

더블실드TBM 공법을 적용한 안정적인 한강하저터널 굴착

Stable Excavation of Tunnel by Double Shield TBM Method



김형숙
한국수자원공사

1. 서론

한강하류1차사업의 수로터널인 한강하저터널(성산대교 남단~북단, 1.3 km)은 한강하저라는 많은 지하수와 발달한 절리에 적극적으로 대응하고자 안정성에 유리하

고, 별도 차수대책이 필요없는 실드TBM 공법을 선정, 적용되었다. 또한 한강주변의 발전수직구 위치가 부족하였고, 인허가 기간의 장기간 소요로 잔여공기가 26개월밖에 남지 않은 상황에서 터널공사를 착수하게 되었다. 그러나 사전 상세한 기술검토를 통하여 모든 공정에 최선을

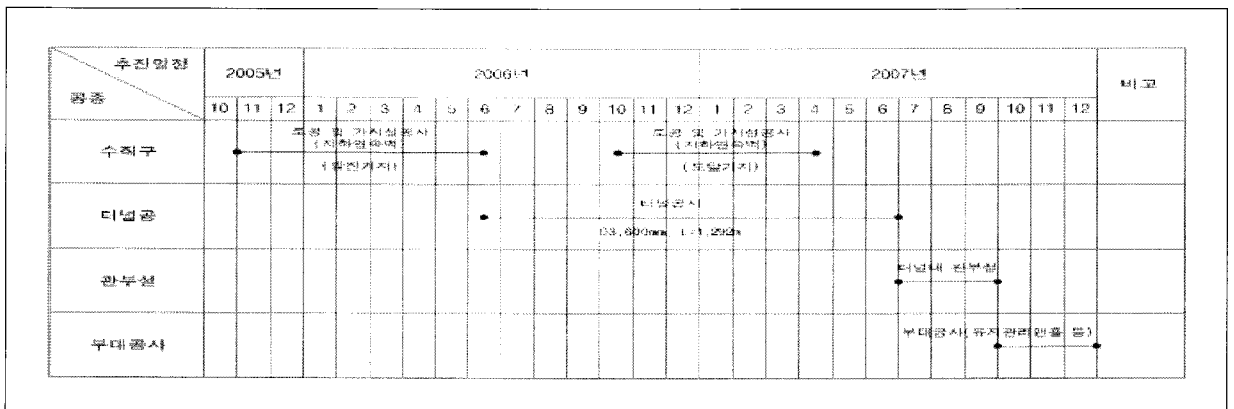
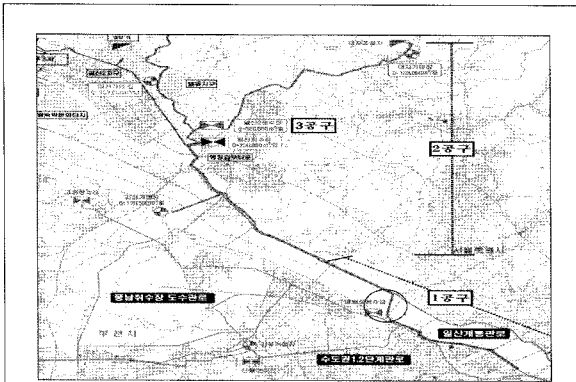


그림 1. 터널예정공정

다한 결과 터널관통 및 통수를 적기에 시행할 수 있었다. 금회 논고에서는 한강하저터널에 적용된 이수가압식 쉴드 TBM 공법 및 관부설사례등을 소개하고자 한다.

2. 한강하저터널 현황

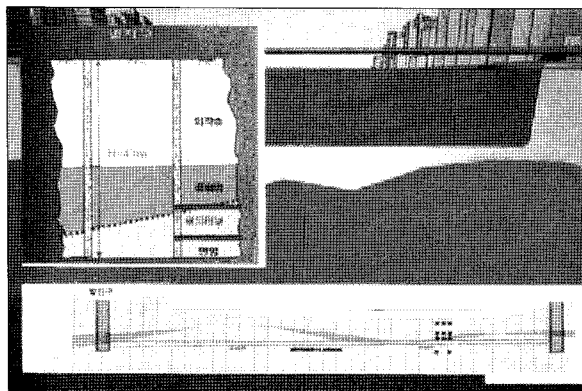
2.1 터널제원



- 쉴드장비외경 : 3,765 mm (커터외경 3,821 mm)
- 세그먼트외경 : 3,600 mm
- 연 장 : 1.292 km

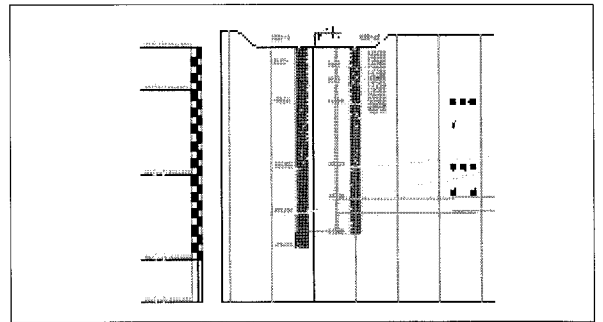
- 공시명 : 한강하류권급수체계구축1차사업 제1공구 도수시설공사
- 시공사 : SK건설(주), 특수건설(주)

2.2 터널 평면 및 종단계획



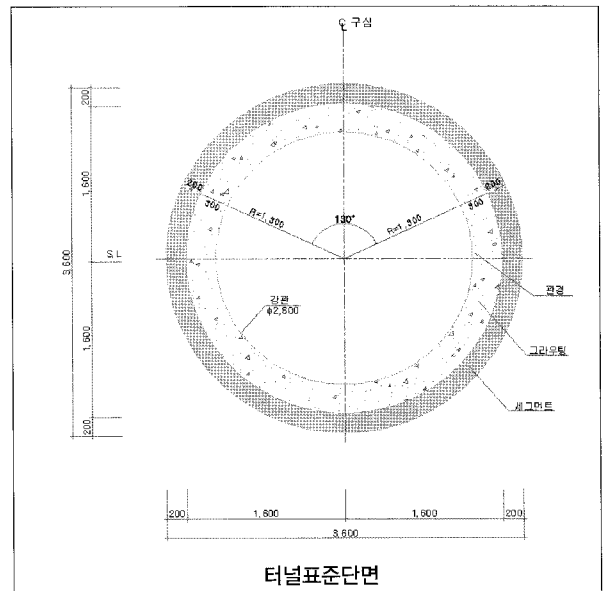
2.3 지층별 굴진연장

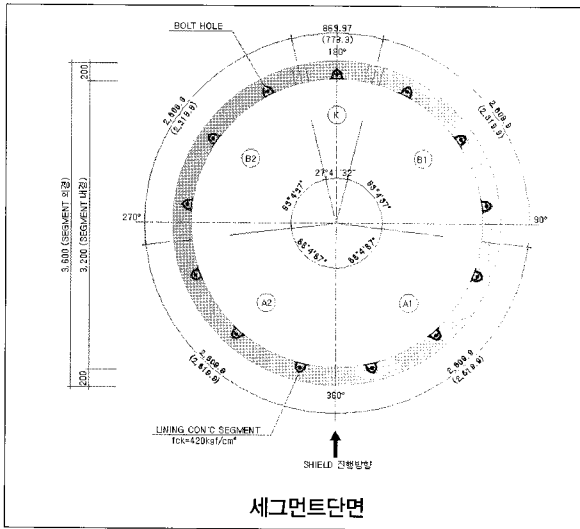
성산대교 남단에 슬러리월공법을 이용하여 벽체조성하여 직경 18 m의 원형 발진 수직구를 굴착 후 장비를 투입, 한강하저의 연암지반을 통과하도록 설계되었다.



구분	계	토사	풍화암	연암	비고
초기굴진	60			60	
본 굴진	1226.6	2.4	70.6	1153.6	
도달굴진	5.0			5.0	
계	1291.6	2.4	70.6	1218.6	

2.4 표준단면도





토압을 견딜 수 있도록 세그먼트 등 보강재를 투입하여 안전하게 터널굴착을 하는 공법으로, 본 터널은 파쇄대 및 단층대에 대응이 확실하고 지하수 유입차단으로 별도의 차수대책이 필요없는 이수기압식실드TBM을 적용하였다. 구조는 전면에서 굴착을 담당하는 커터헤드부, 이수를 채워 막장을 지지하는 흙막이 역할과 굴착토사가 이수와 혼합되어 배니관을 통해 배출되는 공간인 후드부, 실드기를 구동시키는 거더부, 터널내부에 세그먼트를 복공하여 터널을 완성시키는 테일부로 나누어져 있다. 실드기 전면의 커터 헤드가 회전하면서 토사나 암반을 굴착하고, 이때 굴착된 토사는 이수와 함께 파이프를 통해 지상으로 배출된다. 세그먼트의 폭만큼 굴착이 되면 추진 잭을 당기고, 그 자리에 수직구로부터 운반된 세그먼트를 조립하게 되는데, 조립은 바닥부터 좌우로 해나가며, 마지막에 키 세그먼트를 밀어 넣어 한 개의 링을 완성하게 된다. 이렇게 해서 링이 완성되면, 다시 추진잭으로 세그먼트

3. 실드TBM공법

실드TBM공법이란 터널굴착시 굴착상부및 막장부분의

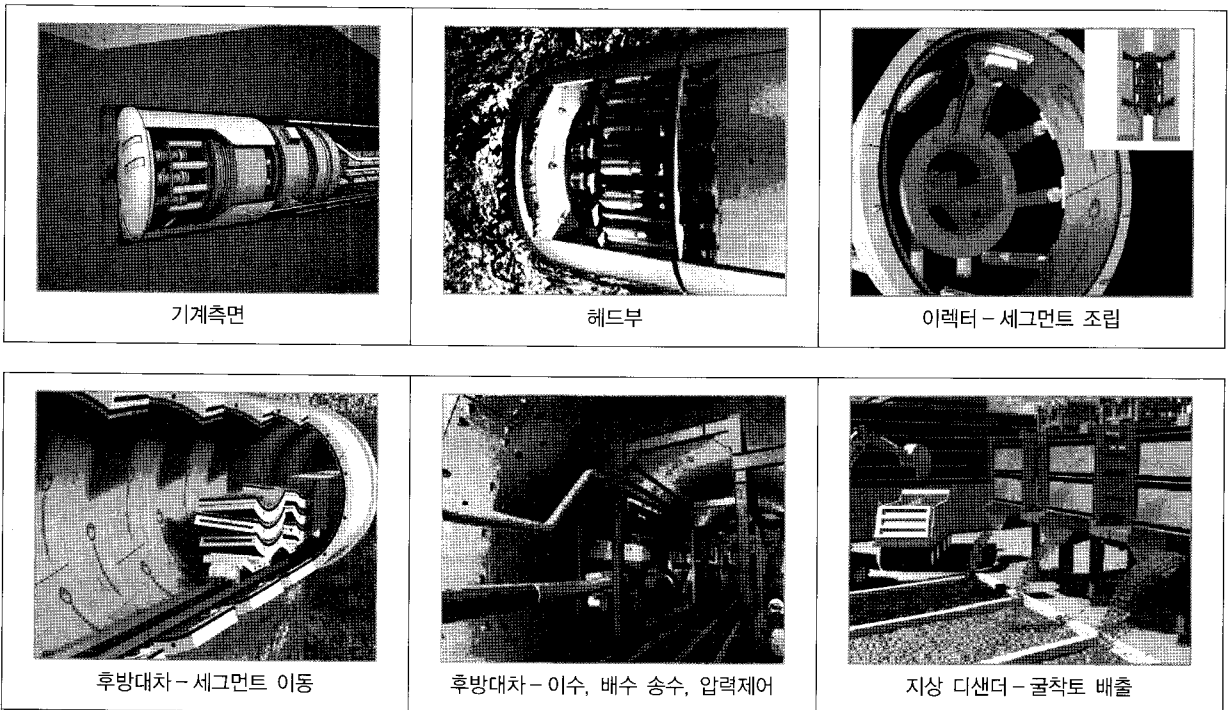


그림 2. 실드기의 굴진기작

를 지지하면서 커터헤드로 굴착이 시작되고, 이때 실제 장비로 굴착된 터널 굴착면과 조립된 세그먼트 외경 사이 빈 공간에, 토나이트와 시멘트로 구성된 뒷채움재를 주입함으로써 세그먼트가 안정되어 점차 터널을 완성해 나가게 된다.

3.1 쉴드TBM공법 표준순서

- ① 슬러리월굴착 : 발진, 도달수직구(직경 18 m, 두께 1 m), 지하연속벽공법으로 굴착 장비를 이용, 지하 40 m까지 1 SPAN 굴착후 철근망삽입, 콘크리트 타설하는 방법



그림 3. 한강하저터널 쉴드TBM 작업구조성-초기굴진 공정현황도

- 시공순서 : 안내벽설치 → 플랜트설치, 장비조립 → 연속벽굴착 → 철근망상입 → 콘크리트타설 → 두부 정리 및 CAPBEAM 설치
- ② 반력벽 및 개구부 entrance 설치 : 세그먼트가 지지할 수 있는 초기굴진을 위해 필요하며 일반적으로 쉴드기계의 기본 헤드부가 들어가기 위해서는 후방터널이나 pilot터널이 필요
 - 반력벽은 콘크리트 반력벽 뿐 아니라 가설반력벽이 필요하며, 원형가설세그먼트 또는 백트러스를 이용하여 반력벽 설치
 - 본굴진을 위한 레일 설치
- ③ 후방설비 투입
- ④ 본굴진 : 굴진 → 세그먼트조립 → 백필
- ⑤ 도 달 : 도달굴진 → 장비해체 → 인양

3.2 장비선정기준

- 제작회사는 Mitsubishi(일본), Kawasaki(일본), Herrenknecht(독일)를 비교, 검토하여 선정하였으며, 부족한 터널공정을 감안 굴착 중 세그먼트 조립이 가능한 Double-Shield 형식을 선정하였으며, 동 장비는 양면에 그립퍼를 4개소 부착하여 Double-Shield 잭을 이용하여 굴진하는 동안 후방에서 세그먼트 조립이 가능한 형식이다.
 - ※ 그립퍼가 확실히 지지할 수 있는 암반의 경우에 적용 가능
- 예측하지 못한 지질 및 절리가 발달한 지층 출현시에는 Main 및 Double Jack을 후진 지질상태를 확인할 수 있는 여유공간을 확보하여 지질상태 확인 후 대처방안을 수립함으로써 신속하고 정확한 대처가 가능하다.
- 설계시 보링조사한 결과 및 금회 추가로 3공 조사한 지질조사 결과를 토대로 암반강도는 1,063 kg/cm²로서, 커터수를 20개로 조정하였으며



〈한강하저터널 도입 장비 현황〉

- 제작회사 : Herrenknecht(독일)
- 방 식 : DOUBLE-SHIELD
- 강 도 : 110 MPa (MAX 180 MPa)
- 커터외경 : 3,821 mm (커터수 : 20 EA)

- Double-Shield Jack에 Steer 기능을 추가, 굴착시 발생할 수 있는 노선이탈을 방지하였다.

3.3 Gripper 역할

- 일반적으로 쉴드기계가 굴진하다가 게이지컷터가 암반에 끼어 굴착이 중지된 경우 싱글쉴드기계는 후진이 불가능하여 주변을 별도의 기계를 사용하여, 조치하여야 하므로 해결방법이 상당히 난해하나
- 그립퍼가 설치되어 있는 경우에는 그립퍼를 암반에 지지하고 후진이 가능하며, 적극적인 대처가 가능하며,
- 그립퍼로 암반에 지지한 후 세그먼트 반력없이 전방으로 79 cm 굴진이 가능하므로 사이클타임 축소 가능하다.

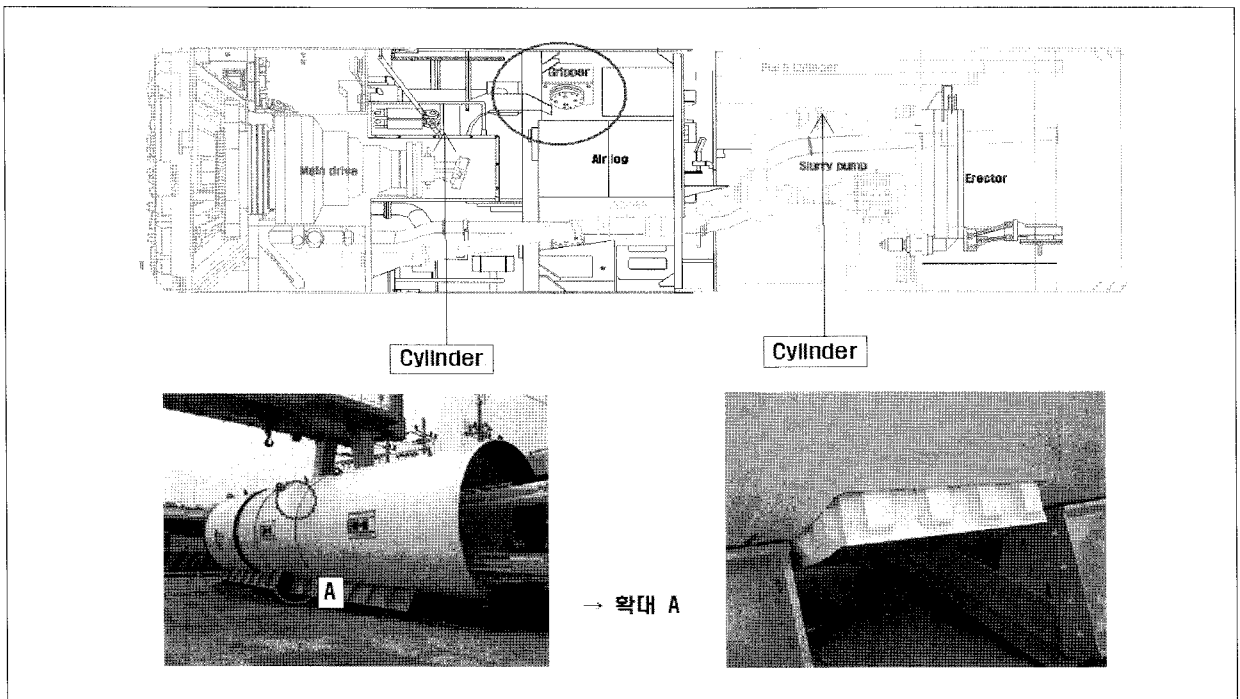


그림 4. 그립퍼 및 더블실린더

4. 품질관리

4.1 세그먼트

□ 세그먼트 수량 및 규격

- 수 량 : 1,305링(표준 1,240링, 테이퍼 65링)
- 규 격 : 3,600 × 1,000 mm, T = 200 mm
- 자 재 비 : 3,098백만 원
- 기준강도 : $f_{ck} = 420 \text{ kgf/cm}^2$

□ 고강도 콘크리트 사용을 고려하여 적정재료를 선정

- 시멘트 시험기준치 - 조강포틀랜드시멘트 - KS L 5201
- 콘크리트용 부순굼은골재 - KS F 5201
- 콘크리트용 잔골재 - KS F 5201

- 철근콘크리트용 봉강(SD400) - KS D 3504
- 레미콘에 혼합되는 물 - 기름, 산, 염류, 유기물 등 제품에 영향을 주는 유해량 미포함
- 고성능 감수제 : 제품의 품질에 악영향을 주지 않는 것

4.2 뒤채움

□ 뒤채움재 현황 (설계)

(단위 : 1m³당)

A액				B액
시멘트	벤토나이트	물	안정제	규산소다
250 kg	80 kg	700 ℓ	2.2 kg	85.4 ℓ

- A액 : 모르타르를 배치에서 한번에 조합
- B액 : 갯화제

□ 배합비 변경 검토

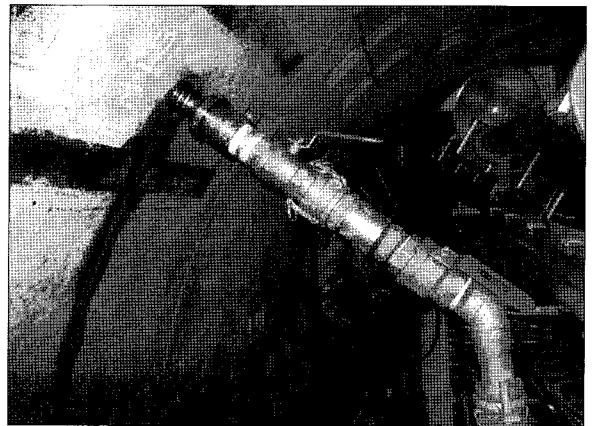
- 한강하저터널에서 실시하는 뒤채움공법은 동시주입 공법으로 세그먼트 조립후 실시하는 공법으로 뒤채움 실시 위치는 쉘드기기와 인접되어 있는 특성을 고려하여 실시함이 매우 중요하며 요구되는 성질은 다음과 같다.
 - 충전성이 우수하고, 막장면 또는 쉘드기기 몸통으로의 유입이 적을 것
 - 유동성이 좋고, 블리딩이 없을 것
 - 주입시 지하수에 의한 희석이 적을 것
 - 균일한 압밀강도 및 조기강도가 발현될 수 있을 것
 - 경화 후 체적감소가 없을 것
 - 무공해, 경제성
- 국내 쉘드터널에 사용되는 뒤채움재 주입공법 및 뒤채움재는 터널의 특성 등에 따라 후방주입, 동시주입, 즉시주입을 선정하며, 재료의 사용은 LW 공법을 범용으로 사용되어 왔으나, 미충진가능성 및 환경오염, 쉘드기의 Jamming 방지 등을 고려하여 대안 공법을 검토하였다.
- 또한, 뒤채움재 역할을 충족시킬 수 있는 배합비를

찾기 위해 다음 세 가지 방법으로 뒤채움 성능 시험을 실시하였다

- ① 시방서(설계) 배합,
- ② 현장 배합(5종류),
- ③ 가소상 배합

□ 뒤채움공법 변경검토

- 한강하저터널 굴착시 굴착면과 세그먼트 사이의 공동을 충전하여 터널의 안정성과 차수성을 확보하기 위한 뒤채움재로 혼화제 압밀주입공법(LW)을 동시



구 분	배 합 비					비 고
	A액			B액		
	시멘트 (kg)	벤토나이트 (kg)	물 (ℓ)	안정제 (kg)	규산소다 (ℓ)	
시방서(설계)배합	250	80	700	2.2	85.4	
현장배합-1	250	40	780	2.2	85.4	
현장배합-2	250	25	785	3.5	100	
현장배합-3	200	25	809	3.5	100	
현장배합-4	350	52.5	750	3.5	100	(지하철909공구)
현장배합-5(동작동)	300	80	716	2.2	150	
가소상배합	300	25	890	3.0	80	

□ 시험결과

구 분	시 험 결 과					결 론
	겔화시간 (초)	경화시간 (초)	가소상 보유시간	물에 희석	재료분리	
시방서(설계) 배합	15	30	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- A액의 압송이 어려움. - 실내시험시 초기경화가 30초였으나 지하수와 희석되어, 초기 경화가 이루어지지 않아 한정주입이 되지 않는다.
현장배합-1	25	90	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- 시방배합 A액의 압송이 어려워 벤토나이트 양을 줄임. - A액의 압송능력은 조금 향상되었으나 시방배합과 같이 지하수와 희석되어 한정주입이 되지 않는다.
현장배합-2 (현재사용배합)	30	90	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- 벤토나이트 양을 더 줄이고 안정제 양을 늘림. - A액의 압송능력 및 주입에는 무리 없으나 지하수와 희석되어 한정주입이 되지 않는다.
현장배합-3	40	240	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- 시멘트 양과 벤토나이트 양을 줄임. - 시멘트 양을 줄여 강도에 문제가 있고 경화시간이 느려 경화되기 전 지하수에 희석될 것으로 예상됨.
현장배합-4 (지하철909공구)	20	60	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- A액 압송이 어려움. - 지하철에서는 가소상 재료로 배합하고 있고 일반재료로 배합시 지하수에 희석이 되어 한정주입이 어려움.
현장배합-5 (동작동)	20	10	짧다	크다	기 존 배합비 상 실	- A액 압송이 어려움. - 규산량이 많아 경화시간이 짧아 주입에 어려움을 예상함. - 시방배합보다 재료비 증가
가소상배합	7	20분	길다	작다	배합비 유 지	- A액 압송이 원활하다. - 주입후 Getime이 짧고 주입압력에 저항압력이 적어 지속적으로 주입이 가능하다. - 비용이 다소 비싸다.

주입공법으로 설계에 반영되어 일부구간 시공을 시행하였으나

- 대량의 지하수 유입과 수압이 작용되고 있는 터널 굴착면과 세그먼트 공동 채움을 위하여 적용되는 LW는 겔화시간이 시험과 달리 비교적 길어 Gel화전 물에

희석되어 터널상부의 충전이 어려워 차수효과 및 안정성 확보를 기대할 수 없고 또한, 설드기기 및 막장으로의 뒤채움 재료의 유입으로 인하여 설드굴진에 지장을 초래되는 문제 등을 내포하고 있으며

- 완전한 충진을 위해서는 주입압력을 지속적으로 높

여야 하나 주입시 사용재료(보통 포틀랜드 시멘트)의 협소공간에서의 유동성이 경화되어 압송이 어려우며 순간적인 과다압력은 지반과 세그먼트의 변형(균열 발생) 또는 취약부분인 K-Segment의 볼트전단에 의한 K-Segment 탈락되는 단점이 내포되어 있어 주입 압송압에 대한 관리가 곤란하고,

- 미충진이 발생할 경우 장기적인 지반 침하로 인한 세그먼트의 압력증가로 도수관로의 변형 우려되어
- 한강하저터널 지반조사결과에서 절리가 발달한 것으로 미루어 볼 때 대량의 지하수에 강한 차수공법이 요구되는 바 장거리 압송이 가능하며, 겔화시간이 짧고 물에 희석되지 않아 환경오염을 방지하고, 세그먼트의 밀실한 충진을 위하여 주입시 이상압력이 발생하지 않으며 장기적인 미고결 특성으로 인하여 쉘드기의 면판 회전 방해 및 디스크 커터 Jamming으로 인한 이상 추력의 미발생등 원활한 쉘드 굴진관리를 위해서는 가소상공법을 적용하는 것이 타당할 것으로 검토하였다.
- 가소상배합비

(단위 : 1m³당)

A액				B액
TM-1-C (시멘트)	TM-3 (점착제)	물	안정제	TM-4 (규산소다)
300 kg	25 kg	890 ℓ	3 kg	80 ℓ

※ 성분별역할 분석

- TM-1-C(시멘트) : 슬래그석회계 시멘트로
- TM-3(점착제) : 벤토나이트중 나트륨계열인 몬모릴라이트를 사용한 점토광물계 공법을 적용하였다. 몬모릴라이트의 특성은 물에 접하면 팽윤, 분산하여 콜로이드로 되고, 현저한 점성과 요변성(강도회복현상)을 가지며, TM-1-C(시멘트)의 침강, 분리를 방지하는

활동을 한다.

- 뒤채움을 실시한 결과 물리적 겔화시간은 7초이나 대량의 지하수와 지속적인 주입압력에도 가소상 상태(30분 이상)를 유지하며, 쉘드기 및 막장부분의 유입시 지하수 발생이 현저히 줄어들고 쉘드 정상적인 추력(100~120 Bar)을 유지하는 것을 알 수 있었다.

5. 환경관리

5.1 막장 안정공법 조정시행

- 이수가압식(泥水加壓式) 쉘드공법은 당초 계획상 터널 굴진시 벤토나이트 안정액을 이용한 이수(泥水)를 가압하여 막장을 안정시키면서 굴진을 하고, 쉘드 기계내의 파쇄기로 암반을 40 mm 이하까지 파쇄하여 버력이 이수와 함께 배출되면 디샌더에서 벤토나이트·물·직경별 버력분리 절차를 거쳐 다시 이수가 순환되도록 계획되어 있으므로, 분리된 굴착토사는 전량 사토(捨土)하는 것으로 계획되어 굴진하던 중,
- 벤토나이트 막장안정공법 적용시 굴착토사는 자연상태의 것이 아니므로 건설폐토석으로 간주한다는 환경부 의견이 대두되어 이에 대한 조치가 필요하였다.
 - 건설폐토석 : 건설공사에서 발생되거나 건설폐기물을 중간처리하는 과정에서 발생된 흙·모래·자갈 등으로서 자연상태의 것은 제외
- ※ 건설공사과정에서 발생된 토사에 건설폐재류나 기타 오염물질이 혼합된 경우 건설폐기물(폐토사)에 해당
- 폐기물로 분류된 굴착토사를 폐기물처리하기에는 공사비 증가가 커, 현장내 재활용 가능성을 검토하였다. 재활용이 가능하기 위해서는 건폐법 시행령 제4

조에 명시된 바와 같이 건설폐토석을 재활용하여야 하는 경우에는 최대지름 50센티미터 이하의 크기로 파쇄·절단 또는 용융하고, 건폐법 제27조(건설폐기물처리시설의 설치승인 및 신고)에 의거 배출자가 건설공사현장에서 건설폐기물처리시설을 직접 설치, 운영하여 건설폐기물을 재활용하고자 하는 경우에는 환경부령이 정하는 바에 따라 시도지사의 승인을 득하여야 하며, 별도 건설폐기물 재활용설치 승인을 득하여야 하였으나, 지자체 공무원들의 처리경험이 없고 건설폐기물처리시설에 대한 개념 부족으로 승인이 요원한 상태였다.

- 따라서 터널 막장 안정공법 조정방안을 검토하게 되었는데, 한강하저터널의 굴착토층이 연암층임을 감안 벤토나이트를 주입하지 않고도 막장 안정이 가능하므로, 청수 안정공법을 적용하고 토사층에는 벤토나이트 혼합안정공법으로 잠정 변경하는 것으로 조정시행하여 현장 재활용에 따른 건설폐기물 관련 논란 불식하고, 공사를 시행하였다. 이에 따라 개략적인 사업비 절감이 1억원 정도 효과를 가져왔다고 평가한다.
- 단지 청수 막장주입 공법은 배니펌프의 임펠러 마모량 증가, 디스크 컷터 마모량 증가, 배관 교체주기 변경 등의 증가의 결과를 가져와 벤토나이트를 사용한 경우의 오니량을 줄인 사업비 절감과 디스크컷터 등 소모성자재의 증가에 따른 사업비 증가에 대하여 설계당시부터 면밀한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

5.2 탈수케이크 처리규정 및 현장처리 방안

- 건폐법 시행령에서 터널굴착이나 슬러리월공법에 사용된 벤토나이트 안정액은 무기성오니인 건설오니로서 건설폐기물에 해당한다.

- 건설오니 : 슬라임 등 굴착공사, 지하구조물 공사 등을 할 때 연약지반을 안정화시키는 과정 등에서 발생하는 무기성오니

※ 건설공사 현장에서 지하굴착 작업이나 터널굴착 작업 등에서 벤토나이트 폐액 등을 침전시켜 처리하는 과정에서 발생된 무기성분의 침전물이 건설폐기물중 무기성오니에 해당

- 이는 당초부터 폐기물처리로 설계되어 있어 폐기물 처리위탁용역으로 처리하였으나, 다음과 같이 처리할 수 있는 법적근거가 있으므로 이 또한 설계당시부터 검토, 적용이 필요하다.
 - 매립처리 : 폐기물관리법시행규칙 별표4에서 오니의 경우 탈수·건조 등에 의하여 수분함량 85퍼센트 이하로 처리 후 매립할 수 있어, 매립지로 지정된 장소만 가능하며, 개인사토장의 성토 등에 사용될 경우 재활용으로 간주되어 재활용하는자의 신고 절차 필요
 - 현장내 재활용 : 폐기물관리법 시행규칙 별표11의 2의 규정에 의거 수분함량 70% 이하로 탈수, 건조하여 일반토사류 또는 건설폐재류를 재활용한 토사류를 부피 기준으로 50퍼센트 이상 혼합하여 사용

5.3 정수처리된 상징수(上澄水) 방류

- 안정액 탈수 후 정수처리된 청수는 수질환경보전법시행규칙 제5조 별표3 제1호의 수질기준 이상으로 합격되었고, 동법 제10조의 규정에 의한 배출시설 설치허가(신고)를 득하였으므로 하천 방류가 가능하다.
 - 배출시설로 분류된 경우에는 수질환경보전법 제32조의 배출허용기준을 준수하여야 하며 제8조 및 같은법 시행규칙 제8조 별표5의 규정에 의거 운영일지를 기록·보존하여야 하나 수질측정 주기는 미규제

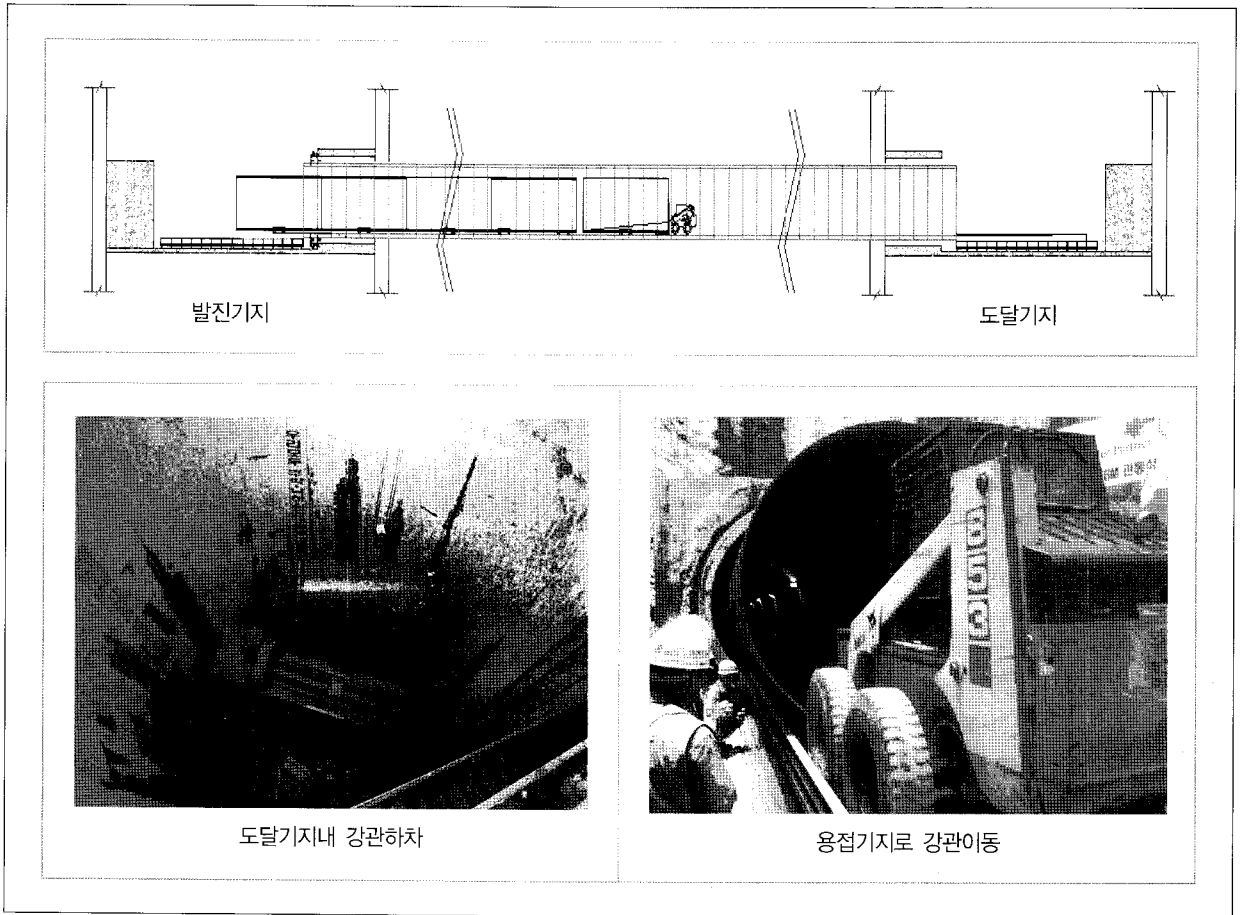


그림 5. 시공도

표 1. 타 시설공사 터널내부 관부설 사례

구분	제원	터널내 관부설	시공방식	재용방식
수도권 5단계 5터널	D=3,400 mm L=387 m	<ul style="list-style-type: none"> 강관나관 t18 mm 터널전구간 387 m 맞대기접합 	레일(L형강)설치 대차(C형강, 롤러)로 이동	강관에 백필홀 뚫은 후 격벽 설치 하여 타설
수도권 6단계 6터널	D=2,400 mm L=2,355 m	<ul style="list-style-type: none"> 강관나관 t16 mm 시점 54m, 종점 114 m (피복암두께 30 m 이하) 	레일및 대차로 이동 대차를 이용하여 강관을 열결후 콘크리트 블록으로 강관고정	강관외부에 seepage collar 설치 3분씩 콘크리트 타설
수도권 1단계 복선화	D=2,800 mm L=3,914 m	<ul style="list-style-type: none"> 강관나관 t17 mm 터널 전구간 부설 겹치기용접방식에서내부용접만 시행 	로코모티브로 운반, 대차이용, 레일 및 보조레일 매번 설치후 운송대차 로 관접합후 용접	콘크리트 블록 4개소 설치 4분씩 콘크리트 타설

※ 수질환경보전법 제22조에 의하면 배출시설 등을 적정하게 운영하기 위해 배출되는 오염물질을 측정하여야 하나, 오염물질의 측정에 있어 자가측정은 의무사항이 아님

- 배출부과금 제도와 관련하여 시도지사는 오염물질배출량등의 확인을 위한 오염도검사를 분기별로 1회 이상 실시토록 하고 있음을 감안하여 월 1회~분기별 1회 정도 오염도검사를 법정 검사기관에 의뢰하여 자료를 관리하였다.

6. 터널내 관부설

- 한강하저터널구간은 GRP관 삽입을 시범적용하는 것으로 설계되어 있으나, 세그먼트 내부에 대형 GRP관 시공실적이 없고 제시된 시공방법에 대한 확신이 어려워 이에 대한 대안 검토가 필요하여 검토한 결과 시공경험이 풍부한 강관을 삽입하는 것이 경제적으로나 안정성 측면에서 타당한 것으로 검토되어 강관으로 변경 시공하였다.

※ 당초 : GRP관, D = 2,600 mm (52t)
 변경 : 강관, D = 2,600 mm (15t)

6.1 수로터널내 강관매입 검토

- 수로터널내 강관매입 필요여부 및 매입강관의 관두께 산정방법으로
 - 시공중 강관 자중에 의한 최대응력 발생시 요구되는 최소 관두께 산정방법과,
 - 유량 송수중 내수압 작용시의 관두께 산정방법,
 - 관로사고 등에 의한 관내부가 비어 있는 경우의 외수압 작용시 관두께 산정방법에 따라 검토한 결과,
- 피복암 두께가 28.53 m 이하인 경우 강관을 매입하

여야 하며, 이 기준에 따르면 한강하저터널 지층의 피복암 두께가 최대인 지층이 약 20 m이므로 전체 1,309 m 구간에 강관 매입이 필요하며

- 시공 중의 최소두께 7.77 mm이며, 내수압 작용 시 8.33 mm(수층압 미작용), 수층압을 고려한 내수압 작용 시의 관두께가 14.6 mm이므로 0.4 mm 여유를 감안하여 강관 두께를 15 mm로 결정

6.2 강관매설 시공방법

- 강관매설 시공방안
 - 가. 도달기지 지상으로부터 수직구 내부로 관 하차 나. 수직구(도달) 내에서 대차를 준비하여 레일을 따라 바브캐트로 용접지점까지 이동
 - 다. 겹치기 부설후 내면접합, 용접, 검측, 비파괴시험 실시
 - 라. 몰탈을 경량기포콘크리트로 변경, 유동성을 확보하여 기 부설된 강관 상단으로 단계별 주입

7. 결론

- 한강하류1차사업의 주요 도수시설인 한강하저터널 실드장비를 선정함에 있어 터널공정착수가 영등포구와의 협의지연으로 늦어져 공기가 부족한 점을 감안하여, 전면 굴착 중 양면에 그리퍼를 4개소 부착하여 Double-Shield 잭을 이용하여 후방에서 세그먼트 조립이 가능한 형식굴착중 세그먼트 조립이 가능하고, 지질변화 대처에 용이한 Double-Shield형식을 선정하였으며, 동형식을 적용함에 따라 굴진일수 단축 뿐 아니라, 지질변화에 능동적으로 대처가 용이하여 안정적으로 터널을 굴착함에 따라 LG-Philips LCD산업단지 등에 적기 용수공급이 가능할 수

있을 것으로 전망된다.

- 공정상 슬러리월굴착부터 현장여건 및 지질에 맞는 공법을 적용하였고, 발전엔트런스설치, 횡형대차 등 부대공까지 세세한부분 현장실정에 맞게 시공공법을 적용하면서 실드터널 기술발전에 노력하였으며,
- 특히 내수압과 외수압을 고려한 강관관종을 변경하여, 경제성과 시공성을 확보하여 제한된 기간 내에 터널공사가 완료될 수 있도록 경주하였다.
- 실드터널 성공여부는 지질에 맞는 장비선정, 막장안정기술, 뒤채움기술, 공정단축을 위한 부대공부분에 대한 세밀한 계획, 철저한 품질관리, 위기관리능력, 디스크컷터관리, 송배수관 관리 등 종합적인 요소가 어우러져 결정된다고 판단되며,
- 이수기압식 실드터널공법 적용이 증가하는 요즘 터널막장안정에 벤토나이트 사용으로 인한 폐기물처리 등 환경문제부터 안전관리까지 시공중 경험이 설계에 피드백 될 수 있도록 기술자들의 경험공유가 중요하다고 하겠다.