

다양한 용도의 지하공간 개발을 위한 우리의 역량 제고



장석부*
삼성물산 건설부문
부장



김응태
삼성물산 건설부문
성무



이승복
삼성물산 건설부문
부장



김영근
삼성물산 건설부문
부장

1. 서언

우리 학회의 명칭을 ‘한국터널공학회’에서 ‘한국터널지하공간학회’로 확장변경하는 계기로 금월호부터 지하공간 특집이 게재될 계획이고 본 고가 그 첫머리를 장식하게 되어 과분한 영광과 함께 부담을 느낀다. 첫 번째인 만큼 특정 프로젝트의 소개보다는 먼저 우리의 경험을 통해 지하공간 개발을 위한 역량을 검토하여 우리가 보완해야 할 방향을 제시하였다.

이에 앞서, 도로, 철도, 지하철, 비축기지, 양수발전소와 같은 사회기반시설물 뿐 아니라 우리의 경험이 적지만 일반인에게 친숙하게 다가갈 수 있는 다양한 용도의 지하공간에 대해 조사해 보았다. 그 결과 표 1과 같이 15개 분야에 20개의 시설이 가능한 것으로 조사되었으며, 우리가 익숙하게 건설해 온 사회기반시설에 비해 이러한 시설들의 두드러진 특징은 일반 대중의 일상생활 및 친환경기반시설과 밀접한 관계가 있다는 것이다. 이러한 시설이 지

하공간에 계획되는 경우에 3개 주요 특성에 기인한 총 15개의 장점이 시설특성에 따라 반영될 수 있다. 표 1은 20개 용도의 시설이 지하공간에 계획되는 경우에 얻어지는 장점의 상관관계를 정리한 것이다. 지하공간의 장점은 토지이용 효율을 극대화 할 수 있다는 측면이 잘 알려져 있으나, 이와 더불어 최근에는 에너지효율, 환경보존, 지구온난화에 의한 이상기후 대응성 측면에서도 우수한 장점이 있다.

한편, 일반대중을 위한 문화, 레저, 휴식시설은 문화적, 경제적으로 선진화된 국가의 도시지역에서 그 수요가 발생하고 있다. 따라서 이러한 시설은 도심 또는 도심근교에 위치하여야 하며, 형상적으로는 교통터널과 같은 긴 선형(線形)구조가 아닌 바닥이 직사각형 또는 정방형이고 단면폭이 커야 효율성이 크다. 노르웨이의 여빅아이스하키장은 폭이 세계에서 가장 넓은 61m의 대단면 지하공간이고 도시근교에 계획된 것으로 표 1의 내용중 최고의 정수를 보여주고 있다.

표 1. 지하공간의 장점을 활용할 수 있는 다양한 계획(translated and reproduced from Tobishima, 1994)

		전시시설	공연·상업시설	공공이용시설	레저시설	숙박시설	비즈니스시설	상업시설	농산물시설	산업시설	물류시설	교통시설	홍조조절·대피시설	처리시설	에너지시설	종교시설					
		박물관·갤러리	공연장·극장	교회·컨벤션홀	체육관·테마파크	레크레이션시설·헬스리조트	컴퓨터센터	신당	인근공업시설	R&D 시설	인쇄산업시설	식품저장고·냉동고	물류배달센터	주차장·주차장	재난대피소	환경재난대피시설	하수처리시설	담수·수처리시설	발전소	지역난방시설	주요공원·장래시설
환경적특성으로 인한 장점	냉방조절용이	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○								
	음향환경조절용이	○	○	○	○	○															○
	뛰어난 내진성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	외부기후에 영향이 적은 차폐성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										
	외부 먼지, 악취 유입 차단용이	○	○			○	○	○	○	○							○	○			○
	전자기파, 방사능 차단우수	○				○			○	○									○		
	외부진동에 영향적음							○		○	○										
구조적특성으로 인한 장점	토지이용 효율 우수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	지상환경 보존	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	환경오염에 대한 대비시설	○	○	○		○	○			○	○						○				
	지상재해로부터의 대피	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○					○	○	○
	다양한 형태 구현 가능		○		○								○	○					○		
	지상토지이용에 영향없이 신규건설가능	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
심리적특징으로 인한 장점	장엄한 환경연출 용이	○	○	○		○															○
	일상적으로 접하기 어려운 신비하고 특별한 환경공간 창출용이	○	○	○	○																○

다양한 용도의 지하공간개발을 위한 기본 전제는 도심지에서 대형지하공간을 건설할 수 있어야 한다. 이에 본고에서는 사회기반시설의 건설경험을 토대로 대형지하공간개발에 필요한 요소기술에 대한 우리의 역량을 검토해 보았다. 또한, 이러한 노력의 일환으로 우리학회 주관으

로 수행한 “대형 대단면 지하공간 창출을 위한 지하공간 건설기술 연구”의 성과물인 지하공연장 계획사례를 간략하게 소개하였다. 이를 통해 지하대공간 개발에 대한 우리의 건설기술 역량을 평가하고 우리가 보완해야 할 부분을 토의하였다.

2. 대형지하공간 건설에 필요한 요소기술과 실적

대형지하공간 개발에 요구되는 요소기술은 1) 대단면 캐번 건설, 2) 접근터널, 3) 환기용 수직구 건설로 구성될 수 있다.

첫 번째 대단면 캐번건설 실적으로는 유류지하버축지, 양수발전소와 같이 비도심 지역의 실적은 풍부하나 도심지 실적은 부족하다. 새로운 용도의 지하공간은 도심지 또는 도심근접지에 위치하여야 한다. 그러나 표 2에 보이는 바와 같이 우리가 이미 건설한 도심지 지하철 터

표 2. 도심지 대단면 터널정거장 건설사례

단면	특징
	<ul style="list-style-type: none"> • 분당선 왕십리-선릉간 3공구 청담정거장 • 발주처 : 한국철도시설공단 • 단면규모 <ul style="list-style-type: none"> - 폭 22.66m, 높이 11.83m - 단면적 228m², 연장 107m • 비 고 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 압구정동 청담사거리 - 경암지반
	<ul style="list-style-type: none"> • 대전도시철도 1호선 5공구 • 발주처 : 대전도시철도공사 • 단면규모 <ul style="list-style-type: none"> - 폭 28.13m, 단면적 284.7m² • 비 고 <ul style="list-style-type: none"> - 토피 20m, 저심도 풍화대지반 - 대전역사 및 경부선 하부통과
	<ul style="list-style-type: none"> • 서울지하철 6호선(6-4공구) 녹사평정거장 • 발주처 : 서울시 지하철건설본부 • 단면규모 <ul style="list-style-type: none"> - 폭 24m, 높이 16m - 단면적 366m², 연장 200m • 비 고 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 최대 단면적의 도심터널 - 2단 벤치, 10분할 굴착 - 대형 강재거푸집 이용 현장타설 콘크리트 라이닝

널정거장은 그 규모에 의하면 표 1의 다양한 용도의 지하 공간규모를 충분히 만족할 수 있다.

접근터널과 환기용 수직구 건설기술관련해서는 영동선 솔안터널(연장 16.3km, 사갱 2개소, 환기수직구 1개소) 과 동홍천-양양간 인제터널(연장 11km)을 비롯한 수많은 장대터널에서 충분한 경험을 축적하고 있다. 따라서, 도심지 또는 도심근접지에서 대형 지하공간을 건설하는데 필요한 건설기술은 충분히 축적되어 있다고 판단된다.

3. 지하공연장 기획사례

3.1 개요

본 사례는 국토해양부 연구개발사업인 “대형 대단면 지하공간 창출을 위한 지하공간 건설기술 연구”의 성과물로서 우리학회 회원들로 구성된 연구단 성과를 토대로 지하대공간 시설의 기술적 타당성을 평가하는 것이 목적이었다.

본 연구에서 설정한 지하대공간 캐번의 위치는 그림 1과 같이 서울 강남구 서초동의 우면산 일대(예술의 전당 인접)로 정하였으며 우면산 지하에 폭 65m, 길이 120m, 높이 35m의 캐번과 지상에서 캐번으로 연결되는 진입터널 2개소를 건설하는 것으로 계획하였다. 캐번 내부의 건축시설은 2층으로 구성하여 공연장, 관람시설, 전시시설

등, 종합 문화공연장 시설로 계획하였다. 상세한 시설규모 및 배치계획은 표 3, 그림 2, 3, 4와 같다.

3.2 지반조건 및 이를 고려한 지하공연장 방위결정

대상지역의 지반조사결과는 기존에 조사된 관련자료를 참고로 하여 그 결과를 정리하였다. 대상지역의 지반응력 측정결과 수직응력은 1.608~2.206MPa, 최소수평응력은 2.402~3.505MPa(N30°W), 최대 수평응력은 4.181~5.536MPa(N60°E)로 조사되었으며 이러한 결과를 통해 추정된 대상지역의 축압계수는 1.5~2.6까지 분포하는 것으로

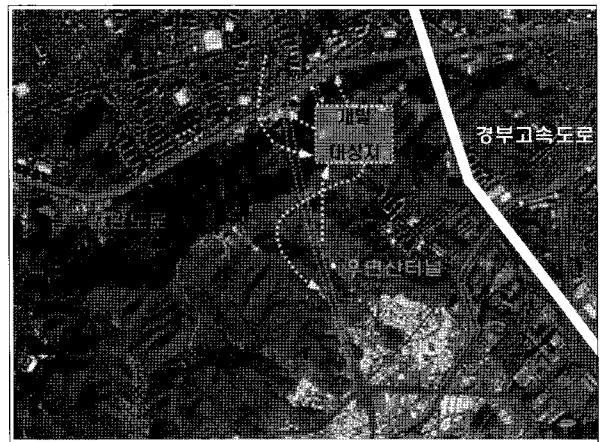


그림 1. 개발대상지 위치도

표 3. 건축구조물 용도별 개소 및 면적

구분		개소	면적	합계
지하1층	공연장(오페라, 뮤지컬)	1	2,900m ²	7,070m ² (2,138평)
	관람시설(소극장, 콘서트홀)	2	2,400m ²	
	전시시설(기획, 특별)	4	1,770m ²	
지하2층	공연장(오페라, 뮤지컬)	1	3,500m ²	7,670m ² (2,320평)
	관람시설(소극장, 콘서트홀)	2	2,400m ²	
	전시시설(기획, 특별)	4	1,770m ²	
합계	-	-	-	14,740m ² (4,458평)

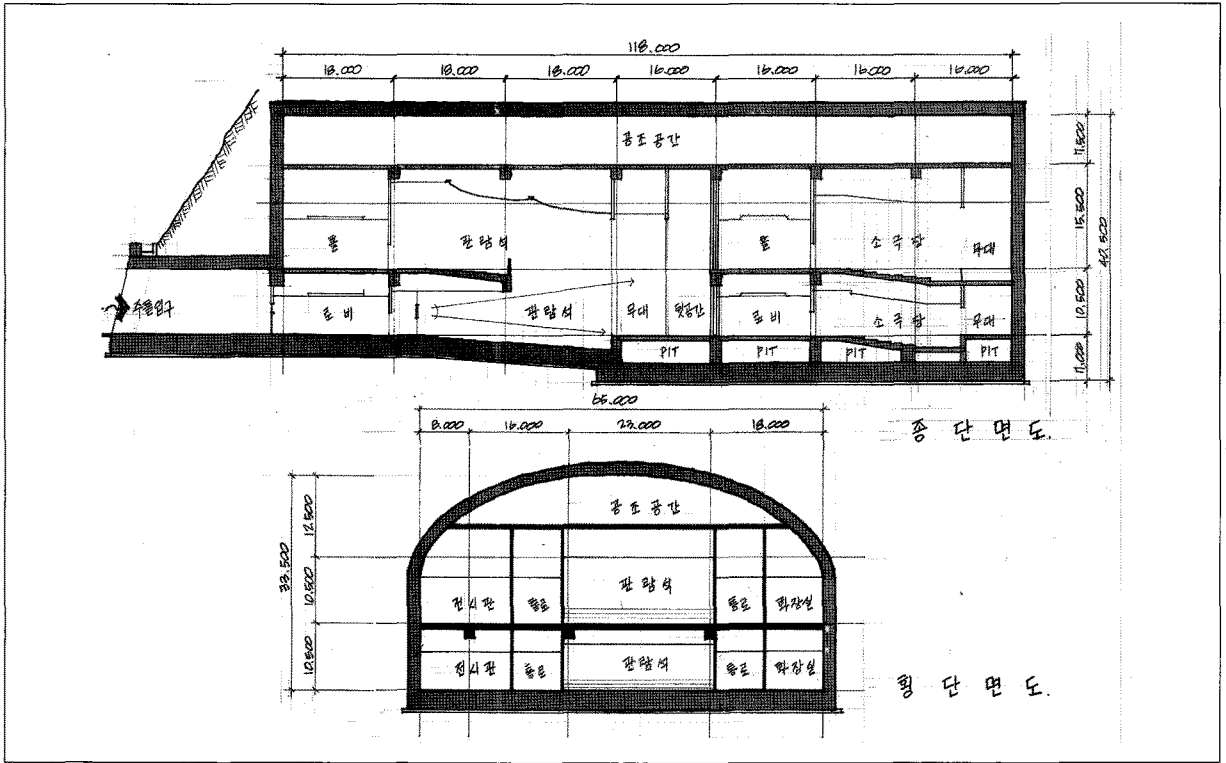


그림 2. 공연장 종단 및 횡단면도

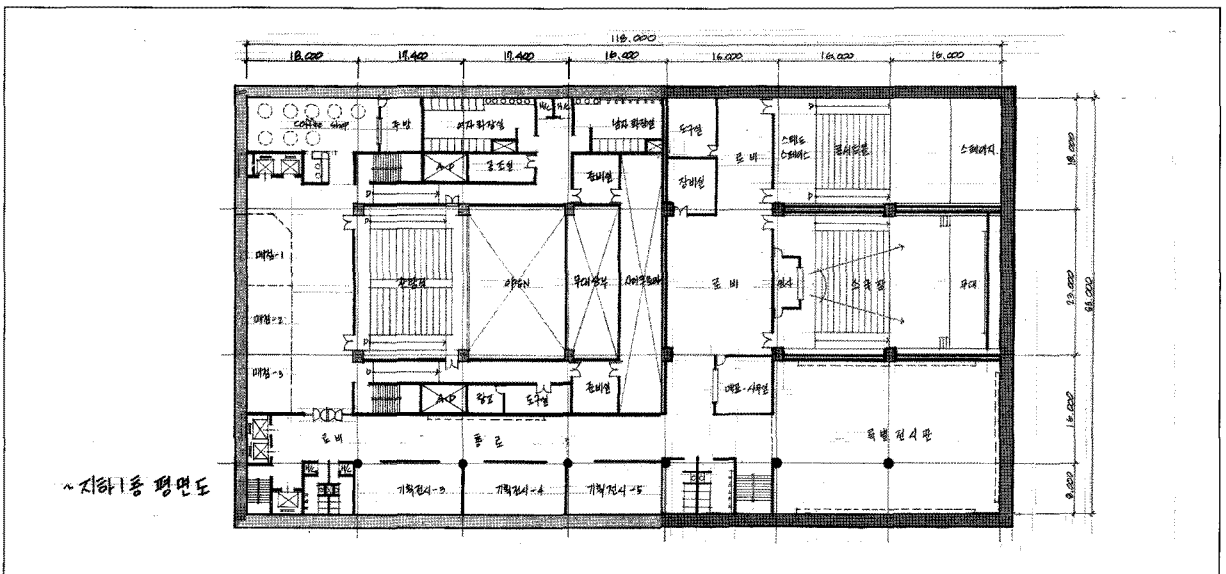


그림 3. 공연장 평면도(지하층)

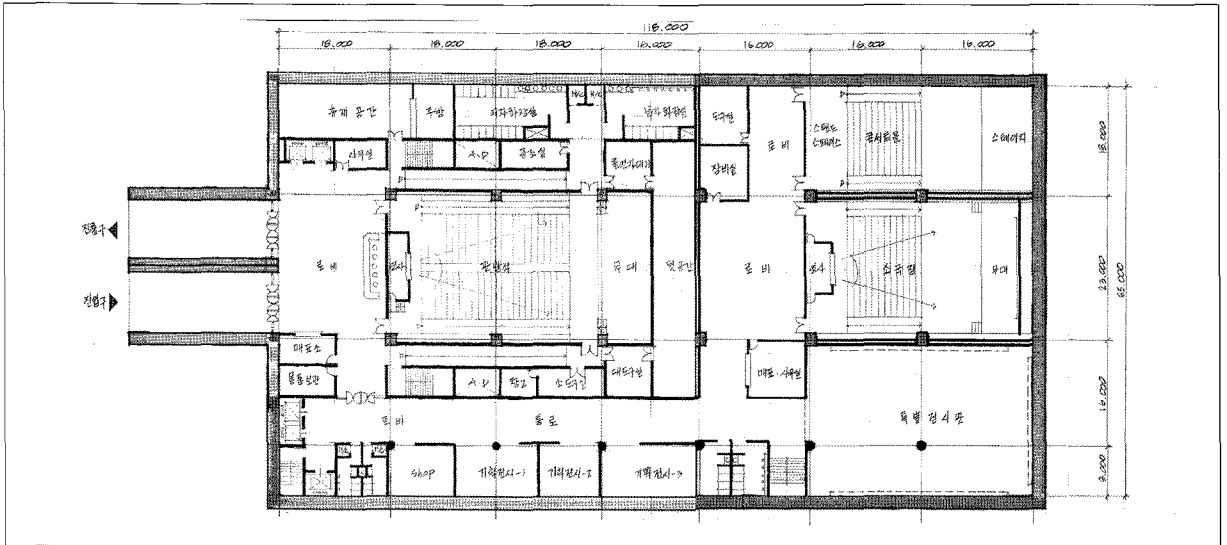
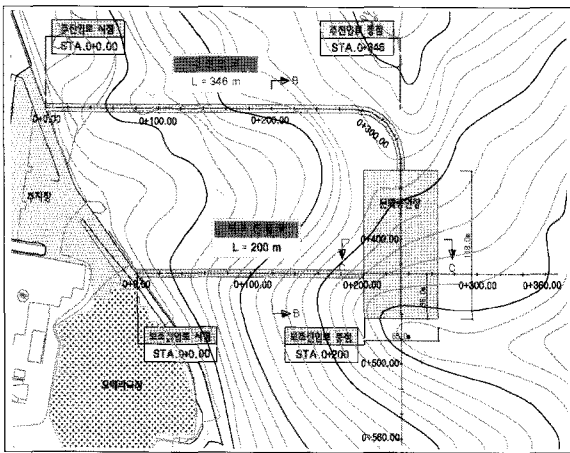
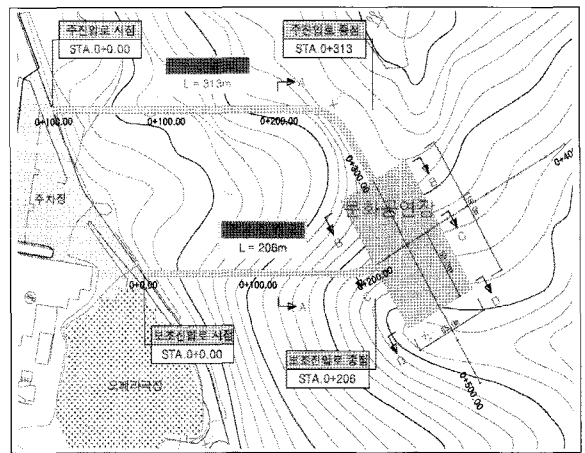


그림 4. 공연장 평면도(지하2층)



(a) 개발계획단계



(b) 공연장 배치 보완결과 반영

그림 5. 지하공연장 평면도

조사되었다. 암석의 물성을 조사한 결과 암종은 편마암이 주종을 이루며 일축압축강도는 70~130MPa, 탄성계수는 48,100~86,900MPa, 점착력은 14.3~23.4MPa, 그리고 내부마찰각은 32~38°의 분포를 나타내었다.

이와 같은 지반조사결과와 관련하여, 개발계획구상 단계에서 입지현황분석을 통하여 계획한 지하공연장의 위

치를 재조정하는 작업을 수행하였다. 이를 위하여 블록이론에 기초한 3차원 한계평형 해석 및 통계적 절리모델링 해석을 수행하였다. 개발계획단계에서 작성한 평면은 그림 5(a)와 같으나 조사단계에서 획득한 현지응력 및 불연속면 자료를 이용하여 해석한 결과 공동의 축방향을 그림 5(b)와 같이 조정하였다.

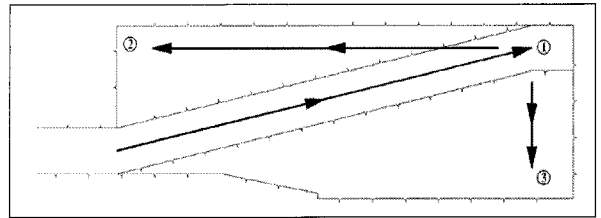
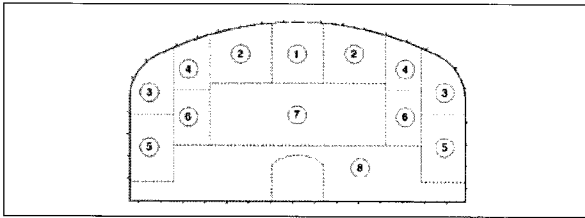


그림 6. 문화공연장 분할굴착계획

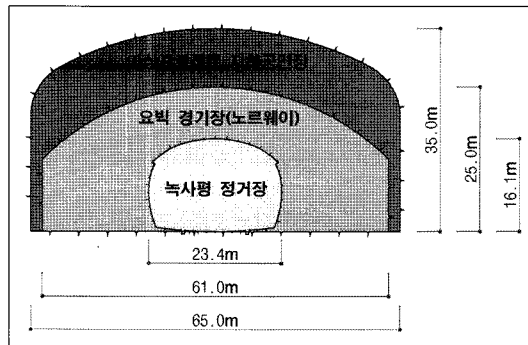


그림 7. 국내의 지하대공간과 지하공연장의 단면 비교

3.3 굴착 및 지보

지하공연장의 굴착계획은 먼저 주 진입로 및 보조 진입로를 굴착하여 시공중 작업 및 환기 배수로로 이용을 하며 주진입로 종점부에서 지하공연장을 다단계굴착으로 확장하는 방식으로 굴착계획을 수립하였다(그림 6).

지하공연장의 단면형상은 그림 7과 같으며 폭 65m, 높이 35m로서 현존하는 지하공간중 최대폭을 자랑하는 노르웨이 여빅 아이스하키장의 61m 보다 4m가 넓다. 대상지역은 편마암이 분포하고 있으며, 암반은 양호한 상태에서 평균 RMR은 71, Q값은 20 정도이다.

지하대공간의 지보설계는 암반보강의 주된 기능, 또는 단면폭에 비례하는 규모의 낙반을 록볼트와 케이블볼트가 지지하고 슛크리트는 이러한 볼트 반력을 굴착면에 분배하는 기능과 소규모 낙반을 방지하는 역할로 한정하는 것을 기본개념으로 한다. 본 지하공연장의 지보재로써 슛크리트, 록볼트 및 케이블볼트를 고려하였으며, 낙반의

크기 및 절리형상에 따라 현장에서 선택 적용할 수 있도록 2종류의 지보패턴을 제안하였다. 단일라이닝 구조로서의 슛크리트는 설계강도를 35MPa의 고성능 및 고내구성 슛크리트를 적용하였다. 표준지보패턴은 표 4와 같이 2개를 계획하였으며, 연속체 및 불연속체 수치해석을 통해 대상지역의 지반조건에 대해 안정성이 충분히 확보되는 것으로 분석되었다.

4. 맺음말

지난 20여년간 축적된 우리의 지하공간 건설경험에 의하면 도심지에서도 대형지하공간 개발이 충분히 가능하다고 평가할 수 있다. 또한, 비록 연구단 수준의 가상프로젝트이지만 세계 최대폭의 지하공연장을 계획한 바에 의하면, 서울도심 근접지에서도 노르웨이의 여빅아이스하키장과 같은 대형 지하공간 건설이 충분히 가능하다고 사

표 4. 표준지보패턴

구분		패턴 A	패턴 B	
개념도				
굴착공법 (발파)		다단계 분할굴착	다단계 분할굴착	
1회굴진장(m)		2.5	2.5	
샷크리트 두께(mm)		100 (강섬유)	100 (강섬유)	
록 볼 트	길이(m)	6.0	6.0	
	간격(m)	종방향	2.5	2.5
		횡방향	2.5	2.5
케 이 블	천 단 부	길이(m)	15.0 (2연선)	15.0 (7연선)
		간격(m)	종방향	5.0
	측 벽 부		길이(m)	12.0 (2연선)
간격(m)		종방향	5.0	7.5
	횡방향	5.0	7.5	

료된다. 따라서 사회기반시설의 건설을 통해 축적된 역량을 토대로 일반인과 밀접한 다양한 지하공간건설은 기술적으로는 충분히 타당성이 있다고 볼 수 있다.

그럼에도 불구하고 과밀한 우리나라 도심지에서는 아직도 새로운 용도의 지하공간 개발이 가속화되기보다는 오히려 빌딩이 고층화되는 현상이 심화되는 경향이다. 이를 개선하기 위해서는 다음과 같은 노력이 필요하다고 사료된다.

첫째는 지하공간 건설에 대한 사회적 인식 개선이다. 이는 단시간에 극복하기는 어려우나 시간을 단축하기 위해서는 정부기관, 지자체 등의 정책입안 관계자와의 교류를 통해 지하공간의 장점을 이해시키도록 노력할 필요가 있다.

둘째는 건축, 레저, 문화 분야 등과의 협력이 필요하다. 일반인에게 친숙한 시설의 수요는 이러한 분야의 전

문가들이 잘 이해하고 있다. 따라서 이 분야의 시설을 지하공간으로 유도할 수 있도록 많은 교류가 필요하다.

결과적으로, 내부적으로는 우리학회를 중심으로 단계를 하되 대외적으로는 우리가 필요한 다양한 분야에 대한 열린사고가 필요하다. 다행스러운 점은 우리학회는 이미 토목, 자원, 지질, 기계, 전기 등의 다양한 회원들로 구성되어 “다분야학회”가 되어 있기 때문에 큰 어려움은 없을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국터널공학회(2008), 대형·대단면 지하공간 가상프로젝트-우면산 지하 대중문화 공연장 건설계획
2. Dobishima Coporation(1994), The proposal of Subsurface Use, For creation of new space and effective use.