

분당선 철도 한강 하저터널에서 대구경 쉴드장비 선정 Determination of a large shield TBM for a tunnel under the Han river in the Bundang railway

김용일*, 김동현**, 조상국***
Yong-Il Kim, Dong-Hyun Kim, Sang-Kook Cho

ABSTRACT

In this paper a determination of the optimal excavation method and machine type for a tunnel under the Han river between the Sungsoo-dong, Sungdong-Gu and the Chungdaw-dong, Kangnam-Gu in the Bundang railway. The geological investigation results show that some fractured zones exist locally under the northern boundary of the Han river bed, but the other regions consist mostly of hard rocks of good quality in the tunnel excavation level. Also, a high water pressure of 5kgf/cm² and a flash inflow of river water due to old boring holes are expected during tunnel excavation. A EPB shield TBM is selected as a optimal excavation machine for the Han river tunnel considering the geological and site conditions.

1. 서론

최근 서울을 비롯하여 부산광역시, 광주광역시 등 대도시에 지하철 공사가 급증하고 있으며, 이에 따라 지상 건물 및 기존 지하철 노선과의 근접시공현장이 증가하고 있는 추세에 있다. 또한 서울지하철 5호선 한강통과구간 및 부산지하철 수영강 통과구간 같이 하저를 통과하는 사례도 발생하고 있다. 더욱더 열악한 현장 및 지반조건하에서 안전성, 시공성 향상 및 민원발생억제를 위해 다양한 굴착공법들이 시도·적용되고 있으며, 쉴드 TBM 공법 또한 훌륭한 대안으로 도입되고 있다.

쉴드 TBM 공법은 “터널 외경보다 조금 큰 단면의 「쉴드」라는 강제 통을 지중에 추진시켜 내부에 있는 토사의 붕괴나 유동을 방지해가며, 안전하게 굴착작업과 복공작업(세그먼트 조립)을 행하여 터널을 시공하는 공법”으로 1818년 영국인 마크 브루넬(MI.Brunel)에 의해 고안되어 런던 템즈강 하저터널에 처음 적용되었다.

국내에는 1987년 부산광역시 동진동 전력구공사에 최초 적용된 이래 주로 연약층, 복합지층조건하에서 직경 5m이내의 소구경 전력구, 통신구, 하수관로, 방류관로 공사등에 적용되어 왔으나 90년대 후반부터 지하철을 중심으로 직경 7m 이상의 대구경 쉴드TBM의 시공 및 설계 사례가 증가하고 있다. 광주지하철 TK-1공구 및 부산지하철 230공구에서 굴착을 완료하였으며, 서울지하철 909공구와 신공항철도 000구간 설계에 적용된 바 있다.

본 고에서는 서울 강남구 청담동에서 성동구 성수동 사이의 한강을 관통하는 하저터널에 적용된 Ø8.1m 대구경 쉴드 TBM을 대상으로 공법 및 장비선정에 대해 현장여건에 따른 선정과정을 기술하고자 하며, 비록 과업구간내 특정 현장조건에 부하되는 검토내용이지만 하저통과라는 특수한 조건하에서의 향후 유사설계시 미약하나마 참고가 되었으며 한다.

* (주)대우건설 토목기술1팀 차장, 공학박사, 정회원
** (주)삼보기술단 부장, 공학박사, 정회원
*** (주)대우건설 전무이사, 정회원

2. 공사개요 및 주변현황

2.1 공사개요

분당선 3공구 왕십리~선릉간 복선전철 노반신설공사구간 주변의 노선현황은 그림 1과 같다. 본 3공구 전체구간은 연장 1.660km이며 2002년 실시설계가 완료되었으나, 이중 쉴드터널이 포함된 1.270km구간을 대안으로 재설계하였다.

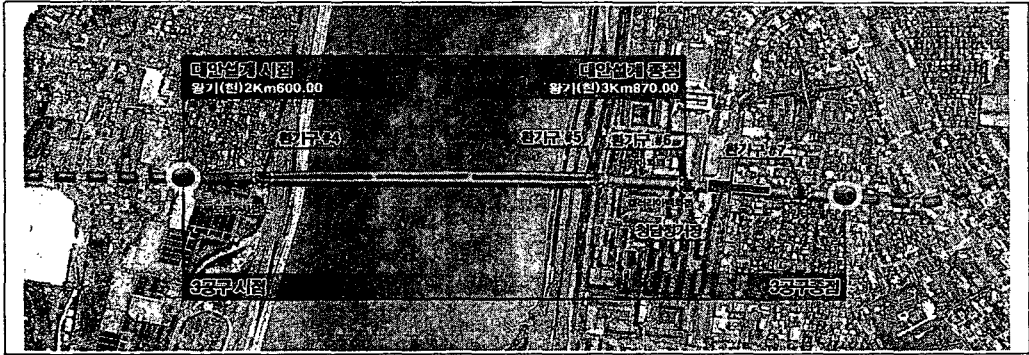


그림 1. 노선현황 및 터널 위치도

대안설계 구간내 주요 구조물은 쉴드 장비 반입 및 버력 반출구 역할을 하는 환기구 #4(25m×25m)와 보조작업구 역할을 하는 환기구#5(19.4m×25m)등 환기구 2개소와 하저터널, 하저터널 전후의 NATM 터널 및 피난연락갱 2개소로 구성되어 있다.

표1. 주요구조물 현황

구 분	공 사 구 간			비 고
	원안구간	대안구간	계	
NATM 터널	166.3m	385.0m	551.3m	
쉴드 터널	-	845.5m	845.5m	한강하저통과구간
피난연락갱	-	2개소	2개소	대안설계 추가설치
환 기 구	2개소	2개소	4개소	
정 거 장	1개소	-	1개소	청담정거장

2.2 주변현황

쉴드 TBM의 투입구 및 주작업구 역할을 수행하게 되는 환기구 #4는 독도정수사업소 녹지공간, 유형문화재 72호(정수장 박물관), 보호수 및 강변북로진입램프인 독섬교 주변에 위치하고 있어, 충분한 작업공간 확보가 어려운 상황이다.

강남구간은 한양아파트 21동, 81동이 최소 약 30m 이격거리로 환기구 #5에 위치하고 있어, 작업공간 확보시 민원예방을 최우선 고려하였다.

이러한 도심지 공사특성을 반영하여 작업부지를 최소화하는 것이 필수적이며, 쉴드 TBM 장비 선정에 중요한 요소로 작용하게 된다.

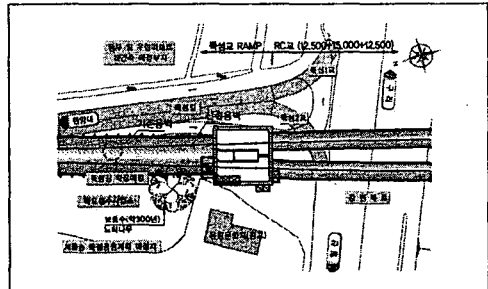


그림 2. 강북구간(환기구 #4) 주변현황

3. 지반 및 수리수문 조건

3.1 지반조건

본 쉘드 TBM 통과구간은 하상구간으로 하상시추 및 각종 현장시험에 많은 제약을 받으며, 쉘드 TBM의 특성상 굴진중 막장의 지반상태를 파악하기 곤란하기 때문에, 설계단계에서 최신조사기법을 적용하여 정밀하게 지반조건을 파악하였다.

최신조사기법으로 터널 굴진방향으로 경사 및 수평방향시추가 가능한 방향제어시추 (D.C.D, Directional Core Drilling)를 270m 적용하여 강북구간에서 60m 정도의 폭을 가지는 단층파쇄대의 위치 및 규모를 파악하였다. 또한 제한된 하상시추를 보완하기 위해 3차원하상전기비저항탐사를 수행하여 하상전구간의 단층대 및 연약대를 파악하였으며, 암반등급 선정에 활용하였다.

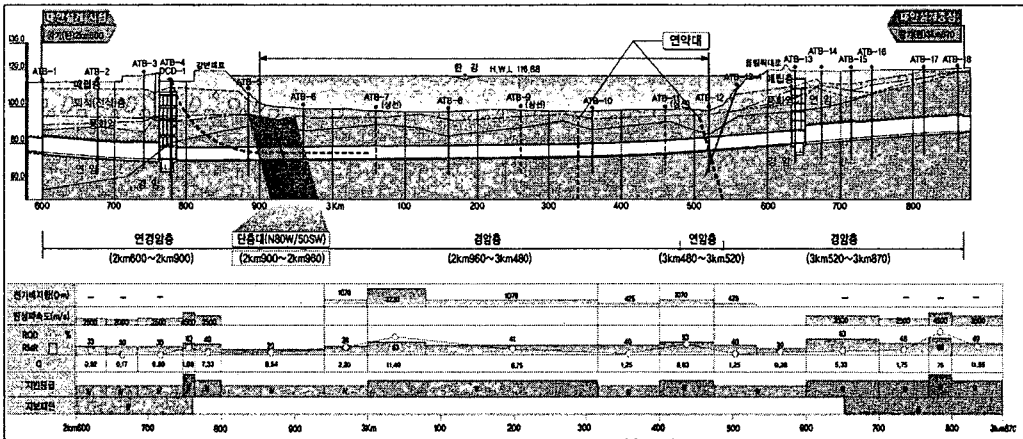


그림 3. 지반현황 및 암반분류

조사결과, 하상구간은 비교적 신선한 경암반(평균 일축압축강도 1,700kgf/cm²)으로 구성되어 있으며, 강북구간에 60m 폭의 단층파쇄대 1개소와 강남구간에 2개소의 연약대가 분포하고 있는 것으로 파악되었다.

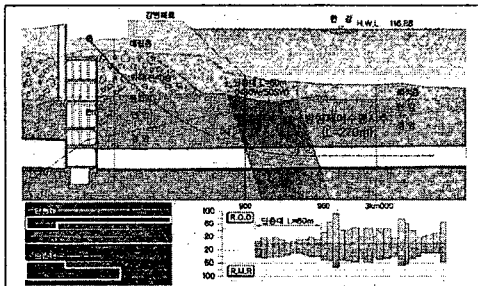


그림 4. 방향제어시추(D.C.D) 조사위치 및 결과

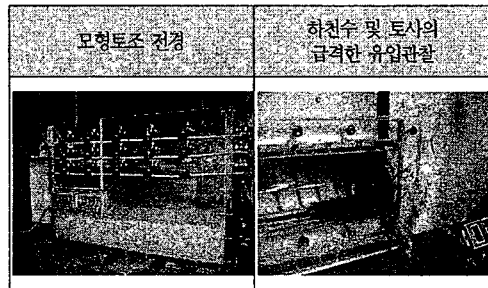


그림 5. 수리모형시험

경암이 주가 되나, 지반강도의 현저한 저하가 예상되는 단층대와 연약대도 통과해야 하므로 지반 강도가 매우 상이한 구간들 모두 효율적으로 굴착이 가능한 장비를 선정하는 것이 중요한 문제로 대두된다.

3.2 수리수문조건

하상구간의 저수로폭은 710m, 하폭은 773m이며, 평수위는 2.95m이며, 최대홍수위는 16.68m로 조사되어 터널상부에 미치는 평시 수압은 3.1kgf/cm², 최대홍수위시 수압은 4.7kgf/cm²로 예측되어 고수압에 대한 대응성이 장비선정의 중요 요소로 반영되었다.

하상구간에는 10여년전 시추조사에 의해, 폐공되지 않고 방치된 하상시추공이 8공에 이르며 쉴드 TBM 굴착중 이들 시추공과 조우하게 되면 고수압 돌발유수가 발생하기 때문에 이에 대한 정량적 평가 및 대책수립을 위해 수리모형시험을 수행하였다.(그림 5. 참고)

시험결과, 기존 시추공과 조우시 하천수 유입량이 40.081m³/day에 이르는 것으로 추정되어 시추공을 통한 하천수의 유입을 최소화할 수 있는 장비를 선정하였다.

4. 터널 굴착공법 선정

하저구간 굴착공법으로는 크게 개착공법과 터널공법으로 구분된다. 개착공법은 다시 가물막이공법과 침매공법으로 구분되며 터널공법은 NATM과 쉴드 TBM공법으로 나누어진다. 1차 검토결과, 개착공법은 홍수시 작업이 곤란하고 한강오염가능성이 크며, 한강 수문조건에 영향을 미치는 것으로 판단되어, 검토대상에서 제외하였다.

하저터널은 단선병렬이고 이격거리는 강남북도심지특성상 6m이내로 매우 좁아 발파를 적용하는 NATM은 시공성이 매우 저하되며, 기시추공 또는 막장 질리면을 통해 고압의 하천수가 유입되면 막장의 유실은 물론 작업원의 안전성이 크게 해칠 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

반면 쉴드 TBM은 근접시공이 가능하며 밀폐형의 전방구조 및 굴진과 같이 시공되는 세그먼트로 인해 고수압 대응성이 우수한 것으로 판단되어 하저구간의 굴착공법으로 쉴드 TBM 공법을 선정하였다.

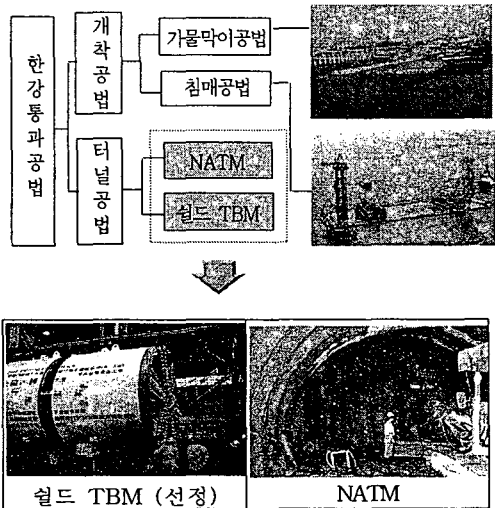


그림 6. 하저구간 굴착공법 선정

5. 쉴드 TBM 장비분류 및 1차선정

5.1 쉴드 TBM 장비 분류

쉴드 TBM 장비는 여러 가지로 분류 할 수 있으며 일반적으로 전면구조형식과 굴착방식 및 형상으로 구분된다. 본 구간은 원형단면을 적용하므로 형상에 의한 분류는 생략하였다.

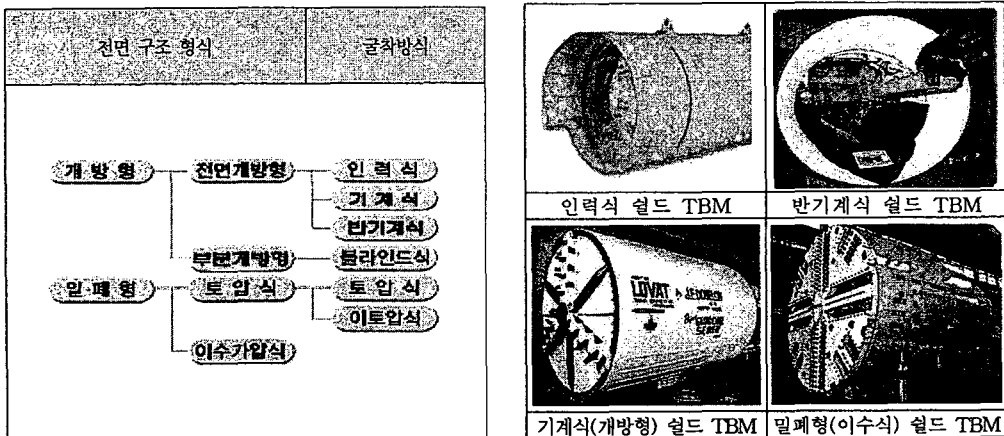


그림 7. 쉴드 TBM의 분류 및 장비사진

5.2 쉴드 TBM 장비 1차 선정

개방형과 밀폐형을 중심으로 검토를 수행하였다. 개방형은 막장과 장비 내부가 개방되어 있어 하천수유입의 대응성이 크게 저하되고, 헤드커터에 의해 막장관찰이 곤란하여 NATM에 비해서도 지질조건상의 위험요인에 대한 대처능력이 매우 낮기 때문에 본 과업구간의 하저터널공법으로는 부적절하다고 판단되었다.

반면에 밀폐형은 전면부가 Cutter Chamber로 밀폐되어 있어 지하수 유입방지기능 및 막장안정능력이 우수한 것으로 판단되었으며, 최근 일본내 쉴드 TBM 장비 적용 사례를 검토한 결과 밀폐형 선정건수가 압도적임을 알 수 있어 본 과업구간의 쉴드 TBM의 1차

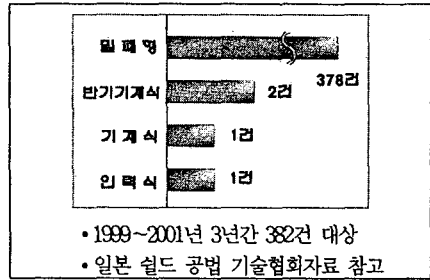


그림 8. 최근 일본내 쉴드 기종 적용 사례 기종으로 선정하였다.

6. 최적 쉴드 TBM 선정

6.1 밀폐형 쉴드 TBM의 특징

밀폐형 쉴드 TBM은 막장안정 및 버력처리 시스템에 따라 토압식(Earth Pressure Balance 쉴드 TBM, 이하 EPB)과 이수가압식(Slurry 쉴드 TBM, 이하 이수식)으로 대별된다.

EPB는 커터 후방에 설치된 격벽과 막장면 사이에 굴착한 토사를 채워 막장 안정 및 지반이완을 억제한다. 굴착토사는 스크류컨베이어로 운반되며, 필요에 따라 버력의 소성유동화를 촉진하기 위해 첨가재(물, 이수, Foam등)를 주입하기도 한다.

이수식은 막장의 수압과 토압에 대항하여 이수를 충만하고 챔버내에 소요압력을 주어 막장 안정 및 지반이완을 억제한다. 굴착토사는 이수와 함께 송배니파이프로 유체수송하여 터널밖으로 반출된다.

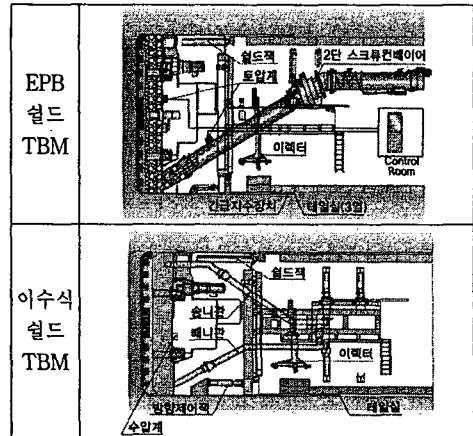


그림 9. 밀폐형 쉴드 TBM 개요도

6.2 장비 선정시 고려사항 및 비교검토

E.P.B와 이수식 쉴드 TBM은 절대적으로 우열을 비교할 수 없으며, 적용되는 현장여건에 따라 상대적인 시공성 및 효율성이 결정된다고 할 수 있다. 따라서, 본 한강하저구간에서 장비선정에 영향을 크게 미치는 고려사항을 다음과 같이 선정하고 상세 검토하여 과업구간에 최적의 장비를 선정하였다.

6.2.1 지반조건

앞에서 기술한바와 같이 하저터널통과구간은 비교적 신선한 경암반으로 구성되어 있으며 단층과 쉐대 및 연약대가 일부 분포하고 있는 지반이라고 볼 수 있다.

경암굴착시에는 디스크커터와 스크류컨베이어 또는 송배니파이프의 마모도와 버력에 의한 배토시스템의 폐색도가 중요한 요소이다.

이수식의 경우 디스크커터가 이수 유체속에서 회전하므로 막장전방이 버력으로 충만된 EPB보다 마모도가 적은 것으로 판단되나 경암반 버력에 의한 송배니파이프의 마모도가 크며 폐색현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.

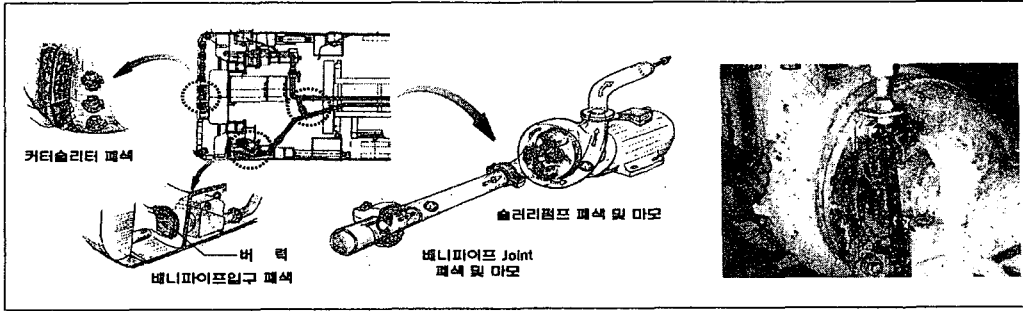


그림 10. 경암반굴진시 이수식 베니파이프 마모 개요 및 손상된 파이프 사진

EPB의 경우, 경암반 버력에 의해 디스크커터 및 스크류컨베이어 케이싱과 샤프트에 마모가 발생할 수 있으나, 청수, 이수등의 첨가제 투입과 내마모성 재질을 적용함으로써 마모도를 크게 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다.

60m 폭의 단층파쇄대와 2개소의 연약대 통과시에는 안전성 향상을 위해 굴진속도를 줄이고 필요시 전방 그라우팅을 수행해야 하기 때문에 시공성 저하가 발생한다. 따라서 파쇄대 구간 통과시 이러한 시공성 저하를 최소한으로 할 수 있는 장비선택이 필요하다. 또한 파쇄대 구간은 투수계수가 매우 높기 때문에 이수의 이탈로 인해 막장안정성이 저하 되는지 검토해 보아야 한다.

이수식의 경우 이수로 막장안정을 도모하는 특성상 지반강도 및 상태와 상관없이 굴진내내 동일한 굴착시스템을 유지하는 반면, EPB의 경우에는 지반조건이 양호하여 별도의 막장안정이 필요 없을 때에는 Open mode로 굴착하여 시공속도를 향상시킬 수 있으며, 지반불량구간에서는 Closed mode로 전환하여 굴착속도는 저하되나, 별다른 보강조치 없이 굴착이 가능하다.

일본의 시공경험에 의하면, 이수가 이탈할 가능성이 높은 조건으로 투수계수 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 이상, RQD는 30~50이하이며, 강부구간 파쇄대의 투수계수는 $8 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$, RQD는 0~10으로 조사되었기 때문에 투수계수는 발생조건보다는 낮으나, RQD가 매우 낮아 시공시 일부 구간 이수이탈에 따른 막장붕괴 발생 가능성이 높은 것으로 판단된다. 따라서 이수식으로 굴착시에는 Chemical 그라우팅등의 전방보강이 필요하며, 이에 따라 경제성이 저하되며 공기가 증가하는 등 시공능률저하가 발생된다

반면, EPB의 경우 막장안정이 이탈할 가능성이 없는 버력으로 이루어지고, Closed mode로 굴진하게 되므로 별도의 보강이 필요없으며, 시공성 저하를 최소화하며 안정성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

Closed mode(불량구간)	굴착 Control Point	Open mode(양호구간)	굴착 Control Point
	<ul style="list-style-type: none"> • 커터 챔버 버력 증만 • 이수(mud) 첨가제주입 -버력유동성 향상 -스크류컨베이어 지수성 향상 • 토압계로 토압관리하면서 굴착토사 배출 		<ul style="list-style-type: none"> • 커터챔버는 버력으로 변정도 증만 • 디스크커터 냉가위해 청수 주입. • 스크류컨베이어속도는 굴착속도로부터 계산

그림 11. E.P.B 쉴드 TBM 굴착 Mode

6.2.2 수리수문 조건

본 과업구간의 하저터널 상부에는 $3.1 \sim 4.7 \text{kgf/cm}^2$ 의 높은 수압이 작용할 것으로 예상되며, 미폐공된 기존 시추공을 통해 발생할 수 있는 돌발유수의 가능성이 상존하고 있다. 고수압 돌발유수 발생시에는 장비의 유실 및 작업원의 안전성이 크게 위협을 받을 수 있기에 장비선택시 이런 요소들에 대한 대응성이 충분한지 검토할 필요가 있다.

이수식은 유체인 이수를 가압하게 되므로 비교적 높은 수압에서도 대응성이 우수하며 쉘드 기내로 유수가 침투하지 않는다. 그러나 이수는 항상 막장의 수압과 토압보다 높게(보통 0.2kgf/cm²) 유지되며 순환된다. 따라서, 막장 상단부에 한강바닥과 연결된 기존 시추공과 조우시, 이수는 한강의 수압보다 높기 때문에 한강바닥으로 역류할 가능성이 높아 이수로 인한 한강오염이 우려된다.

EPB는 스크류컨베이어 및 벨트컨베이어를 통한 버력의 처리시스템으로 인해 고수압돌발유수가 발생시 기내에 유수가 침투할 가능성이 있었으나, 최근 고수압대응형 장비(이단스크류컨베이어)의 개발 및 적용에 따라 고수압구간에도 EPB의 대응성이 이수식의 것이 거의 대등할 것으로 판단된다. 이단스크류에 관한 내용은 다음 7절에 상세히 기술하였다.

또한, 일본의 최근 10년간 쉘드 시공실적을 보면, EPB가 하천·횡단 통과실적이 우수한 것을 알 수 있어, 본 한강구간통과에도 적합할 것으로 사료된다.

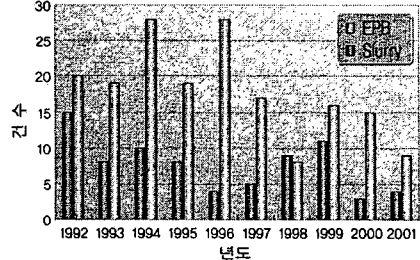


그림 12. 하천·해저횡단 시공실적(일본)

6.2.3 작업장 부지 조건

쉘드 TBM 장비는 직경 8m에 중량은 500kgf, 길이는 11m에 이르는 중장비이며, 운송중량의 한계로 인해 수직소각으로 나누어진 채 현장에 반입된 후 발진구내에서 조립작업이 이루어진다. 또한 원활한 굴진 및 보강을 위해 항상 충분한 여유분의 세크먼트를 적치하는데, 모두 넓은 작업부지를 요하게 된다. 이수식의 경우는 배토된 이수의 처리를 위해 대규모(30m×40m) 이수처리시설까지 두어야 한다.

2.2 주변현황에서 이미 언급한 바와 같이 쉘드 TBM이 투입되는 환기구 #4주변에는 여러 지장물들이 있으며 특히 뚝도정수사업장내 문화재 및 보호수가 포함된 녹지공간은 공사장 부지로 활용하기에 매우 곤란한 점을 감안하여 최소의 부지확보로 공사가 가능한 장비를 고려하였다.

본 공사규모 및 투입되는 장비의 용량을 감안한 장비별 필요부지면적은 EPB가 1,220m²이며, 이수식은 4,610m²인 것으로 나타나 EPB가 협소한 부지여건에 부합되는 것으로 판단되었다. 또한 이수식은 뚝도정수장내 녹지공간의 점유가 불가피한데 비해 EPB는 주변 도로 및 뚝섬과 하부 부지만으로도 부지확보가 가능한 것으로 검토되었다.



그림 13. EPB 및 이수식 소요 부지

이수식에서 정수장내 녹지공간을 점유하지 않기 위해서는 작업구에서 약 200m~300m 이격된 곳에 이수처리플랜트를 설치해야 하는데, 송배나파이프의 연장이 증가함에 따라 펌프의 증가, 파이프 유지관리의 어려움등 많은 문제점이 발생할 것으로 판단하였다.

6.2.4 소음 및 진동

EPB와 이수식 쉘드 TBM에서 지상에 설치되는 시설물은 상호 유사하나, 이수식에 이수처리플랜트가 더 설치된다는 것이 특징이다.

이수처리플랜트는 버력과 섞여 있는 이수를 3차에 이르는 처리공정을 거쳐 버력과 이수를 분리하여 이수를 재활용할 수 있도록 해준다. 버력을 분리하기 위해 조정조각이 정적인 공정도 있지만 흔들고(진동체) 짜는(필터프레스)등의 동적인 공정도 있으며, 반드시 소음과 진동을 동반하게 된다. 일본 시공경험 및 문헌을 살펴보면, 이수처리플랜트에서 발생하는 소음은 20Hz 이하의 저주파로서 약 100m~150m까지 전달되어 민가의 창문을 흔들리게 하며 인체에 불쾌감을 불러일으킨다고 한다.

환기구 #4 맞은편에는 현재 성수동 재개발계획에 따라 재래식건물이 철거중에 있으며 향후 대규모 아파트단지가 들어설 계획이다. 이수식을 적용할 경우 터널 굴착이 완료되는 2007년까지 이수플랜트의 운용은 불가피하며, 이전에 100m 이내에 신축아파트가 들어서게 되며 저주파로 인한 민원은 충분히 예상되기 때문에 이수식은 본 과업구간 현황에 부적합 장비로 판단된다.

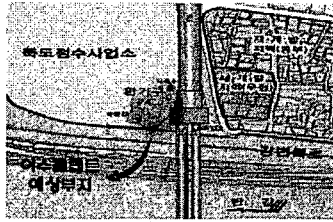


그림 14. 성수동 재개발 계획 개요

6.3 최적 장비 선정

EPB와 이수식 쉴드 TBM을 대상으로 과업구간의 지반조건, 수리수문조건, 작업장부지조건, 소음 및 진동 등 4가지의 중요 사항을 검토해 보았다.

지반조건에서는 경암반굴착 및 파쇄대굴착 시공성 모두 EPB가 우수한 것으로 분석되었다. 수리수문조건에서는, EPB가 이단 스크류컨베이어 등 최신 고수압대응형 장비를 장착하면 이수식과 동일한 고수압대응능력을 가지는 것으로 분석되었으며, 이수식은 고수압대응능력은 좋으나, 기존시추공 조우시 이수이탈 및 한강역류가 발생할 가능성이 농후하다는 점에서 부적합 한것으로 판단되었다. 작업부지조건에서도 EPB가 최소한의 부지만으로 공사가 가능하며 인근 지장물에 영향을 최소화시킬 수 있으며, 이수플랜트와 같이 초저주파 소음도 발생시키지 않는 것으로 분석되었다. 이상 4가지 주요 검토에서 EPB가 이수식보다 우수하다고 판단되어 본 한강하저터널구간의 최적 굴착장비로 EPB 쉴드 TBM을 선정하였다.

7. 고수압대응형 EPB 쉴드 TBM 설계

EPB 쉴드 TBM이 하저터널에서 작용하는 수압을 충분히 지지할 수 있으며 기시추공에 의한 돌발용수에 대응 가능하도록 최신 장비를 선정, 설계하였다.

7.1 이단스크류컨베이어

기존의 일단 스크류컨베이어는 경험적으로 수압이 3.0kgf/cm²이하로 작용하는 구간에서 적용되어 왔다. 본 과업구간같이 그 이상의 수압이 작용하게 되면 스크류컨베이어내에서 수압이 충분히 저감이 되지 않아 벨트컨베이어 상부에 있는 배토구에서 용수가 분출하는 현상이 발생하게 되어 시공성 및 작업자 안전성에 문제를 일으키게 된다. 따라서, 고수압을 충분히 대기압과 비슷하게 저감시킬 수 있는 이단스크류컨베이어를 적용하여 기내 용수유입차단 및 안전성을 기하게 되었다.

이단스크류내에서 수압감소는 피치와 Plug Zone에 의해 이루어 진다. 피치에 의한 수압감소는 하나당 0.1~0.34kgf/cm²의 저감효과가 있는 것으로 알려져 있으며(일본 시험결과 참고) 본 하저구간 적용 장비의 경우는, 스크류컨베이어의 격경이 800cm로 피치하나에 의한 감소효과는 약 0.20~0.25kgf/cm² 정도일 것으로 예상된다.(그림 16 왼쪽 참고)

표 2. 이단스크류컨베이어 적용 사례

공사명	공사년도	굴착외경 (m)	수압 (kgf/cm ²)
나라현 도수 축도 건설 공사 제1공구	1988	3950	Max 11
영불해협터널(유러채널)	1989	5590	Max 5
도영 지하철 12호선 상생 쉴드	1996	6000	30~35
도영 12호선 상생 쉴드	1998	5540	16~36

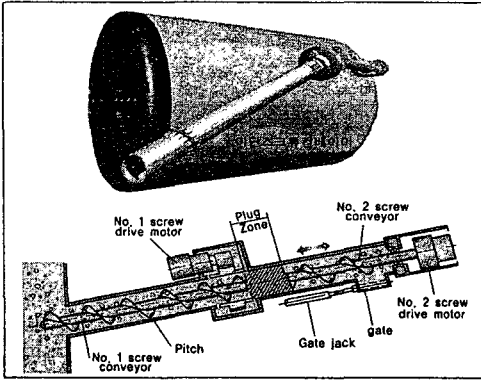


그림 15. 이단스크류컨베이어 개념도

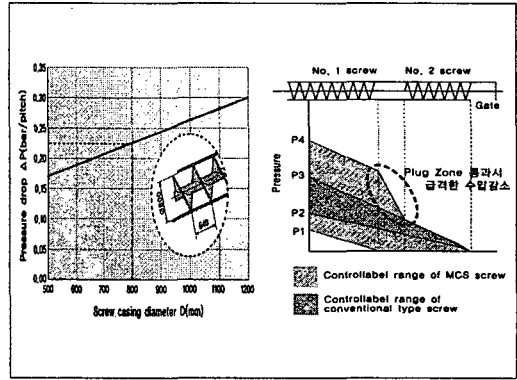


그림 16. 피치에 의한 수압감소 및 Plug Zone 생성원리

Plug Zone 생성원리 및 수압감소 원리는 다음과 같다. (그림 16. 오른쪽 참고) 양호한 구간에서 Open mode로 굴착중 고수압구간을 조우하게 되면 자동적인 토압관리에 의해 Closed mode로 신속하게 자동변환되며, No.1스크류와 No.2 스크류가 서로 다른 속도로 회전하게 된다. 그러면 두 스크류 사이에 버력의 동침현상이 발생하여 Plug Zone이 형성된다. 이것이 스크류내에서 지수막 역할을 수행하여 급격한 수압감소 효과를 유도하게 된다. 그러나, 본 과업구간의 경암굴착시에는 암버력 및 석분만으로 Plug Zone 형성이 곤란하므로 이수(mud)를 첨가재로 활용하여 Plug Zone의 형성이 용이하도록 설계에 반영하였다.

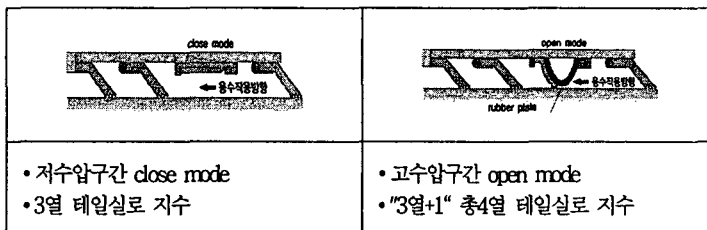
7.2 긴급지수장치

3kgf/cm² 이상 고수압구간에서 기존 시추공에 의한 돌발용수시에도 안전하게 통과가능하도록 기존 3열 테일실사이에 1열의 긴급지수장치(Emergency water stop seal)를 적용하였다.

고압수 또는 유압을 긴급지수장치상부 Rubber plate에 작용시켜 지수장치를 팽창시킴으로써 테일실의 방수능력을 향상시켜 테일보이드로 유입되는 고압수를 지수하게 된다.

표 3. 긴급지수장치 적용 사례(일본)

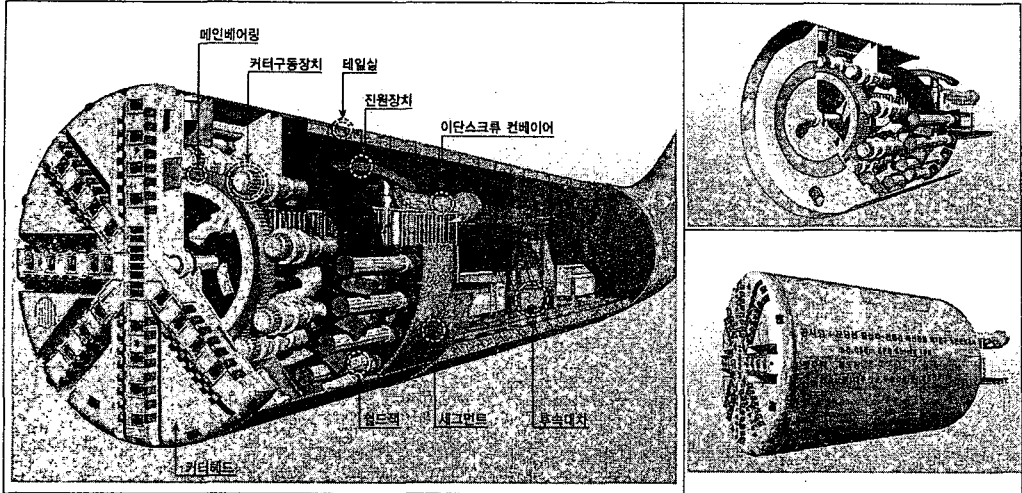
연도	공사명	연장 (m)	최대수압 (kgf/cm ²)	굴착경 (m)
1994	동경만 횡단도로 중앙터널 공사	2,775	59	14.14
1996	북부 처리구 신하마쓰히로 하수도 공사	4,435	55	9.45
1997	이마이카와 지하조절지 건설공사	2,810	7.6	12.14



- 저수압구간 close mode
- 3열 테일실로 지수

- 고수압구간 open mode
- "3열+1" 총4열 테일실로 지수

그림 17. 긴급지수장치 작동 원리



한강하저터널 굴착에 반영된 EPB 실드 TBM 개요도

8. 결론

본 과업구간에서 최적의 굴착공법 및 장비를 선정함에 있어, 제2의 한강하저터널이라는 상징적인 의미에도 수많은 시민들이 안전하게 지하철을 이용할 수 있도록 터널을 형성하는데 주 관심을 가지고 임하였다.

최근 국내에서 시공 또는 설계된 대구경 실드 TBM 자료를 바탕으로 지반조건, 수리수문조건, 작업부지조건, 소음 및 진동 등을 검토하여 최대한 현장 여건에 부합되는 장비로 EPB 실드 TBM 장비를 선정하였으며 선정사유는 다음과 같다.

- 파쇄대 및 경암굴착시 안전성과 시공성 유리
- 고수압구간에서 이단스크류컨베어를 갖추어 기존 시추공 안정성 확보 가능.
- 지상설비가 간단하여 협소한 부지여건에 부합되며, 용지보상비 절감, 경제적인 측면에 상당히 유리
- 한강오염가능성이 적으며, 소음 및 진동이 적어 민원발생사유가 적음

마지막으로 본 과업에서 선정된 고수압대응형 EPB 실드 TBM은 현장여건을 고려시 상대적으로 이수식 실드 TBM보다 유리한 것으로 판단된 것이며, 향후 유사 프로젝트에서는 또 다른 현장 요소로 검토되어야 할 것이다.

9. 참고문헌

1. 정경환외(2002), Shield TBM, 터널기술 Vol.4 No.4
2. 토목공법연구회(1992), 실드공법의 실제, 창우출판사
3. 유광준외(2000), 대구경 실드장비에 의한 지하철 터널 기계화 시공 적용사례, 제1차 터널기계화 시공기술 심포지움 논문집
4. 반석건설외(1996), 최신실드터널-하이테크 기술이 지하를 굴착한다, 반석건설
5. 和久昭正외(1993), 泥土壓シールドにおける高水壓下でのスクリー-コンベアの山留め・止水効果