

국내 도심지 지하공간 개발의 최근 기술동향



글 김상환 \ 호서대학교 토목공학과 교수 \ 전화 041-531-0969 \ E-mail kimsh@hoseo.edu



1. 머리말

우리나라는 약 70% 정도가 산지인 지형적인 조건 때문에 생활공간이 제한될 수 밖에 없다는 사실은 누구나 공감할 것이다. 인구에 있어서도 현재 약 5,070만 명(2012년 3월, 행정안전부)으로, 1960년대부터 공업화와 함께 수도권과 대도시를 중심의 도시화가 빠르게 이루어져서 현재 전체 인구의 약 80%가 도시에 살고 있는 실정이다. 특히 서울, 경기, 그리고 인천을 포함하는 수도권에서 우리나라 인구의 절반 이상이 모여 사회활동을 하는 관계로 다양한 문제점이 야기된다. 따라서 국민들의 생활복지를 위한 환경개선과 재해방지 측면에서 다양한 선진국형 사회기반시설의 확충이 필요하다. 대표적으로 지하철건설사업, 지하주차장 건설 등 다양한 사업들이 완료되거나 진행 또는 계획 중에 있으나, 최근에는 밀집지역에 대한 교통량증가 및 기후변화 등에 따라 이에 대응하기 위한 사회기반시설 건설이 절실히 요구되고 있다.

이러한 사회흐름에 따라 최근 서울 및 수도권을 중심으로 녹색교통과 사회기반시설 확충을 위하여 지하공간을 이용한 다양한 사업들이 추진되고 있다. 최근 계획중인 대표적인 사업으로는 녹색교통 확충을 기초로 한 수도권 신개념 광역교통수단으로 도로에 비해 활용이 유리하며 대심도 터널급행철도로 서울도심을 통과하면서 수도권 전역을 연계하는 최적의 Network 구축건설인 GTX 사업, 서울 전역을 30분대로 이동 가능하게 하는 도심지내의 U-Smart Way 도로망 구축사업, 그리고 최근 서울시 저지대 상습침수지역 해소를 위해 계획하고 있는 지하 빗물저류배수시설 등을 들 수 있다.

본 고에서는 상기 언급된 국내 도심지 지하공간개발의 주요사업들에 대한 방향과 지하공간개발측면에서 지하공간건설기술에 대하여 다각적으로 고찰해 보고자 한다.

2. 최근 국내 도심지 지하공간 개발사업

국내 도심지 지하공간을 활용하기 위한 다양한 사업들이 완료되거나 진행 또는 계획 중에 있으며, 최근 계획 중인 대표적인 도심지 지하공간개발사업에 대하여 소개하면 다음과 같다.

2-1. 수도권광역급행철도(GTX) 건설

수도권광역급행철도 GTX(가칭)는 평균 속도 시속 100km 이상으로 서울과 수도권을 동서간/남북간으로 연결하는 획기적인 대중철도교통 수단이다. 지하 40~50m 공간을 터널로 건설하는 GTX는 [그림 1]과 같이 킨텍스~수서(동탄), 인천 송도~청량리, 의정부~금정 등 3개 노선으로 구상되어 있으며, 총 연장 145.5km(중복노선 제외)로 주요 거점역과 수도권 전철을 연결하는 도시철도망을 구축함으로써 기존 전철보다 3배 이상 빠르게 서울과 수도권 광역 거점 지역을 이동할 수 있다. GTX의 도입으로 서울과 수도권은 30분 생활권으로 더욱 가까워지는 동시에 경기도 지역간도 1시간이면 도착할 수 있어 수도권 최대 민생 현안인 교통 문제를 획기적으로 개선하는 것을 목표로 하고 있다.

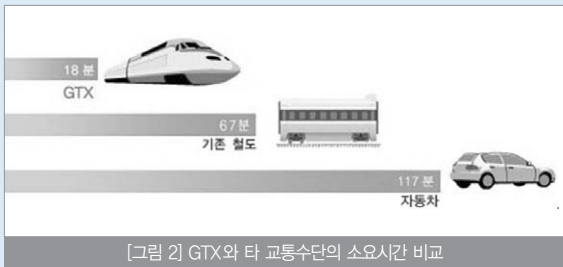
이러한 계획은 서울~경기도를 오가는 승용차 통행량이 1일 18만대가 줄어드는 등 1일 평균 총 38만대의 통행량 감소효과를 가져올 것으로 기대하고 있다.

GTX는 지하철 시스템과 달리 중간 정차역을 최소화하고 정차역간의 노선을 직선화하여 실제 통행시간을 단축해 기존 지하철보다 약 3배 정도 빠르게 수도권을 오갈 수 있다.

또한, GTX의 정차역은 버스, 지하철 등 기존 교통시스템과 연계된 종합환승센터로 운영되어 환승 시 걸리는 시간까지 절약할 수 있을 것으로 예상된다. GTX가 개통된다면 [그림 2]와 같이 현재 승용차로 2시간, 기존철도로 1시간 이상 걸리는 경기도 동탄에서



강남까지의 이동 소요시간이 18분으로 단축되는 효과를 기대하고 있다.



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

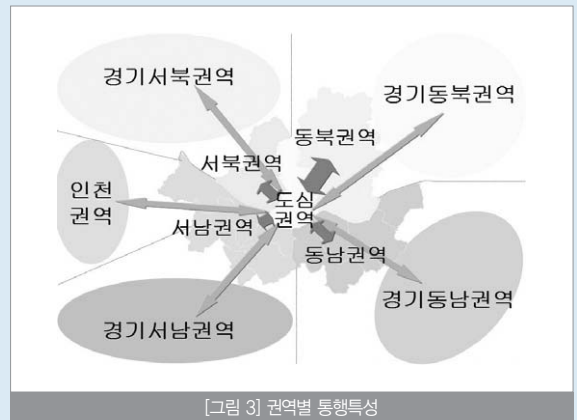
철도는 그 자체가 친환경적인 녹색 운송수단으로 승용차에 비해 이산화탄소 배출은 1/6, 에너지 소비도 1/8 수준이므로 승용차를 타는 사람 중 일부만 철도로 옮겨가도 환경오염을 줄이는 것은 물론이고 환경문제 개선을 위한 비용과 에너지 비용까지도 줄이는 경제적인 이익을 누릴 수 있을 것으로 기대된다. GTX 개통으로 서울과 수도권 이동에 걸리는 운행비용이 줄고 통행시간이 단축될 것이다. 또한 가장 안전한 교통수단인 철도를 이용하게 되어 승용차와 버스에 비해 교통사고 걱정을 덜 수 있고, 자동차의 배기가스로 인한 대기오염을 줄일 수 있을 것이다.

경제적 편익 측면에서도 운행비용, 통행시간, 교통사고, 환경비용 절감으로 인한 전체 경제적 편익은 개통시기부터 계속 증가하여 상당한 금액의 국가이익이 창출될 것으로 기대된다. 특히, 수도권

광역급행철도 GTX의 역세권을 중심으로 문화, 편의, 상업시설이 들어서 지역 경제를 활성화할 것으로 기대된다. 쾌적한 환경과 저렴한 가격에 각종 편의시설까지 더해져 신혼부부, 맞벌이부부, 고령자의 유입효과가 발생될 것이다.

2-2. 서울시 U-Smart Way 건설

서울시 U-smart Way 지하도로망 구축사업의 목적은 2006년 11월 작성된 서울시 지하공간 종합기본계획에 따라 지하도로 부문에 대한 체계적인 Master Plan을 수립하고 지하공간을 계획적으로 관리하기 위하여 서울전역을 30분내로 이동 가능한 지하도로망을 구축하는 것이다. 이 도로망은 항만과 공항 등 서울-인천간 접근성을 개선하고 서울-인천축 외의 교통량은 서울외곽순환도로 등 우회도로를 통하여 처리하는 권역별 통행특성을 반영한 도로망이다(그림 3) 참조).



또한 도심과 부도심 및 주요 거점지역을 격자체제로 연결하여 도심순환기능을 부여하고, 승용차 비율을 90%까지 높여 경제적인 순환도로망으로 이용될 것을 감안하여 소형차 전용 복층 구조로 계획하여 모든 시민이 사용하기 편리한 지하도로 Network을 구



축하게 된다.

이 계획은 [그림 4]와 같이 총 연장 149km의 남북방향으로 3개 축, 동서방향으로 3개축의 격자형으로 연결되는 도심 순환망으로, 사업비는 약 11조2천억 원으로 추정된다. 이 사업으로 인하여 지상의 교통량을 약 21% 정도 감소시킬 수 있을 것으로 예측하고 있으며, 이에 따른 교통혼잡으로 야기되는 사회혼잡비용(1조6천억원 추산)과 대기오염배출량 등 환경오염으로 인한 사회적 비용(약 8천4백억원 추산)등 연간 2조4천억원 가량의 경제적 효과가 발생할 것으로 예측하고 있다.

또한 도심지 녹지공간(공원 등)의 증가로 인간중심의 친환경적인 도시공간을 확보할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2-3. 도심지 빗물저류배수시설 건설

서울시를 비롯한 도심지에 인구와 자산의 집중으로 인하여 점진적으로 침수취약지역내 거주, 특히 지하주택 거주가 증가하고 있는 실정이다. 이에 기반시설의 부족과 최근 이상기온으로 인한 기습폭우의 증가로 침수취약 거주밀집지역에 대한 풍수해 위험성이 높아지고 있다.

[그림 5]와 같이 서울시 내 계획홍수위 이하의 저지대 침수 위험지역이 전체 면적의 18.1%로 폭우 시 대응능력이 부족하여 침수 피해가 발생하고 있다.

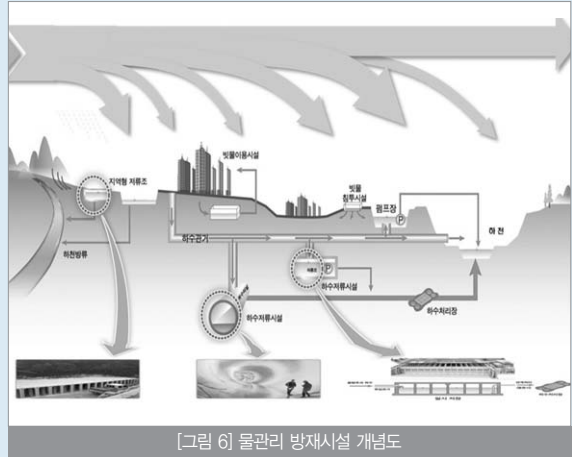


[그림 5] 서울시 침수 위험지역

또한, 기후가 폭우를 동반하는 아열대 기후로 점진적으로 변화하고 있어 10년 빈도 시간당 강우량이 현재 76.5mm에서 30년 후에는 94.1mm로 증가할 것으로 예측되고 있으므로 풍수해 최소화 대책이 필요하며, 서울시의 경우 단기와 중장기로 구분하여 단계별 시행계획을 수립하였다. 물관리 방재시설에 대한 개념도는 [그림 6]과 같다.

단기대책으로는 재난에 대한 대응책과 소규모시설 등의 설치를 계획하고 있으며, 중장기대책으로는 물 순환을 개선하고 배수 및 저류시설과 같은 기반시설을 확충하려고 한다. 하수관거 확충과

빗물펌프장 시설용량 개선 등과 같은 전통적인 대책 뿐만 아니라 지하 빗물 저류조 또는 빗물 저류배수시설 건설과 같은 새로운 대책을 수립하고 추진 중에 있다.



[그림 6] 물관리 방재시설 개념도

이에 따라 서울시 자치구별 상습풍수피해지역을 대상으로 빗물저류배수시설 도입을 다각적으로 검토하여 현재 신월지역(신월동-안양천), 광화문지역(효자동-청계천), 사당지역(사당동-한강) 등 3개 지역에 대한 타당성 조사를 완료하고 기본계획을 수립하여 사업을 진행하고 있다.

각 지역별 침수피해 중장기 대책으로 계획된 빗물저류배수시설 건설의 추진사업에 대하여 소개하면 다음과 같다.

1) 신월지역

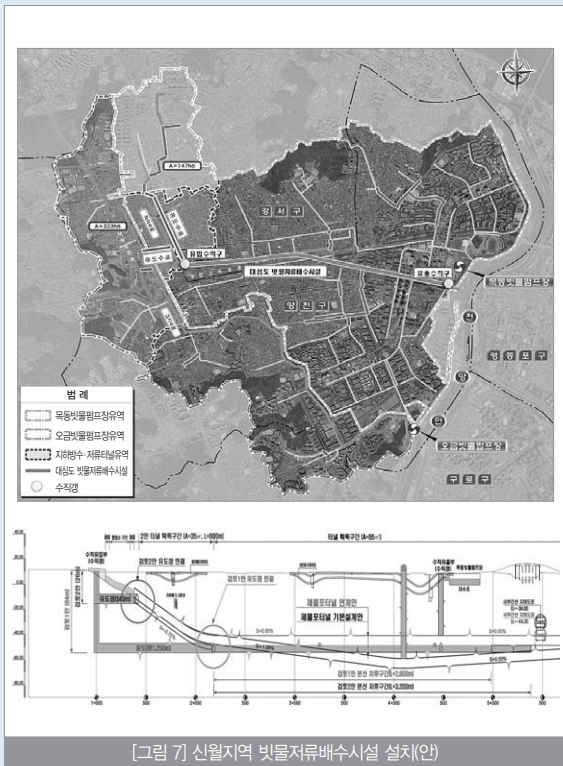
신월지역의 경우 교통통제 등 주민 불편을 최소화할 수 있고 경제적인 연장 약 3.4km, 직경 7.5m 규모의 터널로 [그림 7]과 같이 대심도 빗물저류배수시설이 계획되었으며, 사유지 하부 통과 시민원에 대한 대책이 요구된다.

2) 광화문지역

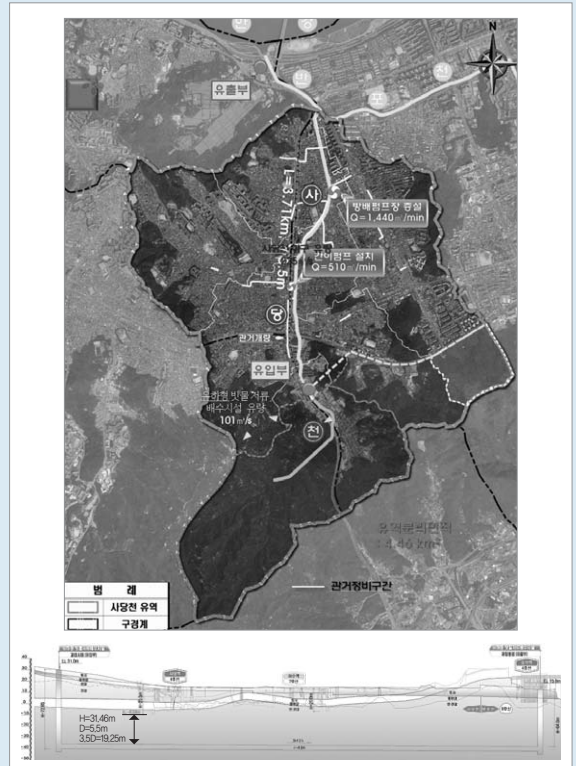
광화문지역의 경우 시간당 105mm수준(50년 빈도)의 집중호우 대응능력을 확보하기 위한 중장기시설로서 [그림 8]과 같이 관거 용량을 초과하는 상류유역 옥류동천 합류부 빗물을 청계천 장통교로 분리 배제하는 목적으로 계획되었다. 터널의 연장은 2km이며, 직경은 3.5m 이상이고, 시중점의 수위차(8.97m)를 이용한 자연배수형식으로 계획되었다.

3) 사당지역

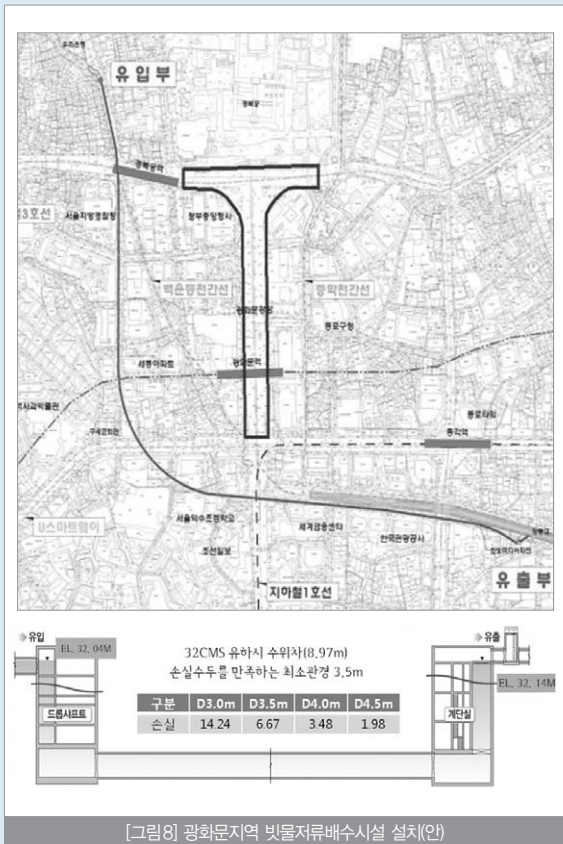
사당지역의 경우 [그림 9]와 같이 상류유역(관악산, 우면, 내방)을 분리한 뒤 한강으로 자연 방류하기 위한 계획으로 과천대로 사당 IC공터구간에 유입 수직관과 동작구 공용주차장 구간에 유출 수



[그림 7] 신월지역 빗물저류배수시설 설치(안)



[그림 9] 사당지역 빗물저류배수시설 설치(안)



[그림 8] 광화문지역 빗물저류배수시설 설치(안)

직강을 설치하는 방안이 수립되었다. 터널의 연장은 약 3.7km이며 직경은 5.5m로 계획되었다. 이 계획은 공사시행에 따른 교통 통제 및 지장물 이설 등 장애요인을 최소화할 수 있는 경제적인 계획이나, 수직구 지역의 토지보상이 필요하며, 일부 사유지 하부 통과 시 민원에 대한 대책이 요구된다.

3. 도심지 대심도 터널건설의 기술적 요구사항

3-1. 기본검토사항

이상과 같이 도심지에 계획된 대심도 터널 건설은 기존 구조물 즉, 기존의 지하철, 철도터널, 지하구조물 등을 비롯하여 상부의 고층건물 등 지상 지장물과 상·하수도관, 가스관 등의 지중 지장물들과 간섭될 가능성이 높다. 또한 기존에 시공된 지하철 및 철도 등에 비해 상대적으로 지장물의 영향을 크게 받을 수 있고 사유지 침범에 따른 막대한 보상 문제가 발생할 수 있으므로 특히 정거장이나 입출구 계획 구간의 경우 이러한 지장물의 영향을 최소화하기 위한 대책이 요구된다. 또한 대단면 터널로 계획되는 경우 해외 설계 및 시공사례를 반영하여 안전한 시공이 되도록 계획되어야 한다.

기술적으로 해결하여야 할 기본 검토사항에 대하여 제시하면 다음과 같다.

- 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

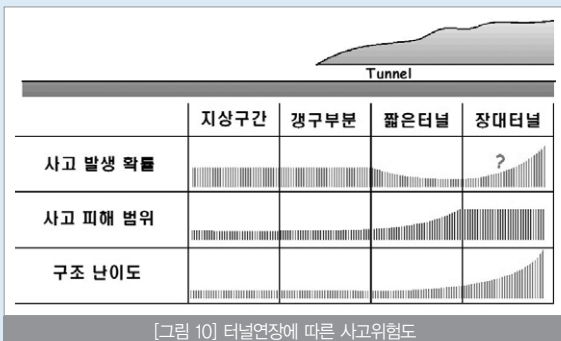
상기 기본검토사항들에서 특히 상세한 기술적인 요구사항을 정리 하면 다음과 같다.

대심도 및 대단면 터널의 경우 다양한 지층조건이 수반될 가능성이 높으므로 상세한 지반조사 결과를 바탕으로 국부적인 취약구 간에 대한 합리적인 보강계획 수립이 요구된다. 대단면 터널의 굴착 시 다분할 굴착공법 적용으로 무지보 굴착장을 최소화하여 터널의 굴착 안정성을 확보하여야 한다. 터널 굴착에 의한 소성영역은 지반하중에 저항할 수 있는 강한 강성의 보강공법 및 넓은 소성영역을 합리적으로 보강할 수 있는 대규모의 보강공법들(예를 들어, 대구경 강관보강 그라우팅, 장척의 록볼트, 케이블 볼트, 락 앵커 등)에 대하여 검토되어야 한다. 특히 다분할 굴착공법의 적용에 따라 임시의 가지보가 설치된 후 단면 확폭에 따라 제거되는 경우가 발생할 수 있으므로, 체계적인 공정계획 수립이 요구되며 상세한 계획계획의 수립 및 시공순서에 따른 피드백 적용도 필수적으로 이루어져야 한다.

3-2. 대심도 터널의 안전대책

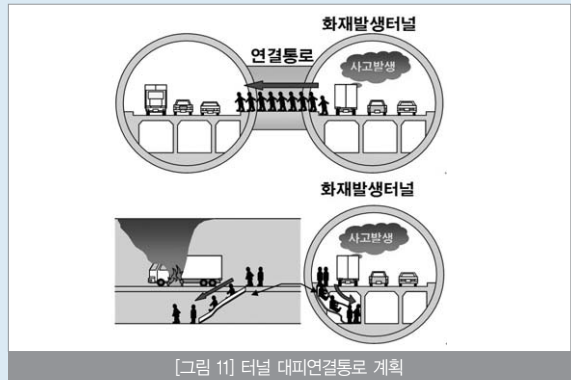
터널에 있어서 사고발생 확률은 [그림 10]과 같이 장대터널일수록 크다. 사고에 대한 피해 범위에 있어서도 짧은 터널에 비해 장대터널이 큰 것으로 나타난다. 이처럼 장대터널 건설 시에는 사고방지를 위해 터널 내 환경조건과 유지관리 특성 및 재난 시 구난계획에 대해 고려하여야 한다.

화재시 대피계획은 [그림 11]과 같이 일정한 간격으로 대피연결통로를 설치하여 대피안전을 도모할 수 있도록 하여야 한다. 또한



[그림 10] 터널연장에 따른 사고위험도

터널 내에 대피공간을 확보하고 피난계단 등과 연결하여 화재시 피난계단을 통해 신속히 이동하여 승객의 안전을 도모할 수 있도록 하여야 한다. 특히, 화재사고에 대한 대책과 내화, 환기, 내진기술 등이 필수적으로 요구된다.



[그림 11] 터널 대피연결통로 계획

3-3. 대심도 지반특성조사 및 분석기술

대심도 터널을 설계 및 시공하기 위해서는 터널 주변의 지반특성 조사가 기본적으로 이루어져야 한다. 지반조사는 기초자료조사를 하는 사전조사, 기존의 설계 및 시공상 문제점을 분석하는 원인조사 분석, 조사대상에 대해 조사항목과 방법을 수립하는 조사계획수립, 위성영상·지형도·지질도·지표지질로 조사하는 광역지반조사, 조사구간의 강도 및 변형특성·수치특성·동적특성에 대해 조사하는 상세조사, 지질 및 지반공학적 특성에 따라 시행되는 성과 분석 및 설계정수 산정, 시공중 조사 등 각 단계별 지반특성조사 및 분석기술로 나눌 수 있다.

위의 지반특성조사 및 분석기술의 문제점으로는 조사기간, 설계기간 등을 고려할 때 대심도 터널의 특성상 일반적인 지하철 터널의 설계시에 적용하는 빈도로 시추조사를 수행하는 것이 어려울 가능성이 크다는 것이다. 따라서 대심도의 지반특성을 간접적으로 평가하기 위해 탄성파탐사, 전기비저항탐사 등의 물리탐사 기법을 적용하여 예측한 결과와 시추조사 결과를 상호 비교하여 지반특성을 판단해야 한다. 또한 대심도 및 대단면 터널 시공 시에 막장전방의 국부적인 연약대 등의 취약대 분포를 시공 중 사전에 예측하여 신속한 보강계획 등의 대책을 수립할 수 있어야 한다.

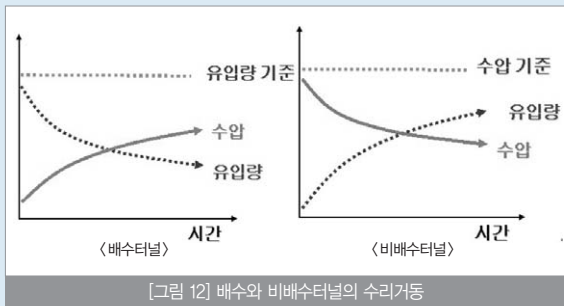
대심도 터널과 같이 조사분석 활동이 어려운 경우에는 터널전방 지반의 사전예측 계획과 시공 중 조사계획을 수립하여 정밀한 시공을 전제로 한 기계화 굴착방법(TBM 공법 등)을 적용함으로써 이와 같은 문제점을 극복할 수 있으나 사전에 안정성, 시공성, 경제성 측면에서 검토가 철저히 이루어져야 할 것이다.

3-4. 대심도 터널의 방배수 기술

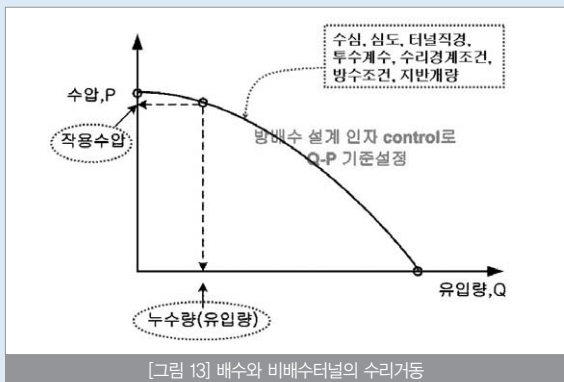
터널 시공 및 완공 후 장기적으로 검토해야 할 중요사항으로는 터

널 주변 지하수의 수리거동에 대한 문제가 있다. 지하수의 영향을 최소화하기 위해서는 우선 지반의 투수계수를 최소화시킬 수 있는 가장 적절한 심도를 선정해야 한다. 그러나 불가피하게 심도가 깊고 지반조건이 불량한 경우에는 터널 주변의 지반을 그라우팅 공법으로 보강하여 지하수 유입을 저감시켜 터널에의 유입량을 감소시키는 방법이 있다. 이는 터널에 작용하는 수압을 침투압으로 변화시킴으로써 터널에 미치는 하중을 분산시키는데 주 목적이 있다.

터널이 배수조건 및 비배수조건으로 완공되었다고 하더라도 장기적으로 터널이 열화될 경우 [그림 12]에서 제시된 것과 같이 배수 터널은 수압이 올라가고 유입수량이 저감하여 비배수화되고, 비배수 터널은 유입수량이 증가하고 수압이 작아져 배수터널과 같은 수리거동을 하게 된다. 따라서 대심도 터널의 경우 이러한 장기적인 수리거동에 대한 철저한 검토가 수행되어야 한다.



대심도 터널은 [그림 13]과 같이 수압과 유입수량이 반비례하는 거동이 나타나며 거동양상은 수심, 심도, 터널직경, 투수계수, 수리경계조건, 방수조건, 터널구배 및 지반개량의 요소 등에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 이러한 영향인자에 대한 영향을 사전에 철저히 검토하여 향후 예상되는 문제점에 대한 사전대책이 수립되어야 한다. 또한 터널배수를 위한 집수정들의 위치와 용량은 필수적으로 영향요소들간의 상호 거동에 대하여 검토한 후 선정되어야 한다.



3-5. 대심도 터널시공 기술

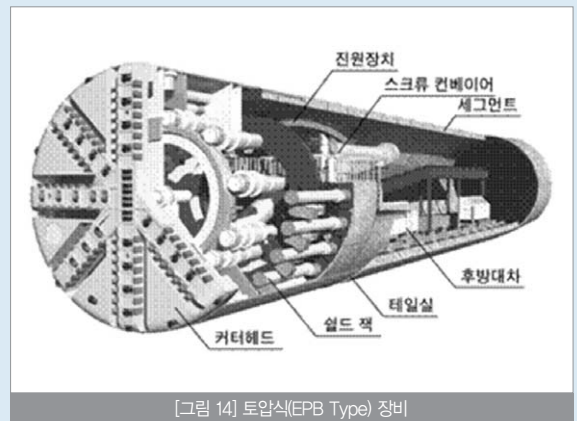
터널굴착공법은 크게 NATM(발파공법)과 TBM 또는 Shield-TBM(기계화굴착공법)으로 대별된다.

NATM공법은 장악을 통해 지반을 발파한 후 지반을 주시보재로 활용하여 터널의 응력을 지탱하고, 추가적인 슛크리트 및 록볼트 등의 지보재를 적용하여 보조적으로 지탱하여 터널을 시공하는 방식이다. 특징으로는 여타의 공법에 비하여 상대적으로 경제성이 우수하고, 지반 변화에 대한 적응성이 우수하다고 볼 수 있으며, 굴착단면적을 최적화할 수 있다.

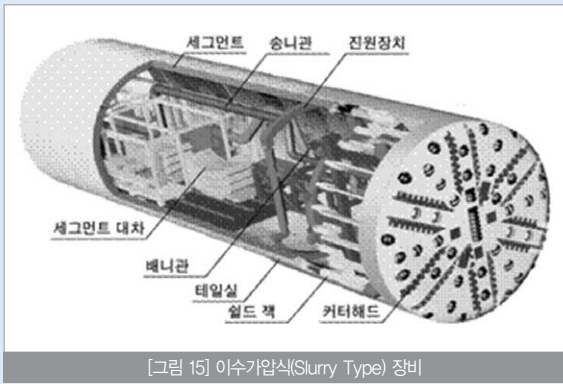
TBM 또는 Shield TBM공법은 기계화굴착으로, 디스크커터의 회전 압축력으로 굴착을 실시한 후 지보재 또는 콘크리트 라이닝을 설치하여 터널을 시공하는 방법으로서, 특징으로는 여타의 공법에 비하여 굴진속도가 빠르며(평균 10m/일), 신선하고 균질한 보통암 ~ 경암층에 적합하다. 또한 원형단면으로 불필요한 공간의 발생을 최소화할 수 있다.

상기 기계화 굴착장비(실드 TBM 또는 TBM 등)는 막장지방식에 따라 크게 토압식과 이수가압식으로 대별된다.

토압식(EPB Type)은 막장지방식으로서 챔버 내 굴착토사를 이용하여 막장압을 관리한다([그림 14] 참조). 지반조건은 다양한 입경의 토질에 적합하며 작업에 필요한 부지가 소규모이고 지상 설비가 간단하여 현장 적용에 매우 좋으나, 현장 조건에 따라 기존 구조물에 근접되어 있거나 시공 중에 있다면 매우 불리한 공법이라고 볼 수 있다. 한강 하저터널과 영불해협 터널 등의 적용 사례가 있다.



이수가압식(Slurry Type)은 가압이수를 통해 막장압을 관리하고 연약대에서 특히 막장관리가 우수하다([그림 15] 참조). 현장 적용시에는 근접건물 및 지반에 주는 영향이 미미하지만 이수플랜 소음이 크고 진동이 있어 소음 및 진동에 대한 대책이 필요한 공법이다. 적용사례로는 수영강 하저터널과 동경만 횡단도로 등이 있다.

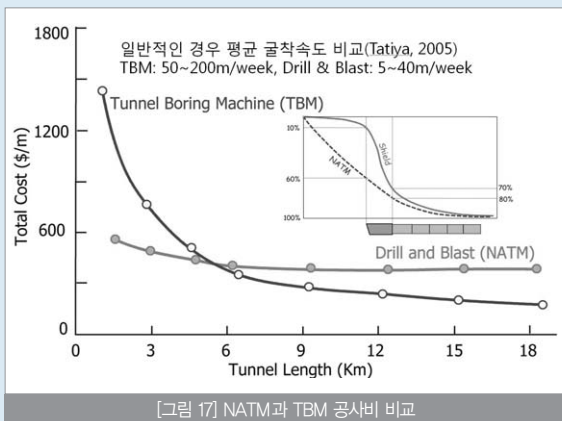


[그림 15] 이수기압식(Slurry Type) 장비

[그림 16]은 실드터널의 공종별 평균 공사비 비율에 대하여 나타낸 것이다. 이 자료에서 보듯이 실드터널의 시공에는 세그먼트공과 기계관리공이 공사비의 대부분을 차지하는 것을 알 수 있다. 따라서 경제적이고 안전한 시공을 위해서는 실드머신과 세그먼트의 제작에 대한 검토가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.



[그림 16] 실드터널의 공종별 평균 공사비 비율



[그림 17] NATM과 TBM 공사비 비교

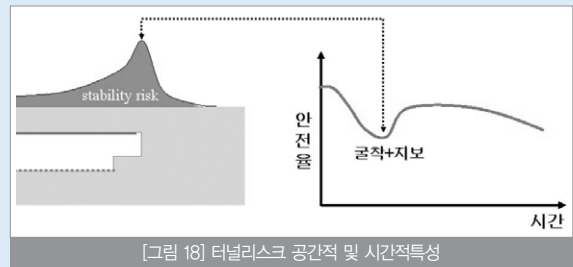
[그림 17]은 터널연장에 따른 발파공법(NATM)과 기계화공법(실드 TBM공법)의 건설비용에 대하여 나타낸 것이다. 이 결과로부터 터널연장이 6km 이상인 경우 원칙적으로 기계화 시공이 경제적

이 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 이러한 기본적인 개념을 도입하여 터널건설의 경제성 분석에 활용하여야 할 것으로 판단된다.

3-6. 터널시공의 리스크 및 안정성

터널 시공시 리스크(Risk)에 대해 나타내면 [그림 18]과 같다. 공간적으로 터널의 지보시스템 중에서 가장 위험도가 높은 곳은 터널의 막장으로, 굴착시 안정성 확보가 중요하다. 터널의 막장은 주변지반의 응력이 집중되어 작용하므로 막장에 작용하는 응력을 분산시키기 위한 굴착방법이 요구된다.

시간적(Life Time)으로 터널막장 굴착시 터널의 안정성이 저하되지만 굴착 후 일정 시간이 경과한 후에 터널의 안정성은 굴착시보다 증가한다. 따라서 굴착 후 지보설치 과정에서의 안전성 확보가 필요하다.



[그림 18] 터널리스크 공간적 및 시간적특성

4. 대심도 터널기술 발전방향

국내 도심지 지하공간개발의 주요사업들에 대한 방향과 지하공간 개발측면에서 지하공간건설기술에 대하여 다각적으로 고찰해 보았다.

도심지 대심도 지하공간건설에 있어서는 지반에 대한 신뢰성 있는 자료획득과 건설과정에서 야기될 수 있는 위험성의 최소화가 매우 중요하다. 이러한 과제를 해결하기 위해서는 기술발전이 필수적이겠지만 무엇보다도 국내 건설관리 시스템이 우선적으로 완벽히 개선되어야 할 것이다. 지하건설에 대한 리스크(Risk)와 불확실성을 인정하는 설계의 유연성 확보와 현장에서 직접 전문가의 권한으로 기술을 책임지는 건설시스템이 구축되어야 할 것이다. S

참고문헌

- 1 "서울시 지하도모정책토론회", 서울시의회, 2009
- 2 정책토론회 "수도권광역급행철도 건설 토론회", 경기도/경기도사공사, 2009
- 3 "저지대 상습침수지역 해소대책", 서울시 도시안전실, 2012
- 4 "국내의 주요 TBM 터널의 현황과 전망", 한국터널공학회, 2008