

대심도 철도터널 건설기술



김 상 환
 호서대학교 토목공학과 교수/ 터널공학회 이사
 kimsh@hoseo.edu

1. 머리말

최근 대심도 철도터널 건설에 대하여 지속적인 논의로 건설예정인 수도권 대심도 광역급행철도터널은 녹색교통 확충을 기초로 한 수도권 신개념 광역교통수단으로 서울도심을 통과 수도권 전역을 도로에 비해 활용이 유리한 급행철도로 연계하는 네트워크시스템 건설 사업이다. 이러한 교통시스템을 대심도 터널로 계획함에 따라 지상 건설 시 동반되는 토지공간 확보의 어려움과 이에 대한 과다한 보상비 그리고 주변주민의 건설반대 등의 난관을 해소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 이러한 대심도 철도터널 건설에 있어서 국내 수도권 광역급행철도건설 사업 사례를 중심으로 하여 필수적으로 고려해야 할 터널 공학기술에 대하여 고찰해보면 다음과 같다.

2. 국내외 대심도 철도터널 건설사업 사례 - 도심지중심

2.1 수도권광역급행철도사업구상 현황

수도권광역급행철도 GTX(가칭)는 평균 속도 시속 100km이상으로 서울과 수도권을 동서간/남북간으로 연결하는 획기적인 대중철도교통 수단이라고 볼 수 있다. 지하 40~50m 공간을 터널로 건설하는 GTX는 그림과 같이 킨텍스~수서(동탄), 인천 송도~청량리, 의정부~금정 등 3개 노선으로 구상되어 있으며 총 연장 145.5km로 건설되고 주요 거점역과 수도권 전철을 연결하는 도시철도망을 구축함으로써 기존 전철보다 3배 이상 빠르게 서울과 수도권 광역 거점 지역을 연결될 수 있다. 2011년 상반기 착공해 2016년 GTX의 도입으로 서울과 수도권은 30분



생활권으로 더욱 가까워지는 동시에 경기도 지역간도 1시간이면 도착할 수 있어 수도권 최대 민생 현안인 교통 문제도 획기적으로 개선을 목표로 하고 있다.

GTX(가칭)는 아직 확정된 명칭은 아니며 'Great Train eXpress'의 줄임말로 'G'는 Great, Green, Global, Governance, Grand 등으로 중의적으로 해석할 수 있도록 계획하고 있다. 수도권의 교통문제를 해결할 대책으로, 환경오염을 최소화하며 수도권의 경쟁력을 높일 수 있는 교통 대안이라는 의미를 담고 있다.

이 구상이 서울~경기도를 오가는 승용차 통행량이 1일 18만대가 줄어드는 등 1일 평균 총 38만대의 통행량 감소 효과를 가져올 것으로 기대하고 있다.

GTX는 지하철 시스템과 달리 중간 정차역을 최소화하고 정차역간의 노선을 직선화하여 실제 통행시간을 단축해 기존 지하철보다 약 3배정도 빠르고 더 짧은 시간에 수도권을 오갈 수 있습니다. 또한, GTX의 정차역은 버스, 지하철 등 기존 교통시스템과의 연계된 종합환승센터로 운영되어 환승시 걸리는 시간까지 절약할 수 있을 것으로 예상된다. GTX가 개통된다면 현재 승용차로 2시간, 기존



철도로 1시간 이상 걸리는 경기도 동탄에서 강남까지의 거리가 18분으로 단축효과를 기대하고 있다.

그리고 GTX로 서울과 수도권을 30분 생활권으로 가깝게 연결해 주기 때문에 출퇴근 문제만 해결되어도 거주지 선택의 폭이 한층 넓어지게 된다. 이는 도심 지역의 주택 수요를 자연스럽게 분산시켜 도심의 집값, 땅값이 자연스럽게 안정되는 효과를 가져오게 되며 높은 집값과 답답한 도심에서 벗어나 좀더 넓고 여유로운 생활을 즐기는 사람이 늘어날 것으로 기대된다.

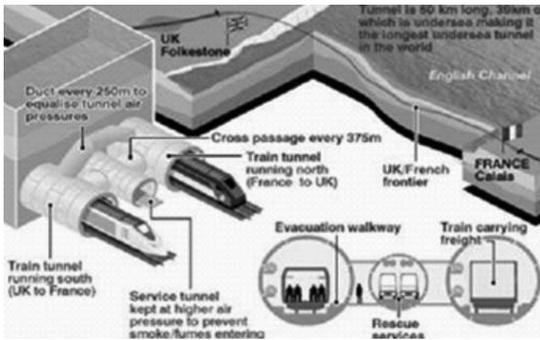
GTX 개통으로 서울과 수도권 이동에 걸리는 운행비용이 줄고 통행시간이 단축될 것이다. 이와 같이 경제적 편의 측면에서도 2016년 개통시기부터 계속 증가하여 2031년부터는 상당한 금액의 국가이익이 창출될 것으로 기대된다. 특히, 수도권광역급행철도 GTX도 역세권을 중심으로 문화, 편의, 상업시설이 들어서 지역 경제활성화를 견인할 것으로 기대된다.

2.2 해외사례

프랑스 파리는 철도망을 중심으로 대중 교통 수단이 발달하고 있다. 파리의 광역급행전철 RER은 파리시와 주요 외곽 거점 지역 시민들이 편리하게 전철을 이용할 수 있도록 하는 동시에 기존의 파리 지하철망과 연계성도 높였다.

파리 광역급행전철 RER의 X자형의 노선이 구축되면서 파리외곽과 파리시내간 통행자의 70%정도가 전철을 이용하는 교통 개선 효과를 거뒀다. 파리는 최근 파리와 인근 교외지역간 승용차 통행 억제를 위해 순환형의 연계





전철망이 구축되어 있다.

영국의 경우, 2017년 개통을 목표로 메이든헤드역~아비우드, 메이든헤드역~셴필드를 잇는 노선이 구축 중이며 한국의 수도권광역급행열차와 같이 복잡한 노선을 피하기 위해 도심 지역은 60m 지하로 공사하고, 외곽은 지상 노선도 건설될 예정이다. 개통 시 운행속도는 100km/h로 단 시간 내 광역간 이동할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

또한, 영국철도국과 프랑스 SNCF, 벨기에 SNCB에 의해 공동으로 운영되는 다국적 철도회사인 유로스타는 런던에서 영국 해저터널을 관통해 파리, 브뤼셀 구간을 정기적으로 운행하고 있다.

일본의 경우, 동경의 광역철도는 다수의 노선이 운영되고 있습니다. 타 노선과의 연계가 잘 되어 있고 노선간의 상호 직통운행이 활성화 되어 있다. 동경은 지선이 많고 도심지역에 지하철이 아닌 전철노선이 있기 때문에 본선구간의 시.종점을 운행하는 노선, 본선구간 내의 일부 구간을 운행하는 노선, 지선구간과 본선의 종점을 연결하는 노선, 본선 종점을 통과한 후 타 노선과 연결하는 노선 등 다양한 운행 노선을 보유하고 있다. 광역철도는 모든 역을 정차하는 보통열차, 일부 역을 무정차 통과하는 준급행, 주요 거점역만 정차하는 쾌속, 급행 등 다양한 형태로 열차를 운영하고 있다.

러시아의 경우, 모스크바 광역 철도는 역사가 매우 오래되었음에도 불구하고 속도가 굉장히 빠른 동시에 안전하다. 따라서 모스크바의 광역급행철도는 편안한 이동 수



단으로 각광받고 있다. 특히, 지하 84m에 설치된 Park Pobedy Station은 소화설비 확충, 불연성 및 난연성 재질 적용 등을 통해 안전에 만전을 기하고 있다.

3. 대심도 철도터널건설기술

3.1 대심도 철도터널의 장점과 기술과제

1) 대심도 터널의 장점

대심도 철도터널은 사전 보상 없이 사용 설정할 수 있으므로 대도심 지하의 사암비 절감시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 사업기간 단축으로 계획적인 사업의 실시가 가능하며, 합리적인 선형으로 비용절감을 할 수 있다. 특히 소음/진동의 감소, 경관유지로 지상의 도시환경 보전할 수 있으며, 혼잡한 지상에서의 대규모 도심지 토목공사 지양할 수 있고 지진영향도 매우 적게 받는다.

2) 기술적 과제

(1) 문제점

대심도 터널에 있어서는 도심지의 경우 기존 지하철 및 철도 노선 등과 간섭될 가능성도 배제할 수 없다. 경우에 따라 상부의 고층건물 등 지상 지장물과 상하수도관, 가스관 등의 지중 지장물과 간섭될 가능성이 있으며, 기존에 시공된 지하철 및 철도 노선 등에 비해 상대적으로 지장물의 영향을 크게 받을 수 있고 사유지 침범에 따른 막대한

보상 문제가 발생할 수 있으므로 특히 정거장 계획 구간의 경우 이러한 지장물의 영향을 최소화하기 위해 대심도의 터널 정거장으로 계획되어야 한다. 정거장을 터널로 계획할 경우 환승계획, 기계 전기실 등의 기능실, 승강장 및 대합실 등의 계획으로 인해 대단면 터널로 계획되는 것이 일반적이다. 따라서 대심도의 대단면 터널 정거장을 계획할 경우 일반 복선단면 보다 규모가 크고 국내 시공사례가 적어 국외의 설계 및 시공사례를 반영하여 안전한 시공이 되도록 계획하여야 한다.

(2) 기술적 기본검토사항

기술적으로 해결하여야 할 사항에 대하여 지반조사기술, 터널의 환경대책(환기탑, 지하수 문제 등), 터널의 방재대책, 터널의 환기방식, 터널구조(분/합류부 구조), 터널공법(시공법), 건설 및 유지관리 비용의 증대, 출입구의 제한 및 향후 확장 등에 대하여 기술적인 측면에서 다각적으로 검토가 되어야 한다.

① 상세한 지반조사기술

대단면 터널과 교호하는 지반특성은 다층의 지층조건이 수반될 가능성이 높으므로 상세한 지반조사 결과를 바탕으로 국부적인 취약구간에 대한 합리적인 보강계획 수립이 요구된다.

② 대단면 터널의 굴착공법

대단면 터널의 굴착시 다 분할 굴착공법 적용으로 무지보 스패ن길이를 최소화하여 터널의 굴착 안정성을 확보하여야 한다.

③ 이완영역의 보강

터널 굴착에 의한 이완영역은 복선터널 보다 크게 발생하므로 이완하중에 저항할 수 있는 강한 강성의 보강공법 및 넓은 이완영역을 합리적으로 보강할 수 있는 대규모의 보강공법들에(예, 대구경 강관보강 그라우팅, 장척의 록볼트, 케이블 볼트, 락앵커 등) 대하여 검토되어야 한다.

④ 임시지보 적용

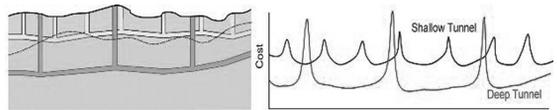
상기와 같이 다 분할 굴착공법의 적용에 따라 임시의 가지보 설치후 단면 확폭에 따라 제거하는 경우가 발생할

수 있으며 체계적인 공정계획 수립이 요구된다.

⑤ 상세한 계획계획의 수립 및 시공순서에 따른 피드백 적용이 필수적으로 이루어져야 한다.

3)대심도터널과 천층터널 비교

대심도터널은 천층터널에 비해 심도가 깊어짐에 따라 지상구조물 및 부지에 대한 보상비가 적고, 지상경관 그리고 터널건설시 진동과 소음의 영향을 적게 받을 수 있지만 지하수에 의한 수압의 기술적 대처능력이 요구된다.



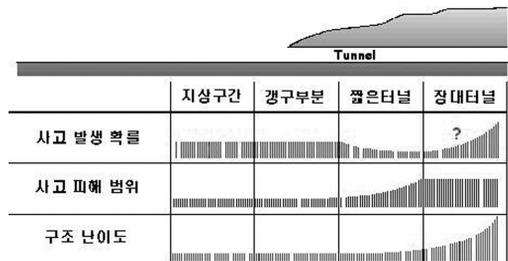
건설비에 있어서는 천층터널보다는 상대적으로 양호한 암반에 건설됨에 따라 다음그림과 같이 본선의 공사비는 적게 요소될 가능성은 있으나, 정거장구간에 있어서는 앞절에서 언급하였듯이 지하구조물과의 간섭 및 굴착깊이가 깊어짐에 따라 건설비는 더 많이 소요될 가능성이 있다.

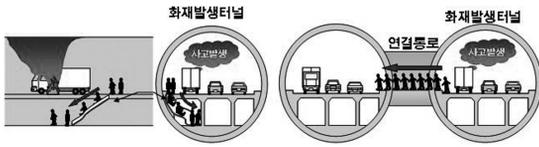
4) 터널재난위험도 비교

터널에 있어서 사고발생 확률은 장대터널일수록 크다. 사고에 대한 피해 범위에 있어서도 짧은 터널에 비해 장대터널이 큰 것으로 나타난다. 이처럼 장대터널 건설시에는 사고방지를 위해 터널내 환경조건과 유지관리 특성 및 재난시 구난 계획에 대해 고려하여야 한다.

5) 대심도 터널의 안전확보 기술

화재시 대피계획은 375m의 일정한 간격으로 대피연결





통로를 설치하여 대피안전을 도모할 수 있도록 하였다. 또한 터널의 아래 대피공간을 확보하였으며 피난계단과 연결하였다. 화재시 피난계단을 통해 신속히 이동하여 승객의 안전을 도모할 수 있다.

3.2 수도권/도심지내에서의 대심도 철도터널의 기술적 요구사항

1) 대중교통에 대한 대응

수도권 대중교통 통행량 확보를 위한 대심도 터널 단면의 대단면화가 요구되어 진다. 이에 따라 대단면 굴착기술과 초대단면 굴진면 안정성 확보기술의 도입이 필요할 것이다.

2) 토지이용의 고도화 및 복잡화에 대응

수도권 대심도 터널이라고 하여도 접속구간 또는 정거장구간에 대하여서는 지역적으로 근접시공이 예측되며 이에대한 안전시공을 위한 특수단면 굴착기술이 요구된다.

3) 도시공간의 유효활용

지상 토지공간 부족 및 양호한 구간 확보 부족으로 인한 추가적인 공간창출을 위한 대심도화에 따른 지하공간 활용에 따라 심도가 깊어짐에 따른 지하수에 의해 야기되는 고수압에 대한 대응기술과 지반조건의 정확한 정보 확보를 위한 신뢰적인 지반조사 기술이 요구된다.

4) 환경확보

친환경 고효율 첨단공법을 이용하여 터널 비개착화 및 장거리 굴착기술과 수직구의 최소화 대책이 필요하며 고

속시공 기술의 확보와 장대터널임을 감안하여 버력반출 및 자재반입의 효율화 그리고 분/합류부 등의 지중 확폭 기술 등이 확보되어야 할 것이다.

대심도 터널 굴착에 의한지하수위 저하대책 및 대기오염대책과 관련하여 지하수보전기술 그리고 부유분진(SPM), NO_x등 오염원 제거 기술 등이 요구된다.

5) 안전확보

수도권 광역급행철도 건설시 이용객 수요증가에 따른 안정성 확보를 위한 시공 및 유지관리 기술필요하다. 특히 화재사고에 대한 대책과 내화, 환기, 내진기술 등이 필수적으로 요구된다.

6) 비용절감 및 공기단축

수도권 광역급행철도는 장대터널임에 따라 전반적으로 안전하고 경제적인 시공을 위한 합리화 기술이 필요하며 사전에 이에 대한철저한 검토가 요구된다.

3.3 지반특성조사 및 분석기술

터널을 설계 및 시공하기 위해서는 터널 주변의 지반특성조사가 기본적으로 이루어져야 한다. 지반조사는 크게 8가지로 구분 할 수 있는데, 기초자료조사를 하는 사전조사, 기존의 설계 및 시공상 문제점을 분석하는 원인조사분석, 조사대상에 대해 조사항목과 방법을 수립하는 조사계획수립, 위성영상, 지형도, 지질도, 지표지질로 조사하는 광역지반조사, 조사구간의 강도 및 변형특성, 수치특성, 동적특성에 대해 조사하는 상세조사, 지질 및 지반공학특성에 따라 시행되는 성과분석 및 설계정수 산정, 시공중 조사 등이 각 단계별로 지반특성 및 분석기술로 나눌 수 있다.

위의 지반특성조사 및 분석기술의 문제점으로는 대심도 터널과 같이 특성상 일반적인 지하철 터널의 설계시 적용하는 빈도로 시추조사를 수행하는 것이 조사기간, 설계기간 등을 고려할 때 어려울 가능성이 크다는 것이다. 따

라서 대심도의 지반특성을 간접적으로 평가하기 위해 탄성파탐사, 전기비저항 탐사 등의 물리탐사 기법을 적용하여 예측한 결과와 시추조사 결과를 상호 비교하여 지반특성을 판단해야 하는데 그로 인해 대심도 및 대단면 터널 시공시 막장 전방의 국부적인 연약대 등의 취약대 분포를 시공 중 사전에 예측하여 신속한 보강계획 등의 대책공법을 수립할 수 있기 때문이다.

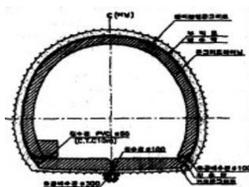
위의 문제점으로 파악되는 대심도 터널과 같이 조사분석이 어려울 경우에는 터널 전방지반의 사전 예측 계획과 시공 중 조사계획 수립 상세한 시공을 전제로 한 기계굴착 방법의 적용성 검토를 신중하게 파악하여 적용함으로써 이와 같은 문제점을 극복 할 수 있는데 그 예시로서 터널 설계 및 시공시에 상세한 지반조사를 하여 그 결과를 바탕으로 하여 지반특성이 상세하게 파악되었다면 장대의 대심도 지반에 종종 적용되는 기계굴착 공법(개방형 TBM 등)의 적용성을 검토할 수 있는데 그로 인해 안정성, 시공성, 경제성 측면에서 최적의 굴착공법이 적용될 수 있는 것이다.

3.4 대심도 철도터널의 방배수 기술

1) 배수와 비배수터널의 개념

① 배수터널 (외부, 내부배수형)

배수터널은 다음그림과 같이 터널의 지하수 유입량이 적거나 통제가능 할 때 주로 채택되는 방식으로서 지하수에 의한 수압으로 라

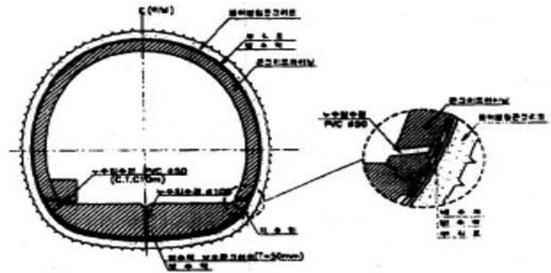


이닝의 구조적 한계를 초과 할 때 수압을 떨어뜨림으로 깊은 심해지반을 통과하는 터널에도 적용된다.

예로써 Seikan Tunnel과 Channel Tunnel중 영국 구간의 터널이 이 방식으로 운영되고 있다.

② 비배수터널

비배수터널은 지하수 유입량이 많거나 통제가 어려울



때 사용하는 방식이며 지하수유입을 차단함으로써 수압은 크게 받지만 운영비용측면에서 매우 경제적인 터널방식이다.

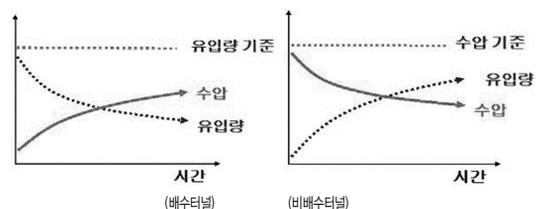
예를 들면 Channel tunnel 중 프랑스구간의 터널이 이와 같은 방식으로 운영되고 있다.

2) 수리영향을 고려한 설계개념

터널이 시공되어 질 때 크게 고려되는 요소는 터널주변 지하수의 수리거동에 대한 문제이다. 지하수의 영향을 최소화 하기 위해서는 우선 지반의 투수계수를 최소화시킬 수 있는 가장 적절한 심도를 선정하는 것이다. 그러나 불가피하게 심도가 깊고 지반조건이 불량할 경우에 있어서는 터널 주변의지반 투수성을 그라우팅 공법적용으로 보강하여 지하수 유입을 저감시켜 터널의 유입량을 감소시키는 방법이다. 이는 터널에 거동하는 수압을 침투압으로 변화시킴으로써 터널에 미치는 하중을 분산시키는데 주목적이 있다.

3) 터널의 장기적인 수리거동 조건

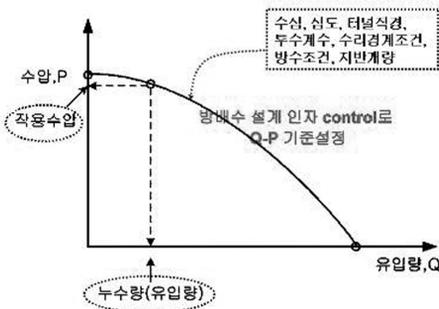
터널을 배수조건 및 비배수 조건으로 시행하였을 때 장기적으로 터널이 열화 될 경우 그림에서 제시된 것과 같이 배수터널은 수압이 올라가고 유입수량이 저감하여 비배



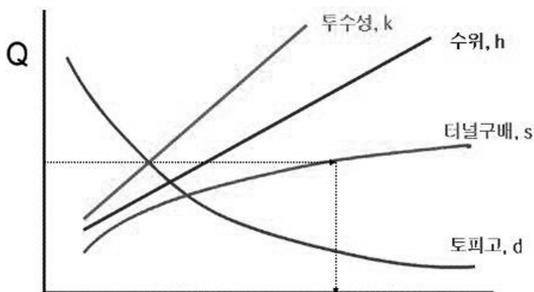
수화되고 비배수터널의 경우 유입수량이 증가하고 수압이 작아져 배수터널과 같은 수리거동을 하게 된다. 따라서 이러한 장기적인 수리거동에 대한 철저한 검토가 대심도 터널의 경우 수행되어야 한다.

4) 대심도 터널의 방배수 설계인자

대심도 터널은 아래 그림과 같이 수압과 유입수량이 반비례하는 거동이 나타나며 거동양상은 수심, 심도, 터널의 직경, 투수계수, 수리경계조건, 방수조건, 지반개량의 요소 등에 의해 좌우 된다. 따라서 이러한 영향인자에 대한 검토를 철저히 하여 향후 예상되는 문제점에 대한 사전 대책이 수립되어야 한다.



또한 아래그림에서 볼 수 있듯이 터널의 전체 유입수량 $Q_i = f(k, s, h, d)$ 은 터널 주변지반의 투수성과 수위, 터널 구배, 토피고 등 각 영향요소 상태에 따라 다르게 나타난다. 따라서 터널의 집수정들의 위치와 용량은 필수적으로 영향요소들간의 상호 거동에 대하여 검토한 후 선정과 결정되어야 한다..



2.5 대심도 터널시공 기술

1) 터널굴착공법

① NATM (발파공법)

NATM공법은 장약을 통해 지반을 발파 후 지반을 주지보재로 활용하여 터널의 응력을 지탱하고 추가적인 슛크리트 및 록볼트 등의 지보재를 적용하여 보조적인 공법으로 지탱하여 터널을 시공하는 방식이다.

특징으로는 여타의 공법에 비하여 상대적으로 경제성 우수하며 지반 변화에 대한 적응성이 우수하다고 볼 수 있으며 마제형 복선터널 계획으로 굴착단면적을 최적화(굴착 단면적 : 79,50m²)할 수 있다.



② TBM (기계굴착)

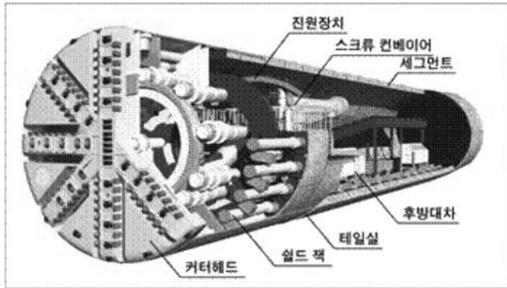
TBM공법의 경우는 디스크커터의 회전 압축력으로 굴착을 실시한 후 지보재 또는 콘크리트 라이닝을 설치하여 터널을 시공하는 방법으로서 특징적으로 여타의 공법에 비하여 굴진속도가 빠르며(평균 10m/일), 신선하고 균질한 보통암~경암층에 적합하다. 또한 원형단면으로 불필요한 공간의 발생을 최소화 할 수 있으며 단선병렬(직경 8m, 굴착단면적 : 50,26m²)과 복선터널(직경 11.5m, 굴착 단면적 : 103,87m²)로 나뉜다.



2) 기계화시공기술

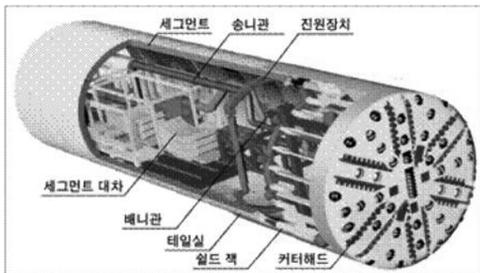
① 토압식 (EPB Type)

토압식은 막장지지방식으로서 챔버내 굴착토사를 이용하여 막장압을 관리한다. 지반조건은 다양한 입질의 토질에 적합하며 작업에 필요한 부지가 소규모이고 지상설비가 간단하여 현장 적용에 매우 좋다. 하지만 현장조건에 따라 구조물 근접되어 있거나 시공중에 있다면 매우 불리한 공법이라고 볼 수 있는데 적용사례로는 한강하저터널과 영불해협터널의 사례를 들 수 있다.



② 이수 가압식 (Slurry Type)

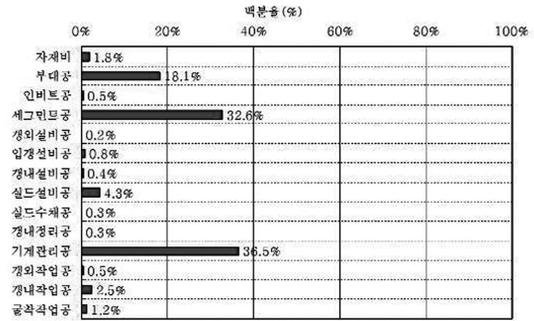
이수가압식은 막장지지방식으로서 가압이수를 통해 막장압을 관리하고 연약대에서 특히나 막장관리가 우수하다. 현장 적용시에는 근접건물 및 지반에 주는 영향이 미비하지만 이수플랜 소음이 크고 진동이 있어 소음 및 진동에 대한 대책이 필요한 공법이다. 적용사례로는 수영강 하저터널과 동경만 횡단도로가 있다.



3) 기계화시공의 공정별 공사비 비율

① 쉴드터널의 공정별 공사비 비율

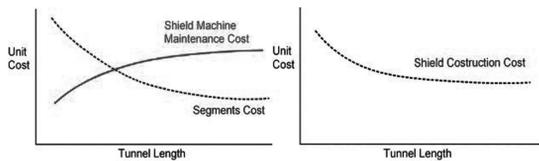
위에 나타난 그림과 같이 쉴드터널의 시공에는 세그먼트공과 기계관리공이 공사비의 대부분을 차지하는 것을



볼 수 있다. 따라서 경제적인 안전시공을 위하여서는 쉴드머신과 세그먼트의 제작에 대한 검토가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

② 터널연장별의 공정별 공사비 비율

다음그림 들은 터널의 길이가 증가함에 따라 쉴드의 건설비용과 쉴드머신의 유지비용 그리고 세그먼트의 비용의 관계들을 보여주고 있다. 이러한 기본적인 개념을 고려하여 쉴드의 건설비용, 세그먼트의 제작비용 그리고 기계관리공에 따른 비용 등에 대한 상호 분석이 실시되어야 할 것이다.



4) 터널시공의 리스크 및 안정성

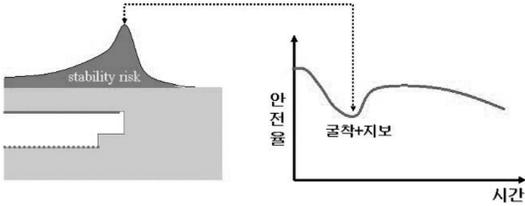
터널 시공시 리스크와 안전성에 대하여서는 다음그림과 같이 공간적특성과 시간적특성으로 구분하여 예측할 수 있다.

① 공간적특성

터널의 지보시스템 중에서 가장 위험도가 높은 것은 터널의 막장으로서 이에 대한 안정성확보가 중요하다. 따라서 터널의 막장은 주변지반의 응력이 집중되어 작용함으로써 막장에 작용하는 응력을 분산시키기 위해서 굴착방법이 요구된다.

② 시간적특성 (Life Time)

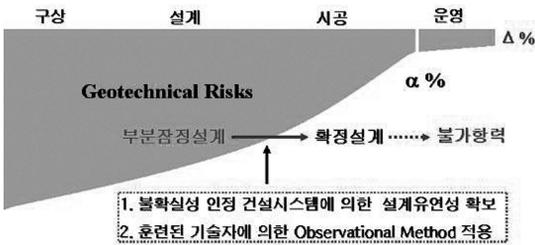
터널의 막장을 굴착하였을 때 굴착시에는 터널의 안정성이 저하되지만 굴착 후 시간이 지날수록 터널의 안정성은 굴착했을 당시보다 높아진다. 따라서 굴착 후 지보설치 과정에서의 안전성확보가 요구된다.



3. 결론 및 제언

대심도 철도터널 건설에 있어서 필수적으로 고려해야 할 터널공학기술에 대하여 언급하였다.

이에 따라 수도권 대심도 터널의 기술적 요구사항에 대한 분석 및 시공에 필요한 기술에 대해서 분석 제시하였다.



그러나 대규모 대심도 터널건설에 있어서 실질적으로 지반공학적인 측면에서의 불확실성 때문에 현재 국내 건설시스템으로는 Geotechnical Risks를 완전히 해소시킬 수 있다는 것은 불가항력적이며 상대적으로 조사비용이 무한대로 소비된다. 따라서 어느 정도 Risk를 허용하는 설계유연성이 확보된다면 공학적 조사에 기반을 둔 다각적인 터널 설계 및 시공에 대한 자료의 분석으로부터 불확실성의 건설시스템적 문제를 다소나마 해소할 수 있는 것으로 기대된다.

참고문헌

1. "수도권 광역철도 건설에 따른 지역경제 파급효과 분석", 경기개발연구원, 2008.6.
2. 정책토론회 "수도권광역급행철도 건설 토론회", 주최(대한교통학회, 한국철도학회, 한국터널공학회), 주관 (경기도, 경기도 시공사), 2009.2.
3. 터널공학시리즈 1 & 2, "터널의 이론과 실무", 한국터널공학회, 2007.6., 2008.5.
4. "국내외 주요 TBM터널의 현황과 전망", 한국터널공학회, 2008.11.