	300	9	2792	10100
2600	2993	3009	220	2430	70	82	152	150	150	300	9	3022	11700
2800	3223	3239	235	2430	70	82	152	150	150	300	9	3252	13400
3000	3453	3469	250	2430	70	82	152	150	150	300	9	3482	15300

#### 4. 결 론

도시의 발달로 지상의 공간 활용에 제한이 많아지고 지하 공간 활용의 필요성이 점차로 증가하고 있는 추세이나 기존시설물에 의한 제한이나 교통장애, 민원의 발생 등으로 개발에 많은 어려움이 따르고 있다. 특히 상하수도, 전력구, 통신구, 가스배관 등 선형이 긴 구조물의 설치시 개착식공법의 적용은 매우 어려운 실정이다. 이때 상부에 미치는 영향을 최소화 하며 적용 가능한 세미셴드 공법을 소개하고 설계에 포함되어 할 사항을 본문에서 개략적으로 살펴보았다.

세미셴드 설계시는 본문에서 제시된 하중산정, 추진관의 내하력산정, 추진력 및 중압추진력

산정, 반력벽 및 작업구 설계 등 외에도 토질조건에 따른 막장의 안정유지대책, 셸드기중의 선정 등 많은 내용이 추가적으로 검토되고 결정되어야 한다.

현재 세미셴드 공법에 대한 상세 설계능력은 아직 부족한 점이 많아 전문시공업체의 자료에 의지하는 실정으로 앞으로 경험과 기술을 적극적으로 축적하여 독자적인 설계능력을 확보하는 것이 앞으로의 과제이다.

## 참 고 문 헌

- [1] “SEMI-SHIELD공법”, 동아지질, 한국 S.E.C, 1995
- [2] “추진공법강좌”, 일본하수도 추진관거 기술 협회, 1994
- [3] “추진공법 설계적산요령(이수식추진공법 편)”, 일본하수도 추진관거 기술 협회, 1994
- [4] “하수도용 설계적산요령-추진공법편”, 사단법인 일본하수도협회, 1998
- [5] “터널설계기준 2007”, 한국 터널 공학회, 2007