

## 대도시내 깊은 심도의 지하공간 활용에 관한 제언

박정주<sup>1)\*</sup>

### Proposal for Use of Great Deep Underground Space under Private Land in the Big City

Park Jung Joo

#### 1. 서 론

우리나라의 3대도시인 서울, 부산, 대구는 이미 공공용지(도로, 하천, 공원 등)하의 지하공간을 상당히 깊은 지하까지 여러 용도로 활용하고 있다. 공공용지의 지하에서 시행되는 공공사업은 대표적인 것이 지하철도 및 지하철도와 공동구 등을 들 수 있다. 이 외에도 상하수도관, 전기, 통신관로 등이 통과하고 있어 더 이상 공공용지의 지하만을 활용하기는 어려운 지경인 것이 사실이다. 반면, 사유지의 지하는 깊은 심도까지 소유주가 그 사용권을 가지고 있고, 소유주의 허가가 없는 한 어떤 목적으로도 그 지하를 활용한다는 것은 현행법에서는 불가능하다. 공공사업을 위하여 사유지의 지하를 사용하여야 할 불가피한 사유가 발생할 때는 특별법에 의하여 일시적인 방법으로 해결하고 있다. 그렇기 때문에 일반적으로 사용되지 않은 사유지의 깊은 지하공간을 사용하는 데는 많은 시간과 절차가 필요하다. 따라서 사유지의 지하에서는 공공사업의 시행이 사실상 불가능에 가깝고, 이로 인한 국가와 국민의 이익에 큰 장애가 되는 경우가 많다. 우리나라에서 지하공간활용에 대하여 논의가 시작된 것은 1991년 서울시가 지하철도로건설계획을 발표하였고 학계 등에서 지하공간개발의 필요성을 야기한바 있어 이를 계기로 1992년 건설부(지금의 건설교통부)는 지하이용연구작업반을 설치했으며 국토개발연구원은 지하공간개발의 제도계획의 체계적 연구를 착수했다. 그리고 1992년에는 민간건설업체 주도로 지하공간협회를 창설하고 국제세미나를 개최하였다. 이와 같이 지하공간개발에 대한 기술과 제도에 관심을 보인바 있으나 그 이후 1997년 찾아온 IMF 등 국가적 어려움으로 지하공간 개발에 대한 관심이 점차 소외되어 온 것이 사실이다.

지금까지 논의되어 오고 있는 지하공간은 그 의미가 획일적으로 지하공간으로 간주되고 있으나 지하공간도 얕은 심도의 지하공간과 깊은 심도의 지하공간으로 구분하여 검토할 필요가 있다. 얕은 지하공간은 사유지에서는 건축물의 지하용도로 활용되는 상가나 주차장 등이 주류를 이루고 공공용지에는 지하철, 지하철도, 지하철차장과 기타 얕은 심도에 매설되어 있는 공공시설을 말할 수 있다. 그러나 깊은 심도의 지하는 일반적으로 사유지의 소유주에 의하여 사용되지 않은 깊은 심도의 지하와 공공용지 하에서도 일반적으로 사용되지 않을 정도로 깊은 심도의 지하를 말할 수 있다. 본 기사에서는 소유주에 의하여 일반적으로 사용되지 않는 깊은 심도의 지하를 공공사업에 활용 할 경우 검토해야 할 몇 가지 사항과 이와 관련하여 고려할 수 있는 몇 가지 기술적 과제를 2005년 모스크바 ACUUS\* Conference\*\*에서 발표한 일본의 사례를 요약해 보고 우리나라의 경우를 상정해 보고자 한다.

#### 2. 깊은 심도지하이용을 위한 현상과 과제

##### 2.1 현상

지하이용상황은 70년대 중반부터 지하철도, 도로, 전기, 가스, 통신 및 상하수도 등의 터널과 지하상가 등이 공공용지인 도로 하에 설치되기 시작하여 90년대부터는 지하철차장 변전소 등이 공원용지와 같은 공공용지에 수용된 것이 도시부의 실정이다. 도시의 지하철도는 개착식인 경우 주로 30 m깊이 내외에서 시설이 만들어지고 터널인 경우 40 m깊이 내외에서 만들어지고 있다. 이 외 전기, 가스, 통신과 상하수는 지하철도의 옆이나 위에 배치되어 중 횡으로 매설되어 있다. 서울시의 경우 많은 종류의 지하시설이 간선도로에 중복하여 병렬 상하교차 하여 매설되어 있다. 더욱이 지하공간이용에 관한 Master Plan이 없어 공공용지의 지하가 점점 깊은 심도까지 이용되고 곳에 따라서는 지하 50 m가까운 부분까지 이용되는

<sup>1)</sup> 한국해외기술공사 도로교통연구원 부회장  
\* 교신저자 : parkjj@kcieng.com  
접수일 : 2006년 8월 31일  
심사 완료일 : 2006년 9월 28일

사례도 빈번하다. 또한 공공용지의 지하만을 이용하고 있기 때문에 시설의 연장이 길어지고 곡선부 채택이 불가피하여 시공의 어려움은 물론 기계화 시공에도 장애가 될 뿐 아니라 직선으로 이용할 경우와 비교하여 비용이 엄청나게 많이 소요되고 있다. 한편 사유지의 지하는 비교적 얇은 심도에서 이용되고 있어 도시기능을 효율적으로 활용하기 위하여는 사유지의 깊은 심도지하를 공공의 목적으로 사용할 수 있도록 해야 할 필요성이 절실하다.

2.2 과제

상기와 같은 필요성을 고려하여 사유지 하의 깊은 심도의 지하를 사용할 경우 제도적 과제로는 원칙으로 사전에 보상 없이 공공적 목적으로 사용할 수 있는 특별한 법률을 정하는 것이 필요한 과제라고 할 수 있다. 그러나 이런 법률의 제정이 성립되기 위하여는 기술적 과제를 상정해 보고 그 개연성을 타진해 보는 것이 필요하다고 생각된다. 기술적 과제라 해도 그 범위가 너무나 광범위하여 모두 거론하기는 어렵기 때문에 여기서는 당장 도시기반시설(도로, 철도, 지하하천 등)로 시급을 요하는 대단면 터널을 깊은 심도지하에 설치할 때 반드시 문제가 되는 몇 가지 사안에 대하여 과제를 설정하고자 한다. 대 도시는 지상의 대부분이 사유지로서 초고층 건축물이 밀집한 지역이 많다. 따라서 이런 고층건축물에 대한 지하이용상태와 깊은 심도지하에 상기 목적의 대단면 터널을 축조할 경우 지상건축물에 대한 안전성을 확보하는 것이 무엇보다 절실한 과제로 생각할 수 있다. 따라서 깊은 심도의 지하를 사용하기 위한 기술적 과제로는 ①현재의 건축물이 사용하고 있는 지하공간의 사용심도를 정하고, ②지상 건축물의 하중 및 이것을 안전하게 지지할 수 있는 지지지반을 파악하고, ③장차 소유주가

사용하게 될 사유지에 대하여 그 권리행사를 행함에 있어 피해를 주지 않을 정도의 깊이를 적정하고 계획적인 조사를 통하여 얻은 자료를 기초로 하여 깊은 심도지하를 규정해야 할 것이다. 그리고 깊은 심도지하를 사용하는 대상지역과 대상사업을 정함에 있어 도시기능을 강화하고, 비용절감에 기여할 수 있고, 대상지역 사유지에 대한 토지 이용효과를 유효하게 할 수 있는 합리적인 사회자본의 정비가 이루어질 수 있는 방향으로 설정해야 할 것이다.

3. 깊은 심도지하의 정의

깊은 심도지하에서 공간을 활용하기 위하여는 우선 깊은 지하심도에 대한 구체적인 설명과 정의가 필요하다. 특히 대도시에는 고층빌딩이 밀집한 구역이 많고 이들 고층건물은 건물마다 각기 지하를 사용하는 용도와 깊이가 다르다. 또한 기초형식도 직접기초, 확대기초, 말뚝기초 등 지반에 따라 다양한 공법을 이용하고 있다. 또한 건물이 위치하는 지역의 지반도 암반에서부터 연약 층까지 다양한 형태로 지층이 분포되어 있다. 이와 같이 건물의 다양한 지하이용 형태와 건물의 기초형식 그리고 기초지반의 구성형태 등이 다르기 때문에 깊은 심도의 지하를 규정하는 데는 이것을 충분히 감안하지 않으면 안 된다. 또한 대도시는 지역지구에 따라 건물의 고도를 제한하는 지역도 있다. 이 경우 건물들의 지하이용 실태는 고층건물 밀집지역과는 달리 얇은 경우가 일반적이다. 따라서 우선 이들 건물들이 건물의 지하를 사용하는 범위에 대한 세밀한 실태를 조사해야 할 것이다. 동시에 이들 지역에 대하여 기반암과 건물의 기초지층을 조사하고 이들 기반암이나 지지층이 이 이하의 깊

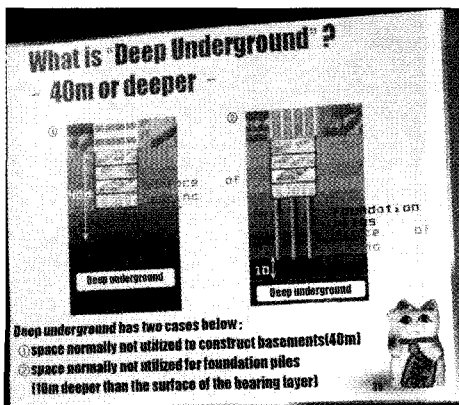


사진 1. 깊은 심도지하를 규정한 이미지도

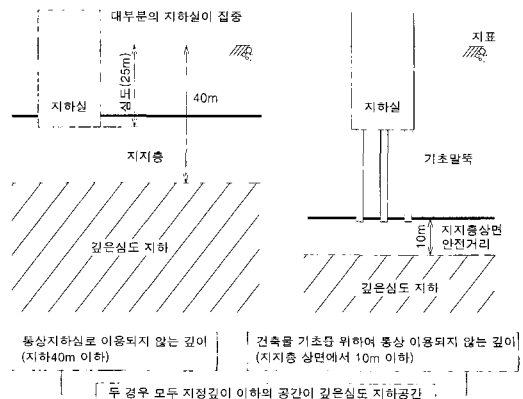


그림 1. 깊은 심도지하의 정의에 대한 이미지도

은 심도에서 지하공간을 건설할 경우 충분히 기존 구조물이나 건축물에 안정성을 확보할 수 있는 깊이를 정하여 이 이하의 깊이를 깊은 심도지하로 규정할 필요가 있을 것이다. 깊은 심도의 지하공간을 규정하고 정의 하기 위하여는 상기와 같은 여러 가지 자료와 기술적인 조사가 필요하다. 다음 그림은 일본의 깊은 심도지하를 규정한 내용을 예시한 것이다(사진-1)(도-1).

상기 사례의 경우 깊은 심도지하를 규정하기 위하여 다음과 같은 작업을 수행했다. 동경도에서 일반주택을 제외한 지상층 이상인 건물 130,302동에 대한 지하활용 실태를 조사하였다. 이 중 지하층 수를 조사한 결과는 99.9%이상이 지하 4층의 규모이고 층고는 슬래브두께와 천정 등의 여유를 감안하여 5 m로 설정하였다. 따라서 총 지하 깊이를 20 m깊이로 하고, 여기에 기초두께 등을 고려한 여유고 5 m를 추가하여 통상 건축물의 지하이용 깊이를 지표에서 25 m깊이로 규정했다.

깊은 심도지하를 이용하기 위하여는 상기한 25 m에서 지상의 건축물에 지장이 없는 안전한 수직상의 안전거리가 필요하다. 이런 안전거리를 직접기초나 슬래브기초인 경우는 기초바닥에서 15 m, 말뚝기초인 경우 말뚝을 지지

하는 지지지반에서 10 m로 정하고 있다. 따라서 슬래브 기초는 지표면에서 40 m(25 m+15 m)깊이, 말뚝지지지반에서는 지표면에서 말뚝지지지반에서 10 m를 더한 깊이 이하를 깊은 심도지하로 규정하고 있다(그림-3). 이 두 경우 모두 깊은 심도지하의 구축물은 15 m직경의 Shield Machine(그림-3)으로 시공하는 경우를 상정한 것이다. 한편, 다른 시공공법(NATM)을 택할 경우는 이 규정 외에 별도의 검토가 필요할 것이다.

또한, 깊은 심도지하를 특정하기 위하여는 지지지반에 대한 해석을 명확히 할 필요가 있다. 일반적으로 건축법에서 명시하는 건축물의 지지지반은 건축물을 지지할 수 있고, 상부건축물의 규모에 따라 다르지만 건축물의 건설로 증가하는 하중이 300 kN/m<sup>2</sup>정도를 고려하여도 건축물 기초로 이용이 가능한 강도를 가지는 지지지반으로 정하고 있다(그림-3). 직접기초형식에서는 N값 50이상 허용응력도 1,000 kN/m<sup>2</sup>이상을 지지층으로 하고, 말뚝기초는 선단 허용지지력도가 2,500 kN/m<sup>2</sup> 이상인 지반을 지지층으로 하고 있다. 상기는 강제한 것은 아니고 조건에 따라서는 상기의 값을 달리하여 검토할 수 있도록 하고 있다.

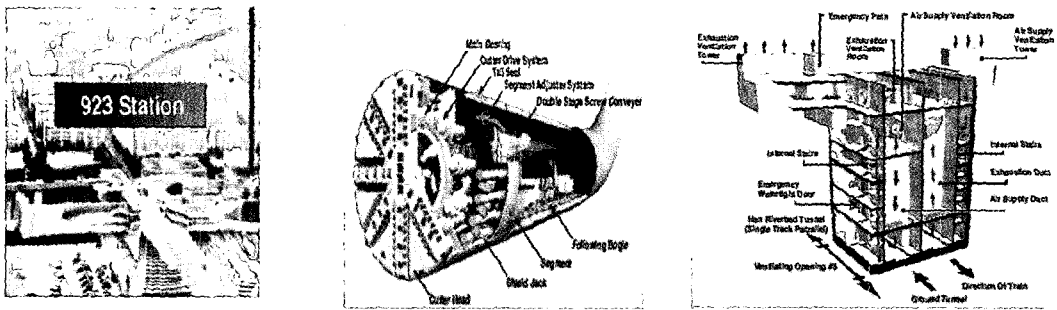


그림 2. Shield Machine & 작업 및 유지관리용 수직갱

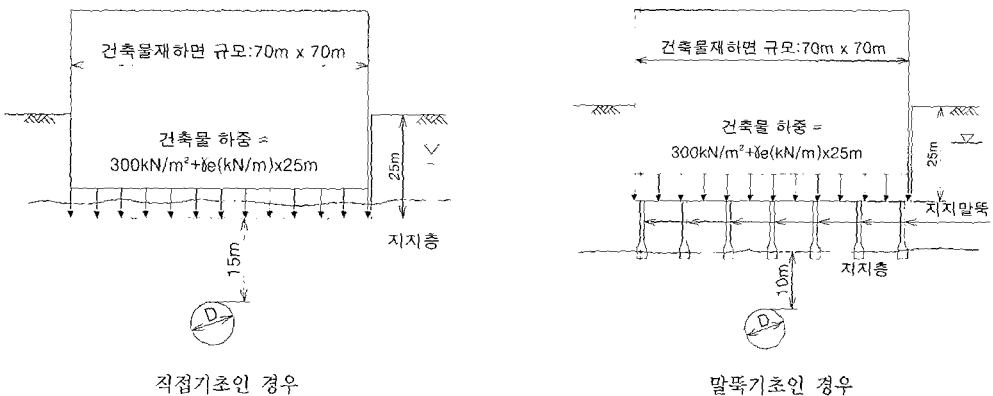


그림 3. 깊은 심도지하시설Imaga도(자료: 일본의 대심도지하사용기술지침 · 동해설: 2001.6)

#### 4. 깊은 심도지하를 규정하기 위하여 필요한 기술적 과제

깊은 심도지하에 도로, 철도, 지하하천 등 우선 도시 기능을 효율적으로 제고하기 위한 대단면의 터널을 축조하는 경우 깊은 심도지하를 규정하기 위하여 특별히 필요하고 중요하다고 생각되는 기술적 과제로는 지상 건축물의 지지지반에 대한 규정, 지상건축물과 깊은 심도지하 시설간의 안전거리, 깊은 심도지하 시설간의 안전거리, 대규모 지상건축물에 대한 하중을 결정하는 것 등이다. 이들 과제에 대하여 그 개요를 상정하고 기술하고자 한다.

##### 4.1 지지지반을 규정하기 위한 지반조사

깊은 심도지하의 정의에서 제한한 깊은 심도의 지하를 규정하기 위하여는 우선 지상건축물을 충분히 지지할 수 있는 지지지반을 규정해야 한다. 이를 위하여는 지반조사를 실시하여 그 결과를 토대로 건축물을 지지할 수 있는 지지지반을 특정해야 할 것이다. 전항에서 말한 깊은 심도지하는 사실 확실히 통상 이용되지 않는 지하공간에 대한 깊은 심도지하의 범위를 정하는 것으로 깊은 심도의 지하시설이 소규모인 경우 등에는 구체적으로는 지반조사에 의하여 구해진 시추자료로 정해진 지침에 따라 깊은 심도지반을 확정할 수 있으나 복잡한 대도시에서 넓은 지역을 대상으로 할 경우 시추만으로 지반을 조사하는 것은 확실성은 인정되나 조밀하게 시추를 실시한다는 것은 사실상 불가능 한 실정임으로 일반적으로 Boring과 병용하여 ①지반도 ②지질문헌 ③지하철도, 지하도로 등 노선부근의 공사자료 ④깊은 우물주상도 ⑤지하수 변동자료 등을 이용하고 도시시가지에 적용할 경우 비교적 유리한 방법인 탄성파(S파)탐사천층탐사법(그림-4)을 적용하면 유리할 것이다. 이와 같이 반드시 Boring이 아니라도 물리탐사법에 의하여

지지지반의 상면을 파악할 수 있고 지층이 복잡한 개소는 시추조사와 물리탐사를 병용하여 정밀한 지반조사가 가능함으로 용이하게 지지지반을 규정할 수 있을 것이다. 또한, 이들 지지지반 data를 토대로 건축물의 지지지반과 깊은 심도지하시설의 상면과의 안전거리를 계산하여 깊은 심도의 지하를 결정할 수 있을 것이다.

##### 4.2 깊은 심도지하시설의 규모에 따른 시설간 안전거리

사유지에서 소유자에 의하여 통상적으로 이용되지 않는 지하공간의 상면을 결정해야 하고, 또한 깊은 심도 지하에 시설물을 설치할 경우 건축물과 시설간에 그 규모별로 예상되는 영향을 조사하고 이런 영향을 피하기 위하여 안전거리를 두는 것이 필요하다. 이 안전거리는 물론 시설의 규모에 따라 다를 것이다. 터널시방서 [Shield 공법편·동해설]은 [쌍설터널의 영향]에서 “쌍설하는 터널의 순 간격이 1D 이내인 경우는 충분한 검토가 필요하다”라고 규정하고 있다. 또한 철도구조물 등 설계표준동해설 Shield Tunnel편은 [쌍설터널의 영향]에서 “일반적으로 1.0D이상의 순 간격이 있으면 그 영향이 적어 검토가 생략되고, 1.0D미만인 경우는 그 영향을 무시할 수 없어 검토를 행할 필요가 있다”고 규정하고 있다. 깊은 심도의 지하는 얕은 심도의 지하에 비하여 비교적 잘 다져지고 견고한 지반 내지는 암반으로 구성되어 있으므로 안전거리를 1D로 규정하고 있으나, 터널규모가 현저히 크고 지반상태 등을 고려하여 보다 큰 안전거리가 필요하다고 생각되거나, 또는 역으로 계획상 아무래도 1D 이하의 거리에 설치할 수 밖에 없는 어려움이 존재하는 경우 등에는 별도로 검토를 행하여야 할 것이다.

그림-5에 나타낸 IMAGE도는 안전거리에 대한 것으로 건축물 기초위치는 직접기초인 경우 지표로부터 25 m위치로 하고, 말뚝기초인 경우는 지지지반 상면에서 2 m하의 위치로 한 것이다.

직접기초는 기초저면에서 깊은 심도 지하상면까지의 안

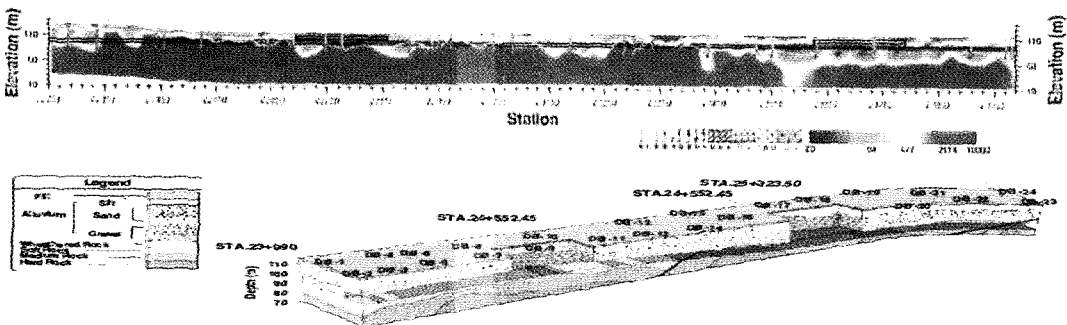


그림 4. 물리탐사법에 의한 지지지반의 조사사례

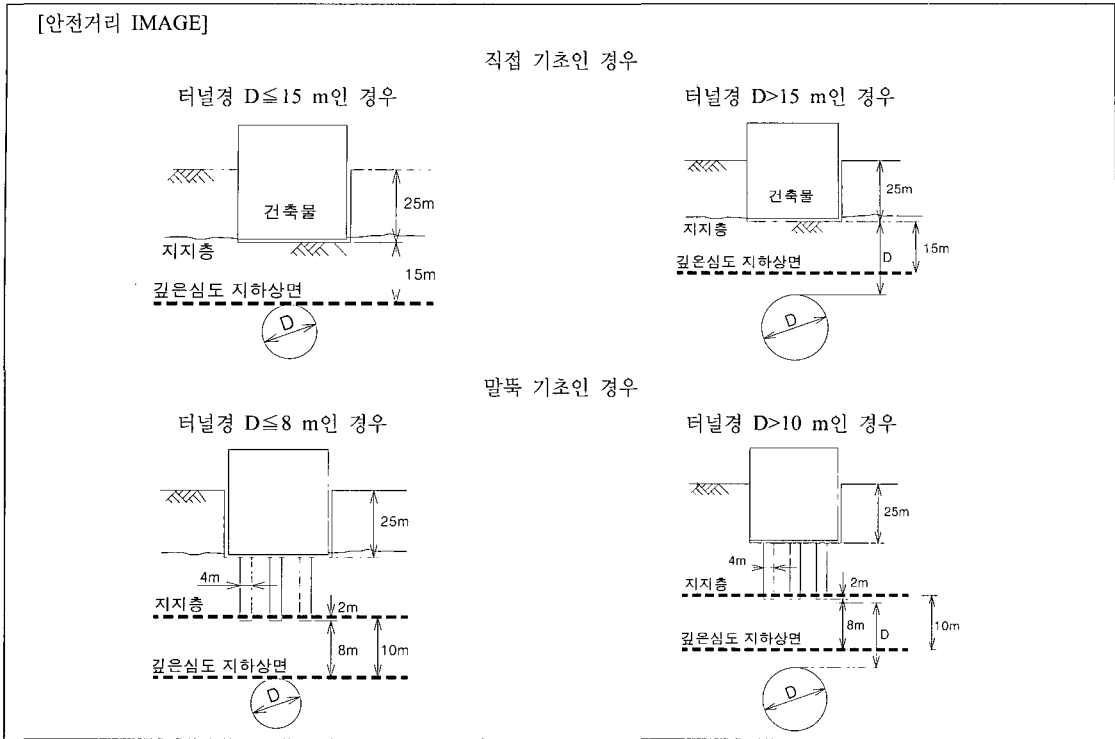


그림 5. 구조물간의 안전거리의 이미지도

표 1. 설계 및 시공 시 특히 고려해야 할 사항

고려할사항	관리할내용
지반상황에 따른 공법선정 및 시공관리	이수Shield공법, 토압Shield공법 등 기계를 이용 지하수를 변화시키지 않는 공사 및 시공관리
대규모굴착으로 인한 지반변형	굴착저면의 Rebound현상에 대한 시공관리
건축물하중에 의한 지반의 변형	압밀침하로 깊은 심도지하구조물의 변형에 따른 관리
지진의 영향	지반의 액상화, 지상건축물의 관성력에 의한 변형, 변위
근접시공	수평방향쌍설, 연직방향 병설, 상하교차시설의 시공시 변형, 변위

전거리는 15 m이고 터널직경이 15 m이내면 안전거리는 1D이상이 되는 것이다. 말뚝기초인 경우는 말뚝 선단에서 깊은 심도지하상면까지 안전거리는 8 m이고 터널직경이 8 m이내면 안전거리는 1D이상이 되는 것이다. 이에 대한 IMAGE도를 그림-5에 나타내고 있다.

4.3 깊은 심도지하시설을 설치할 때 시설간 안전거리

깊은 심도지하는 위에서 말한 지지지반보다 하부에 위치함으로 얇은 지지지반보다 견고하고 변형이 거의 없는 공학특성을 가지고 있다고 생각된다. 따라서 깊은 심도의 지하에서 구조물을 구축하기 위하여 굴착을 할 경우 지반상에서 발생하는 변형이나 변위 등은 적을 것

으로 생각되나 불확정한 사유로 지상 건축물이나 깊은 심도의 구조물에 지장이 발생할 것으로 예상되는 경우가 있을 때는 이 같은 변형에 충분히 대응할 수 있는 구조로 설계되고 시공되어야 할 것이다. 다음 표는 대응해야 할 대표적인 내용을 요약한 것이다.

상기 사항들을 고려하여 검토되어야 할 시설간의 안전거리는 그림-6에 나타내었다.

4.4 대규모 지상 건축물의 하중

깊은 심도지하에 지하구조물을 구축하기 위하여는 지상구조물의 하중에 대한 산출 규정을 명확히 할 필요가 있다. 특히 고층건물의 하중이 깊은 심도의 지하구조물

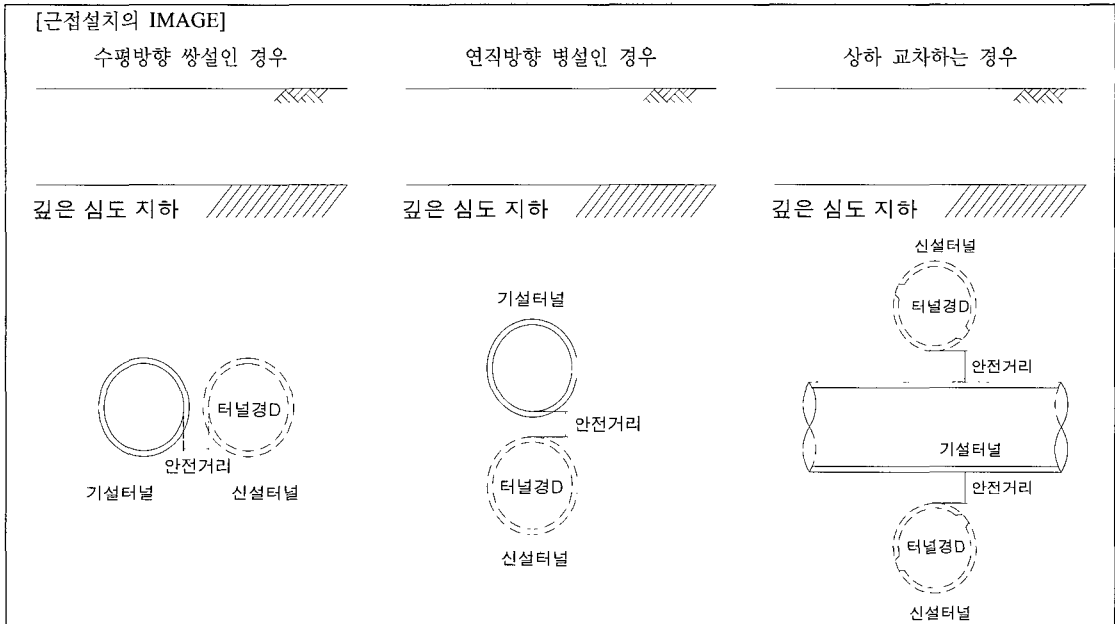


그림 6. 근접시공의 이미지도

과 지상건축물 모두 안전을 확보하기 위하여 설계에서 고려해야 할 건축물 하중은 여러 가지 방법으로 산출할 수 있으나 일반적으로 깊은 심도지하의 구조물에 영향을 미치지 않을 안전한 방법을 상정하고 검토해 두는 것이 필요할 것이다. 다음 그림(그림-7)과 같은 고층건물의 IMAGE도를 참고로 하여 기본적으로 다음 두 가지 경우에 대하여 지상건축물 하중을 아래와 같이 검토한 것이다.

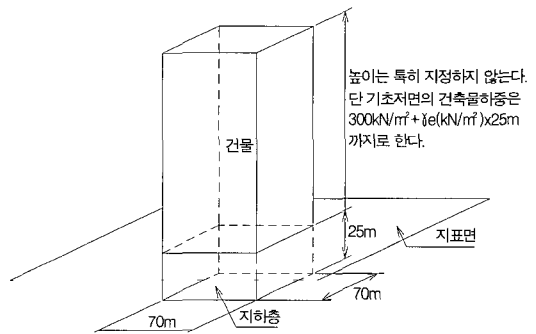


그림 7. 고층건물의 IMAGE도

(1) 지지지반이 얇은 경우 건축물에 의한 하중

지지지반이 얇은 경우(25 m이내로 상정한 경우)는 일반적으로 건축물의 기초를 직접기초로 한다. 직접기초인 경우는 기초저면에 작용하는 건축물하중이 지반에 전해지고 깊은 심도에 있는 터널에 하중으로 작용한다. 건축물하중은 지지지반 이하는 단단한 지반으로 가정하면 하중은 직선적으로 지중분산하고 분산각은 45°로 가정하여 산출할 수 있다. 다음은 직접기초로 굴착심도가 25 m, 건축물하중을 700 kN/m<sup>2</sup>(증가하중300 kN/m<sup>2</sup>+25 × 16 kN/m<sup>3</sup>=700 kN/m<sup>2</sup>; 흙의 단위체적중량γ=16 kN/m<sup>3</sup>)로 가정하고, 지하터널에 작용하는 건축물의 하중을 산출한 결과이다. 다음 그림(그림-8)은 터널에 미치는 하중의 작용 모식도와 깊은 심도지하 터널에 작용하는 건축물로 인한 하중과 건축물의 기초저면에서 안전거리 별 하중을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 지하수위가 높은

경우 부력에 대하여도 고려한 계산 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

상기 계산 결과에서 건축물에 의한 지하구조물에 미치는 하중은 z=1D인 경우에 490 kN/m<sup>2</sup>로 크게 작용하지만 주로 사용될 깊은 심도지하를 z=3D정도라고 한다면 하중은 257 kN/m<sup>2</sup>로 깊이에 따라 하중의 영향은 크게 감소된다.

(2) 말뚝기초인 경우 건축물에 의한 하중 계산

건축물이 말뚝기초인 경우 깊은 심도의 지하시설인 터널설계에 적용하는 건축물에 의한 하중은 그림과 같은 하중의 작용과 분산을 고려하여 구할 수 있다. 말뚝

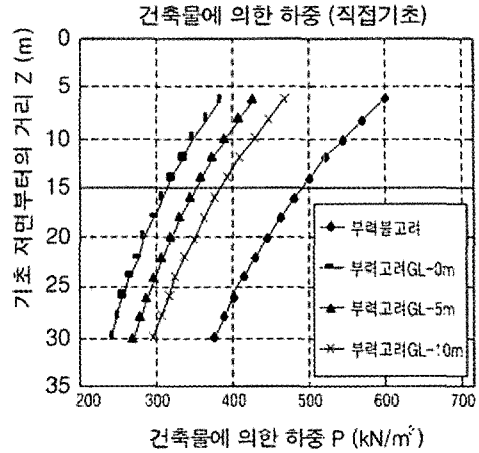
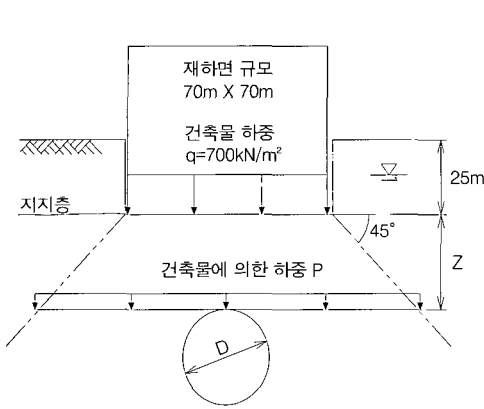


그림 8. 건축물에 의한 하중이 작용하는 영향도(직접기초)

표 2. 건축물에 의한 하중 계산 예(직접기초인 경우)

Z (m)	건축물에 의한 하중 P(kN/m <sup>2</sup> )	비 고
10	544	$h \leq 25m$ (직접기초인 경우 $h = 25m$ 로 함) 적용공식(부력을 고려하지 않은 경우) $p = \frac{70(p)}{2(H-h) + 70}$ 로 계산한 결과는 다음과 같다. 여기서 P: 건축물에 의한 하중(kN/m <sup>2</sup> ) L: 지표에서 지하수위까지 깊이(m) H: 지하공작물까지 깊이(m) h: 지표에서 지지반 상면까지 깊이(m) p: 다음식에서 구한 건축물하중(kN/m <sup>2</sup> ) $p = 300 + 25 \gamma_c$ (여기서 $\gamma_c$ : 배토하중산정시 적용하는 흙의 단위체적중량 1.6(kN/m <sup>3</sup> ))
15	490	
20	445	
25	408	
30	376	
35	350	
45	306	
50	272	
60	257	

기초의 지지력은 마찰력과 선단지지력의 합으로 구하는데, 안전을 고려 지시층상면에 등분포하중으로 작용한다고 가정할 수 있다. 다음 그림(그림-6)은 터널에 미치는 하중의 모식도와 건축물에 의한 하중을 지지반의 깊이 별로 산출하여 나타낸 것이다. 건축물의 하중과 분산은 직접기초와 같은 방법을 취하고 하중분산의 모식도와 건축물하중과 지시층상면부터의 거리를 계산하여 그 결과를 나타낸 것이다.

상기조건에서 건축물하중을 700 kN/m<sup>2</sup>로 한 경우 건축물에 의한 지하구조물에 미치는 건축물에 의한 하중을 지하수가 없는 조건에서 계산한 결과를 나타낸 것이다.

상기 계산 결과에서 건축물에 의한 지하구조물에 미치는 하중은 z=1D인 경우에도 490 kN/m<sup>2</sup>로 크게 작용하지만 주로 사용될 깊은 심도지하를 z=3D정도라고 한다면 하중은 257 kN/m<sup>2</sup>로 깊이에 따라 하중의 영향은 크게 감소된다.

(3) 제한구역에서의 건축물에 의한 하중

주거지역, 전용주거지역, 항공법에 의한 고도제한 구역 등 건축물의 건축에 제한이 있든지 연약지반구역에서 건축물의 하중에 대한 제한이 있는 경우는 당해 법에 준하는 특별한 기준을 마련하여 건축물의 규모나 하중을 규정할 필요가 있을 것이다. 특히 N값 10이하의 점성토 지반이 존재하는 경우와 지반응력도가 15 t/m<sup>2</sup> 이하인 경우는 특별히 적정한 검토를 행할 필요가 있을 것이다.

이상에서 깊은 심도지하의 정의와 깊은 심도지하에 설치되는 시설(최대 직경 15 m 규모의 터널)을 설계, 시공하기 위하여 고려해야 할 필요한 토목공학적 기본사항을 요약 정리해 보았다. 이외 깊은 심도지하를 사용하고 활용하기 위하여는 더욱 많은 해결해야 할 기술적 과제를 가지고 있다. 그 과제를 항목별로 요약해 보면 다음과 같다.

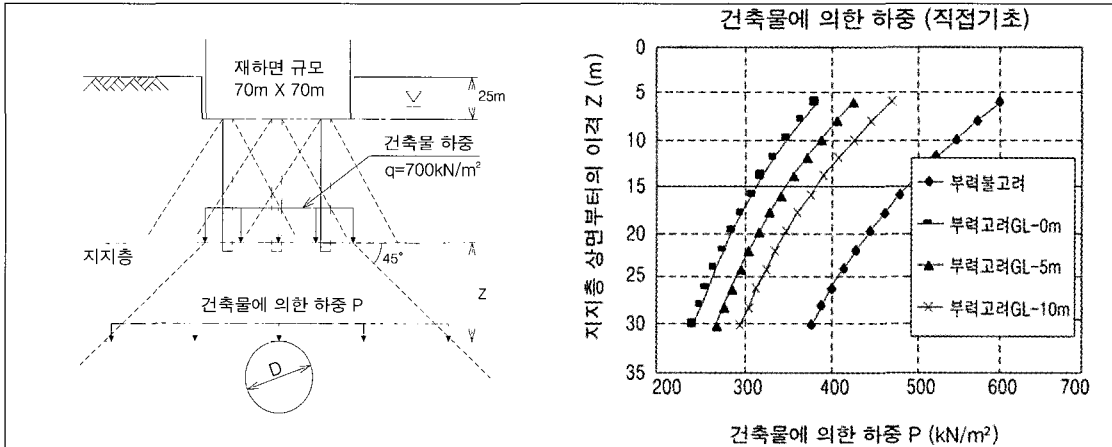


그림 9. 건축물에 의한 하중이 작용하는 영향도(말뚝기초)

표 3. 건축물에 의한 하중 계산 예(말뚝기초)

Z (m)	건축물에 의한 하중P(kn/m <sup>2</sup> )	비 고
10	544	말뚝기초인 경우 지하수위가 지지반 이하에 위치하는 경우 적용공식(부력을 고려하지 않은 경우) $p = \frac{70(p)}{2(H-h) + 70}$ 로 계산한 결과는 다음과 같다. 여기서 P : 건축물에 의한 하중(kn/m <sup>2</sup> ) L : 지표에서 지하수위까지 깊이(m) H : 지하공작물까지 깊이(m) h : 지표에서 지지반 상면까지 깊이(m) p : 다음식에서 구한 건축물하중(m) $p = 300 + 25 \gamma_c$ (여기서 $\gamma_c$ : 배토하중산정시 적용하는 흙의 단위체적중량 1.6(kn/m <sup>3</sup> ))
15	490	
20	445	
25	408	
30	376	
35	350	
45	306	
50	272	
60	257	

### 5. 깊은 심도지하이용에 관한 기술의 개발

깊은 심도지하시설은 깊은 심도에 따른 단점을 극복하고 깊은 심도의 지하공간을 효율적으로 활용하기 위하여 토목공사의 설계 및 시공기술은 물론 인간이 활동하고 장시간 머물 수 있게 하기 위한 안전성, 쾌적성, 편리성을 배려한 설계기술의 개발과 장기적인 내구성과 유지관리에 관한 기술의 개발이 추진 되어야 할 것이다.

#### 5.1 검토조건

상기에서 살펴본 것과 같이 깊은 심도지하는 대략 지표에서 40 m~100 m지점의 지하에서 이용되는 시설로 볼 수 있다. 따라서 보다 좋고 안전한 지하시설 이용에 대한 기술적 가치와 각 단계에서의 과제를 파악하고 해결할려는 노력과 깊은 심도의 지하를 이용함에 있어 그것을 적절히 평가하기 위한 기술이 절실히 필요하다고

할 것이다. 따라서 그 검토조건을 너무나 광범위하게 설정하기보다는 다음과 같은 몇 가지 조건으로 한정하는 것이 타당할 것으로 본다. ①깊은 심도지하는 지표에서 40 m~100 m정도 ②설치하는 시설은 15 m규모 정도의 공간(터널) ③대상사업은 도로, 철도, 하천 등 ④이용하는 지반은 지지반 이하의 양호한 지반 ⑤지하수위를 포함한 검토 등으로 상정하여 검토하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

#### 5.2 안전성, 쾌적성, 편리성에 관한 기술개발 항목

지하시설을 보다 좋고 안전하고 편리하게 사용할 수 있는 설계기술의 개발분야는 다음과 같은 것들을 고려할 수 있을 것이다.

- ①내부공간의 설계기술(공간설계기술, 내부환경향상 기술)
- ②환기, 배연설비기술(환기기술)
- ③방재 피난설비 기술(방재시스템)
- ④이동, 물류시스템 (연직수송시스템,



표 4. 깊은 심도 지하이용의 기술적 과제

목 적	깊은 심도 지하이용에 요구되는 환경	대응 기술분야	기술개발 ITEMS
깊은 심도를 잘 활용한다	천, 중심도와 비교하여 동등이상의 안전한 생활조건을 조성	내부공간설계기술	공간설계, 내부환경설계기술
		환기, 배연설비	환기설계기술
		방재, 피난설비	방재System 기술개발
		이동, 물류System	수직수송System, 이동물류System(고속, 대량수송)
도로 철도복합시설. 도로. 철도. 물류.쓰레기수송. 지하하천. Life Line. 하수처리시설. 전력시설. 방재센터. Data Base 등	천, 중심도와 비교하여 동등 이상의 좋은 환경을 조성	장기 내구성	Shield Tunnel내구성, 구체구조물의 내구성 유지보수기술
		설계, 계측, 조사, 해석 기술	Shield Tunnel설계기술. 깊은심도지하구조물의 설계기술. 지질조사해석기술. 시공중 조사 및 계획기술. 지하환경 근접성
		지하수 제어기술	지하수 제어기술
		입갱구축기술	입갱의 굴착기술
		공간구축기술	대규모공간 굴착기술
		터널구축기술	장거리고속굴착기술. 새로운 굴착기술. TUNNEL의 확폭 분기기술. 다양한 단면Tunnel굴착기술
	터널, 입갱발생토처분 기술	발생토의 배토 처리 수송기술	
깊은 심도지하 이용의 적절한 평가	깊은 심도지하이용 평가기술	깊은 심도지하이용 평가지표의 개발	

이동물류시스템) ⑤구조물의 장기 내구성 확보기술 등을 개발해야 할 항목이다. 또한 깊은 심도지하이용에 관한 평가기술이 필요할 것이다. 깊은 심도지하에 공간을 구축하는 데는 건설비용이 증가하지만 얇은 지하에서는 실시 곤란한 사업이 가능할 수 있고, 지상의 환경을 개선하는데 큰 영향을 미치는 사업이라든지, 깊은 심도지하시설로 지상시설이나 지상시설의 효과를 현격히 증가시킬 수 있는 시설 등을 얇고 중간심도의 지하를 이용하는 것과 비교하여 평가하는 기술과 평가지표 등의 기술 개발이 필요할 것이다. 다음 표는 깊은 심도지하이용에 관한 기술적 평가과제를 정리한 내용이다.

## 6. 깊은 심도지하 이용을 위한 금후의 과제

### 6.1 기술개발 과제

위에서 말한 기술개발 추진을 위하여는 민간에 의한 개발이 곤란한 부분도 많다. 이 부분은 국가가 역할을 담당하여 만·학관이 역할 분담으로 연구를 수행하는 것이 효율적이라고 생각한다. 민간은 실제 시공하고 있는 Project를 통하여 구체적인 기술개발이 촉진되도록 연구를 수행하고 이것으로부터 나오는 데이터를 수집하고 활용할 수 있을 것이다. 학교 연구실은 이와 관련한 여러 현장들을 확보하고 정보를 수집하여 데이터 베이스를 구축하고 지속적인 연구를 수행해 나갈 필요가 있을 것이다. 또한 관

에서는 이런 활동을 제도적으로 지원하고 깊은 심도지하 이용에 관한 확실한 평가기법을 개발할 필요가 있다고 생각된다.

### 6.2 제도적 과제

도시내 사유지하에 도로나 철도 등 공공시설이 건설될 경우 토지 소유자 입장에서 볼 때 너무나 민감한 문제이다. 따라서 도시기반시설이나 생활시설을 사유지하 깊은 심도지하에 수용하기 위하여는 기술적인 문제가 해결된다고 해서 문제가 해소되는 것은 아니다. 기술적인 문제가 완벽하다고 하는 전제하에서 이와 같은 공공시설이 사유지에 수용될 수 있게 하기 위하여는 반드시 깊은 심도지하이용에 대한 권리설정과 보상에 대한 문제를 법률적으로 다루어야 할 사안인 만큼 조속한 법률의 제정이 또한 요망된다.

## 7. 결 론

지금 서울은 여러 곳에 대단위 재개발 사업과 뉴타운 건설이 추진 될 전망이다. 뉴타운이 건설되면 주거인구가 지구별로 급속히 늘고 이로 인하여 교통량은 급격히 증가할 것이다. 이런 교통량을 수용하기 위하여는 얇은 심도에 서 공공용지 하에서만 이것을 해결하기는 한계가 있다. 지역간의 도시편차를 균형 있게 발전시키고, 지역간

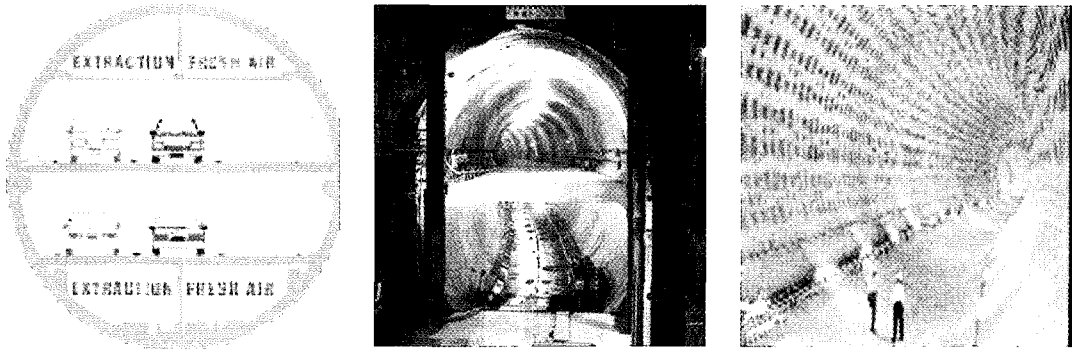


사진 2. 깊은 심도지하에 설치되는 이층지하차도 및 대규모 지하하천

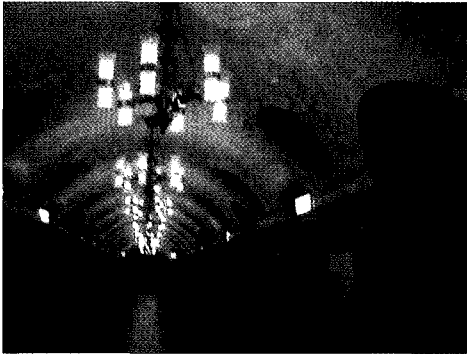


사진 3. 깊은 심도지하(GL-80~100 m)에서 운행되고 있는 Moscow 지하철

의 교통소통을 원활히 하여 도시기능을 전체적으로 향상시키기 위하여는 수십 km의 도로터널이나 지하철도가 추가로 계획되어야 할 것이다. 또한, 지구 온난화로 인한 강우의 강도와 빈도가 강하고 잦아지는 현상을 볼 때 일부 상습 저지대는 물론이고 기존시기에도 집중 호우로 인한 피해를 방지하기 위하여 대규모 지하하천

이나 지하유수지(사진-2,3)도 고려되어야 할 것이다. 이 같은 공공시설들을 공공용지 하에서만 해결한다는 것은 구조적으로 불가능하다. 따라서 이용되지 않는 깊은 심도지하를 이용함으로써 도시기능을 효율적으로 증진시키는 방안을 검토해야 할 시기가 대두된 것으로 보인다. 따라서 조속한 시일 내 사유지에 대하여 소유자가 이용하지 않는 깊은 심도지하를 사용할 수 있는 법률적 검토와 기술적 검토를 위한 준비를 단행할 것을 제안하는 바이다.

### 참고문헌

1. 박정주, 2001. 지하공간개발의기술과법제. 대한토목학회지, 제49권 제10호, p. 67
2. 松本隆平, 2005, 일본의 대심도지하공간 사용지침, 10<sup>th</sup> International ACUUS\* Conference\*\*, Moscow, 2005 (\*The Associated Research Centers for Urban Underground Space) (\*\*the 10<sup>th</sup> ACUUS Conference "Underground Space: Economy and Environment")
2. 터널표준시방서(Shield편) · 동해설, 일본토목학회
3. 김동욱 1993.6, 한국의 지하공간의 현황과 법 제정 방향, 일본토목학회 지하공간이용Symposium
4. 梅澤忠雄, 지하공간의 활용과 그 가능성

### 박정주

1965년 부산대학교 공과대학 토목공학과  
공학사  
1993년 연세대학교 공학대학 토목공학과  
공학석사  
2002년 울산대학교 공과대학 토목공학과  
공학박사

Tel: 02-3416-6810

E-mail: parkjj@kcieng.com

현재 한국해외기술공사 도로교통연구원  
원장(부회장)

