

## 국내 지하공간 개발 및 대책

신희순\*

### Underground Space Development and Strategy in Korea

Hee-soon Shin\*

**Abstract** Approximately 70% of the Korean peninsula is composed of mountains, around 99,274 km<sup>2</sup>. Even worse, population rate of Korea is the No.3 in the world now. Accordingly, it is necessary to develop the potential underground space actively with the concept of another territory to be utilized. The development of underground space should be considered not a choice but an indispensable issue. Since 1970s, many large-scale underground structures have been constructed like as crude-oil storage bins, liquefied petroleum gas storage caverns, and underground pumped storage powerplants. Also, In urban area, the underground facilities such as subway networks, underground shopping mall, underground pedestrian network, electric power tunnels, and car parking lots have been used extensively. The scale of Yeosu oil and gas underground storage facility and Seoul subway systems are one of the massive scale in the world. Recently, the trend of the development of underground space becomes more diverse and larger scale. The current status of Korean underground space developments and strategy are described in this paper.

**Key words** Underground space, Strategy, Storage cavern, Food storage, Abandoned gangway

**초 록** 우리나라는 99,274 km<sup>2</sup>의 협소한 면적에 산지가 약 70%를 차지하고 있다. 게다가 인구밀도는 세계 3위의 조밀한 국가이다. 따라서 우리나라는 지하공간을 새로이 활용해야 할 국토로 간주하고 적극적으로 개발할 필요가 있다. 우리에게서 지하공간개발이 선택이 아니라 필수이다. 국내에서는 1970년 이후로 가스·원유비축기지, 지하 양수발전소가 건설되었고 주로 대도시에서 지하철, 상가, 보도, 공동구, 주차장 등의 형태로 지하공간이 활용되어 왔다. 여수 지하석유 비축기지과 지하철은 세계적인 규모이다. 최근에는 지하공간의 개발이 더욱 다양화 되고 또한 대규모화 되고 있는 추세이다. 국내 지하공간 개발현황과 문제점 및 대책에 대하여 소개하였다.

**핵심어** 지하공간, 대책, 비축기지, 식품저장, 폐갱도

#### 1. 서 론

우리나라는 협소한 국토 면적 99,274 km<sup>2</sup>에 인구 밀도는 498명/km<sup>2</sup>(통계청, 2011)로 방글라데시, 대만에 이어 세계3위로 조밀한 국가이다. 인구밀도가 세계적으로 높다는 사실은 지상가용 토지의 한계, 인구과밀, 교

통시설망의 포화, 상·하수도, 통신·가스 등 도시공급시설의 한계, 환경오염 등 해결해야 하는 문제점들이 많이 있음을 의미한다. 국토가 협소하고 산지와 임야가 70%이상 차지하고 있는 우리나라의 경우는 지하공간을 새로이 개척해야 할 국토로 간주하고 지상의 도시기능, 산업시설 등을 적극적으로 지하로 이전하여 입체적인 국토이용을 극대화하고 지하공간을 지상환경의 개선, 에너지 절약을 위한 공간으로서 적극적으로 개발할 필요가 있다. 우리나라의 지하공간개발역사는 1966년 지하보도 건설을 시작으로 지하상가(1967년), 지하주차장(1969년), 공동구(1969년), 지하철(1974년), 지하양수발전소(1975년), 유류 및 가스저장시설(1975년) 등의 형태로 개별적 수요에 따라 제한적으로 지하공간 개발

**Received:** Jul. 12, 2013

**Revised:** Sep. 22, 2013

**Accepted:** Sep. 22, 2013

**\*Corresponding Author:** Shin Hee-soon

Tel) +82428683240, Fax) +82428683416

E-Mail) shinhs@kigam.re.kr

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea

이 되어 왔다. 여수 지하석유 비축기지(저장용량 1700만 배럴)와 지하철의 규모는 세계적인 규모이다. 최근에는 지하공간의 개발이 더욱 다양화 되고 또한 대규모화 되고 있는 추세이다. 서울시와 수도권 주요거점사이의 지하 40~60 m 심도에서 최고속도 200 km/hr 로 달리는 수도권 광역급행철도(GTX; Great Train Express) 3개노선, 140.7 km의 건설과 도심침수 방지를 위한 지하방수로 건설, 서울시 송파대로 지하의 대형버스환승주차장 건설, 가학금속광산 폐갱도를 활용한 생태테마파크 개발 등 다양한 지하공간 개발 사업들이 추진되고 있다. 본 논문에서는 이러한 국내 지하공간 개발현황과 문제점 및 대책에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 지하공간 개발현황

국내 지하공간현황을 수치로 살펴보면 다음 Table 1에서와 같이 대략 2,270 km의 터널이 있는 것으로 추정되고 있다. 나라규모에 비하여 지하공간개발이 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Tunnels in Korea

Classification	Length (km)
Railway tunnel <sup>1)</sup>	467.4
Road tunnel <sup>2)</sup>	1,052.7
Subway tunnel <sup>1)</sup>	181.4
Water supply tunnel <sup>3)</sup>	144.6
Oil & gas storage tunnel <sup>4)</sup>	39.9
Pumped-storage powerplants tunnel <sup>5)</sup>	57.2
Electrical power cable tunnel <sup>5)</sup>	116.8
Telecommunication cable tunnel and other utilities tunnels <sup>5)</sup>	208.8
합 계	2,268.8

<sup>1)</sup> MLTM, 2011, <sup>2)</sup> Molit, 2013, <sup>3)</sup> Kwarter, 2012, <sup>4)</sup> KNOC, 2013, <sup>5)</sup> KTA, 2009

Table 3. High speed railway (MLTM, 2011)

Classification	Section	Total length (km)	Construction period	Cross section (m <sup>2</sup> )	Length of tunnel
Kyungbu line	Seoul~Busan	412	'92~'04 / '14	107.9	153.7(36.3%)
Honam line	Osong~Gwangju	233.1	'06~'17	96.7	84.9(36.4%)

## 2.1 철도터널

### 2.1.1 일반철도터널

1899년 9월 첫 열차가 운행된 후 Table 2에서와 같이 철도터널은 2011년 현재 총 467 km에 달하며 그중 일반철도터널은 316.6 km이다(MLTM, 2011). 최초로 천공발파공법으로 건설된 철도터널은 안산터널이며 1988년 12월 준공된 마제형터널(폭 8.6 m×높이 7.7 m×길이 1,072.5 m)이다. 국내 최초의 철도터널은 1904년에 경부선 청도-유천간에 건설된 은곡제1터널, 은곡제2터널이다. 은곡제1터널(폭 4.9 m×높이 5.5 m×길이 27.2 m)과 은곡제2터널(폭 4.9 m×높이 5.4 m×길이 94 m)은 조적식 말굽형 터널이다. 최장 철도터널인 영동선 동백산~도계간 솔안터널(폭 7.64 m×높이 7.8 m×길이 16.24 km)이 1999년 12월 착공이후 12년 6개월만인 2012년 6월에 개통되었다. 해발 1,171 m인 연화산 지하에 곡선반경 1,450 m의 와선형터널구간이 포함되어 있다. 천공발파공법으로 시공되었다.

### 2.1.2 고속철도터널

최초의 고속철도 터널은 1999년 8월 준공된 운주터널(폭 13.4 m×높이 9.1 m×길이 4.030 m)로서 마제형 터널이다. 최장대 철도터널은 부산시 금정구 노포동-북구 화명동 사이를 지나는 금정터널(폭 14.20 m×높이 9.68 m×길이 20.323 km)로서 마제형터널이며 2010년 11월 1일에 개통되었다. 터널내에는 화재 등에 대비하여 2.5 km 간격으로 비상탈출구 8개와 피난대피소(400 m<sup>2</sup>) 4곳이 시공되었다. Table 3에서와 같이 서울~부산

Table 2. Railway tunnels (MLTM, 2011)

Classification	Number of tunnels				Length (km)
	Total	< 1km	1~5 km	5 km<	
High speed railway tunnels	85	85	29	6	150.747
Conventional railway tunnels	554	485	64	5	316.6
합계	639	535	93	11	467,347

간 고속철도터널은 전체 구간 412 km 중에서 약 36.3%인 153.7 km이다(MLTM, 2011).

## 2.2 도로터널

최초의 도로터널은 1926년 전남 여주시 덕충동에 건설된 마래 2터널(폭 4.5 m×높이 4.5 m×길이 640 m)로 콘크리트식 말굽형터널이다. 최초의 고속국도 터널은 1969년 경북 경주에 건설된 경주(이화)터널(폭 9.2 m×높이 6.8 m×길이 135 m상행선, 152 m 하행선)이며 ASSM 공법으로 건설되었다. 천공발파공법으로 건설된 최초의 고속도로터널은 전라북도 정읍에 1986년 3월에 준공된 호남터널(폭 10 m×높이 6.6 m×길이 740 m)이다. 최초의 4차선 고속도로터널은 경기도 의왕에 1995년 10월에 준공된 청계터널(폭 17.58 m×높이 8.7 m×길이 450 m)이다. 편도4차로 쌍굴터널로는 세계에서 가장 긴 도로터널은 경기도 의정부~양주간의 사패산터널(폭 18.77 m×높이 10.55 m×길이 3,997 m)이며 2007년 12월 개통되었다. NATM으로 시공되었다. 국내최장 도로터널인 길이 약 10,965 m의 인제터널은 2010년 5월

굴착시작후 일평균 25여 m씩 굴착한 결과, 2012년 9월 굴착이 완료되었다. 인제터널은 동홍천~양양 고속도로에 건설되었으며 백두대간 구간을 동서로 가로지르는 터널로서, 국내에서는 연장이 가장 길고 세계적으로는 11번째로 긴 도로 터널이다. 현재 개통되어 운영되는 도로터널 중 가장 긴 터널은 2012년 3월 개통된 5.1 km의 국도 46호선 춘천~양구간 배후령 터널이다. 본선터널의 폭은 11.0 m이고 피난 대피터널의 폭은 3.0 m이다. 현재 도로터널은 총 1,465개소의 연장 1,053 km에 달한다(Molit, 2013). 2013년 현재 고속국도, 일반국도, 시도, 지방도기타 등에 있는 터널의 수와 총 연장은 Table 4에서와 같다.

## 2.3 하·해저터널

### 2.3.1 하저터널

최초의 하저터널은 여의나루~마포역구간의 수면하 토피 15~31 m의 연암내에 굴착된 지하철 터널이며 길이가 1,288 m이다(Table 5). 터널굴착은 1992년 10월 시작하여 1994년 12월에 상행선, 1995년 1월에 하행선이 관통되었으며 1996년 2월 콘크리트 라이닝 시공이 완료되었다. 수심은 4~15 m이다. 성동구 성수동~강남구 압구정동 간 분당선 하저철도터널은 최대수심 19.5 m 하에서 경암내에서 국내 최대 직경인 Shield TBM으로 시공되었다. 굴착직경 8.06 m, 터널내경 7.0 m, 길이 845.5 m이다. 2006년 5월 굴착공사를 착수하여 2009년 8월에 완료하였다. 광주지하철 1호선 곡라강을 가로지르는 영산강 하저터널은 지하 30 m에 2003년 11월 굴착하기 시작하여 착공 17개월만에 완료되었다. 수영강 하저터널은 국내 최초의 대구경 쉴드공법을 도입하여

Table 4. Road tunnels (Molit, 2013)

Types of road	Number of tunnels	Total length of tunnels (km)
National expressway	708(48.3%)	552.9(52.5%)
National highway	402(27.4%)	201.8(25.8%)
City road	144( 9.8%)	95.5( 9.1%)
Regional road, etc.	211(14.4%)	132.5(12.6%)
Total	1,465	1,052.7

Table 5. Tunnels under river

Classification	Line	Year completed	Main rock types	Cross section (m)	Total length (m)	Minimum rock cover (m)	Depth below river (m)	Construction method
Han river <sup>1)</sup>	5th line in Seoul subway	1996	Biotite banded gneiss	φ6.50	1,288	23	4.0~21.0	Drill & blasting
Han river <sup>2)</sup>	Bundang Line in Seoul subway	2009	Granitic gneiss	φ8.06	845.5	22.8	3.0~16.7	Shield TBM
Kumho <sup>3)</sup> river	2nd line in Daegu subway	2001	Sandstone, shale, mudstone,	φ8.06	275	14~25	1.5~8.6	Drill & blasting
Yeungsan river	1st line in Busan subway	2005	Granite	φ7.20	390	12.5~19.4	7.6~14.5	Drill & blasting
Sooyoung <sup>4)</sup> river	2nd line in Busan subway	2002	Silt clay, grable,	φ7.10	420	10.4	1.0~4.0	Shield TBM

<sup>1)</sup>Lee et al., 2002, <sup>2)</sup>Kim et al., 2003, <sup>3)</sup>Kyung et al., 2000, <sup>4)</sup>Oh et al., 2007.

수심 4 m, 폭 200 m 인 수영강을 통과하여 2000년 11월 굴착을 시작하여 총 840 m의 쉴드터널을 2002년 2월에 관통하였다. 2013년 현재 설계완료 또는 설계중인 하저터널로는 부진~마산 복선전철(총 연장 32.7 km 중 낙동강 하저 약3,139 m구간,  $\phi$ 7,880 mm, EPB), 대곡~소사 복선전철(총연장 19.6 km 중 한강 하저 2,694 m구간,  $\phi$ 8,250 mm, EPB), 신분당선연장(용산~강남) 선 (총연장 8.0 km 중 한강하저 약1,526.5 m구간,  $\phi$  8,210 mm, EPB), 강변북로 확장공사(총 4.86 km 중 한강하저 4,080 m구간, drill & blasting) 등이 있다.

### 2.3.2 해저터널

국내 해저터널은 2013년 현재 Table 6에서와 같이 지중굴착식 교통용 해저터널은 현재 건설중인 보령-태안 해저터널 1곳이 있으며, 개착식 해저 도로터널은 충무 해저터널 1개소, 침매식 해저 도로터널인 가덕해저터널 1개소가 있다(Shin, 2006). 2000년 가스배관건설용 터널인 마산만 해저터널이 건설되었다. 인천해저 도로터널이 건설을 앞두고 있다. 이밖에 원자력발전소 배수용 해저터널이 건설된 바 있다.

#### (1) 충무해저터널

국내 최초의 해저터널로는 1932년 경남 통영에 건설된 충무터널(폭 5 m×높이 3.5 m×길이 483 m)이 있다. 통영시 육지 남단 당동에서 미륵도 북단 미수 1동으로 연결되어 있다. 해저터널의 공사는 통영운하(수심 3 m, 폭 55 m, 길이 1,420 m)의 동서 양쪽에 독을 쌓는 물막이 제방공사를 먼저하고, 제방 내 바닷물을 퍼낸 뒤 노출된 해저면을 다지는 토목공사를 한 후, 해저면에 철근 콘크리트 구조물을 건설하였으며, 마지막으로 완성

된 구조물위를 흙으로 되메우기 위하여 그 위에 운하를 설치한 것이다. 개통당시 인마와 차량통행용이었으나 만들어진 지 오래되고 바닷물이 스며드는 등 유지관리에 어려움을 겪다가 1967년 폭 10 m, 길이 152 m의 통영교의 완성으로 차량통행은 금지된 상태이다.

#### (2) 가덕해저터널

경남 거제시 장목면~부산광역시 가덕도를 연결하는 거제~부산간 33.9 km를 연결하는 대단위 공사로 8.2 km의 거가대교 가운데 가덕도와 중죽도 사이 3.7 km는 침매터널로, 중죽도~저도~거제도 구간 4.5 km에는 사장교가 건설되었다. 육상에서 터널 구조물을 제작한 뒤 수심 40 m의 바다밑에 가라앉혀 터널을 만드는 침매터널은 국내에서 처음 시도되는 공법이다. 터널(폭 27.3 m×높이 9.2 m×길이 188 m) 크기의 직육면체 형태의 콘크리트 구조물 18개로 구성되었다. 콘크리트 구조물은 중앙통로와 폭 각 9.7 m인 양쪽 차로(각 2차로)로 구성되며, 폭 4.2 m의 중앙통로는 유지보수 통로로 이용된다.

#### (3) 마산만 해저터널

창원시 귀산동~마산시 가포동을 잇는 해저터널(외경 2.3 m×길이 1,354 m)이 2000년 3월 경 관통되었다. 해저 약 40 m 심도, 고수압하에서 암반층과 연약층을 굴착하는 데 water-jet식과 이수가압식을 병용한 TBM식 실드장비가 사용되었다. 교통용 터널이 아니고 가스배관건설용 터널이다.

#### (4) 보령-태안 해저터널

충남 보령시 대천항과 원산도를 잇는 해저터널(폭 12.0m×높이 6.0 m×길이 6.927 m)의 2차선 쌍굴도로 터널이 시공중에 있다. 설계속도가 70 km/h이며 해저

Table 6. Subsea tunnels (modified from Shin, 2006)

Name of Tunnel	Location	Lowest level below sea (m)	Specifications	Construction period	Construction method
Chungmu	Tongyoung city, Dangdong	3	W5 m×H5 m×L483 m	'27~'32	Cofferdam
Masanman	Changwon city, Gyusandong~gapodong	38~43	$\phi$ 2.3 m×L1,354 m cover (soil & rock) 38~43 m, andesite, granite	'97~'00	Shield TBM
Busan-Geoje	Busan city gadokco~Geoje city Jungjukdo	40	W27.3×H9.2 m×L3.7 km	'03~'10	Immersed tunnel
Boryong	Daechonhang~Wonsando	~80	Maximum cover (soil & rock ) 60 m, W8.5 m×L5.1 km, section 80 m <sup>2</sup> . granite, gneiss, mudstone	'12~	Drill & blasting
Inchon	Inchon Bukhang (Inchon~Gampo)	12~23	Rock cover 15~33 m, W15 m×H 8.5 m×L4,645 m, gneiss, granite, sedimentary rocks	'13~	Drill & blasting

구간 연장만 5.1 km이다. 해수면에서 최대 약 80 m, 해저면에서 최대 약 60 m 하부에 굴착되고 있다. 편마암, 화강암층은 암반조건이 매우 양호한 편이나, 퇴적암층은 사암, 이암, 셰일, 함탄층 등 다양한 지질구조를 보이고 있으며 암반조건이 상대적으로 불량하다(허도학외, 2012).

**(5) 인천해저터널**

제2외곽순환 고속도로 민간투자사업 중 한 구간인 인천~감포구간에 인천해저 도로터널이 설계되어 시공을 앞두고 있다. 총연장 5.460 km 중 천공 발파공법터널구간의 연장은 4,645 m이며 해저구간 연장만 약 500 m이다. 해저면에서 암반층두께 약 15~33 m(화강편마암 풍화암층)하부를 굴착하는 것으로 되어 있다.

**2.4 지하철**

1974년 서울에서의 첫 지하철개통이래로 전국적으로 1,015.9 km의 전철이 운행되고 있다. 한국철도공사가 관리하는 전철은 10개 노선, 478.9 km이다. Table 7에서와 같이 이를 제외한 6개 도시의 지하철터널은 181.4 km이며 이중 서울 지하철터널구간은 122.1 km에 달한다(MLTM, 2011). 최초의 재래식 지하철터널은 서울 지하철 2호선 1단계 구간(신설동~종합운동장)으로 길이가 1,430 m이며 1978년 3월에 착공하여 1980년에 준공되었다. 서울시의 지하철 심도는 0~77.1 m이다. 지하철 평균심도는 제1기 지하철(1~4호선)은 13.7 m, 제2기 지하철(5~8호선)은 22.6 m이다. 1기 지하철의 최고심도는 남태령역 36.1 m, 제2기는 지하철 7호선 강남구청역에서 분당선 연장구간 77.13 m이다. 국내 최초 Shield TBM으로 건설된 지하철 터널은 부산지하철 2호선 수영구 민락동~해운대구 우동간 2,300 m 구간으로 터널의 굴착직경은 7.28 m이었다.

**Table 7.** Subway tunnels in 6 cities (MLTM, 2011)

City	Routes (ea)	Station (ea)	Total length (km)	Tunnel (km)
Seoul	11	293	316.9	122.1
Incheon	1	29	29.4	5.4
Daegu	2	56	53.9	24.4
Daejeon	1	22	20.5	4.6
Gwangju	1	20	20.5	3.2
Busan	3	94	95.8	21.7
Total	19	514	537.0	181.4

**2.5 지하상가**

지하상가는 1967년 12월 건설된 서울시청 앞 새서울 지하상가(총면적 1,085 m<sup>2</sup>)를 시초로 1970년대 인현 지하상가(1,875 m<sup>2</sup>), 1971년 신당 지하상가(5,058 m<sup>2</sup>)가 건설되었고 본격적인 건설은 1974년 지하철 개통과 함께 하였으며 1985년 동대문 2차 지하상가가 건설되었다. 서울시 지하상가의 심도는 0.7~11.7 m 이내의 범위로 평균심도는 3.5 m, 최저심도는 15.1m 이다(Seoul Development Institute, 2006). 지하상가는 현재 서울지역에 25개소, 인천 13개소, 경기·부산지역 6개소, 대구 지역 4개소, 광주·경남지역 3개소, 대전·강원지역 2개소, 충북·충남·전남·제주지역 1개소 등 총 전국 68개소가 있다(National Underground Shoppingmall Union, 2013). 서울시에서 관리하는 시민통행목적으로 조성된 상가에는 2,738개 점포가 있으며 지하철 역사내 수익목적으로 조성된 상가에는 1,193개 점포가 있다.

**2.6 수로터널**

수로터널의 건설은 1965년 창원지역에서부터 시작되었다. Table 8에서와 같이 광역상수도망 구축과 관련하여 145 km 이상의 수로터널이 있다. 강권역의 수로터널의 연장은 42,893 m, 낙동강권역 수로터널은 75,648 m, 금강·섬진강·영산강권역의 수로터널은 26,004 m이다. 수로터널은 기능상 도수터널(84.2%), 송수터널(11.8%), 취수터널(3.9%)로 구분된다. 수로터널의 직경은 취수터널 일부를 제외하고 대부분 1.9~3.9 m이며 가장 많은 빈도수의 직경은 2.1~2.3 m이다. 수도권 광역상수도의 경우 3.2~4.3 m이다. 직경 2.9~3.5 m의 수로터널이 총연장의 30% 이상을 차지하고 있다(Jeon et al., 2007, Kwater, 2012). 한국수자원공사, 지방자치단체, 농어촌공사, 한국수력원자력, 한국전력, 남동·중부·동서·서부발전 등 관련기관이 발주하는 각종 수로터널들이 건설되고 있다.

**2.7 전력구·통신구 터널**

전력구는 1984년 5월 서울지하철 2호선 건설과 병행하여 개착식 공법으로 건설되었으나 이후 주변 여건에

**Table 8.** Water supply tunnels (Kwater, 2012)

Locations	Total length (m)	Tunnel (m)
Han river	1,407,042	42,893
Nagdong river	1,187,355	75,648
Kum river, Suhmjn river, Yeungsan river	2,363,064	26,044
Total	4,957,461	144,585

따라 개착식 공법과 터널식 공법을 적용하고 있다. 터널공법으로 건설된 전력구는 218개소의 116.8 km이다 (KTA, 2009). 전력구터널의 형상은 원형 또는 마제형이다. 터널식 전력구는 지하 40 m 내외에 설치되고 있고 전압 및 케이블 수용규모에 따라  $\phi$  2.4~5.0 m를 표준으로 적용하고 있다. 한국통신에서는 안정적인 통신망구축을 위하여 동케이블 및 광케이블을 수용하기 위한 통신구를 건설하고 있다. 통신구 터널에는 단독 통신구와 지하철병행 통신구, 그리고 상수도, 한국전력,

지역 난방공사 등과 같이 건설하는 공동구 터널이 있다. 2009년 기준 통신구 270 km, 공동구 87 km에 이른다. 통신구 중 터널식 통신구는 121,819 m이며 형상은 원형 또는 마제형이다.

## 2.8 유류비축시설

우리나라는 세계 5위의 석유 순수입국, 세계 6위의 석유소비국이다. 유류지하저장시설은 전략비축시설과 상업용 시설로 구분된다. 전략비축시설은 장기저장을

**Table 9.** Oil and LPG storage caverns (KNOC, 2013, modified from Shin et al., 2009)

Site	Rock type	Section (W×H)(m)	Total length (m)	Contained material	Storage capacity	Construction period
U-2 Geoje	Granodiorite	18.0×30.0 18.0×22.5	14,886	Crude oil	44,954,000barrel	'81~'06
Guri	Granite	15.0×20.5 18.0×22.5	1,702	Gasoline kerosene	3,000,000barrel	'75~'93
Pyung-tak	Andesite/granite	18.0×22.5 17.0×22.0	3,959	LPG	398,000ton	'86~'01
U-1 Yosu	Andesite/tuff	15.0×19.5 16.0×21.0 18.0×30.0	14,726	Crude oil/ LPG	30,753,000barrel/ 152,000ton	'81~'08
Ulsan	Siltstone/sandstone/ grainte	19.0×21.0 18.0×30.0 16.0×22.5	3,498	Crude oil/ LPG	6,500,000barrel/ 275,000ton	'85~'10
Y-2 Incheon	Gneiss	16.0×26.0	1,166	LPG	240,000ton	'97~'00

**Table 10.** Pumped-storage powerplants (modified from KTA, 2009)

Classification	Underground powerhouse cavern				Total length of waterway tunnel (m)	Capacity (MW)	Construction period
	Rock type	Depth (m)	Cross section shape	Dimension (W×H×L) (m)			
Chongpyong	Gneiss	350	Mushroom shape	22.5×46.6×86.0	8,194	400 (200×2ea)	'75~'80
Samrangin	Tuff, rhyolite	150	Mushroom shape	20.0×42.0×90.5	6,679	600 (300×2ea)	'79~'86
Muju	Granitic gneiss, gneiss	260	Mushroom shape	21.0×49.0×98.0	6,643	600 (300×2ea)	'88~'95
Sanchong	Gneiss	250	Warhead shape	25.0×54.3×116.0	6,220	700 (350×2ea)	'92-'02
Yangyang	Gneiss	650	Warhead shape	20.0×42.3×120.0	15,960	1,000 (250×4ea)	'96~'06
Chongsong	Sandstone, granite	186	Warhead shape	25.5×55.7×114.6	7,849	600 (300×2ea)	'00~'06
Yechon	Granitic gneiss	300	Warhead shape	25.8×53.5×129.1	5,609	800 (400×2ea)	'03~'11

목적으로 하며 상업용시설은 연간 회전율이 5회 이상의 단기저장으로 목적으로 한다. 1982년 석유비축기지가 건설된 이래로 2012년 기준 전국에 9개 비축기지가 있으며 총 146백만배럴 규모의 유류비축시설에 공동비축 사업물량 포함 130백만배럴의 비축유를 확보하고 있다 (KNOC, 2013). 시설용량의 약 73%가 지하에 건설되었다. Table 9는 9개 비축기지 중 지하비축기지를 나타내고 있다.

## 2.9 양수발전소

양수 지하발전소의 단면은 버섯형, 계란형, 탄두형이 일반적으로 적용되고 있다(KTA, 2009). Table 10에서와 같이 2013년 현재 7개의 양수발전소가 운영중이다. 발전설비가 설치된 대규모 저장공동의 길이는 총 1,748 m에 달한다.

## 2.10 농수산물저장시설

1995년도에 한국지질자원연구원 부지내 화강암반내에 건설된 지하식품저장 pilot plant의 규모는 350 m<sup>2</sup>로 냉동실, 냉장실(폭3.0 m×높이3.0 m×길이4.5 m)은 지표로부터 10 m 하부에 위치하고 있다. 냉장실에선 섭씨 -2~2℃까지 일정온도를 유지하면서 사과, 배 등 과일의 보존성 실험을 실시하였다. 2년간에 걸친 실험결과를 참고하여 농업기반공사(현 농어촌공사)가 1996년 곤지암에 상용지하저장소를 건설하였다. 편마암체내에 지하 30~70 m 심도에 건설된 지하저장소의 규모는 2개의 냉동실(폭12 m×높이8 m×길이50 m), 2개의 냉장실(폭12 m×높이10 m×길이60 m)의 총면적은 3,423 m<sup>2</sup>, 저장용량은 4,700 M/T이다. 저장온도는 -22℃로 운영하였다(Lee and Lee, 2005). 현재는 개인회사가 운영중이나 자세한 내용은 밝혀지지 않고 있다.

## 2.11 지하실험실

### (1) 지질자원연구원내 지하실험실

연구원 부지내 화강암반내에 건설된 지하실험실은 사과, 배 등 과일의 보존성 실험을 실시한 후, 액체상태의 LNG(-162℃) 지하저장방식 실증시험을 위하여 저장규모 110 m<sup>2</sup>(폭 4 m × 높이 4 m × 길이 10 m)의 LNG 저장공동을 추가로 굴착하여 LNG 지하공동 저장실험을 실시한 바 있다(Jung et al., 2006)

### (2) 강원도 철광산내 지하실험실

강원도 정선군 신동읍 한덕철광 신에미광산내 지하 255 mL(지표로부터 500 m심도)에는 2011년 지질자원연구원 지하공간연구팀의 압축공기에너지저장(CAES: Compressed Air Energy Storage)시스템 실증과일렛 2

개 시험갱도(폭 6 m ×높이 6 m ×길이 12 m, 폭 5.5 m×높이 6.0 m×길이 22 m) 및 시설이 건설되어 운영되고 있다.

### (3) 원자력연구원내 지하실험실

2006년에 화강암반내 건설된 방사성폐기물지하처분 연구시설로 하향경사 10%를 가지는 진입터널(길이 180 m)과 2개의 연구공동(폭 6 m×높이 6 m×길이 45 m, 30 m)이 있다. 최대심도 90 m인 공동내에서는 굴착손상영역조사, 암석의 열적물성변화측정 등 여러 현장실험이 수행되고 있다(Lee et al., 2011).

### (4) 현대건설 시험터널

1996년 경기도 구성면 마북리 소재 기술개발원부지에 방사성폐기물 처분 연구용 시험터널을 건설하여 암반내 지하수 이동경로추정, 암반손상평가 등 현장시험 및 연구를 수행하였다.

## 2.12 대학 지하공간시설

### (1) 고려대학교

2002년 지하캠퍼스 ‘중앙광장’을 완공한 데 이어 2006년에는 자연계 캠퍼스에도 ‘하나스퀘어(Hana Square)’라는 지상1층, 지하3층의 지하공간을 건설하였다. 연면적 28,000 m<sup>2</sup>에는 강의실, 세미나실, 도서실, 헬스장, 음악홀, 전시실, 영상관, 약 526대의 주차장 등이 있다.

### (2) 이화여자대학교

운동장이 있던 지하에 6층 규모로 조성된 이화캠퍼스 복합단지(Ewha Campus Complex, ECC)는 세계적 건축가인 도미니크페로에게 설계를 맡겨 2008년에 완공했다. 지하 6개 층 높이의 양쪽 공간은 연면적 7만 m<sup>2</sup>로 950석의 독서실, 41개의 세미나실, 5개의 유비쿼터스 강의실, 272석의 영화관과 670석의 공연극장이 들어서 있다. 750여 대의 주차가 가능한 지하 5, 6층 공간을 통해 캠퍼스 지상의 차량통행은 최소화 하였다.

### (3) 서강대학교

2008년 ‘곤자가 플라자’ 지하캠퍼스가 건설되었다. 예전 공원지하에 지하 3층 연면적 2만 2200 m<sup>2</sup> 규모의 공간을 만들어 주차장, 기숙사, 식당, 컨벤션센터, 서점, 커피전문점 등을 들어서게 하였다.

### (4) 경원대학교

2010년 연면적 7만 m<sup>2</sup>의 지상 7층, 지하 4층 규모의 대형지하캠퍼스 ‘비전타워’를 건설하였다. 지하층에는 도서관과 학생회관, 식당, 체육관, 스포츠센터, 주차장이외에 근린생활시설이 들어서었다.

### (5) 한국외국어대학교

2011년 지하 3층, 지상 3층 연면적 1만 2,500여 m<sup>2</sup>

규모로 조성된 지하캐퍼스에는 강의실, 세미나실, 국제 회의장, 탁구장 등 각종 운동시설과 주차장 등 시설이 들어있다.

### 2.13 폐광산 및 폐갱도 활용

#### (1) 보령시 냉풍옥장

보령시는 1996년 청라면 의평리 성수산 일대에 위치한 폐광에 길이 200 m의 냉풍 유도터널을 만들었다. 현재는 150여개 폐광구중 17곳이 냉풍옥장으로 활용되고 있다. 이곳에서는 양송이도 생산되는 데 12~14℃와 85~90%의 습도와 충분한 산소가 있어 양송이 최적재배 환경조건을 갖추었다. 냉풍옥장에는 유도터널, 휴식, 전 시공간을 마련하여 연간 관광객이 10만명 이상이 방문하고 있다.

#### (2) 자수정 광산동굴

경남 울주군 자수정 광산동굴을 주변 관광지와 연계 개발한 사례가 있다. 100여개에 달하던 자수정 광산이 대부분 폐광됐으나 그 중 한곳을 찬바람 쐬는 관광동굴(길이 2.5km, 10~14℃)로 개발하였다. 이외에 충남 부여의 녹옥광산, 춘천 옥광산 등이 관광용으로 활용되고 있다.

#### (3) 가학 폐광산

‘72년까지 은, 동, 아연등을 채광하였던 광명시 가학 폐광산의 총연장 7.8 km 규모의 폐갱도활용을 포함한 일대 38만평을 활용 생태테마공원으로 조성될 예정이다. 총 8개층에 걸쳐 갱도가 형성되어 있고 최대깊이는 275 m에 이른다. 가칭 광명 케이번 월드가 이르면 2013년 말 문을 연다. 광명케이번월드는 갱도를 이용한 레일바이크 입체영화관, 보트체험장, 공연장 등의 시설과 와인 치즈 등 저장성식품의 보관과 판매시설 등이 들어선다.

#### (4) 기타

포도주 저장고로 폐철도터널을 활용하여 길이 1 km 터널에 와인 10만병을 저장하고 있다. 이밖에 경남 김해에는 쌀저장고가 있고, 서해안에는 젓갈 저장고, 충북 옥천군 옥천 고속도로 폐터널내에 김치저장고(폭 9.2 m×길이 692 m)가 있다.

### 2.14 기타 건설 또는 계획중인 지하공간개발

경주 중·저준위 방사성폐기물 처분장이 2007년 착공하여 현재 건설중이다. 214만 m<sup>2</sup>에 80만드럼 처분시설을 건설할 예정으로 1단계시설은 동굴처분방식으로 10만 드럼규모로 조성중이다. 주요 암층은 섬록암과 화강섬록암으로 되어 있다. 처분장은 6개의 사일로(silo, 직경 26.8 m×높이 50 m)와 각각의 건설터널(construction

tunnel, 폭 7.2 m×높이 6.5 m×길이 2,000 m)과 운영터널(operation tunnel, 폭 7.2 m×높이 6.5 m×길이 1,500 m)로 구성되어 있다(Oh and Kim, 2008). 원전안에 임시보관중인 고준위 방사성폐기물은 2021년에는 포화상태에 이를 것으로 전망되고 있다. 고준위 방사성폐기물 처분장의 마련이 시급한 상황이다. 핀란드는 세계최초의 처분장의 위치가 결정되었는데, 심도는 약 400 m이다. 2016년 완공예정인 서울복합화력(옛 당인리발전소)은 도심권 대용량발전소를 지하화하는 세계 최초 시도이다. 지상에는 공원이 들어선다. 옛 당인리발전소는 수도권 북부지역 7만가구에 열공급을 담당하는 우리나라 최초 화력발전소였다. 이밖에 지하우스터널, 지하하천 등이 검토되고 있다.

## 3. 국내 지하공간개발의 문제점 및 대책

### 3.1 문제점

국내의 지하공간개발은 앞서 기술되어 있는 바와 같이 여러분야에서 진행되고 있다. 그러나 아직은 선진국에 비해 지하공간개발의 기술수준과 경험이 부족하여 제한적으로 이루어지고 있으며 지역적 편중도 심화되고 있다. 정부차원의 종합적인 계획이 미비하여 개발주체별로 수요에 따른 무질서한 개발이 되고 있고 지하심도별로 체계적인 개발도 이루어지지 않고 있다. 또한 현행 법제도는 지하공간 개발시 부분적으로 적용가능한 산발적 조항들만 산재되어 있어 통합적인 법적, 제도적 장치없이 개발됨으로써 계획의 일관성, 합리성이 미흡하다. 이에 따라 지하시설물들이 단편적, 개별적으로 상호 연관, 연결되지 못한 채 건설되어 공간이용의 효율성이 미흡하여 국토의 효율적 개발 측면에서 문제가 되고있다. 난립한 지하시설에다가 불충분한 설비와 방재시설로 효율적인 유지관리도 어려워지고 있는 상황이다.

### 3.2 대책

지하공간의 특성은 한번 개발되면 원상복구가 불가능하고 개발된 주변 지상과 지하의 모든 사용에 영향을 미치므로 미흡한 계획에 의해 훼손되지 않도록 모든 지하공간개발에 책임있는 계획수립이 요구된다. 지하공간이 지상과 연계되도록 계획적 개발이 되어야 한다. 과밀한 대도시 활성화와 지방의 풍부한 자연보호를 위하여 관계, 산업계, 학계에서 사회기반시설의 지하화에 대한 검토가 진행되어야 하며 또한 정부는 지하의 무질서한 개발을 규제하고 계획적인 개발을 추진하기 위해 일정 규모 이상의 도시 등을 대상으로 기본적인 지하시설



의 배치계획과 장래의 지하공간이용계획을 다룬 지하이용 마스터플랜마련이 시급하다. 국제터널협회의 지하공간개발선언에서와 같이 국가는 지하공간의 적절한 사용, 지질조건 규명, 우선사용규정 및 발생가능한 사용분쟁에 대한 해결 등을 위해 지침, 기준, 분류 등을 제정하여야 한다. 또한 지금까지 산발적으로 개발되고 있는 지하공간 시설물들에 대한 자료들이 체계적, 종합적으로 수집, 자료화 할 필요가 있다. 모든 지역에서의 지하사용에 대한 상세한 기록관리를 위하여 영구적 기록보존시스템 설립이 필요하다. 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(소음, 온도, 습도, 오염방지, 화재, 방재, 배수 등) 등이 있다. 경제적인 면에서는 굴착기술의 발달로 지하시설물의 공사비는 감소되고 있는 데 반하여 지상의 지가는 꾸준히 상승되고 있어 지하공간의 경제성이 호전되고 있다. 법적인 면에서는 지하시설의 활성화를 위하여 현재 개발법에 의거하여 개발 주체별로 집행되고 있는 각종 법, 규정, 제도가 하루빨리 통합 일원화되어야 한다. 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(CO<sub>2</sub>)의 농도가 높아질 수 있으나 온습도 조절과 환기회로 개선 및 환기 설비의 보완으로 해결될 수 있으며 디자인 측면에서 지상과 다른 것은 아름답고 쾌적한 환경을 만들어야 할 것이다.

#### 4. 결론

국토가 협소하고 인구가 과밀한 우리나라에서는 지하를 새로이 개척해야할 국토, 무한한 잠재가치를 지닌 자원으로 재평가하고 입체적인 국토이용을 통하여 토지이용, 자연환경보호와 에너지 절약을 위한 시설로서 적극 개발할 필요가 있다. 우리나라는 1970년 이후로 지하공간 개발이 다양화 되고 있으며 최근에는 대규모화 되고 있는 추세이다. 지금까지는 개발주체별로 수요에 따른 무질서한 개발이 되어 연계성이 부족하여 국토의 효율적 개발측면에서 많은 문제가 있어왔다. 앞으로는 관련기술개발과 법제도의 수립과 함께 국가적차원에서의 지하공간이용계획 마스터플랜이 마련되어 체계적이고 미래지향적인 거시적면에서 개발할 필요가 있다.

#### 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본연구사업인 “지하암반내 열에너지 저장을 위한 핵심기술개발(과제코드 GP2012-001)”의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

1. MLTM, 2011, Manual on rail affair, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 235p (in Korean).
2. Molit, 2013, Current status of bridges and tunnels, e-narajipyo, Ministry of Land Infrastructures andTransport, ([http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO\\_STT\\_S\\_idxMain.jsp?idx\\_cd=1213&bbs=INDEX\\_001&clas\\_div=A](http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO_STT_S_idxMain.jsp?idx_cd=1213&bbs=INDEX_001&clas_div=A)) (in Korean).
3. Lee, S.K, Kim, J.W, and Suh, K, C, 2002, Hanriver tunnel, Tunnelling Technology, 2, 3, 40-47.
4. Kim, Y.I, Kim, D.H, and Cho, S.K, 2003, Determination of a large shield TBM for a tunnel under the Han river in the Bundang railway, Proc. of Fall Annual Conference, The Korean Society for Railway, 569-578.
5. Kyung, S.H, Yoon, S.H, and Kwak, T.H, 2000, Case study of Kumho river tunnel, Tunnelling Technology, 44-58.
6. Oh, B, S, Yoon H,D, Choi, K.H, and Lim J, S, 2007, A Study of large diameter shield TBM excavation passing through Soo-Young Riverbed in Pussan (Pussan Subway Line II, Section 230), Proc. of KSCE Tunnel Committee Special Conference, 27th Dec., 75-95.
7. Shin, H.S, 2006, Subsea tunnels and related technology, Proc. of the Rock Mechanics Symposium, Korean Society for Rock Mechanics, 1-10(in Korean).
8. Huh, D.H, Park, M.R, and Hong, E, J, 2012, The first design case of the mined subsea road tunnel(Boryung)in Korea, Yooshin Journal. No.18, pp.277-292 (in Korean).
9. Seoul Development Institute, 2006, The establishment of the masterplan for underground space development in Seoul Metropolitan, 503p (in Korean).
10. National Underground Shoppingmall Union, 2013, Current status of underground shopping mall in Korea ([http://www.edaehyun.com/family/family\\_underko.html](http://www.edaehyun.com/family/family_underko.html)) (in Korean).
11. Jeon, J.S., Jung, W.S., and Park H.G., 2007, Water supply tunnels for multi-regional and industrial water supply system in Korea, Korean Society of Civil Engineers, 55, 8, 116-123 (in Korean).
12. Kwater, 2012, Annual report of water resources management, Korea Water Resources Corporation, 447p (in Korean).
13. KTA, 2009, Tunnels and underground space in Korea, Korea Tunnelling Association, CIR, Seoul, 498p (in Korean).
14. KNOC, 2013, Operation of stockpiling facilities, Korea National Oil Corporation ([www.knoc.co.kr/sub03/sub03\\_4\\_3.jsp](http://www.knoc.co.kr/sub03/sub03_4_3.jsp)) (in Korean).
15. Shin, H.S., Bae, G. J., and Lee, C. I., 2001, The design

- and construction of underground space in Korea, Proc. of the 2nd Asian Rock Mechanics Symposium, 23-26.
16. Gysang Lee and Chungin Lee, 2005, Analysis of in-situ temperature measurement at Gonjiam cold storage cavern, Tunnel & Underground Space, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, 15, 3 169-176 (in Korean).
  17. Yongbok Jung, Chan Park, Sokeul Chung, Woocheol Jeong, and Hoyeong Kim, 2006, Simulation of ice ring formation around cryogenic underground storage cavern using hydro-thermal coupling method, Tunnel & Underground Space, Journal of Korean Society for Rock Mechanics. 16, 3, 241-250 (in Korean).
  18. Changsoo Lee, Sangki Kwon, Jongwon Choi, and Seokwon Jeon, 2011, An estimation of the excavation damaged zone at the KAERI underground research tunnel, Tunnel & Underground Space, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, 21, 5, 359-369 (in Korean).
  19. Chansung Oh and Junmo Kim, 2008, Three-dimensional numerical simulation of groundwater flow and salt and radionuclide transport at a low and intermediate level radioactive waste disposal site in Gyeongju, Korea, Journal of the Geological Society of Korea, 44, 4, 489-505 (in Korean).



### 신 희 순

1976년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
 1978년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
 1986년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사

Tel: 042-868-3240

E-mail: shinhs@kigam.re.kr

현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 책임연구원

---