

국내외 지하공간 개발현황 및 전망



글 신희순 \ 한국지질자원연구원 책임연구원 \ 전화 042-868-3240 \ E-mail shinhs@kigam.re.kr



1. 시작하며

2009년 통계청이 발표한 세계 인구는 68억 3,000만 명이며 중국이 13억 4,600만 명으로 가장 높은 비중인 19.7%를 차지했고 인도(11억 9,800만 명), 미국(3억 1,500만 명), 인도네시아(2억 3,000만 명) 순이며, 한국은 4,900만 명(세계 인구의 0.7%)으로 26위이며 남북한을 합한 인구는 7,300만 명(세계 인구의 1.1%)으로 19위이다.

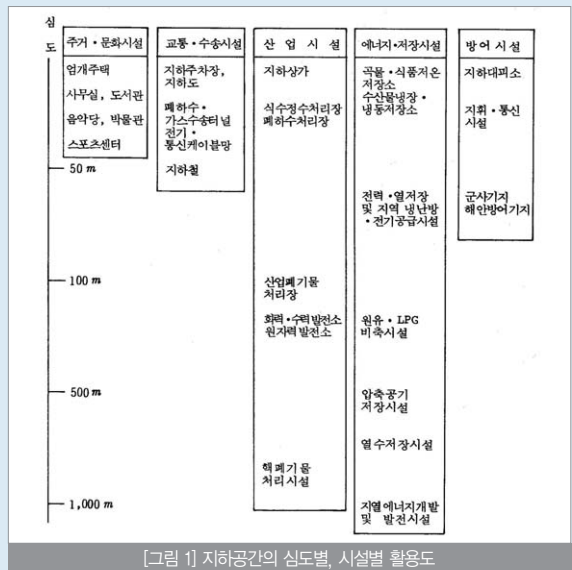
한국은 현재 협소한 국토 면적(99,274km²)에 살고 있어 인구 밀도는 490 명/km²으로 방글라데시(1,142명/km²), 대만(637명/km²)에 이어 3위이다. 선진국(23명/km²)의 20배가 넘고 개도국(68명/km²)보다도 7배가 넘는다. 가장 심각한 문제는 총 인구의 49%인 2400만 명이 수도권지역인 서울, 인천, 경기도에 밀집해 살고 있다는 점이다. 2009년 수도권 인구는 24,128천 명으로 경기 11,447천 명, 서울 10,036천 명, 인천 2,645천 명이며, 향후 서울인구의 감소를 감안하더라도 경기·인천지역의 인구증가로 수도권 인구는 증가할 것으로 전망된다.

서울의 인구밀도(16,589 명/km²)는 세계 주요도시 중 파리(25,360명/km²) 보다는 낮은 수준이나 도쿄(14,151명/km²)나 뉴욕(10,452명/km²), 홍콩(6,397명/km²)보다는 높은 편이다. 인도, 방글라데시를 제외하면 카이로(37,136명/km²)에 이어 세계 2위이다. 그러나 이들 나라는 대부분 평지로 서울의 경우 산지가 많이 있는 특성을 감안한다면 세계 1위에 해당한다고 할 수 있다. 인구밀도 세계 1위가 뜻하는 것은 지상가용 토지의 한계, 인구과밀, 교통시설망의 포화, 상·하수도, 통신·가스 등 도시공급시설의 한계, 환경오염 등 해결해야 하는 문제점들이 가장 많이 산적해 있음을 의미한다.

국토가 협소하고 산지와 임야가 70% 이상 차지하고 있는 우리나라의 경우 지하공간을 새로이 개척해야 할 국토로 간주하고 지상의 도시기능, 산업시설 등을 적극적으로 지하로 이전하여 지상과 지하를 유기적으로 결합시킨 입체적인 국토이용을 통하여 토지이용 효율을 극대화하고 지하공간을 지상의 개선 및 자연환경의 보호와 에너지 절약을 위한 시설로서 적극 개발할 필요가 있다. 우리에게 이젠 지하공간개발이 선택이 아니라 필수인 것이다.

2. 지하공간의 특성

지하공간은 암반의 열전도율이 낮고 온도 및 습도조절이 지상시설물에 비하여 용이하다. 이와 같은 지하공간 그 자체가 갖는 특



[그림 1] 지하공간의 심도별, 시설별 활용도

성, 즉 지표로부터의 격리성, 향온·향습성, 방음성, 내진성 등으로 에너지 절약, 비용절감, 환경보존 등 여러 측면에서 그 이점이 대단히 크다.

지하공간의 심도별, 기능별 활용도는 [그림 1]에서와 같다.

3. 국내 지하공간개발 현황

1970년 이후로 유류 및 LPG 비축기지(13기), 지하양수발전소(7기), 도수로 터널(145km)이 건설되어 왔고 대도시에서는 지하철(548km), 지하상가, 지하보도, 지하공동구(106km), 지하주차장 등의 형태로 개별적 수요에 따라 제한적으로 지하공간개발이 되어 왔다. 이중 여수 지하석유비축기지(저장용량 1700만 배럴)의 규모는 세계 최대 규모이다. 지하철의 규모도 세계적인 규모에 해당된다. 최근에 와서는 지하공간의 개발이 더욱 다양화되고 또한 대규모화 되고 있는 추세이다.

최근 서울시와 수도권 주요거점 지하 40~50m 심도에 최대속도 200km/hr의 수도권 광역급행철도(GTX) 3개 노선 174km의 건설 등 지하공간개발이 본격적으로 논의되고 있다. 또한 U-smartway건설, 용산 국제업무지구 지하상업시설 건설, 도심 침수를 막기 위한 지하방수로 건설, 가학 폐금속광산 경도를 활용한 생태테마파크 개발 등 많은 지하공간개발 사업들이 추진되고 있다.

4. 해외 지하공간개발 현황

4-1. 핀란드

현재 전 세계에서 가장 활발하게 지하공간개발이 진행되고 있는 나라 중의 하나이다.

도시기반시설이나 산업시설건설에 지하를 적극 이용하고 있다. 핀란드에는 극장, 집회장, 회의장 등 많은 공공시설들이 지하에 설치되어 있다. 지표 면적이 215km²에 불과한 헬싱키시에는 지하공간(주차장, 체육시설, 유류 및 석탄저장소, 지하철 등)의 체적은 1,000만 m³로 지표 100m² 당 1m³으로 개발하고 있다. 터널 220km, 수로터널 24km, 공동구(냉난방, 전기, 통신, 수도) 60km가 있다.

1) 레트렛티(Retretti)공동구

레트렛티공동구는 동부지역 Punkahaju에 위치하는데 노출암반의 표면처리와 조명, 물을 이용하여 무대가 호수에 떠있는 듯하게 구성하는 등 극적 분위기 연출로 여가, 문화행사의 장소로서 널리

이용되고 있다(그림 2 참조).

공동공간은 용적이 35,000m³이고 면적은 10,000m²인 규모인데 건설 1단계 공사에서 1984년 16,000m²의 미술전시 공간을 건설하였고 2단계 공사로서 14,000m²의 공간을 조성하여 1천 명이 수용 가능한 콘서트홀(1,900m³)과 레스토랑(350m³)을 1985년에 완성하였다.



[그림 2] Retretti 지하콘서트홀

2) 템펠리아우키오(Tempeliaukio) 지하교회

헬싱키에 위치한 지하교회로서 건축적인 면에서 뿐만 아니라 음향효과 면에서도 헬싱키 제1의 관광명소이다. 지붕구조는 유리화 철근콘크리트로 된 아트리움 형태이고, 벽면은 자연 그대로의 굴곡마감 처리가 되어 있으며 “acoustic nets”이라고 하는 V 자형 흠처리를 하여 최고의 음향효과를 얻고 있다.

3) 이타케스쿠스(Itakeskus) 지하수영장

헬싱키에 있는 지하수영장시설이다. 전체 공동크기는 61,000m³이고, 총 바닥면적은 10,210m²이다. 1993년에 개장되었으며 연



[그림 3] Itakeskus 지하수영장

간 32만 명이 사용하고 있다. 길이 50m의 국제규격 수영장과 어린이용 수영장 등이 있다. 설계 시 주요 고려사항은 효과적 환기, 간접적인 채광, 물에 비치는 푸른색, 효율적 배치 등이었다(그림 3) 참조).

4) 라플란드(Lapland) 지하온천

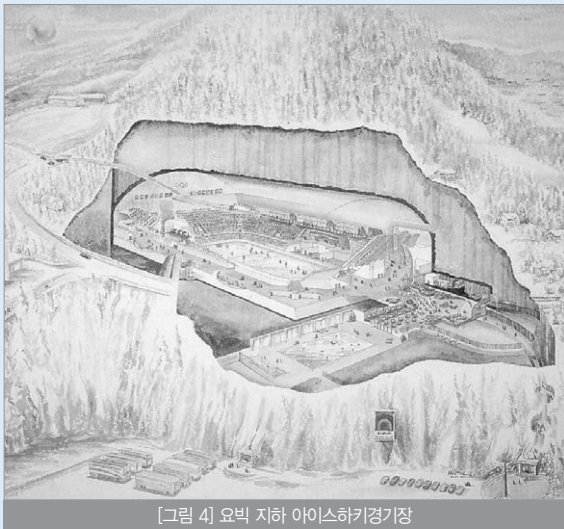
지하공간은 공동의 대소, 높이, 폭 등 다양한 변화가 가능하고 경사진 벽면, 돌기, 협곡 등 다양한 표현이 가능한 이점을 이용하면 지하공간을 관광, 오락의 목적으로 활용될 수 있다. 핀란드 라플란드 호텔 부근에 대규모 공동을 이용한 지하 온천시설이 있다.

4-2. 노르웨이

지하공간개발에 관하여서는 최고의 설계 및 시공기술을 보유한 나라로서 산업시설, 저장시설, 터널, 지하도로 등 도시기반시설 등을 중심으로 지하공간을 활용하고 있다.

1) 요빅(Jorvik) 지하 아이스하키경기장

5,300명의 인원을 수용할 수 있는 세계 최대 규모(폭 61m × 높이 25m × 길이 90m, 총면적 15,000㎡)의 지하 아이스하키 경기장에서 심도 25~30m에 건설되었는데, 지하공간 활용의 대표적인 상징성을 가지고 있다. 1994년 동계올림픽 때 이용되었다(그림 4) 참조.



[그림 4] 요빅 지하 아이스하키경기장

2) 홀리아(Hoimlia) 스포츠센터

총 면적이 7,550㎡에 이르며 53,000㎡의 암반을 굴착하여 만들었는데, 암반의 보강은 록볼트와 슛크리트만을 사용하였으며 입구

부는 콘크리트 라이닝으로 보강하였다. 폭 12.5m, 길이 25m의 6레인을 지닌 수영장, 폭 25m, 길이 45m, 높이 132m의 다용도 스포츠 홀, 헬스클럽, 락카룸, 사우나 시설, 그리고 샤워 등 완벽한 부대시설들이 있고 복도에는 경비실, 휴게실, 유지관리실, 전기 및 기계설비실이 있다. 비상시에는 주민 7,000명의 인원이 대피할 수 있도록 방호문(blast door), 화생방 필터장치(NBC filter system), 비상발전 시설 등이 갖추어져 있다.

3) 물 지하저장시설

식수를 저장하기 위해 견고한 지하암반을 굴착하여 만든 지하저장 동굴들을 이용하고 있다. 폐쇄된 물탱크에 비해 신선한 상태를 유지할 뿐 아니라 오염을 방지할 수 있고 시설 및 유지관리비가 적게 들고 항상 상온을 유지할 수 있으며 저장용량의 확장공이 용이하여 5만 톤 이상의 규모인 경우 지상의 저장시설보다 건설 공사비가 저렴하다는 점 등 이점이 많아 여러 개의 지하저장 시설을 설치, 운영해 오고 있다. 대표적인 예로서 노르웨이 북서쪽 해안에 인접한 Kristiansund의 지하 물저장동굴(16,000㎡ 용량), 1979년 준공된 Trondheim의 지하 물저장공동(20,000㎡ 용량), 약 3.4km 떨어진 호수로부터 물을 끌어오기 위해 지하터널을 굴착하여 만든 Grohta의 물저장공동(48,000㎡ 용량) 등이 있다.

4) 오셋(Oset) 상수처리장

오슬로시 주민 50만 명이 필요한 식수의 75%를 오셋 상수처리장에서 공급하는데, 배수지를 비롯한 모든 처리시설들이 산속 암반 속에 설치되어 있다. 급수능력은 6m³/sec로 지상에는 관리사무실 일부만 노출되어 있고 펌프시설, 물처리시설, 배수시설 등이 400,000㎡를 굴착하여 만든 지하공동 내에 있어 유지관리가 용이하다. 지하공동은 폭 13.2m, 높이 16m, 단면적은 약 200㎡이며 바닥면적은 약 28,800㎡이다. 호수 가장 깊은 곳인 수심 30m 지점에 취수구가 있으며 단면적 22㎡, 길이 700m인 취수터널을 통해 물을 취수장으로 끌어들인다. 지하정수장의 장점은 일정 수온을 유지할 수 있고 경비와 확장이 용이하며 식수수요지 옆에 위치할 수 있다는 점이다. 유지관리비가 지상시설에 비해 저렴하고 지상의 경관을 그대로 보존할 수 있다.

5) 브레카스(Bjerkas)하수처리장

오슬로시 서남쪽 30km 위치한 브레카스에 40km에 달하는 하수 운송터널을 굴착하고 350,000㎡의 암반을 굴착하여 3m³/sec의 처리능력을 지닌 지하하수처리장을 건설하였는데 이곳에서는 60만 명의 주민 하수 및 공장 폐수를 처리하고 있다. 하수처리장

입구에 세워진 관리건물들은 일반 사무실과 같이 조용하고 주변 경관과 어울려 조화를 이루며, 냄새까지 정화하여 처리된 하수는 바다로 배수되어 지상 하수처리장이 갖는 단점을 완전히 극복하였다. 노르웨이 최대 하수처리장인 이곳은 폭 16m인 11개의 지하 공동이 12m 간격으로 배열되어 있고 공동의 단면적은 150~160㎡이다. 지표로부터 지하하수처리장까지의 최소 깊이는 약 15m이고 두께가 10m인 풍화대층이 있다.

4-3. 스웨덴

향온성, 환경보호의 이점을 이용하여 열병합발전, 수력발전, 지역 난방 등의 산업시설, 식품, 유류, 열수 등의 저장시설, 지하철, 터널, 지하도로, 공동구 등의 도시 기반시설 등이 중점적으로 개발되고 있다.

1) 열수저장시설

스웨덴 총 에너지 소비량의 30~40%가 난방에 사용되며, 난방에 사용되는 에너지의 60% 이상이 유류에 의존하고 있다. 따라서 유류에 대한 의존도를 낮추기 위해 발전소나 산업공장에서 발생하는 폐열이나 태양열을 이용하여 물을 가열한 후 지하공동에 그 열을 저장하였다가 필요시 다시 사용하고 있다. 스톡홀름시 북서부의 아베스타(Avesta)에 열수저장시설이 설치되어 각종 실험들이 성공적으로 수행된 바 있고 현재는 실용화되었다. 지하공동은 지하수면 아래에 굴착되어 무라이닝(unlining)상태로 있는데, 열수 저장 공간이 지상의 열교환기와 연결되어 있다. 수 주간 저장에서는 85~125°C의 온도유지가 가능하며 계절적인 장기저장에는 10~95°C의 온도유지가 가능하다.

2) 하수처리장

스톡홀름의 하수처리장 위치를 발틱(Baltic)해 연안의 리딩고(Liding)에 정하고 60km 길이의 하수운송터널을 굴착하여 54만명 주민들의 생활하수와 공장의 폐수를 처리하는 카필라(Kappala) 하수처리장을 건설하였다. 이곳은 지상의 경관이 자연스럽게 보존되어 있고 지상하수처리장에서 일반적으로 느끼는 악취도 거의 없다.

3) 지하저온냉동창고

노르웨이와 같이 스웨덴에서도 아이스크림 공장, 맥주 등 주류 제조공장 또는 생선 및 육류의 냉동창고를 지하공동에 설치하여 매우 우수한 저장효과를 보고 있다. 특히 주류 지하저장의 경우는 공동 내에 일정한 저온특성 때문에 별도의 에너지 소비가 거의 필

요치 않으며 2°C의 저온저장(cold storage)의 경우에는 지상 저장할 때보다 약 20%의 에너지만이 소요되는 것으로 알려져 있다. 스톡홀름에 있는 냉동회사인 Cold Stores의 경우 지하냉동창고 운영 시 저장온도를 -25°C로 유지할 경우 지상 저장시설과 비교하여 소요에너지의 25% 정도가 절감되었다. 지상창고는 가장 더운 여름온도를 기준으로 설비해야 하므로 초기설비투자가 많으며 여름과 겨울의 대기온도에 따라 에너지 소비량의 변화가 크다. 한편 지하 냉동창고는 일정한 저온온도를 기준으로 하므로 초기설비투자가 20~25% 감소되며 에너지 소비량도 일정하다는 것이 확인되었다.

4-4. 캐나다

캐나다에서는 토론토와 몬트리올이 대표적인 도시 지하공간을 갖고 있다.

1) 토론토시

지하 네트워크가 잘 발달되어 있는 도시로 지하철을 통해 개발이 진행되고 있다. 지하철은 1954년 이그링톤과 유니온간 7.4km 노선이 개통되었는데, 현재 총 연장 70km, 정거장 수 69개소로 캐나다 제1의 규모이다. 지상교통의 혼잡함 해결과 겨울철 추위방지, 지상경관의 보호, 지하철과의 연결용이 등을 고려하여 지하 네트워크를 건설하게 되었다. 유니온역과 지하철을 연결하는 지하통로, 오피스빌딩, 주차장, 호텔, 소매점, 백화점 등이 연결되어 있고 지금도 접속공사가 진행되고 있다.

2) 몬트리올시

언덕이 많아 겨울에는 추위로 보행이 어려울 정도이고 지상의 오염된 공기, 교통체증, 소음문제 등이 심하였다. 지하도시 건설은 1960년의 프라스의 건설, 마리의 개발로부터 시작되었다. 지하도시의 민간건물들의 지하계단을 접속하여 지하철역을 연결통로로 연결하는 형태로 구성되어 있다. 12km² 이상의 면적에 32km 이상의 터널이 펼쳐져 있고 쇼핑몰, 아파트, 호텔, 은행, 오피스빌딩, 박물관, 대학, 7개의 지하철역, 버스터미널 등이 연결되어 있으며 120개소의 외부접근지점이 있다. 현재 전 세계 최대 규모이다.

4-5. 미국

미국의 지하공간개발은 지하공간협회(American Underground Space Association)의 적극적이고 활발한 활동으로 주도되고 있다. 지하공간 이용에 대한 계획, 법규, 사회학적 문제, 관할권문제, 경제성, 사업성, 기술적인 관심사 등 관련 분야에 대한 연구를 수

행하며 연구결과에 따라 경제성이 입증되는 지하공간 활용 가능성을 정기적으로 발표하고 있다.

1) 뉴욕시의 지하도로

록펠러센터, 그랜드 센트럴 스테이션, 타임 스퀘어, 포토오소리티, 펜 스테이션의 지하공간이 있다. 이러한 지하공간은 보행공간을 위주로 하여 상업시설이 분포되어 있는 것이 공통적이다. 이 중에서 대표적인 곳은 록펠러센터의 지하공간이다. 1958년 록펠러센터의 중심인 RCA 건물과 Time life 건물과의 지하연결을 시작으로 13개 블록에 보행자 네트워크가 형성되었고 현재에도 계속 확장되고 있다. 사업인이나 관광객을 대상으로 쾌적한 공간을 제공하고 지하광장과 지하보도가 연결되어 모든 쇼핑이나 서비스시설을 갖춘 공간을 형성하여 뉴욕의 상징적인 공간중의 하나로 인정받고 있다.

2) 달라스시의 지하도로

36개 블록을 연결하는 보행자 전용 지하도로이다. 업무지역, 상업지역, 주차공간과 연결되어 있다.

3) 시카고시의 지하우수저류시설

대도시에서 하천이 호우 시 범람하여 부근에 피해를 줄 경우 예전에는 가옥 침수 정도의 피해였으나 현재는 지하에 각종 정보 통신 시설이나 지하철, 주차장, 지하상가 등 시설이 많아 그 피해가 심해질 수 있다. 이에 대비책으로 지하 조정지와 지하하천이 제안되었다. 1972년 도로아래 터널을 굴착하여 조정지, 펌프실, 하수처리장을 정비하여 호우 시에는 일단 우수를 지하 대규모 터널로 일시적으로 저장하여 강우 종료 시 이것을 양수하여 하수처리장에서 처리된 것을 미시시피강으로 방류함으로써 상수도 수원인 미시시피로의 수질보전과 또한 우수에 의한 침수를 방지하는 터널 저유계획(Tunnel and Reservoir Plan)을 발표하였다. 지하 약 45~90m에 내경 4.8~10.7m의 터널을 설치하는 것으로 당시 계획의 총연장은 약 210km 이었다. 30여 년이 지난 현재까지 30억 US달러가 투입되었으며 목표연도인 2029년까지 완공가능 여부는 확실치 않다.

4) 캔자스시의 지하곡물저장창고

캔자스시는 미국 중서부에 위치하여 철도, 도로 등 교통시설이 집중된 수송거점으로서 전 미국 농산물의 50% 정도를 공급하는 식품집산지이다. 이곳에는 양질의 석회암층이 도시 전역에 걸쳐 있다. Hunt Midwest사가 1960년대 폐석회석광산을 개조하여 개발

한 것으로, 건설 석재용으로 채석한 뒤 생긴 지하공간 5백만여 평 중 60만평 이상이 저장창고, 제조공장, 사무실로 사용되고 있다. 버섯, 송어, 가재의 양식에까지 지하공간을 활용하고 있다. 캔자스시의 총 저장물량의 약 7분의 1 정도를 이 석회암공동 저장창고에 저장하고 있다. 이곳에는 대형 화물트럭 80대가 동시에 선적할 수 있는 시설과 화물열차전용 적하시설이 갖추어져 있다. 11개 공동출입구를 통해 컨테이너 트럭을 비롯한 각종 자동차가 사방으로 거미줄처럼 놓여있는 왕복 2차선 도로로 통행하고 있으며 내부에는 600개 입주업체에서 10,000여 명이 일을 하고 있다 ([그림 5] 참조).



[그림 5] 지하물류창고 및 비즈니스타운 조감도

5) 지하학교시설

캔자스시의 Park 대학 지하도서관, Purdue 대학 지하도서관, 미네아폴리스 지하도서관, 미네소타 대학 지하공간센터, 일리노이즈 대학 지하도서관, 코넬대학 지하도서관, 휴스턴대학 지하학생회관, 캘리포니아주 Fremont 초등학교, 세인트 존 대학의 지하학생기숙사 등이 있다.

4-6. 프랑스 파리

라데팡스는 지하공간을 잘 활용하면서 복층구조 도시를 구축하였다. 라데팡스는 파리 중심부 북서쪽 6km 지점의 약 743만²m를 철거 후 재개발한 것으로 상업·업무 중심 A지구와 주택·공원 중심 B지구로 나누어져 있다. 각 지구에 대한 세부적 토지이용 계획은 평면적인 분할 개념에서 탈피해 입체적 구조물에 의한 도시설계기법이 준용됐다. 가장 먼저 개발이 시작된 비즈니스 지역은 라데팡스의 상징적인 공간이며 거대한 복층구조로 구성되었다. 교통 효율의 극대화, 역사성과 예술성 강조, 공간활용도 개선, 개발비용 절감 등을 목표로 한 복층구조는 도로, 지하철, 철도, 주차장 등 모든 교통 관련 시설을 지하에 설치하게 했다.

4-7. 일본

도심지에서는 최근에는 도로망 정비에 있어서도, 터널을 이용한 지하도로건설이 진행되고 있다. 상업지구와 역 주변에서의 지하주차장 등의 정비도 진행되고, 철도·도로 이외의 인프라로서의 상하수도 및 지하전력케이블 터널 등 도시의 지하이용이 다양하게 진행되고 있다.

동경 근교에서는 동경만 횡단도로, 동경 지하하천 등이 있다. 이와 같이 지하이용의 다양화에 수반하여 각 관청에서는 1990년대 중반이래로 대심도지하이용의 법제화추진, 대도시 지하하수도구상(건설성), 대심도지하철도구상(운수성), 대심도수도관로구상(후생성), 단기구상(통산성), 대도시지하통신시설구상(우정성) 등의 다양한 지하이용에 관한 검토가 행해지고 있다. 이외에 지하이용의 한 예로 동경과 오사카에서는 도시역내에 있어서의 홍수대책이 주목되고 있다. 이를 위해서 지하를 이용하여 지하하천 및 대규모 지하조절저수지(貯水池)의 정비가 진행되고 있다. 전력공급 네트워크로서의 지중송전선은 주로 쉘드공법에 의하여 시공되며 직경 4~5m 정도의 것이 많다. 최근에는 점차 지하화가 진행되면서 설치심도가 깊어지는 경향이 있다.

도시의 지하이용에 대해서는 대심도지하를 이용하여, 전기, 가스, 상하수도, 전화 등의 공동구 이외에, 생활폐기물운반 및 물류운반의 네트워크를 지하에 구축하는 구상이 구체화될 것으로 예상된다. 2025년경 전체 인구의 70~80%가 도시지역에 집중될 것으로 예상하여 좁은 도시공간을 효율적으로 활용하기 위해 지하도시 네트워크 및 정비기법의 검토, 지하도시 계획관련 법제정 등이 검토되고 있다. 특히 지하상가, 주차장, 보행자 광장 및 통로 등을 결합하는 역할과 지상의 거점개발 및 재개발 등 종합적으로 연계한 보행자 네트워크 건설을 추진하고 있다.

4-8. 홍콩

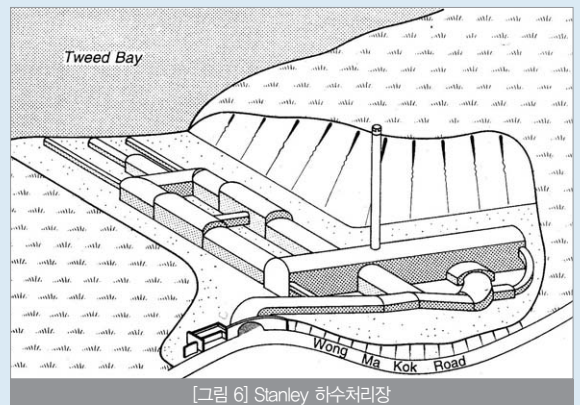
홍콩은 면적이 60km x 45km로 인구는 580만 명이다. 인구의 절반 가까이가 홍콩섬이나 구룡시가지에 거주하고 있다. 홍콩의 세력권 안에는 랑타오섬이나 라마섬, 장주도, 평주도 등 섬 이외에 200여 개 이상의 섬들이 있다. 급속한 경제성장으로 1980년대 이후로 공공 인프라투자의 구축이 요구되었다. 대부분의 도로 및 철도는 경암터널로 연결되어 있으며 전력, 전화, 연료가스, 상수 및 폐수를 비롯한 모든 종류의 것들이 산내부를 통하여 수송되게 되었다. 대부분의 지역하부에 있는 화성암들은 터널구축에 매우 좋은 조건이었다. 비록 풍화가 100m 심도까지 된 경우도 있으나 대부분은 신선한 암반이 노출되어 있다.

1) 홍콩의 최초 지하공간이용

최초 암반공동은 물의 공급과 철도를 연결하는 터널네트워크의 한 부분으로 건설되었다. 전형적인 사례는 서부수로터널시스템인데, 이것을 이용하여 식수가 중국본토로부터 공급되었다. 이것은 1984년 화산암 내 굴착되었다. 홍콩에서의 최초의 대규모 공동은 대중교통시설인 MTR라인의 Tai Koo 정류장인데, 1982년과 1985년 사이에 건설되었다. 양호한 화강암 내 건설된 본 공동은 폭 24m x 높이 16m x 길이 250m이다.

2) Stanley 하수처리장

27,000명의 주민용으로 지역중심 가까이의 산능선에 건설되었다 [그림 6]. 지하를 택한 것은 Tweed bay의 개발과 Stanley 형무소, 접근로의 부족 그리고 위락용으로서의 활용 때문이었다. 지하시설은 접근터널, 서비스공동, 2개의 하수처리공동으로 구성되며 서비스공동의 크기는 폭 15m x 높이 16m x 길이 130m이고, 하수처리공동은 폭 15m x 높이 11~17m x 길이 90m이다. 총 굴착량은 80,000m³이었다. 지하굴착과 지보공사는 1993년 중반에 완료되었다. 불연속면의 간격이 큰 경암 내지 극경암의 중립질 화강암체 내에서의 굴착작업은 별 어려움이 없었다.



[그림 6] Stanley 하수처리장

갱구조성과 지하굴착작업 그리고 지보작업에 투입된 최종 비용은 대략 8백만 US달러였다.

3) Mount Davis 지하분뇨처리장

두 개의 접근터널과 공동(폭 24m x 높이 24m x 길이 250m)으로 되어 있으며 공동에는 tipping hall, compact hall, 여러 가지 plant room과 사무실이 있다. 이 사업은 기전설비를 포함하여 총 8천2백만 US달러로 1995년 초에 계약되었으며 1997년 완공되었다.

4) Kau Shat Wan 지하화약저장소

500톤의 상업용 화약류가 저장되어 있다. 지하시설은 1,030m의 진입터널, 두 개의 인접한 갱구를 연결하는 순회통로, 여기에 25m의 필라를 두고 10개의 공동(폭 13m × 높이 8m × 길이 22m)이 들어서게 설계되었다. 화약류는 공동 내에 보강된 콘크리트로 건설된 화약고에 보관된다. 건설사업비는 약 5천1백만 US 달러였다. 건설작업은 1994년에 시작하여 1997년에 완공되었다.

5. 국내 지하공간개발의 문제점 및 대책

5-1. 현황

교통시설로서는 지하철과 역사, 터널, 지하교차로, 지하보도 등으로 지하공간을 확대 이용하는 추세이다. 상업시설로서는 지하철 역사에 부수적인 상가, 지하철과 백화점을 연계하는 통로에 설치된 상가, 소수의 독립된 지하상가 등으로 활용되고 있으며, 공원 및 광장 지하에 대규모 지하주차장이 확대되어 가고 있다.

5-2. 문제점

지하공간개발에는 무계획적인 개발로 인한 지하수의 오염, 지표침하 등 기술적인 문제와 토지소유권과의 마찰 등 법률, 제도상의 문제 등을 내포하고 있다. 대규모 지하공간개발·유지를 위한 종합적인 기술수준과, 경험이 낮고 정부차원의 종합적인 계획안이 미비하여 개발주체별로 독자적인 개발에 나섬으로써 연계성이 부족하여 국토의 효율적인 개발이라는 측면에서 볼 때 많은 문제가 있다. 서울시의 지하에는 지하철, 도로터널, 상가, 전기·통신·가스·상·하수도 등 시설이 복잡하게 얽혀 있으며, 얕은 심도에서는 이미 혼잡과 난개발의 징후를 보이고 있어 새로운 지하 시설물의 건설이나 효율적인 노후 시설 교체가 어려워지고 있다. 불충분한 설비와 소홀한 유지관리로 열악한 환경에 있고, 방재시설의 관리가 제대로 되지 않고 있다.

5-3. 대책

우리나라의 자연적 조건은 대규모 일반공동을 굴착, 유지하기에 적합하다. 지하공간개발이 활발한 노르웨이와 국내의 지질특성을 비교하면 다음과 같다. 국토의 약 97%가 산악지대인 노르웨이는 선캄브리아기에 형성된 순상지의 일부분이다. 약 70%가 산악지대인 우리나라의 기반암 역시 70% 이상이 선캄브리아기에 형성된 암석들이다. 노르웨이의 기반암은 약 70%가 편마암과 화강암으로 되어 있어 기본적인 기반암의 암종은 우리나라와 유사하다. 우리나라는 암석의 55% 이상이 화강암과 화강편마암으로 되어 있다.

노르웨이의 암석은 대부분 경암으로 되어 있는데, 우리나라는 풍화암에서 경암까지 다양하나 비교적 경암에 속하는 점에서 유사하다. 노르웨이는 거의 풍화되지 않은 기반암 위에 12,000년도 되지 않은 신선한 토양으로 얇게 덮혀 있으며, 우리나라는 토층의 깊이가 대부분 30m 이내로 다른 나라에 비해 얇은 편이다.

지하공간개발을 위한 선결과제는 기술적, 경제적, 법적, 심리적 면에서 검토될 수 있다. 기술적 면에서는 지반에 대한 정확한 파악, 지하구조물에 대한 적정 설계 및 시공기술, 지하공간 활용상의 안전관리기술 등이 있다. 안전관리기술에는 소음, 온도, 습도, 오염방지, 화재, 방재, 배수 등이 있다. 경제적인 면에서는 굴착기술의 발달로 지하시설물의 공사비는 감소되고 있는데 반하여 지상의 지가는 꾸준히 상승하고 있어 지하공간의 경제성이 호전되고 있다. 법적 면에서는 지하시설의 활성화를 위하여 지하공간의 소유권, 개발 사용권, 개발 범위를 포함한 적절한 토지 소유권의 한계 및 범위에 관한 조속한 입법이 절실히 요구되고 있다. 심리적인 면에서 일반적인 지하공간은 지상공간에 비해 환기 부족으로 탄산가스(CO₂)의 농도가 높아질 수 있으나 온도·습도 조절과 환기 회로 개선 및 환기 설비의 보완으로 해결할 수 있으며 디자인 측면에서 지상과 다른 아름다운 아름답고 쾌적한 환경을 만들어야 할 것이다.

과밀화한 대도시를 활성화하고 지방의 아름다운 자연을 보호하기 위하여 관·지방자치제, 산업계, 학계 등의 기관에서 사회기반시설의 지하화에 대한 검토가 진행되어야 한다. 또한 정부는 지하의 무질서한 개발을 규제하고 계획적인 개발을 추진하기 위해 일정 규모 이상의 도시 등을 대상으로 기본적인 지하시설의 배치계획과 장래의 지하공간이용계획을 다룬 지하이용의 마스터플랜을 마련하는 것이 시급하다.

지하공간개발에는 무계획적인 개발로 인한 지하수의 오염, 지표침하 등 기술적인 문제와 토지소유권과의 마찰 등 법률, 제도상의 문제 등을 내포하고 있기 때문에 기술개발 연구를 병행하면서 법, 제도를 연구하여 지하공간개발의 계획화로 난관을 방지하는 데 주안점을 두어야 할 것이다.

6. 유망한 지하공간개발 분야

에너지 절감과 환경보존의 효과가 크며 비교적 유망한 지하공간 개발 분야에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

1) 지하냉장·냉동저장

지하공간의 가장 큰 이점은 지상공간의 환경보존과 에너지 절약

기술의 활용인데 농수산물의 지하냉장저장고는 이러한 이점을 가장 효과적으로 활용하는 시설로서 여러 종류의 지하공간 중에서도 우선적으로 실용화가 추진될 수 있는 대상이다. 냉장 및 냉동 저장고는 에너지 소비가 큰 시설이며 특히 여름철 전력부하가 매우 크다. 현재 지상에 건설되고 있는 상업용 냉장 및 냉동 저장고를 지하암반 내에 건설한다면 암반의 단열성과 축열능력을 활용할 수 있어 전력소비를 30% 이상 절감할 수 있으며 여름철에도 냉동설비를 야간에만 운영하는 것이 가능하여 전력의 최대부하 감소효과를 얻을 수 있다.

2) 압축공기저장

압축공기저장(Compressed Air Energy Storage: CAES)에 의한 발전방식은 발전소의 여유전력을 압축공기로 저장한 후 필요시 전력수요가 높을 때 발전기를 가동시킴으로써 전력생산을 증폭시켜 전력사용의 효율화를 달성하는 방식이다. 압축공기 저장은 지하양수발전에 비해 부지선정에 유리하며 부지선정에 따른 투자가 저렴하고, 소규모이며 단기성이고 대·중·소규모(25~220MW)의 수요에 적합할 뿐 아니라 환경영향이 적은 것이 장점이다.

3) 열수저장

에너지 절감을 위한 장기적인 과제로는 지하에 공동을 건설하여 이 공동 내에 열수를 저장하였다가 재사용하는 방법이 있다. 태양열, 발전소의 여열 및 폐기물의 소각로에서의 열 등을 지하공동 내에 저장하는 축열시스템은 이미 1980년대 초부터 선진 각국에서 연구가 실시되어 실증시험(pilot plant)를 거쳐 이미 실용화 단계에 들어섰다.

4) 지하 상·하수처리시설

도시의 하수처리장, 펌프장 등 하수도시설은 도시에 있어서 귀중한 공간이므로 하수도시설을 지하화하여 상부를 공원, 광장, 테니스코트, 시민홀, 체육관 등으로 이용할 수 있다. 지하하수처리장, 쓰레기 지하처리시설 등과 같은 혐오시설뿐만 아니라 상수정화시설의 지하암반 내 건설도 하나의 유망한 분야라고 할 수 있다.

5) LNG 지하저장소

LNG의 안정공급을 위하여 수요지 근처 저장시설의 건설수요가 많아지는데 지하저장은 방재·안전면에서 우월하고 건설비와 유지비도 환경보전 면에서 경쟁력이 있다. 지하암반공동이 대규모인 경우 경제적이고 지상공간의 유효활용도 가능하다.

7. 맺음말

국토가 협소하고 인구가 과밀한 우리나라에서는 지하를 새로이 개척해야 할 국토공간, 무한한 잠재가치를 지닌 자원 등으로 재평가하고 지상의 도시기능, 산업시설 등을 적극적으로 지하로 이전하여 지상과 지하를 유기적으로 결합시킨 입체적인 국토이용을 통하여 토지이용 효율화를 극대화하고, 지하공간을 지상의 개선, 자연환경의 보호와 에너지 절약 등을 위한 시설로서 적극 개발할 필요가 있다. 개발 가능성이 높은 지하시설물과 적용대상 지역에 대하여 개념설계, 기술적 타당성 검토와 사업성 평가가 필수적이며 관련 법규의 검토 또한 필요하다.

지하공간의 특성은 한번 개발하면 원상복구가 어렵고, 후속개발에 영향을 크게 준다. 무계획적인 지하공간개발로 인한 지하수의 오염, 지표침하 등 기술적인 문제와 토지소유권과의 마찰 등 법률, 제도상의 문제 등이 있기 때문에 기술개발과 법, 제도정비를 병행하면서 토지소유권의 한계, 보상규정 입법화를 포함한 체계적인 법률적인 뒷받침이 시급하다.

지하공간개발에는 사회적 필요성, 경제성, 환경영향평가, 안정성 등 고려해야 할 다양한 사항들이 있다. 도시계획자, 지하이용자, 엔지니어, 정부기관 등의 긴밀한 협력이 무엇보다도 필요하다. **S**

참고문헌

- 1) 신회순 외(1992), 지하공간 활용기술 개발수립 연구, 한국자원연구소 연구보고서 KR-92(T)-24, 236p.
- 2) Finnish Tunnelling Association, 1986, Rock Engineering in Finland, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, 188p.
- 3) Finnish Tunnelling Association, 1988, The Rock Alternative Engineering, 207p.
- 4) Finnish Tunnelling Association, 2011, Rock - Sound of countless opportunities, 129p.