

서울정책포커스

2007. 7. 30 제36호

서울시 지하공간의 장기 이용전망과 정책방향

신상영(서울시정개발연구원 연구위원)

< 목 차 >

요약

1. 문제의 제기
2. 지하공간의 개념과 의의
3. 서울시 지하공간 이용의 필요성과 과제
4. 해외 지하공간 개발사례의 특징과 시사점
5. 지하공간 관련기술의 장기 발전전망
6. 서울시 지하공간 이용 활성화를 위한 정책방향
7. 미래 지하공간 이용확대를 위해 미리 준비해야 할 것들

요 약

서울시라는 제한된 공간에서 앞으로 늘어날 토지수요를 충족하고 세계도시로서 쾌적한 도시환경과 경쟁력을 달성하기 위해서는 입체적 토지이용, 특히 지하공간의 이용이 확대되어야 하며, 기술발전은 종래와는 다른 새로운 지하공간이용의 가능성을 제공할 것이다. 본 고에서는 미래 서울의 지하공간 이용방향과 이에 대비하여 조성해야 할 제도적·기술적 기반을 살펴보았다.

세계 각국의 대도시들은 가용공간에 여유가 있든 없든 지하공간을 도시발전과 환경보전을 위한 중요한 자원으로 인식하여 적극 활용하고 있다. 기술발전에 따라 지하공간의 규모가 확대되고, 다양한 기능을 포함하는 복합용도공간으로 개발하고 있으며, 종래 지하에 설치하기 어려운 시설도 지하공간에 설치하는 등 지하용도가 확대됨에 따라 대심도(大深度) 지하공간으로 이용범위를 넓히고 있다.

지하굴착기술, 태양광 전달 및 열차단기술, 인공조명 및 영상기술, 공기조화기술, 에너지기술, 방재기술, 센싱기술, 공간정보기술, 자동차 및 교통체계의 지능화·고속화·에너지효율화 등 관련기술은 지하공간 이용확대에 기회를 제공할 것이다.

현재 서울의 지하공간은 이미 천심도(淺深度)에서는 혼잡과 난개발의 징후를 보이고 있으며, 대심도 지하공간을 향해 날로 깊이를 더해가고 있다. 본 고에서는 미래 서울의 지하공간 개발방향에 대한 일반적인 원칙과 교통, 상·하수도, 전기, 통신, 가스, 냉·난방시설 등 시설물별 정책방향을 제시하였다.

미래 지하공간 활성화를 위해 지금부터라도 지하공간의 종합적 관리를 위한 계획과 규제·유인체계의 구축, 대심도 지하공간의 공공적 이용을 위한 사용권 및 보상제도의 확립, 지하공간에 대한 종합적인 데이터베이스와 모델시스템, 3차원 정보체계의 구축, 센싱 및 네트워크기술의 적극적인 활용, 지하공간에 대한 정보수집과 연구개발의 촉진 등 제도적·기술적 기반을 조성하는 작업을 해나가야 할 것이다.

1. 문제의 제기

- 오늘날 지하공간은 대도시의 각종 문제를 해결하기 위한 중요한 공간자원으로서 인식되고 있으며, 세계의 많은 국가들이 미래의 개발대상으로 해양 및 우주와 함께 지하공간을 들고 있음. 이는 경제발전과 도시화에 따라 공간수요가 늘어나고 시민의식수준과 생활수준이 높아짐에 따라 양질의 쾌적한 도시환경에 대한 요구가 높아지고 있는데, 지상공간을 통해 충족하는 것은 한계가 있기 때문에 지하공간에서 기회를 찾고자 하는 것임.
- 현재 서울의 지하공간은 지하철, 도로터널, 상가, 보도, 주차장 등 사람과 차량이 이용하는 시설과 전기, 통신, 가스, 상·하수도 등 무인기반시설로 거미줄처럼 복잡하게 얽혀 있고, 천심도(淺深度) 지하공간은 이미 난개발과 혼잡의 징후를 보이고 있어, 시설물의 신규설치나 노후시설 교체의 효율성을 달성하는 것이 대단히 어렵게 되었음.
- 도시화에 따라 공간수요가 증대되는 한편 지상공간에서의 가용지 고갈과지가 상승, 쾌적한 환경조성의 필요성 등으로 지하공간에 대한 이용수요는 더욱 늘어나고, 기술발전에 따라 대심도(大深度) 지하공간으로 이용이 확대될 것으로 예상되기 때문에 무질서한 개발을 방지하고 바람직한 개발을 유도하기 위해서는 사전에 지하공간에 대한 체계적이고도 합리적인 계획과 규제 체계가 마련될 필요가 있음.

2. 지하공간의 개념과 의의

○ 지하공간의 개념

- 지하공간(underground space)은 지상공간(aboveground space)과 대칭

을 이루는 개념으로서 상업적 또는 공공적 목적을 위하여 자연상태의 지표면 아래 인위적으로 형성된 공간자원을 말함.

- 지하공간은 인간에 의한 이용을 전제로 한 공간으로서 이론적으로는 지하로 무한히 확대될 수 있겠으나, 기술적 제약과 경제적 이용가능성은 깊이에 크게 영향을 받을 수밖에 없어, 깊이에 따라 천심도(淺深度), 중심도(中深度), 대심도(大深度)로 구분하거나, 통상적인 이용가능성을 고려하여 일정 깊이 이상에 대하여 '한계심도'를 설정하기도 함.

<표 1> 지하공간 이용의 장점과 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> · 가용지가 없거나 지가가 높은 기성도시지역에서 신규공간창출, 토지의 고도활용, 토지보상비 절감 · 지상공간의 미관증진, 환경보전, 혼잡완화 · 대도시의 외연적 확산을 줄이고 압축개발(compact development) 실현 · 혐오감을 주거나 기피대상인 NIMBY시설 설치용이 · 도로 등 기반시설의 직선화 등 효율적인 시설설치 및 비용절감 · 보안이 필요한 시설을 손괴, 테러, 공격 등으로부터 보호 · 외부의 화재, 폭풍, 사고, 오염 등으로부터 보호 · 온도가 일정하여 에너지 절감 · 대심도 지하에서는 소음과 진동이 적으며, 지하수 유동이 거의 없어 지하수에 대한 영향이 적음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착 등 공사비 추가부담과 공사 장기화 가능성 · 일단 개발이 되고 나면 구조변경이 어려움. · 화재, 붕괴, 침수, 정전 등 재난위험에 취약하고 대피가 어려움. · 지하공간에 대한 부정적 이미지로 인적시설의 경우 용도가 제한적임. · 통신이 어렵고, 조명, 환기 등 추가적인 조치 및 관리운영 부담 · 접근성, 이동성, 위치파악, 방향성 등 부족 · 조망 부족 · 지질, 지하수 등 지하환경조건에 따라 이용가능성과 용도가 제한적임. · 지진대에서는 이용 곤란

○ 지하공간의 법적 성격과 관련 규정

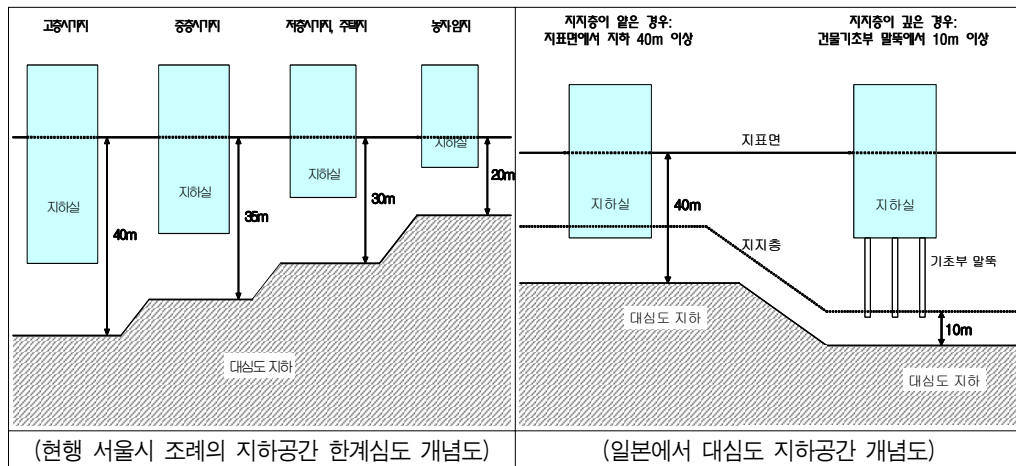
- 우리나라에서 지하공간 자체에 대한 법적 정의나 총괄적인 법령은 없으나, 재산권과 관련해서는 「민법」에 규정되어 있고, 공공사업과 관련한 취득, 손실보상 등에 대해서는 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」(이하 토지보상법)에, 지하시설물의 설치에 대해서는 「도시철도법」, 「도로

법, 「주차장법」, 「건축법」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」(이하 국토계획법) 등 각각의 시설물별·기능별 법령에 나타나 있음.

- 토지소유권 범위에 대해서는 「민법」 제212조에서 “토지의 소유권은 정당한 이익이 있는 범위 내에서 토지의 상하에 미친다”고 규정하고 있으며, 동법 제289조의2에서는 지하 또는 지상공간의 상하의 범위를 정하여 구분지상권을 설정할 수 있도록 하고 있음.
- 공공사업을 위하여 지하·지상공간을 영구적으로 또는 일정기간 사용하는 경우의 보상금 평가에 관해서는 「토지보상법」 제71조와 동법 시행규칙 제31조에서 ‘당해 토지의 가격에 당해 공간을 사용함으로 인하여 토지의 이용이 저해되는 정도에 따른 적정한 비율’, 즉 ‘입체이용저해율’을 곱하여 산정하는 금액으로 평가하도록 하고 있음.
- 예컨대, 「도시철도법」 제5조에서는 도시철도건설의 시행을 위하여 필요한 지하공간에 대해 구분지상권을 설정하고, 제4조의6에서 입체이용저해율을 참작하여 보상토록 하고 있음. 「도로법」에서도 입체적 도로구역(제50조의2) 등에 대하여 유사한 규정을 두고 있음.
- 지하공간을 사용함으로 인하여 토지의 이용이 저해되는 정도, 즉 ‘입체이용저해율’과 관련해서는, 서울시의 경우, 「지하부분 토지사용에 따른 보상기준에 대한 조례」에서 입체이용저해율을 건물 등 이용에 대한 저해율, 지하부분 이용에 대한 저해율, 기타 이용에 대한 저해율의 3가지로 구분하되, 지역유형(고층시가지, 중층시가지, 저층시가지, 주택지, 농지·임지)별로 차등 적용하고 있음.
- 또한 서울시 조례에서는 토지소유자의 통상적 이용행위가 예상되지 않으며 지하시설물 설치로 인하여 일반적인 토지이용에 지장이 없는 것으로 판단되는

한계심도를 고층시까지 40m, 중층시까지 35m, 저층시까지 및 주택지 30m, 농지·임지 20m로 설정하고, 한계심도를 초과하여 시설을 설치하는 경우 초과분에 대하여 최소한의 일정비율(0.2~1.0%)을 설정하여 보상하고 있음.

- 일본의 경우는 지하공간의 공공적 활용측면에 많은 비중을 두고 있는데, 2000년에 제정된 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」에 따라 대심도 지하를 건축물 지지층이 얇은 경우는 지하 40m 이상 또는 건축물 지지층이 깊은 경우는 건축물 기초부 지지반에서 이격깊이 10m 이상 아래 부분으로 설정하되, 대심도 지하공간을 사용하는 경우에 토지소유자의 동의나 보상 없이 사용권을 설정하여 공공시설을 원활하게 설치할 수 있도록 하고 있음.



[그림 1] 우리나라 및 일본에서의 지하공간에 대한 법적 구분

3. 서울시 지하공간 이용의 필요성과 과제

○ 서울시 지하공간 이용여건

- 경제발전과 도시환경의 질 향상이란 일인당 소비하는 공간의 양과 질의 증대라고도 말할 수 있음. 따라서 현재에도 심각한 문제인 토지부족과 고지가

에 대응하기 위해서는 기존 시가화지역의 고도활용이 불가피하며, 고층화는 물론 지하공간 이용활성화를 통한 입체적 공간확대가 필요함.

- 서울시 지반은 약 75% 이상이 화강암, 편마암으로 구성되어 있어 지하공간 개발에 양호한 조건을 갖고 있음.
- 서울시 전체면적 중 개발에 어려움이 있는 해발 40m 이상의 산지·구릉지는 39.8%에 해당하는 약 240.9km²로서 입체적 토지이용의 필요성이 높음.
- 1990년대에 들어 서울시내 대규모 개발가능지는 거의 한계에 달했는데, 「2020년 서울도시기본계획」에 따르면 기개발지역 313.6km²와 개발불능지 236.4km²를 제외한 미개발 개발가능지는 33.3km²로서 5.5%에 지나지 않음.

<표 2> 서울시 주요 지하공간 이용현황(2006년)

구분	시설현황
지하차도	개소: 117개소, 연장: 36.6km, 면적: 590.8천m ²
지하보도	개소: 82개소, 연장: 4.8km, 면적: 48.5천m ²
지하도상가	개소: 30개소, 면적: 146.3천m ² , 점포수: 2,775개
지하철	연장: 286.9km
상수도관	총연장: 14,253km (배급수관: 12,648km, 송배수관: 1,605km)
하수관거	총연장: 10,227km (합류식관: 8,788km, 분류식관: 8,788km)
공동구	개소: 6개소, 연장: 66.9km (폭 2.6-13m, 높이 2.3m)

자료: 서울특별시, 2006, 내부자료.

<표 3> 서울시 과세대상 건축물 중 지하부분 현황

건축물 구분	전체연면적(A) (천m ²)	지하 연면적(B) (천m ²)	(B/A)×100	주용도
주택	239,867.4	26,578.4	11.1	단독, 공동 등
상업·업무	98,630.9	17,514.0	17.8	판매, 사무, 생활, 문화, 숙박 등
기타	36,267.9	5,776.0	15.9	교육, 종교, 체육, 생산, 운수, 기타
계	374,766.1	49,868.5	13.3	

자료: 서울특별시, 2005. 6, 서울시 건축물 과세자료.

○ 환경 및 사회적 측면에서의 지하공간 이용의 필요성

- 수도권 광역화에 따른 외곽지 도시개발과 환경파괴, 장거리 교차통행에 따른 교통정체와 가솔린소비 등 사회적 비용을 줄이기 위해서는 기존 도시공간의 고도활용을 통한 압축도시개발이 필요하며, 지하공간이 중요한 대안의 하나라고 할 수 있음.
- 점증하는 테러위협과 핵전쟁의 가능성을 고려할 때 지하공간이 일시적인 피신처의 역할을 할 수 있음.
- 또한 수도권 교통집중과 통과교통을 처리하기 위하여 지하공간을 이용한 입체적 교통처리가 필요함.

○ 서울시 지하공간 이용을 위한 과제

- 관할주체 및 소유자가 서로 다른 무수한 공공 및 사유시설이 거미줄처럼 얽혀 있고, 체계적인 관리와 상호조정이 거의 불가능한 상황에서, 천심도 지하에서는 기존시설을 교체하거나 재개발하는 것은 물론 신규시설을 위한 부지 확보가 어렵고, 기존시설과의 이격문제 등으로 인해 직선화를 통한 비용절감과 같은 이점을 발휘하기도 어려움.
- 지상공간에 대해서는 용도지역지구제, 지구단위계획 등 각종 계획과 규제들이 제공되고 있는 반면, 지하공간에 대해서는 2005년 10월 건설교통부령으로 정한 「지하공공보도시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」을 제외하고는 이렇다 할 제약 없이 개발을 허용하고 있는 것이 현실임.
- 깊이 40m 이내의 천·중심도 지하는 이미 혼잡의 징후를 보이고 있으며 앞으로 대심도 지하로 이용이 확대될 것이므로 이에 대한 대비가 필요함.

<표 4> 서울시 지하철 역사 및 상업·업무용 건축물 지하심도 변화추이

지하철 평균심도	상업·업무용 건축물 평균지하층수 (신축연도 기준)
제1기(1-4호선): 13.7m 제2기(5-8호선): 22.6m ※ 6호선 버티고개역 49.3m, 5호선 신금호역 43.6m, 7호선 송실대역 43.1m	1970년대 이전: 0.5층 1980년대: 1.1층 1990년대 이후: 1.7층

주: 건축물 층수는 서울시 건축물 과세자료에 의거하여 산정함.

- 현재의 제도적 틀에서는 민간개발업자가 무분별하게 먼저 대심도 지하까지 내려가서 개발하여도 건축안전 차원에서의 최소한의 규정 외에는 공공의 관점에서 이를 통제할 수단이 거의 없기 때문에 미래도시에 대비한 공공공간을 미리 확보하고 질서 있는 개발을 유도하기 위해서는 대심도 지하공간에 대한 이용계획과 제도적 틀이 마련되어야 함.
- 개별건축물의 지하공간과 지하도상가와 같은 다중이용공간이 단편적이고 산발적인 점(點)적 개발 내지 선(線)적 개발 중심으로 이루어져 연계성이 부족하기 때문에 지하공간간의 수평적 연계성과 지상공간과의 수직적 연계성을 높일 필요가 있음.
- 높은 보상비와 집단민원으로 지상공간에서 도로, 하수처리시설 등 기반시설을 설치하는 데 갈수록 어려움이 더해가고 있는 한편, 지하공간 건설비용은 점점 더 낮아질 것이기 때문에 님비(NIMBY)시설입지 등의 대안으로서 지하공간 이용을 더욱 적극적으로 고려할 필요가 있음.

4. 해외 지하공간 개발사례의 특징과 시사점

○ 규모의 확대

- 터널굴착기술의 발달로 지하공간은 현대기술의 실험장이자 대규모 기념비적인 개발사례를 세계에 과시하는 장(場)이 되고 있음.
- 1994년 개통된 유로터널은 연장 50km로 런던-파리간 소요시간을 2시간 35분으로 단축하였음. 미국 보스턴의 Big Dig 프로젝트는 고가도시고속도로를 지하화하여 지상부에 녹지설치 등 환경을 개선하고 만성적인 교통정체를 해소하기 위한 대규모 도심재생사업임. 노르웨이의 Laerdal-Aurland 터널은 총 연장 24.5km로서 세계최장의 도로터널을 자랑하고 있음.

○ 용도의 복합화

- 도심 및 주요 역세권지역은 지하철, 보도, 차도, 주차장, 쇼핑, 문화, 여가, 스포츠 등 다양한 기능들이 복합화·네트워크화되고 있음.
- 일본 오오사카 도심의 크리스타 나가호리(長堀), 프랑스 파리의 레알(Le Halles) 등은 지하철과 연계된 복합적인 지하가를 형성하고 있으며, 혹한의 기후특성에 대응한 캐나다의 몬트리올, 토론토 등의 도심지하 보행물, 핀란드의 레트렛티(Retretti) 아트센터 등도 있음.

○ 용도의 확대

- 종래에는 기술적 제약으로 지하에 설치하기 어려웠던 시설들이 지하공간에 들어서고 있음. 채광, 환기, 경관, 안전 등의 측면에서 어둡고 답답한 지하공간이 기술발전으로 많은 부분이 극복되어 사람들이 일하고 휴식을 취할 수 있는 사무공간, 휴식공간, 연구공간 등으로 확대되고 있음.

<표 5> 해외의 대규모 지하공간개발 주요 사례

구분	시설명	주요 내용
동 아 시 아	세이간(靑函) 해저터널 (아오모리(靑森)현-홋카이도)	- 총연장: 53.9km, 최대깊이: 240m - 본토와 북해도를 연결
	동경만 Aqua-Line 해저터널 (가나가와(神奈川)현-치바(千葉)현)	- 총연장: 15.1km, 깊이: 43.5m - 동경만 해저터널로 선박항해 영향 없애고 통행거리 단축
	크리스타 나가호리(長堀) 복합지하상가(오오사카)	- 총연장: 860m, 총연면적: 81,800m ² , 지하4층 구조 - 도심 5개 지하철역을 연결하는 지하상가
	국립국회도서관 (동경 치요다(千代田)구)	- 지상4층, 지하8층, 깊이: 30m - 지하에 서고 설치하여 황궁, 국회의사당 등 주변환경 보전
	고산제(高山祭) 뮤지엄 (기후(岐阜)현)	- 직경: 40.5m, 높이: 20m - 축제 및 미술전시관으로 연평균 74만명 방문
	26호 교토(浪速) 공동구 (오오사카)	- 총연장 2.9km, 단면: 7.9m, 깊이: 41m - 전기, 통신, 상수도 등
	수도권 외곽 방수로 (사이마타(埼玉)현-가성키베(春日部)시)	- 총연장: 6.3km, 단면: 10.6m, 깊이: 50m, 저류용량: 67만m ³ - 국도 지하를 이용한 홍수방어시설(지하하천, 압력조절수조, 배수기장 등)
	간다천(神田川) 환상7호선 홍수조절용 지하저류하천 (동경 서부)	- 연장: 4.5km, 저류량: 54만m ³ , 취수시설: 2개, 깊이: 50m - 간다천유역 수해대책의 취수 및 저류
	지하 가스탱크(東京가스 扇島工場) (요코하마)	- 총연장: 2km, 단면: 8.9m, 깊이: 60m - LNG 지하탱크 및 연결관으로 주변환경 보전 및 안전 확보
	동경 지하변전소 (동경 도심 및 인구밀집지역 일대)	- 총연면적 19,800m ² , 지하7층, 깊이: 36.4m
	지하발전소 (야마나시(山梨)현)	- 지하 460m 양수식 발전소 - 야간에는 양수, 주간에는 발전
	대심도 지하 실험시설 (가나가와(神奈川)현)	- 지하 50m - 대규모 지하공간 연구를 위해 건설된 실험시설
	어탄(二灘) 지하수력발전소 (중국 스촨성 양쯔강지류 아룽강)	- 지하터널연장: 1,167m, 용량: 3,492MW (아시아 최대 지하발전소) - 안정적인 전력공급을 통해 투자촉진 및 지역경제발전 도모
	북 미	Rockefeller Center (뉴욕, NY)
Kansas City 지하공간 (캔사스, MO)		- 면적: 약 3,000천m ² , 입주업체: 약 600개(약 10천명 종사자) - 폐광지역을 활용하여 창고, 제조업, 오피스, 서비스 등 상업적 용도로 이용
Big Dig (보스턴, MA)		- 총연장: 12km(I-90, Mass Pike-Ted Williams Tunnel, Logan Airport) - 고가고속도로를 지하화하여 도심재생, 녹지공간조성, 교통정체 해소
Univ. of Minnesota Civil & Mineral Engineering Bldg.(미네아폴리스, MN)		- 면적: 4.5천m ² , 지하 40m - 연구실, 실험실, 사무실 등으로 이용되며, 태양광시스템 도입
Montreal 및 Toronto 지하거리 (캐나다)		- 몬트리올은 Ville Marie광장과 St. Catherine거리를 중심으로 일대가 대표적이며, 토론토는 Union Station, 시청사, Eaton Center 일대가 대표적
Yucca Mountain 방사능폐기시설 (네바다)		- 수용용량: 77천톤 - 미국 전역 원자력발전소들의 방사능폐기물을 지하매장
서 유 럽	유로터널(Chunnel) (영불해협)	- 연장: 50km(해저부분: 37km), 평균깊이: 해저 45.7m - 3개의 연결된 튜브로 구성되어 있으며, 런던-파리간 2시간 35분 소요
	레알(Lez Halles) (파리)	- 면적: 약 100천m ² - 레알과 콩피두센터에 이르는 복합용도공간
	Leman호 지하주차장 (제네바)	- 지하4층 1,450대 주차시설 - 구시가지 및 레만호 경관보전 및 주차난 해소
핀 란 드	Laerdal-Aurland 도로터널 (노르웨이)	- 총연장: 24.5km - 비상전화, 소화기, 비상대기장소, 라디오·무선전화를 위한 통신망, 감시장치, 원격관제소 등
	요빅(Gjovik) 올림픽 아이스홀 (노르웨이)	- 연면적 14.9천m ² , 수용인원: 5,830명 - 아이스하키장, 수영장 등 다목적 복합시설
	레트렛티(Retretti) 아트센터 (핀란드 Punkaharju)	- 연면적: 약 10천m ² - 미술전시관, 공연장, 결혼식장, 회의장, 식당, 판매시설 등
	Santa Claus Village (핀란드)	- 북극권 근처에 조성된 크리스마스 테마공원
지하하수처리장 (스웨덴, 핀란드, 노르웨이 등)	- 스웨덴의 스톡홀름, 노르웨이의 오슬로, 핀란드의 헬싱키 등 도시외곽지역에 지하하수처리시설 설치	

- 지하공간이 지닌 보안성, 항온·항습성, 저진동성 등의 장점을 활용하여 저장시설, 비축시설, 공장 등으로 활용되거나, 주변환경에 대한 악영향 및 주민 반발로 지상에 설치하는 데 어려움이 있는 하수처리장, 발전소, 변전소, 연료탱크, 폐기물처리시설 등의 NIMBY시설이 들어서고 있음.
- 대심도 지하공간으로 깊이의 확대
 - 최근 일본에서 건설되는 지하시설물은 깊이 40m 이상의 대심도 지하공간인 경우가 대부분인데, 천심도 지하공간이 이미 각종 시설물로 혼잡의 징후를 보이고 있는 한편, 지하굴착기술이 발달하여 과거에 비해 적은 비용으로도 대심도 지하공간개발이 가능하기 때문임.
- 정보기술을 활용한 지하공간의 안전 도모
 - 지하공간 이용의 가장 큰 장애요인의 하나는 대형재난에 대한 취약성이라 할 수 있으며, 더구나 최근에는 테러에 대한 공포로 인적시설물의 지하공간 설치에 대해 대체로 부정적임. 예컨대, 1980년 일본 시즈오카(靜岡) 지하쇼핑몰화재로 15명이 사망했고, 1995년 옴진리교도에 의한 동경 지하철 독가스살포사건으로 27명의 사망자와 5천명 이상이 부상했으며, 2003년 대구지하철참사에서는 200여명이 사망했음. 그러나 최근에는 지하공간의 보안과 방재를 위하여 영상, CCTV, 센싱(sensing), 통신, 원격관제, GIS 도면 및 3차원 DB 등 첨단정보기술을 이용하여 모니터링, 예방, 대비, 비상대응, 대피 등 재난관리에 적용하고 있음.

<표 6> 일본의 미래 지하도시 구상사례

구분	앨리스시티 (Alice City)	어반 지오그리드(Urban Geo Grid)
제안사	타이세이건설(大成建設)	시미즈건설(清水建設)
규모 및 형태	각각 높이 197피트 직경 262피트인 콘크리트 실린더로 구성되어있고, 통로들에 의해 연결	터널에 의해 연결된 아트리움들의 네트워크 크로 약 485mi ² 규모의 격자형 지하도시
깊이	최대 500피트	164피트
주요시설	· 발전시설, 냉난방, 쓰레기처리시설 등 · 쇼핑, 극장, 스포츠시설, 오피스, 호텔 등	· 쇼핑, 오피스, 호텔 등 · 신교통시스템으로 거점 연결 · 온도, 습도 조절, 지상으로부터 태양광 도입
수용인원	100천명	500천명

5. 지하공간 관련기술의 장기 발전전망

○ 지하굴착기술

- 굴착과정의 자동화·지능화를 통한 공기단축과 인력절감으로 상대적인 비용이 지속적으로 하락할 것으로 예상됨.
- 널리 이용되는 Shield공법은 지속적인 기술발전으로 고속화에 의한 공기단축, 장거리화에 의한 입갱의 생략 등이 가능하게 되어 건설비용이 절감되고 있음. 특히, 도심지역의 굴착공사가 점점 심층화되고 공사장의 진동, 소음, 공해의 기준이 엄격해지는 추세에 따라 공사장 입구 이외에는 지상작업이 거의 없고 피해가 적기 때문에 앞으로 더욱 확산될 전망이다.
- 터널 전단면을 한번에 굴착하는 동시에 터널외벽을 건설하는 TBM(tunnel boring machine)은 시간당 20피트의 속도로 직경 40m의 터널을 수평·수직 어떤 방향으로든 굴착이 가능하며, 암석운반과 외벽에 대한 라이닝(lining)도 자동화와 로봇기술이 적용되는 등 기술진보를 거듭하고 있음.
- 돔(dome)형 지하공간을 건설하는 데 주로 이용되는 발파공법도 최근에는

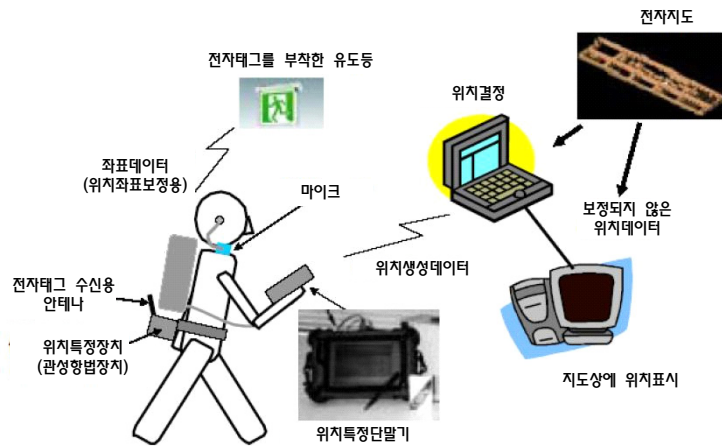
센서를 이용하여 발파규모 및 형태까지 계산가능하게 되었음.

- 굴착장비의 정보화·지능화에 따라 국제적인 표준화기구(International Rock Excavation Data Exchange Standard)가 구성되어 데이터베이스, 시뮬레이터, 공사계획 프로그램뿐만 아니라 굴착장비간의 상호통신도 가능하게 될 것임. 미래에는 지하굴착의 전 과정이 자동화·지능화되어 사람이 지하공간에 직접 들어갈 필요 없이 원격조정을 통해 공사를 진행할 수 있을 것임.

○ 지하환경 및 방재 관련기술

- 인공적인 빛이 아닌 태양광을 대심도 지하공간까지 전달할 수 있는 기술이 필요한데, 현재는 광섬유를 이용하여 빛의 손실이 거의 없이 지하 50m까지 전달할 수 있는 기술수준이지만, 앞으로 집광기술, 열차단기술 등이 더욱 발전하면 지하 수백미터까지도 전달할 수 있을 것으로 기대됨. 태양광 전송기술은 유전공학과 결합하여 지하에서도 식물의 재배와 조경, 그리고 지하농업을 가능케 할 것임.
- 태양광 이외에도 LED를 이용한 인공조명, 홀로그램(hologram) 기법을 이용한 3차원 이미지 등 다양한 인공조명 및 영상기술은 지하공간에서도 지상공간에 있는 것처럼 착각을 주는 시대가 올 것임.
- 공기조화기술의 발전으로 지하공간에서도 인간이 생활하기에 쾌적한 온도, 습도, 공기질 등을 유지하게 될 것임. 지상으로 배기가스와 열을 배출하는 환·배기기술은 현재 기술로도 가능하나 안전성이 더욱 높아질 것이며, 심지어 인공기상기술을 통해 비나 바람을 만들 수도 있을 것임.
- 지하공간은 별도의 에너지원이 없더라도 지상보다 에너지를 절약할 수 있는데, 우리나라의 경우 지하 15m 이하는 평균 15℃를 유지하기 때문에 흙이나 암석 자체를 보온·보냉에 활용하여 에너지를 절감할 수 있음. 에너지공

급과 관련해서는 지열(地熱)과 지하양수발전이 크게 활용될 것임.



자료: 일본 Ubiquitous Networking Forum, 2006년

[그림 2] 지하공간 위치특정시스템의 재난구조분야 적용 예시

○ 정보통신기술

- 정보통신기술의 발전으로 지하공간의 토지이용, 시설물, 지하수, 지질, 지진 등에 대한 정보가 데이터베이스화되며, 3차원 정보와 영상을 통해 모니터링 하면서 관리할 것임.
- 급격히 발전하고 있는 유비쿼터스(ubiquitous)기술은 지하공간의 안전관리에 도 효용을 발휘할 것임. RFID 태그가 지하공간의 도처에 편재되어 지하공간 속에서의 위치와 상황을 관리할 것임. 또한 센싱(sensing) 및 영상기술을 이용하여 화재 등 재난이 발생했을 때 경보와 대피안내를 할 것이며, 기압의 차이를 이용한 연기 차단과 제거 등 필요한 조치를 하게 될 것임.
- 지하공간 이용이 확대됨에 따라 법률관계 및 재산권관계도 복잡해질 것인데, 현재의 2차원적 지적정보체계가 3차원 지적정보(3D Cadastre)로 대체되어 입체적인 토지이용과 다양한 권리관계를 관리하게 될 것임.

○ 교통관련기술

- 가솔린 등 화석연료를 사용하는 자동차교통은 아직까지는 매연, 사고 등의 문제로 대도시 지하도로 건설에 상당한 제약이 되고 있지만, 무배출 및 전기 자동차기술의 발전으로 상당부분 극복될 것임. 하이브리드(hybrid), 무배출가스 등의 자동차가 시장에서 상용화되는 것은 시간문제로 보이며, 수소연료전지 등을 이용한 전기자동차가 보급되면 지하도로개발이 더욱 활성화될 것임.
- 지능형 교통체계(Intelligent Transportation Systems)와 자동화도로체계(Automated Highway Systems)의 발전으로 컴퓨터, 센서, 작동시스템 등이 탑재된 스마트자동차가 자동항법으로 운행되고, 3차원 교통통제시스템의 지원을 받아 안전하고 효율적인 차량운행과 교통관리가 가능하게 될 것임.
- 현재의 대도시 지하철과 지역간 고속전철은 장기적으로는 국제적인 차원으로 확대 연장될 것임. 터널굴착기술의 발달로 세계의 대도시와 대도시를 연결하는 대륙간 해저터널이 건설되고, 이러한 대도시들 간에는 초음속 자기부상열차(Maglev train)가 해저터널을 통해 달리게 되면서 일일생활권으로 묶을 것임.

<표 7> 기술발전에 따른 지하공간개발의 중장기전망

구분	주요 시나리오
1단계	· 지하철, 지하고속도로 등의 신설·연장·선형조정 · 대규모 지하주차공간, 쇼핑몰 확충 · 가스, 석유 등의 지하공동구화 및 지하비축시설 설치
2단계	· 지하물류기지, 오피스, 공장 건설 · 지하시설물, 굴착기술·장비 등의 국제적 표준화·자동화체계 구축 · 국제간 해저터널 건설 - 예: 한국-중국, 한국-일본, 중국-대만, 지브롤터(유럽-아프리카, 베링해(러시아-알래스카))
3단계	· 국제적 대도시간 초음속 자기부상열차가 지하터널을 통해 운행함으로써 일일생활권화 실현 · 국제적 대도시 중심가 지하에 호텔 건설

주: F. Hapgood, 2003. 4, "Sub-Urban Renewal", *Wired* 참조 및 필자 보완

6. 서울시 지하공간 이용 활성화를 위한 정책방향

○ 일반적인 원칙

- 전통적인 도시계획은 지상공간을 중심으로 이용계획과 규제의 체계를 갖추고 있는데, 지하공간도 지상공간에 상응한 수준의 계획과 규제의 체계를 갖출 필요가 있음.
- 서울시 전체적인 차원에서 장기적이고 종합적인 지하공간 이용 및 관리계획을 수립할 때 지하공간의 용도와 규모는 지상공간의 중심지체계와 이를 연결하는 교통망체계를 고려하여 결정하도록 함.
- 지하공간의 수용시설은 지상공간과의 입체적인 상호보완성을 고려하여 입체적인 기능분담과 지원기능을 수행할 수 있도록 함.
- 동종 또는 이종의 지하시설물들과의 수평적인 상호보완성을 고려하여 연계성을 확보하도록 함. 지하시설물들을 네트워크화하고 광역적으로 배치하도록 하며, 지하시설물의 공동화에 따른 비용부담, 유지관리 등에 대한 기준을 정립하여 다양한 시설물간의 원활하고 질서 있는 배치와 조정을 꾀하도록 함.
- 상업·업무시설, 교통시설 등 사람들이 많이 이용하는 시설일수록 지하공간 윗부분에 배치하고, 지하매설물 등 무인시설은 아랫부분에 배치토록 함.
- 지하시설물을 설치하는 데 자연적인 지형을 최대한 이용하도록 함. 도시고속도로, 대규모 공급처리시설이나 비축·저장시설 등을 설치하는데 주변의 산악지형을 활용할 필요가 있음. 도심 또는 부도심 인근의 산악에 대규모 상업·문화시설 등 다중이용공간을 설치하는 것을 고려할 수 있음. 또한 서울한가운데를 가로지르는 한강은 서울의 대동맥임과 동시에 장애물이라 할 수 있는데, 하저터널이나 하저주차장 등 하천 아래를 활용하여 한강의 접근성을

높임과 동시에 수변경관을 보호할 필요가 있음.

○ 교통시설

- 교통시설은 앞으로도 지하공간을 이용하는 주된 용도의 하나가 될 것임. 교통정체 해소, 에너지 절약, 대기오염 감소 등을 위해 지하공간 활용을 통한 교통망 입체화·광역화가 필요함.
- 지하철의 경우, 기존의 지하철 노선에 더하여 도심도 지하공간에 광역적인 급행전철노선을 설치하는 것을 고려할 수 있을 것임.
- 광역적인 도로망과 관련해서는, 지역간·국가간 교류가 증대되고 남북통일이 되면 통과교통이 더욱 늘어날 것이므로, 이러한 통과교통 처리를 위해 서울의 남북 및 동서를 관통하는 광역적인 지하도시고속도로망과 서울주변 산악을 이용한 지하순환고속도로망을 설치할 필요가 있음. 지난 2000년 일본 토비시마건설기술연구소(飛島建設技術研究所)가 동경지역의 통과교통 처리를 위하여 제안한 “Geo Super-Cross Highway 構想”을 참고할 만함.
- 단기적으로는 서울 동북지역의 도심접근성을 높이기 위한 지하고속도로를 설치할 필요가 있음. 동북지역은 주거기능이 압도적인 베드타운(bed town)으로서 교통사정이 어려운데 청계천복원으로 접근성이 더욱 악화되었으며, 강남북 균형개발의 일환으로 추진되는 뉴타운이 개발되면 교통수요는 더욱 늘어날 것임.
- 경부고속도로 등 강남·북 통과 주요 도로의 경우, 단절효과는 물론 주변지역에 교통체증, 소음, 매연 등 악영향이 심하므로 장기적으로는 강남북 지하도시고속도로와 연계하여 지하화하고 지상공간을 공원녹지로 조성하는 것을 검토할 필요가 있음.

- 올림픽대로, 동부간선도로 등 하천을 사용하는 도로의 경우, 휴식공간으로서의 하천에 대한 접근성을 차단하고 주변지역 소음과 경관에 악영향을 미치며, 하천관리 및 홍수방지에도 저해요소로 작용하고 있기 때문에 일부지역은 하천고수부지 부분을 활용하여 지하화하는 방안을 고려할 필요가 있음.
- 지하주차장은 도심·부도심이나 쇼핑시설, 문화시설, 체육시설, 지하철역 등 대규모 다중이용시설에 설치함. 또한 개인승용차 통행을 줄이고 대중교통이용을 촉진하기 위하여 통행이 집중적으로 발생하는 주거지역 인근 지하철역이나 서울시계 진입부에 대규모 복합환승주차장을 지하에 설치할 수도 있음.

○ 상업·문화시설

- 쇼핑, 여가, 보행 등을 위한 지하상업시설을 도심·부도심의 지하철 역세권을 중심으로 개발하도록 함. 현재에도 지하도상가나 보행시설이 지하철역을 중심으로 많이 개발되어 있으나, 필요에 따라 산발적으로 개발되어 계획성과 연계성을 결여하고 있으므로, 중심지 위계와 광역적인 네트워크, 대규모 복합공간화를 강조할 필요가 있음.
- 대규모 복합문화시설을 도시에 설치하는 경우에는 대규모 부지 확보, 주차문제, 교통처리 등 해결해야 할 많은 과제들이 있는데, 인근 자연지형(예: 도심 인근 남산, 대학로 인근 낙산)을 이용한 지하공간이 대안이 될 수 있음.

○ 공급처리시설

- 현재 서울시에서 관리하는 지하공동구는 6개 지역에 66.9km 정도인데, 상·하수도, 전기, 통신, 가스, 냉·난방시설 등 공급처리시설의 통합적인 관리를 더욱 확대할 필요가 있음. 이를 위해 서로 다른 관리주체들간에 유기적인 상호조정과 협력체계가 필요하며, 공동화에 따른 비용부담, 유지관리 등에 대한 합리적인 기준을 설정할 필요가 있음.

- 상수도의 경우, 신규 용수수요의 충족은 물론 재해나 갈수기에도 안정적인 급수를 할 수 있도록 대심도 광역급수체계를 구축할 필요가 있음. 특히, 대심도 상수도시설은 지하에 입체식정수장을 건설할 수 있고, 지하의 송수라인을 지하배수지로 활용할 수 있으며, 자연유하식의 수송방법을 채택하므로 유지관리비를 절감할 수 있는 등 장점이 있음.
- 하수처리시설, 폐기물처리시설 등 NIMBY시설의 입지로서 지하공간을 적극적으로 고려할 필요가 있음.
- 지구온난화와 국지성 집중호우가 심화됨에 따라 극한강우에 의한 홍수피해를 방지하기 위하여 대규모 지하저류시설, 침투시설 등 우수유출저감시설은 물론 일본이나 말레이시아 사례에서처럼 대심도 홍수조절용 지하저류하천도 고려할 만함.

○ 비축·저장시설 및 기타

- 폐쇄성, 저진동성, 항온·항습성 등 지하공간의 특징을 활용하여 물류·창고시설, 에너지 및 위험물 저장시설, 식량저장시설 등을 설치토록 함.
- 확장 및 납골수요는 늘어나는 반면 부지확보에 어려움이 있는 묘지, 안정적인 용수공급 및 전력공급을 위한 댐 및 발전시설 등을 지하에 설치할 필요가 있음.

7. 미래 지하공간 이용확대를 위해 미리 준비해야 할 것들

○ 지하공간의 종합적 관리를 위한 계획 및 규제체계 구축

- 현재의 도시기본계획, 용도지역지구제, 지구단위계획 등 각종 계획 및 규제는 지상공간을 중심으로 체계화되어 있는 반면, 지하공간에 대해서는 2005년 10월 건설교통부령으로 정한 「지하공공보도시설의 결정·구조 및 설치기

준에 관한 규칙」과 「건축법」을 비롯한 개별법령에 단편적으로 산재된 규정 외에는 별다른 제한 없이 개발을 허용하고 있는 것이 현실임. 또한 지하시설물들의 관할주체가 다르기 때문에 지하공간에 대한 전체적인 계획과 조정이 대단히 어려움. 따라서 도시전체적인 차원에서 장기적이고 종합적인 계획을 수립하여 지하공간의 개발과 보전, 시설기준, 관리, 시설물간 상호조정 등에 관한 사항을 정할 필요가 있음.

- 도심·부도심 등에 계획적이고 종합적인 지하공간개발을 활성화하고 지상공간과 지하공간의 입체적 개발을 유도하기 위하여 「국토계획법」에 의한 용도지구로서 가칭 '입체개발촉진지구'나 '지하이용계획지구'를 신설할 필요가 있음.
- 앞으로는 천심도 지하공간의 수용능력이 한계에 달하는 반면 터널굴착기술이 발달함에 따라 대심도 지하공간으로 이용이 확대될 것이기 때문에, 대심도 지하에서 선점자(先占者) 우선의 무분별한 개발을 방지하고 미래도시에 대비한 공공의 공간을 미리 확보하는 관점에서 일본처럼 대심도 지하공간의 공공적 이용에 관한 제도를 도입할 필요가 있음.

○ 지하공간의 공공적 이용을 위한 사용권 및 보상제도 확립

- 대심도 지하공간에서 지하공공시설물의 원활한 설치를 위하여 사유지에 대해 별도의 보상없이 구분지상권을 설정하여 사용할 수 있는 제도를 신설할 필요가 있음.

○ 지하공간에 대한 정보체계의 구축

- 지하공간 이용이 확대됨에 따라 복잡한 지하시설물과 법률관계를 효과적으로 관리하기 위하여 3차원 정보체계를 구축함.
- 지하공간개발에 따른 환경영향, 재난방지 등을 위해 각종 지하시설물뿐만 아

니라 지하수, 지반, 지질, 침수, 지상건축물과의 관계 등에 대한 종합적인 데이터베이스와 모델시스템을 구축함.

○ 지하공간에 대한 연구개발 촉진 및 기술지침 마련

- 지하공간의 지반조사, 특정방법, 내력, 이격거리, 시설설치방법 등 지하공간 이용을 위한 기술지침을 마련하도록 함.
- 지하공간과 관련하여 제기될 수 있는 재난방지 및 안전확보, 지하수 등에 대한 환경영향, 장애인이나 노약자의 이동성 및 접근성 확보, 지하공간의 어메니티와 쾌적성 확보 등의 문제에 대응하여 정보수집, 연구 및 기술개발, 기준설정 등 필요한 노력을 기울이도록 함. 특히, 지하공간에 대한 기술개발 비전을 정리함으로써 민간부분의 기술개발노력을 촉진하도록 함.
- 지하공간의 안전성과 쾌적성을 높이기 위한 정보체계 및 요소기술의 개발을 적극 추진할 필요가 있음. 1994년 아현동 가스폭발사고, 2005년 종각역 가스누출사고 등에서 보는 바와 같이 지하공간은 위험하고 쾌적하지 않은 공간으로 인식하고 있으며, 서울시 침수피해는 대부분 건축물 지하부분에서 발생하고 있음.
- 미래에는 도시공간의 도처에 컴퓨팅기능이 내장된 유비쿼터스 도시로 나아가 갈 것으로 예상되는데, 지하공간에 대한 정보체계를 구축하는 데 있어서는 센싱 및 네트워킹기술을 적극 활용하도록 함.

신상영 | 서울시정개발연구원 연구위원
02-2149-1293
syshin@sdi.re.kr

