

숫자와 그림으로 보는 터널이야기

- 제3강 대심도 터널 -

Trends and Changes of Deep Underground Tunnel

김영근 | (주)건화 지반터널부 부사장, 한국터널지하공간학회 부회장, 공학박사, 기술사

[대심도 터널 Deep Tunnel]은 기존의 일반 심도에 건설된 지하 인프라 하부를 개발하기 위하여 도입된 개념인 [대심도 지하 Deep Underground]에 만들어지는 터널을 의미한다. 현재는 도심지를 통과하는 대부분의 지하 프로젝트가 대심도 터널로 계획되고 있으며, 대심도 터널은 도심지 터널공사에서 적용되는 가장 핵심적이고 뜨거운 이슈가 되었다. [표 1]에는 대심도 터널 기술의 특성과 기술 트렌드를 핵심 키워드로 정리하였다. 본 고에서는 10가지 핵심 키워드를 중심으로 대심도 터널 기술의 주요 특징과 변화 트렌드에 대하여 기술하였다.

[표 1] 대심도 터널의 핵심 키워드

	Key Word	As-is	To-Be
1	대심도 지하	일반 심도(30m 이내)	대심도(40m 이하)
2	대심도 터널	천층 터널(30m 이내)	대심도 터널(40m 이하)
3	대심도 지하 개발	기존 지하 인프라	신설 지하인프라(대심도화)
4	대심도 지하 특성	암반/지반조건 불량	암반/지반조건 양호
5	대심도 터널 안전성	안전 영향 큼	안전 영향 적음
6	대심도 터널 환경성	환경 영향 큼	환경 영향 적음
7	대심도 지하 도로터널	사례 적음	사례 증가(대심도화)
8	대심도 지하 철도터널	사례 적음	사례 증가(대심도화)
9	대심도 지하 유틸리티터널	사례 적음	사례 증가(대심도화)
10	대심도 지하 공간 개발	사례 적음	사례 증가(대심도화)

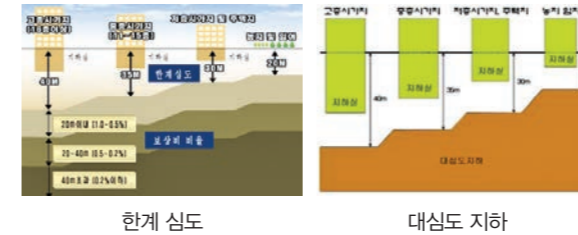
1. 대심도 지하 (Deep Underground)

1.1 대심도 지하란?

대심도란 일반적으로 토지소유자에 의해 통상적으로 이용되지 않는 지하 공간으로써, 용지보상 및 재산권 설정을 하지 않아도 되는 깊이(한계심도 이하 깊이)를 의미한다. 즉 토지소유자가 이용하지 않거나 활용하지 못하는 지하 깊은 곳으로 지하 시설물을 설치해도 토지이용에 지장이 없는 곳을 한계심도라 하는데, 일본에서는 한계심도 개념을 포함하여 '대심도'라는 용어를 사용한다. 일본에서 지하 공간의 소유권과 이용권에 관련된 한계심도를 기반으로 대심도의 정의를 내린 주된 목적은 통상 이용되지 않는 깊은 심도의 지하 공간을 공익사업을 위해 개발할 때 토지 소유자의 동의나 보상 없이 개발·이용할 수 있는 논거를 마련하기 위한 것으로 판단할 수 있다.

국내에는 통상적으로 지하철 건설의 하한선인 지하 40m 이상의 지하공간을 의미하는 말로 '대심도'라는 용어를 사용하고 있으나 대심도에 대한 명확한 정의는 마련되어 있지 않다. 서울시는 서울특별시 도시철도의 건설을 위한 지하 부분 토지사용에 따른 보상기준에 대한 조례'에서 토지 소유자의 통상적 이용행위가 예상되지 않으며 지하시설물 설치로 인해 일반적인 토지이용에 지장이 없는 것으로 판단되는 깊이를 '한계심도'라 정의하고 고층시가지는 40m, 중층시가지는 35m, 농지·임지는 20m 깊이로 들어가면 한계심도로 규정하여 이를 초과하여 개발하는 경우 초과분에 대해 최소한의 보상을 하도록 규정하고 있다.

[그림 1] 한계심도와 대심도 지하



1.2 일본에서의 대심도 지하

일본에서의 '대심도 지하'란 2001년에 시행된 '대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법'(통칭: 대심도법)에 의한 지하이용의 신개념이다. 대심도법서 대심도 지하의 정의는 다음 ① 또는 ② 중 어느 하나 깊은 쪽 깊이의 지하이다).

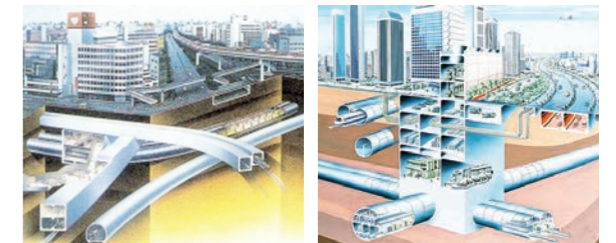
- ① 지하실 건설을 위한 이용이 통상적으로 이루어지지 않는 깊이(지하 40m 이상)
- ② 건축물 기초 설치를 위한 이용이 통상적으로 이루어지지 않는 깊이(지하지반 상면에서 10m 이상)

[그림 2] 일본의 대심도 지하의 정의



대심도 개념은 1980년대 버블 경기를 정점으로 지가 급등시에 고안된 것으로, 통상 이용되지 않는 심도의 지하 공간을 공공용으로 이용할 수 있도록 하고, 도시 형성에 필수적인 도심지 터널이나 공동구 등의 건설을 촉진시키기 위해 법제화되었다. 환기 및 재해 시 안전성 확보 등 기술적인 문제와 건설 비용 문제도 있어 대심도 지하를 사용한 사업은 2000년대 후반부터 구체화되었다. 대심도법의 대상이 되는 지역에 있어서의 공공 사용의 경우는 원칙적으로 보상이 불필요하나 기존 물건이 있거나 실제로 손실이 발생한 경우에는 보상을 하기도 한다.

[그림 3] 일본의 대심도 지하와 대심도 터널



대심도 지하 개발

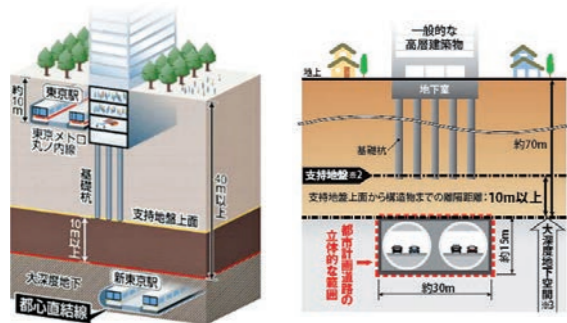
대심도 터널

2. 대심도 터널 (Deep Tunnel)

2.1 대심도 터널이란?

대심도 터널은 대심도 지하에 설치되는 터널을 말한다. 일반적으로 대심도 지하 개발은 지상 개발이 상당히 진행되어 개발 공간이 부족하고, 지하에 다양한 지하시설물이 설치되어 있어 보다 깊은 심도에서의 지하 개발이 요구되는 도심지 구간에서 이슈가 되기 때문에 대심도 터널은 도심지 대심도 터널 또는 대심도 도심지 터널을 의미하게 된다. 대심도 터널이라고는 하지만 특별한 터널공법이 요구되는 것은 아니며 일반적으로 적용되는 NATM 공법 또는 TBM 공법으로 시공이 가능하지만, 터널공법 선정 시 도심지 구간이라는 특수성을 충분히 고려하여야 한다. 일본의 경우 특별히 단단한 암반이 아니라면 통상의 쉴드(Shield)터널 공법으로 시공할 수 있으며, 대심도 터널시공 시 지상의 빌딩과 건축물에 대한 영향에 대해서는 2001년 6월에 국토교통성이 기술지침·해설을 정리하여 가이드라인 제시한 바 있다. 지하 40m 이하에 대심도 터널을 계획하고 대심도 지하 공간과 도로 및 지하철 등과 같은 지하 교통 인프라에 대한 입체적 범위를 고려하고 있다. 또한 도쿄 지하철 오에도선과 도쿄 지하철 난보쿠선 등과 같은 도심지 지하철에서 최대 지하심도가 40m가 넘는 대심도 터널이 시공되어 운영되고 있다.

[그림 4] 일본의 대심도 터널 개념

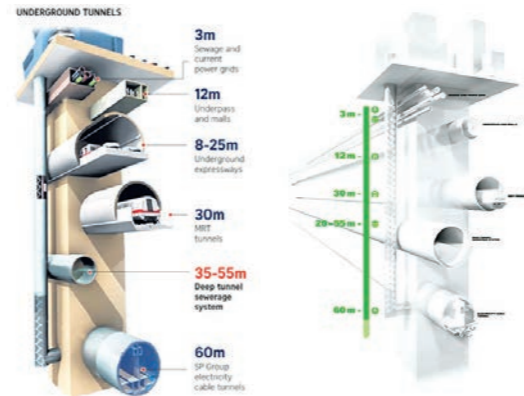


2.2 해외의 대심도 터널

싱가포르에서는 도심지 공간부족 문제를 해결하기 위하여 지하 공간 개발을 중점적으로 검토하여 2019년 지하공간

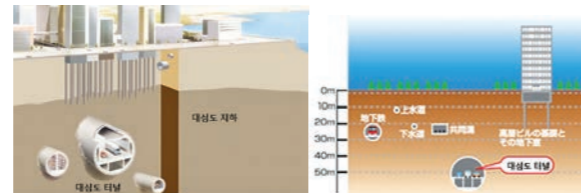
개발에 대한 마스터플랜을 수립하였고, 지하 개발시의 토지소유권 문제를 해소하기 위하여 관련법을 개정하여 지하 30m 이하에서의 지하 소유권을 제한하도록 하여 대심도 지하개발을 적극적으로 장려하고 있다. 특히 지하 개발 시 지하심도별 지하시설물에 대한 계획(Vertical planning of underground space)을 제시하여 지하공간 개발을 관리하도록 하고 있다.

[그림 5] 싱가포르 대심도 터널 계획



일본에서는 대심도 지하에 대심도 터널을 개발하려는 다양한 계획이 수립되고 대심도 터널과 대심도 지하개발을 적극적으로 활성화하고 있다.

[그림 6] 일본의 대심도 터널 계획



3. 대심도법과 대심도 지하 개발 (Underground Development)

3.1 일본의 대심도법

대도시에서는 하수도 정비에 의한 도시의 위생 환경의 향상이 이루어지고, 수도, 전기, 가스라고 하는 라이프 라인의 지하화, 도시의 활동을 지원하는 지하철이나 지하가 정

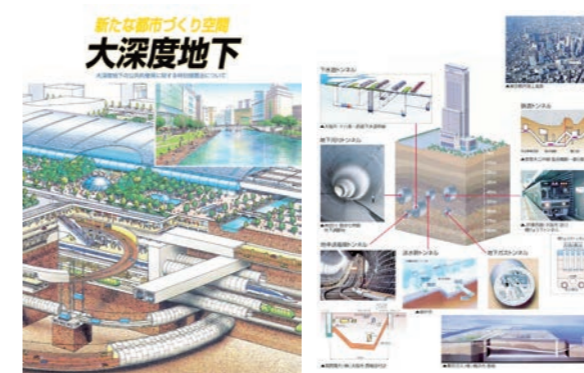
비되는 등 지하 이용에 의한 생활 편리성의 향상이 도모되어 왔다. 최근에는 이와 더불어 수해나 지진에 대한 안전 대책, 지상의 자연환경이나 경관보전대책으로서의 지하이용 등 안전하고 쾌적한 생활공간의 재생을 위해서 지하 공간의 활용이 진행되고 있다.

대심도법이 국회에서 제정된 것은 2000년 5월 26일, 시행된 것은 2001년 4월 1일부터였다. 제정에 앞서 1995년 11월 총리부에 '임시 대심도 지하이용조사회'가 설치되었다. 대심도법의 목적은 공공의 이익이 되는 사업에 의한 대심도 지하의 사용에 관하여 그 요건, 절차 등에 관하여 특별한 조치를 강구함으로써 해당 사업의 원활한 수행과 대심도 지하의 적정하고 합리적인 이용을 도모하는 것이다. 대심도법을 간단히 정리하면 다음과 같은 내용의 법률이다.

- 법 - '대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법'
- 시행령 - '대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법 시행령'

대심도법에서는 사전에 보상을 실시하지 않고 대심도 지하에 사용권을 설정할 수 있도록 하였으며, 보상이 필요하다고 생각하는 토지 소유자로부터의 청구를 기다려 보상을 실시한다.

[그림 7] 일본의 대심도법과 새로운 도시공간의 대심도 지하



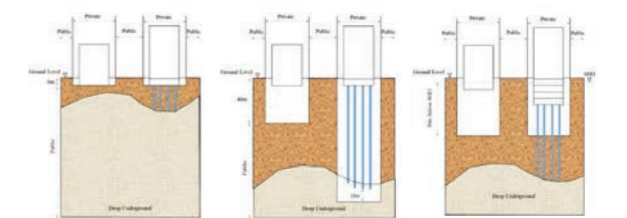
3.2 해외 대심도 지하 개발

홍콩은 1980년대부터 토지 공급을 보완하기 위해 지하 공간을 개발해 왔으며, 지하 암반 캐브 계획과 개발에서 진전을 이루었으며, 잠재적인 장소와 용도를 식별하기 위한 지하암반 캐브 마스터플랜을 작성했다.

싱가포르에서는 지하공간 개발에 있어 더 적극적이고 전략적으로 추진하였으며, 대심도 지하공간 개발은 명확하고 투명한 계획 및 개발 프레임워크를 제공하기 위한 입법 개정과 선택된 구역의 지하지도 작성으로 나타난다. 또한 지하 소유권의 범위를 규정하여 지상토지 소유자는 30m 깊이까지만 지하 공간을 사용할 수 있다.

헬싱키에서 지하개발 마스터플랜(UMP)는 대규모 지하 공간 시설의 공간 할당을 통제함으로써 질서 있고 조정된 계획과 개발에 기여했다. 지하 소유권의 범위를 규정하여 실제로 토지 소유자는 6m 깊이까지 지하 공간을 사용할 수 있다.

[그림 8] 대심도 지하의 소유권(Ownership)



헬싱키 - 심도 6m 도쿄 - 심도 40m 싱가포르 - 심도 30m

싱가포르에서는 2019년 지하공간 개발 마스터 플랜을 수립하고 대심도 지하공간을 활용한 다양한 대심도 터널 프로젝트를 계획 또는 시공 중에 있다.

[그림 9] 싱가포르의 지하 개발과 대심도 터널 시스템



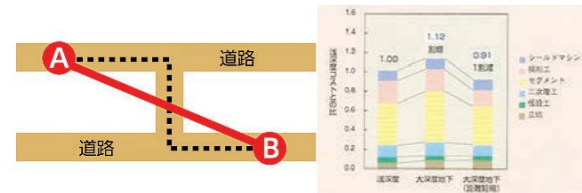
4. 대심도 지하의 특성

■ 대심도 지하 이용에 따른 비용

대심도 지하 이용에 의해 지상이나 얕은 지하 이용에 비해 수직구 굴착, 터널공사 비용은 일부 증가하지만 노선을 직선화함으로써 건설 비용을 절감할 수 있을 것으로 검토되

었다. 대심도 지하 이용에 의한 노선의 직선화와 이에 따른 대심도 지하 공사비용이 천부심도 공사 비용의 0.91로 약 9%가 절감되는 것으로 분석되었다.

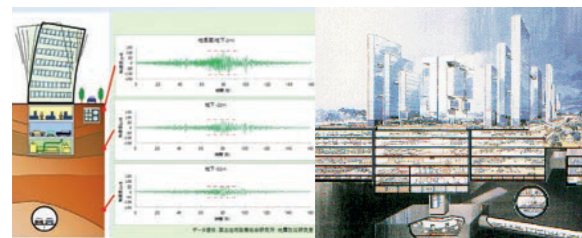
[그림 10] 대심도 지하 이용에 있어서의 건설비용 계산



■ 지진에 대한 안전성

일반적으로 지진시의 흔들림은 지하 심도가 깊어질수록 작아지는 경향이 있다. 대심도 지하 공간에서의 흔들림은 지상의 몇 분의 1 이하로 알려져 있어 지진에 대한 안전성이 높은 공간이라고 할 수 있다. 일본 국토기술정책종합연구소에서 수행한 대심도 지하의 지진 안전성을 분석한 결과로 대심도 지하(지하 51m)의 가속도가 천부심도(지하 20m)에 비해 상당히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

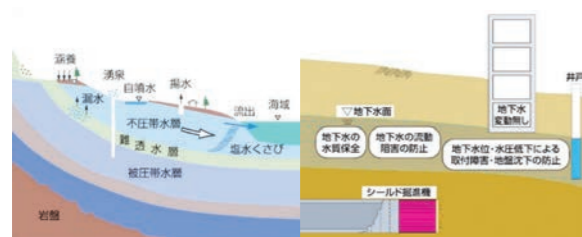
[그림 11] 대심도 터널의 지진 안전성



■ 대심도 지하의 지하수에 미치는 영향

대심도 지하의 피압지하수는 거의 유동하지 않기 때문에 대심도 지하에 구조물을 만들었다고 해도 지하수의 흐름

[그림 12] 대심도 지하와 지하수 영향



을 막는 등의 영향을 미치는 경우는 거의 없다고 생각되지만 사업 실시에 있어서는 신중하게 대응할 필요가 있다. 또한 대심도 터널 굴착 시 지하수의 수질보전, 지하수의 유동장애의 방지, 지하수위·수압저하에 의한 지반침하의 방지의 환경영향을 최소화할 수 있다.

■ 대심도 지하 이용의 장점

대심도 지하 사용법에는 다음과 같은 장점이 있다.

- 대심도 지하는 통상 사전 보상 없이 사용권 설정이 가능하므로 그동안 사업화가 어려웠던 도시지역 사업 실현, 사업기간 단축, 계획적 사업 실시가 가능하다. 상하수도, 전기, 가스, 전기통신과 같은 생활 밀착형 라이프라인과 지하철, 지하하천 등 공공이익 사업을 원활하게 수행할 수 있게 된다.
- 도로 아래 등에 시공하는 제약이 없어서 선형이 합리화됨으로써 비용 절감을 도모할 수 있다. 또한 합리적인 루트 설정이 가능해져 사업기간 단축, 공사비 절감에도 기여할 것으로 전망된다.
- 대심도 지하는 지표나 얇은 지하에 비해 안전하며 소음·진동 감소, 경관 보전에도 도움이 된다. 특히 지진의 영향을 잘 받지 않으므로 라이프라인 등의 안전성 향상에 기여할 수 있다.
- 대심도 지하의 무질서한 개발을 막을 수 있다.

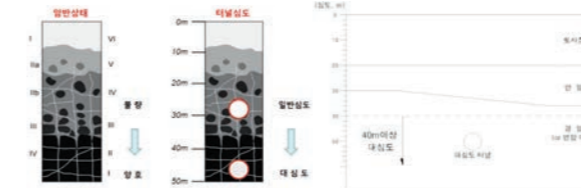
5. 대심도 터널 안전성 (Safety Effect of Deep Tunnel)

5.1 대심도화에 따른 암반 특성평가

터널이 대심도화 될수록 고려해야 할 사항 중 첫 번째는 바로 안전성과 직결되는 지반 또는 암반 조건이다. 일반적으로 암반 조건은 지표면으로부터 심도 20~30m 위치에서 암반이 조기 출현하고, 더 깊은 심도로 갈수록 양호한 암반이 출현하는 특성을 보인다. 이에 따라 터널이 대심도화(40m 이상)화 함에 따라 암반상태가 양호하게 되며, 이는 터널 자체의 안전성 확보뿐만 아니라 터널 굴착에 의한

주변 영향도 적어져 안전성 측면에서 매우 유리하다는 것을 의미한다. 서울시 지층 단면을 추정한 결과, 서울 지역에서 대심도 터널이 위치하는 지층은 연암 이상의 양호한 암반이며 이는 대심도 터널 건설이 안전성 측면에서 일반 심도의 터널 건설보다 유리한 조건을 나타냄을 확인할 수 있다.

[그림 13] 대심도화에 따른 암반 특성 변화



일반 심도와 대심도 터널에서 지질 및 암반상태가 안전성에 미치는 영향을 비교 평가하여 표 2에 정리하여 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 대심도화 할수록 암반상태가 양호해지며 안전성에 유리하다는 것을 알 수 있다.

[표 2] 터널의 대심도화에 따른 안전성에 미치는 영향

구분	일반 심도	대심도	대심도화의 영향
토피고(심도)	20~30m	40m 이하	안전성에 유리
암석 강도	약함(Weak)	강함(Hard)	안전성에 유리
절리 상태	매우 발달	거의 발달하지 않음	안전성에 유리
풍화 정도	매우 풍화~풍화	풍화 없음 또는 신선	안전성에 유리
지하수 영향	많음	많지 않음	안전성에 유리
암반 구분	풍화암~연암	보통암~경암	안전성에 유리
암반 등급	불량(Poor)	양호(Good)	안전성에 유리

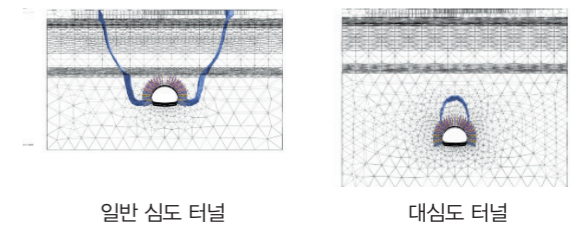
5.2 대심도화에 따른 안정성 평가

대심도 터널에 대한 해석결과, 지반 안전성에 대한 영향은 대심도 조건 보다 일반심도 조건인 경우가 크게 나타났다. 일반심도와 대심도의 지반침하량을 비교했을 때 일반심도에서의 지반침하량이 더욱 크다는 점을 확인할 수 있었다. 또한 일반심도와 대심도의 등변위량을 비교했을 때 동일 변위조건에서 일반심도에서의 영향면적이 훨씬 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 연직변위와 굴착 영향범위 내 침

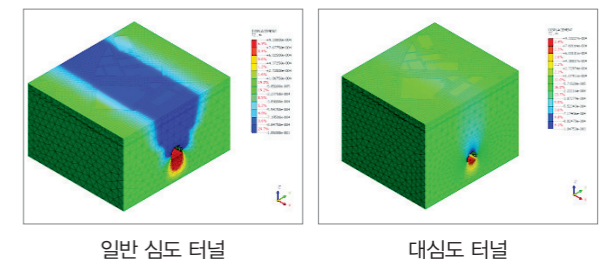
하량을 비교 검토한 결과 유사한 경향을 나타내었음을 확인할 수 있었다.

따라서 도심지 터널 시공 시 일반심도 대비 대심도 터널이 지반에 미치는 영향이 적게 나타나 지반 안전성이 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 대심도 도심지 터널이 일반 심도 터널보다 안전성 측면에서 매우 유리하다는 것을 보여준다.

[그림 14] 일반심도와 대심도 터널굴착에 따른 등변위량 비교



[그림 15] 일반심도와 대심도 터널굴착에 따른 3D 변위 비교



6. 대심도 터널 환경성 (Environment Effect of Deep Tunnel)

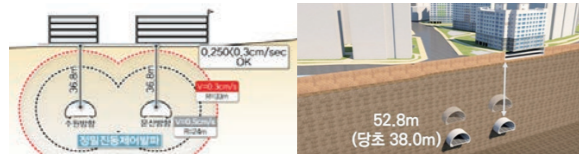
6.1 발파진동 및 소음 환경문제

설계 단계와 시공 중에 대심도 도심지 터널굴착을 위한 발파 시에는 주변 보안물건에 대해 안전할 뿐만 아니라 환경 분쟁조정위원회에서 중재하고 있는 분쟁해소 사례 등 조건을 만족하며 굴착할 수 있는 공법 적용이 필수적이라 할 수 있다.

터널을 굴착하기 위해서 수행되는 발파(drill and blasting)는 1자유면 발파이기 때문에 심발부 발파가 선행되어야 하며, 암반상태에 따라 발파당 굴진장을 다양하게 달리할 수 있다. 터널발파는 암반상태에 따라 장약량을 달리하는 발

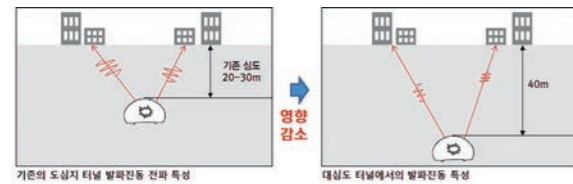
파파턴을 적용하고, 주변에 보안물건(건물 및 축사 등)에 따라 장약량을 조절하고 조절발파(controlled blasting)를 실시하여야 한다.

[그림 16] 도심지 터널에서의 발파 진동 문제와 대심도 터널



발파굴착은 필연적으로 진동과 소음이 발생하게 되고, 이에 따라 민원 및 환경 문제 등이 발생하는 경우가 많으므로 이에 대한 적절한 대책(진동제어발파 및 미진동/무진동 공법 적용)을 반영하여야 한다. 터널이 대심도화함에 따라 터널과 보안물건이 거리가 증가하여 상대적으로 발파진동에 안전하다고 할 수 있다.

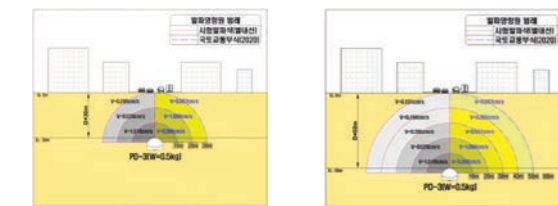
[그림 17] 일반심도와 대심도 터널에서의 발파진동 특성



6.2 대심도 터널의 환경성 평가

도심지 터널의 대심도화에 따른 발파진동의 영향을 평가한 결과, 일반심도인 30m 보다 터널심도가 깊어질수록 발파진동은 현저히 감소됨을 확인할 수 있다. 지표를 기준으로 했을 때, 터널심도가 60m인 경우에 일반심도인 30m의 발파진동 수준에 비해 보다 35% 이하로 저감되는 것으로 분석되었다.

[그림 18] 일반심도와 대심도 터널의 발파 영향권 검토 비교

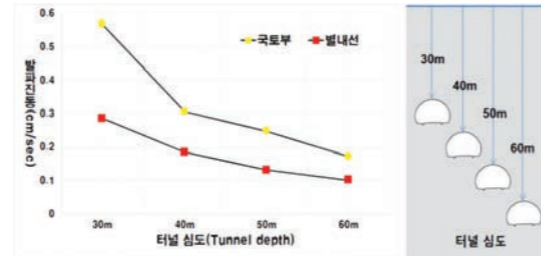


일반심도 터널(심도 30m)

대심도 터널(심도 50m)

발파진동 영향 평가 결과, 예측된 발파진동의 평가 결과는 터널심도가 증가함에 따라 지표에서의 발파 진동이 감소함을 확인할 수 있다.

[그림 19] 대심도 터널의 발파 진동 분석

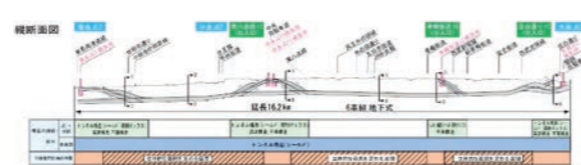


이상의 발파진동 평가로부터 도심지 터널이 대심도화 함에 따라 발파진동에 의한 영향은 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 이는 지상의 보안물건과의 거리가 증가함에 따라 나타나는 것으로 대심도 도심지 터널이 일반심도 터널에 비해 환경성 영향이 감소하는 것임을 확인할 수 있다.

7. 대심도 지하도로 터널 (Deep Underground Tunnel-Roadway)

대심도 지하도로 프로젝트의 한 예가 도쿄 외곽순환도로이다. 본 공사는 도심에서 약 16km를 환상으로 연결하는 전체 길이 약 85km의 고규격 간선도로로 수도권 정체 완화, 환경 개선 및 원활한 교통 네트워크 실현에 중요한 도로이다. 도쿄 외곽순환도로는 수도권에서의 고속도로 계획 3순환 9방사 중 하나이며, 수도권고속중앙순환선, 수도권 중앙연락자동차도와 합쳐 수도권 3순환도로로 통칭되는 도쿄 도심외곽의 환상도로(Tokyo Ring Road)이다.

[그림 20] 대심도 지하도로 (도쿄 외곽순환도로) - 노선



본 프로젝트는 3개의 JCT와 3개의 출입구로 구성되어 있다.

또한 지하도로구간은 지하 40m 이하의 대심도 터널로 계획하였으며, 일본 최대 직경 16.1m의 대단면 쉴드 TBM이 적용되었다. 또한 본 터널공사는 도심지 구간의 대심도 지하에 건설되는 대구경 터널공사로서 안전성 확보가 가장 중요한 이슈이다.

[그림 21] 대심도 지하도로(도쿄 외곽순환도로) - 쉴드 TBM 터널



8. 대심도 지하철도 터널 (Deep Underground Tunnel-Railway)

대심도 지하철도 프로젝트의 한 예가 리니어 중앙신칸센이다. 본 공사는 시속 500km로 달릴 수 있는 초전도 자기 부상식(리니어 방식)을 채택해 도쿄-신오사카 간을 최고 속도로 40분 만에 연결하는 신칸센으로 JR 동해가 건설하고 도쿄-나고야 간은 2027년, 도쿄-신오사카 간은 최소 2037년에 개통할 전망이다. 본 프로젝트는 대부분의 구간을 대심도 터널로 계획한 프로젝트이다.

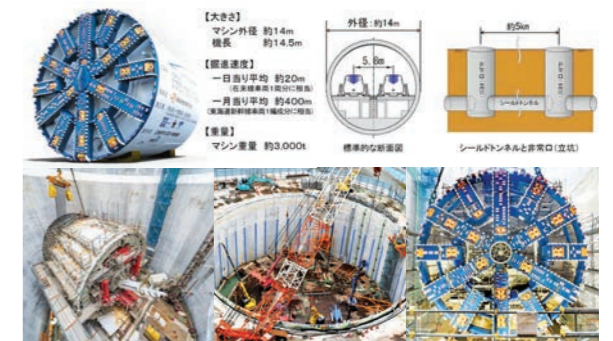
[그림 22] 대심도 지하철도 (리니어 중앙신칸센) - 노선



리니어 중앙 신칸센은 대부분의 노선이 대심도 지하의 직경 14m의 대심도 터널로 계획되었으며, 수직구를 이용하여 쉴드 머신을 설치한 후 쉴드 TBM 터널공사를 시작하였다. 2021년 10월 쉴드 머신 발진작업에 착수, 지상에 미치

는 영향과 공정을 검증하기 위해 약 300m 구간을 시험 굴진하였으며, 도심지 터널공사에서 발생한 함몰사고 등에 따른 대응으로 검증 결과를 주민들에게 공개하고 대심도 공사에 대한 불안 해소를 도모하였다.

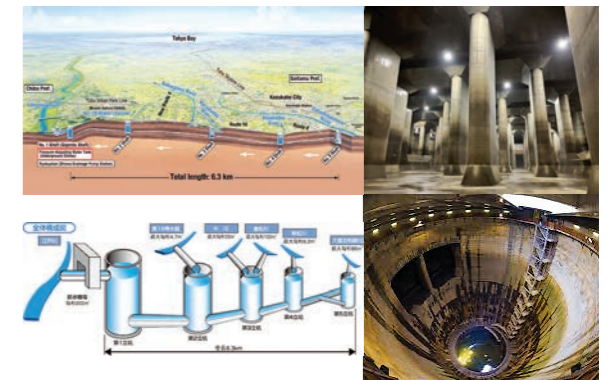
[그림 23] 대심도 지하철도(리니어 중앙신칸센) - 쉴드 TBM 터널과 수직구



9. 대심도 지하유틸리티 터널 (Deep Underground Utility Tunnel)

대심도 지하유틸리티 터널의 한 예가 도쿄 수도권 외곽 방수로 공사이다. 본 공사는 수도권에서 수해를 경감하는 것을 목적으로 한 치수시설(조정지)로서 사이타마현 가스카베시의 가미카네자키지에서 오부치에 걸친 연장 약 6.3km로 국도 16호 직하부 약 50m 지점에 설치된 세계 최대급의 지하 방수로이다. 본 시스템은 구성은 먼저 각 하천에서 홍수를 수용하는 유입시설과 수직구, 홍수를 흘리는 지

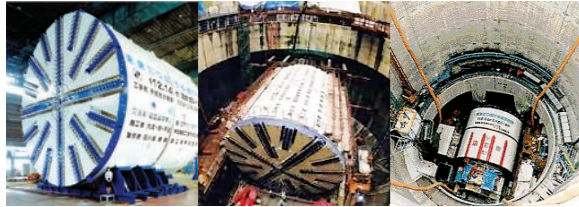
[그림 24] 대심도 지하유틸리티 터널(도쿄 외곽방수로) - 구성도



하하천인 터널, 그리고 지하 공간에서 물의 기세를 약화시켜 원활한 흐름을 확보하는 조압수조, 지하에서 홍수를 배수하는 배수기장 등으로 구성되어 있다.

본 터널공사에는 슬러리 쉴드 TBM 공법(터널 내공 10.6m)을 적용하였으며, 지하 50m에서 시공이 이루어졌다. 또한 내수압을 받는 터널의 특성을 고려하여 내수압 대응의 가능하고 유수에 대응할 수 있는 세그먼트를 적용하였다.

[그림 25] 대심도 지하유틸리티 터널(도쿄 외곽방수로) - 쉴드 TBM과 수직구



10. 대심도 지하 공간 (Deep Underground Space)

도시가 성장함에 따라 천층 지하의 많은 용도는 시간이 지남에 따라 변화되어 왔으며, 이러한 용도에는 건물 기초와 지하실 및 광범위한 케이블 네트워크가 포함된다. 유틸리티 및 운송 서비스를 담당하는 지하 터널은 일반적으로 개별 프로젝트 선택으로 취급되지만, 이러한 시설에 대한 설계 결정은 향후 필요에 따라 지하 공간을 사용할 수 있는 능력에 영향을 미친다.

핀란드 헬싱키에서는 지하 공간을 활용해 데이터 저장센터를 찾는 프로젝트가 진행 중이다. 인터넷과 '클라우드' 컴퓨팅의 사용이 증가함에 따라 스토리지 센터의 필요성

[그림 26] 대심도 지하 공간 개발 사례 - 대규모 지하주차장 (헬싱키)



도 커지고 있다. 이 센터를 지하에 배치하면 냉각에 필요한 에너지가 절약되고 회수된 에너지가 겨울 동안 1,000개의 주택을 데울 수 있다.

말레이시아 쿠알라룸푸르에는 비가 많이 오는 동안 홍수를 막기 위해 큰 빗물 하수도로 계획되었던 것이 이제는 주요 홍수 사건 때를 제외하고 교통 혼잡을 완화하기 위해 이용할 수 있는 노선의 일부를 따라 도로 터널을 포함한다. 지하 공간의 지속가능한 개발은 단순히 지하 공간을 이용하는 것이 아니라, 기능을 결합하고 사회를 위해 가치를 창출하기 위해 사용하는 것을 요구한다.


[그림 27] 대심도 터널 지하 인프라 사례 - SMART 터널 (말레이시아)



■ 제3강을 마치면서 - 대심도 지하와 대심도 터널





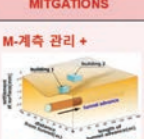

현재 도심지 터널공사는 지상보상권 문제 등을 최소화하기 위하여 기존 일반심도 30m 하부인 지하 40m 이하인 대심도 지하에 계획 또는 건설되고 있다. 따라서 이러한 대심도 터널이 가지는 특성을 반영한 도심지 지하인프라 개발과 대심도 터널 평가방법이 요구되고 있다. '대심도'라는 단어에 대하여 터널 기술자들의 관점에서 벗어나 발주처 및 일반 민원인들의 관점에서 접근하여 대심도가 가지는 공학적 특성뿐만 아니라 환경영향 및 사회민원 영향에 대한 통합적이고 적극적인 대응이 필요함을 확인할 수 있다.

최근 도심지 대심도 터널 프로젝트에 대한 지하안전영향 평가가 수행되어 왔지만, 대심도라는 특성을 보다 효율적으로 반영하고자 하는 노력이 부족한 것이 사실이다. 대심도 터널에 대한 공학적 대책은 대심도라는 터널 특성을 반영하는 것이 매우 중요하며, 구축 과정에서의 제반 문제점에 대한 개선을 통하여 대심도 터널이 가지는 안전성과 환경성 영향이 우수하다는 점을 정확히 인식하여야만 한다.

대심도 터널링(Deep Tunnelling)은 도심지 지하터널 프로젝트에서 핵심 키워드가 되었다. 하지만 대심도가 가지는 많은 장점에도 불구하고 아직도 이에 대한 제대로 된 공학적 설명과 평가에 대한 준비가 부족하였다고 생각한다. 한마디로 요약하면 대심도화됨에 따라 터널은 더욱 안전해지고 지상에 미치는 제반 영향은 더욱 줄어든다는 것이다. 이를 한마디로 표현하면 다음과 같다. 

The Deeper We Go, The Safer We Have

[그림 28] 대심도 터널 건설 영향 그리고 대책

TUNNEL	GEO	IMPACTS	MITIGATIONS
U-도심지  기존 심도 ↓ D-대심도 (Deep Tunnel)	G-지반조건 +  40m 심도 증가 ↓ 암반 양호 ↑	S-안전성 +  지반침하 감소 ↓ E-환경성 +  발파진동 감소 ↓	M-계측 관리 +  계측 모니터링 강화 ↑ S-리스크 관리 +  안전 리스크관리 확대 ↑

