

대중문화공연장 건설을 위한 지하대공간 캐번 타당성 연구

장석부, 홍의준((주)유신코퍼레이션)

1. 개요

본 연구는 국토해양부 연구개발사업인 “대형 대단면 지하공간 창출을 위한 지하공간 건설기술 연구”의 성과물로서 현재까지의 연구단 성과의 적용성 평가와 지하대공간 시설의 기술적 타당성을 평가하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 서울 남부지역에 위치한 예술의 전당 인근 우면산에 지하대중문화공연장의 가상건설계획을 수립하였다.

본 연구에서 설정한 지하대공간 캐번의 위치는 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.



그림 1.1 개발대상지 위치도

2. 지반조사

대상지역의 지반조사결과는 기존에 조사된 관련자료를 참고로 하여 그 결과를 정리하였다. 대상지역의 지반응력 측정결과 수직응력은 1.608 ~ 2.206 MPa, 최소수평응력은 2.402 ~ 3.505 MPa (N30°W), 최대 수평응력은 4.181 ~ 5.536 MPa (N60°E)으로 조사되었으며 이러한 결과를 통해 추정된 대상지역의 축압계수는 1.5 ~ 2.6까지 분포하는 것으로 조사되었다. 암석의 물성을 조사한 결과 암종은 편마암이 주종을 이루며 일축압축강도는 70 ~ 130 MPa, 탄성계수는 48,100 ~ 86,900 MPa, 침착력은 14.3 ~ 23.4 MPa, 그리고 내부마찰각은 32 ~ 38°의 분포를 나타내었다.

이와같은 지반조사결과와 연관하여, 개발계획구상 단계에서 입지현황분석을 통하여 계획한 지하공연장의 위치를 재조정하는 작업을 수행하였다. 이를 위하여 블록이론에 기초한 3차원 한계평형 해석 및 통계적 절리모델링 해석을 수행하였다. 개발계획단계에서 작성한 평면에서는 공동축의 선주향이 약 60°이나 조사단계에서 획득한 현지응력 및 불연속면 자료를 이용하여 해석한 결과 공동의 축방향을 최소수평응력방향인 선주향 150° 또는 330°로 하는 것이 바람직한 것으로 판단되어 최종적인 지하공연장 캐번의 배치를 확정하였다.

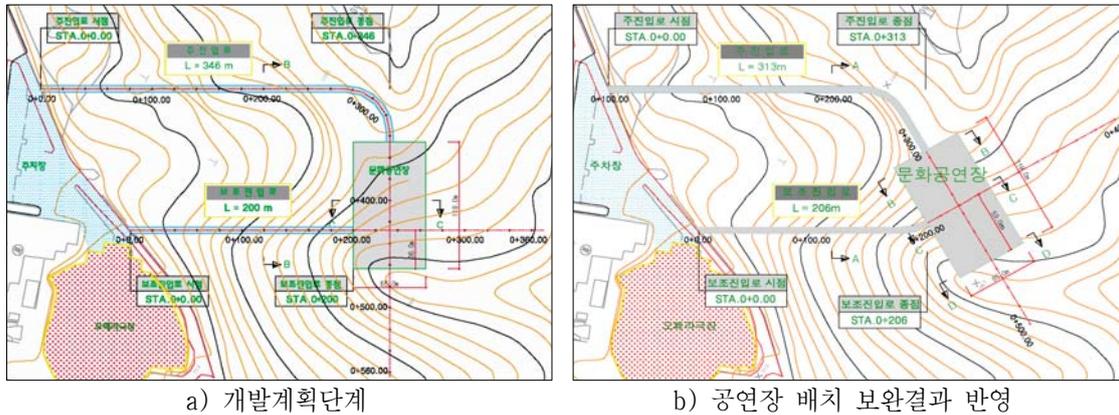


그림 2.1 지하공연장 평면도

3. 기본설계

3.1 굴착계획

지하공연장의 굴착계획은 먼저 주 진입로 및 보조 진입로를 굴착하여 시공중 작업 및 환기 배수로로 이용을 하며 주진입로 중점부에서 지하공연장을 다단계굴착으로 확장하는 방식으로 굴착계획을 수립하였다. 주진입로는 공연장방향으로 +0.58의 상향구배이며 보조진입로는 +0.50의 상향구배로 굴착하여 자연배수가 가능하도록 계획하였다.

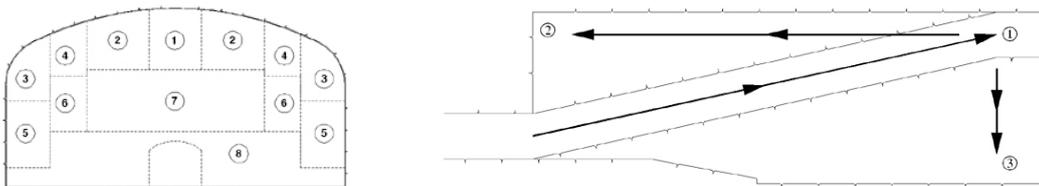


그림 3.1 문화공연장 분할굴착계획

3.2 지보설계

지하공연장의 단면형상은 아래 그림과 같으며 폭 65m, 높이 35m로서 현존하는 지하공간중 최대폭을 자랑하는 노르웨이 여빅 아이스하키장의 60m 보다 5m가 넓다. 대상지역은 편마암이 분포하고 있으며, 암반은 양호한 상태로서 평균 RMR은 71, Q값은 20 정도이다.

지하대공간의 지보설계는 암반보강의 주된 기능, 또는 단면폭에 비례하는 규모의 낙반은 록 볼트와 케이블볼트가 지지하고 슛크리트는 이러한 볼트 반력을 굴착면에 분배하는 기능과 소 규모 낙반을 방지하는 역할로 한정하는 것을 기본개념으로 한다.

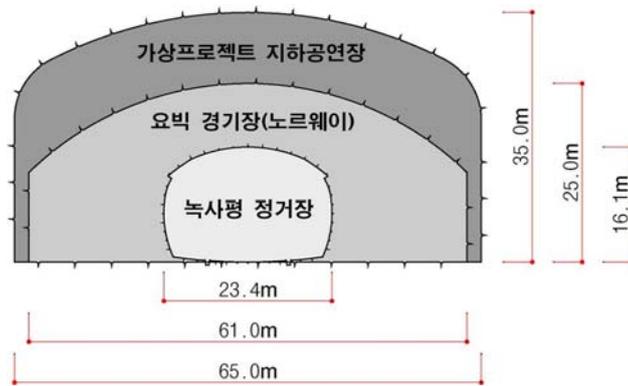


그림 3.2 국내외 지하대공간과 지하공연장의 단면 비교

본 지하공연장의 지보재로써 숯크리트, 록볼트 및 케이블볼트를 고려하였으며, 낙반의 크기 및 절리형상에 따라 현장에서 선택 적용할 수 있도록 2종류의 지보패턴을 제안하였다.

단일라이닝 구조로서의 숯크리트는 설계강도를 35MPa의 고성능 및 고내구성 숯크리트를 적용하였다. 록볼트는 국내에서 사용하는 일반 록볼트를 적용하였으며 케이블볼트를 추가적으로 적용하였다.

표 3.1 표준지보패턴

구 분		패턴 A	패턴 B
개념도			
굴착공법 (발파)		다단계 분할굴착	다단계 분할굴착
1회굴진장(m)		2.5	2.5
숯크리트 두께(mm)		100 (강섬유)	100 (강섬유)
록 볼 트	길이(m)	6.0	6.0
	간격(m)	종방향 2.5 횡방향 2.5	종방향 2.5 횡방향 2.5
케 이 블	길이(m)	15.0 (2연선)	15.0 (7연선)
	간격(m)	종방향 5.0 횡방향 5.0	종방향 7.5 횡방향 7.5
볼 트	길이(m)	12.0 (2연선)	12.0 (7연선)
	간격(m)	종방향 5.0 횡방향 5.0	종방향 7.5 횡방향 7.5

3.3 발파설계

지하공연장은 다단계굴착으로 계획되어 있다. 아치부 굴착시에는 수평장공발파를 수행하고 하반부 굴착시에는 연직으로 천공하여 벤치발파를 수행하는 것으로 계획하였다. 또한 주진입 터널 및 보조진입터널은 전단면발파를 수행하는 것으로 계획하였다.

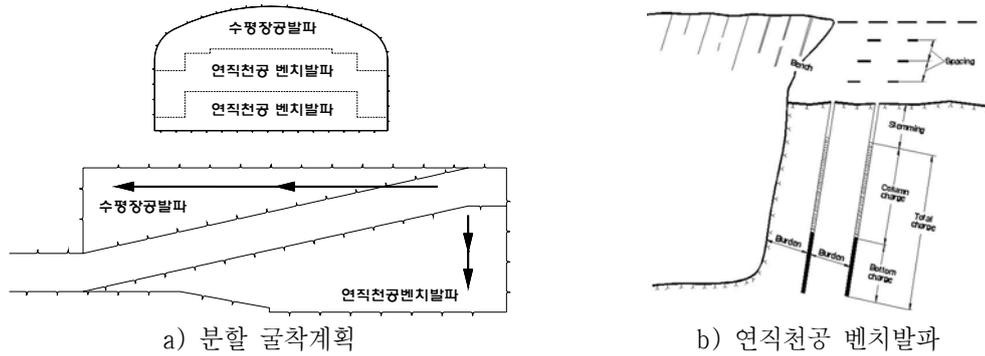


그림 3.3 지하공연장 분할굴착시 발파계획

3.4 터널안정해석

본 과업과 같은 캐번 구조물은 아치효과가 저하되고 숏크리트는 축력저항 효과가 감소하여 대규모 낙반 및 절리거동과 같은 요소들이 안정성에 더욱 중요한 요소가 된다. 이에 대응하여 적용한 케이블 볼트 및 고강도 숏크리트의 적정성을 평가하기 위하여 연속체 및 불연속체 해석을 수행하였다. 또한 본 연구단의 연구결과중 하나인 IT를 이용한 안정성 검토를 병행하였다. 본 해석방법은 기존의 다양한 단면과 지반조건에 대한 해석결과를 데이터베이스화하여 이를 인공지능망 해석모델로 학습된 프로그램으로서 새로운 단면 및 지보패턴이 주어졌을 때 통계적인 방법을 이용하여 안정성을 검토하는 기법이다.

기존의 안정해석기법 및 본 연구단에서 개발한 안정해석 검토 결과 변위는 미소한 것으로 나타났으며 지보재의 응력은 두 해석법에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 지보재력은 모든 해석법에 있어 허용치 이내의 값으로 적용지보패턴은 적절한 것으로 판단되었다.

표 3.2 터널 안정성 해석결과

구분		A안	B안
기존 터널안정성해석	캐번변위	천단(mm)	-0.46
		내공(mm)	0.80
	숏크리트 응력(MPa)	4.1	3.2
	록볼트 축력(kN)	6.1	17.9
IT를 이용한 터널안정성 해석	캐번변위	천단(mm)	-6.1
		내공(mm)	8.7
	숏크리트 응력(MPa)	3.0	3.0
	록볼트 축력(kN)	8.6	9.5

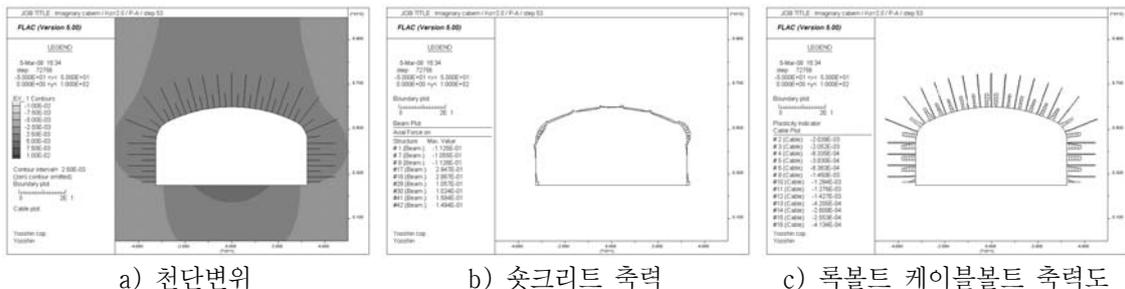


그림 3.4 해석결과도(A안)

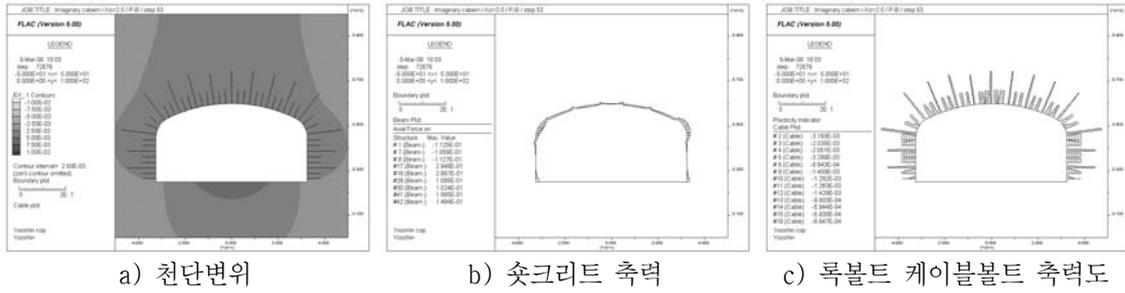


그림 3.5 해석결과도(B안)

3.5 기타계획

Cavern과 같은 대단면 지하공간 건설시 단층대 등의 연약대는 시공안정성에 큰 영향을 미치게 되므로, 굴착중 계측관리를 통한 막장 전방 지질의 사전 예측이 필수적이다. 여기에서는 광파기 측량을 통한 계측자료로부터 상관매트릭스를 구성하여 막장 전방 지질을 예측하는 방법과 막장 선행변위계를 통해 선행변위를 측정함으로써 막장 전방 지반정보를 얻는 방법을 적용하는 것으로 계측계획을 수립하였다.

본 연구에서는 지하공연장에는 Single shell 방식을 도입하고 진입터널에는 Double shell 방식을 도입함으로써 각각 구조물에 적합한 방배수 시스템을 선정하였다.

단일 라이닝 수처리 시스템에서는 그림 4.6에서 보는 바와 같이 굴착면의 지반을 견고하게 하기 위해 표면의 일정부분까지 시멘트물 등으로 보강하여 그라우팅 층을 형성한다. 내주연에는 그라우팅 층 내벽의 거친 면을 고르게 하고, 굴착면으로부터의 누수를 방지하기 위해 숯크리트로 보강한 숯크리트 보강면과, 숯크리트 보강면에서의 누수를 유입한 후 숯크리트 보강면의 외부로 유입된 누수를 유출케 하는 도수파이프와, 숯크리트 보강면의 내주연을 마감처리 하면서 도수파이프로부터 유출되는 누수를 저부로 유도케 하는 도수판으로 구성된다.

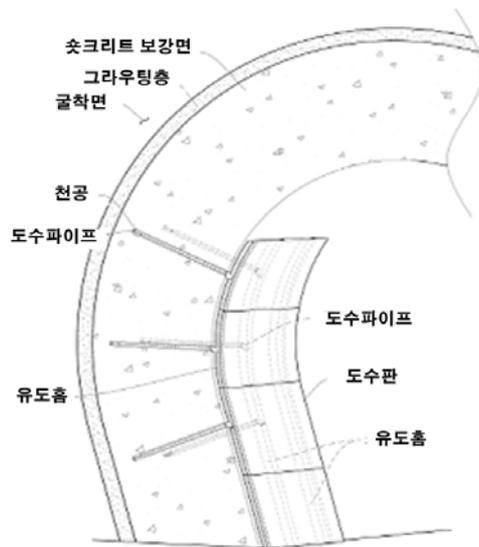


그림 4.6 단일 라이닝 수처리 시스템

4. 지상건설 대비 지하시설의 장단점 비교

본 연구를 진행함에 있어 사업의 타당성을 검증하기 위해서 지상에서의 건설에 대한 지하건설의 장단점을 비교 검토하였다.

건설부지의 확보 측면에서 볼 때, 지하공간은 지상공간에 비해 토지수용면적이 적고 토지보상비용이 적어 경제성 및 민원방지 측면에서 매우 유리하다.

시설의 유지관리 측면에 있어 지하공간은 지상에 비해 동계 난방비 및 하계 냉방비를 크게 절감할 수 있어 에너지 절감의 효과가 있다. 또한, 지상건물은 건물외벽 청소 및 외장재 관리 등에 시설유지보수 비용이 발생하나 지하공간은 별도 유지관리가 불필요하다.

우리나라는 최근에 내진설계에 대한 중요성이 인식되고 있으므로 지진에 대한 검토가 필요하다. 이러한 관점에서 볼 때 암반지하시설물은 지상건물에 비해 내진성이 탁월하여 지진에 비교적 안정한 구조물로 평가받고 있다. 또한 화재, 강풍, 우박 과 같은 재해에 의한 영향도 상대적으로 영향을 받지 않는 등, 방재측면에서도 지하구조물이 지상구조물에 비하여 유리한 조건을 가지고 있다.

지하대공간 문화공연장은 공연시설 외에 토목시설물 자체가 해외 관련분야 전문가 및 종사자들의 견학코스로서도 활용가치가 크다. 세계 최대 규모의 지하공간 개발 노하우는 이미 지하양수발전소, 원유비축기지, 방폐장 건설 등을 통해 충분히 축적되어 있는 수준이다. 이러한 노하우는 우리나라의 건설기술을 홍보하는 데 있어서 좋은 사례로 활용이 가능하다. 일례로 노르웨이는 세계 최대폭의 여빅 아이스하키장 캐번을 건설하여 세계적으로 지하암반개발 기술에 대한 인정을 받고 있다.

5. 결론

본 연구과제를 수행하고 있는 지하대공간 연구단에서는 지난 4년간의 연구성과를 활용하여 세계 최대 규모의 지하공간 건설계획을 수립하였다. 특히, 단일라이닝 구조의 지하대공간 건설을 위해서는 연구단의 연구성과인 고성능숏크리트, 케이블볼트 등의 암반보강기술과 지하수 배수기술이 핵심적 역할을 수행할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 가상프로젝트 수준이지만, 점차 증가하는 문화시설의 사회적 필요성과 도시개발 공간의 제한을 고려하면 도심 근접 산지의 지하공간을 활용한 문화공연장 건설계획은 경제적이고 친환경적인 건설대안이 될 것으로 평가된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하는 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술 C01)에 의하여 연구비가 지원된 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.