

예술의전당 하부 터널 통과시 유압파쇄 공법의 적용



황의석
단국대학교 토목환경공학과 박사과정



석진길
두산중공업 우면산터널 소장



김학문
단국대학교 토목환경공학과 교수

1. 개요

우면산을 중심으로 서울 강남도심과 과천, 의왕간의 교통망을 분산처리할 목적으로 '97년도 서울특별시 민자유치 기본계획에 따라 민간자본을 유치하여 예술의전당 입구~우면동 선암로에 이르는 쌍굴터널형식의 터널공사가 완료되어 현재 공사마무리 단계에 있다.

본 유압파쇄공법이 적용될 당시의 현황은 터널공사가

우면동 선암로에서 시작되어 예술의전당 북측 경계부까지 완료되어 있었으며, 예술의전당 입구부터 기존 굴착된 터널까지의 예술의전당 구간을 남겨놓고 있었다. 본 터널과 예술의전당내 오페라극장이 가장 근접한 거리에 위치해 있으며, 예술의전당 하부 터널의 대표단면은 그림 1과 같다.

실시 설계시 제안된 굴착공법은 다음 표 1과 같은 검토를 통해 기계굴착인 TTM-100의 장비를 사용하고자 하였다.

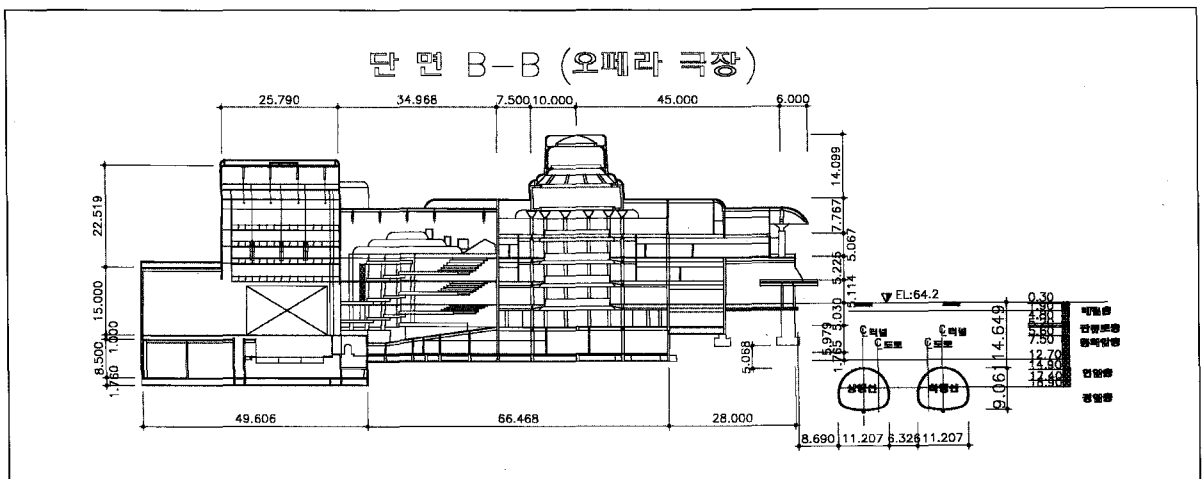


그림 1. 예술의전당 하부 터널의 대표단면

표 1. 당초 실시설계시 굴착공법 검토

작업 공법	기계굴착(Road Header)	유압파쇄기(HRS)	미진동 제어 발파	기계굴착(TTM-100)
고려 사항	▶예술의 전당 터널통과구간의 일부분이 경암(일축압축강도 1200kg/cm ²)으로 구성되어 있음. ▶예술의 전당의 오페라극장, 음악당, 서예관등이 시설물과 근접거리에 위치하므로 음향기기, 악기 및 공연등에 대한 진동, 소음 최소화(진동제한치 : 공연시 0.015cm/sec, 공사중 0.2 cm/sec)			
시공 개요	Boom의 드럼에 장착된 Pick의 회전력에 의해 암파쇄해 나가는 기계식 굴착	유압으로 암반내 균열 유도후 브레카를 이용 2차 파쇄	심발발파를 피하기 위해 대구경(φ 450) 천공후 허용 진동치 이하로 제어	STAKER로 장비를 고정시킨후 Boom의 드럼에 장착된 Pick의 회전력으로 암을 파쇄해 나가는 기계식 굴착
장점	▶무진동, 무소음 ▶여굴량의 최소화 ▶기계화에 의한 작업효율 극대화 ▶시공성 및 안전성이 좋아 경제적임 ▶공기단축	▶무진동, 무소음 ▶파쇄방향 및 파쇄량의 조절 용이 ▶암반강도에 따른 영향 ▶분진공해 전혀 없음 ▶작업공정 단순	▶공사비 저렴 ▶공기 단축 ▶암반강도에 따른 영향 없음 ▶시공성 양호 ▶작업공정 단순	▶무진동, 무소음 ▶여굴량의 최소화 ▶기계화에 의한 작업효율 극대화 ▶터널형태에 제약이 없음 ▶경암 (일축압축강도 3,000kg/cm ²) 굴착이 가능함
단점	▶작업환경 다소 불량 ▶암반 일축압축강도에 따라 작업성 저배	▶2차파쇄 필요 ▶공사비 고가 ▶공사기간이 길음	▶다소의 소음 및 진동 발생 ▶분진공해 발생 ▶여굴량 발생	
검토 의견	▶Road Header는 소음, 진동에 유리하며 국내 사용실적도 많으나, 경암(일축압축강도 800kg/cm ² 이상)부에서는 시공성불량 및 공사비가 증대됨 ▶HRS 방법은 무진동, 무소음으로 민원에 대해서는 유리하나, 공사기간이 길고, 공사비가 매우 고가이며 풍화암 구간에서는 시공성이 떨어짐 ▶미진동 제어 발파도 원칙적으로 화약을 이용한 발파로서 다소의 소음 및 진동 발생이 불가피함 ▶따라서, TTM-100은 국내 시공실적은 적으나 소음, 진동이 적으며 경암부의 굴착이 가능(일축압축강도 3,000kg/cm ²)하므로 본 구간에서는 TTM-100적용을 적용하였으나 시공시 현장여건 및 지질조건등에 따라 진동 및 소음 제한치 이내의 다른 기계식 굴착공법등으로 변경될 수 있다.			

그러나, TTM-100의 장비적용시 터널내에서의 작업이 용이하지 않아 장비의 효율성 문제점과 예술의 전당내 오페라극장, 음악당, 서예관, 자료관, 미술관등의 건물등의 영향을 최소화하기 위해, 특히 공연을 주목적으로 하는 오페라극장과 음악당의 공연중 진동등이 공연자체에 영향을 미치는 정도에 대해서도 의문시 되었다.

이러한 이유로 다소 공사기간이 길어지겠지만 예술의 전당내 공연장들의 영향을 최소화할 수 있도록 유압파쇄기를 이용한 공법을 적용하였다.

2. 유압파쇄공법의 특징 및 장점

유압파쇄기를 사용한 유압파쇄공법은 점보드릴로 암반을 굴착선에 따라 깊이 2.5~4m, 천공간격은 400~500mm로 천공하고 Element를 장착, 유압을 이용하여 일정한 선을 따라 20mm 정도의 stroke로 절개후 Breaker 또는 Ripper등으로 절개된 블록을 모암에서 분리시켜 굴진하는 방법이다. 유압파쇄기를 사용한 유압파쇄공법은 다음과 같은 특징 및 장점으로 인해 예술의전당 하부터널통과시 굴착공법으로 선정하게 되었다.

① 진동, 소음, 비산, 낙반 위험이 적다.

Drill에 의한 천공 및 Breaker 에 의한 2차파쇄에 따른 소음(70dB이하)은 피할수 없으나, HRS-system에 의한 파쇄 및 절개시에는 암반이 갈라지는 소리 이외에는 어떤 소음이나 진동도 없으며 분진, 비산, 낙반등의 현상이 적다.

② 최소인원, 최소장비, 최대작업능률로 경제적이다.

동 공법을 넓은 공간에서 현장적용할 경우, Drill 2대, HRS-system 1대, Breaker 1대가 1개조로 편성되므로 장비의 기사 각 1명씩과 HRS 조수 1명, 조장 1명등 도합 6-7명이 동시에 투입된다. 작업능률면에서는 HRS의 1cycle(총 5-7분소요)에 경암 5m³를 절취하며, 일일 150-250m³/10h를 절취할 수 있다. 또한 12m 높이의 대형터널의 전단면 2-3m/12h씩 굴진할 수 있다.

③ 민원발생등을 최소화 할 수 있다.

공사장의 진동, 소음, 분진, 비석등에 기인하는 인근 주민들의 민원으로 인한 분쟁, 보상, 공사중단등과 이를 사전에 예방할 수 있다.

④ 모든 경도의 암반, 모든 현장조건에도 적용가능

TBM이나 Road-Header 같은 장비는 일정한 경도 이상의 경암에는 적용할 수 없다는 제한이 있으나 유압파쇄기는 어떠한 경도의 암반에도 적용 가능하며, 특히 작동부(Element)가 22kg에 지나지 않는 경량 소형이기 때문에 수중이나 난간 혹은 코너등 열악한 작업조건에서도 용이하게 적용할 수 있고 장비자체가 소형이기 때문에 천공장비가 진입할 수 있는 조건이라면 제한없이 적용 가능하다.

3. 진동영향 평가 결과

본 현장에서 예술의 전당내 공연장들의 진동영향을 최소화 할 수 있는 터널굴착공법을 평가하기 위해 발파진동식, 플라즈마 파암공법, 유압파쇄공법 적용에 따른 실제 시험시공하여 진동에 대한 영향을 평가 하였다.

① 발파진동식에 의한 영향평가

▶ 적용식 : $V = 161.3 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.569}$

▶ 최소 지발당 장약량 : 0.375kg

▶ 이격거리별 예상 진동 속도

이격거리(m)	10	20	30	40	50	55
진동속도 (cm/sec)	2.605	0.058	0.465	0.296	0.209	0.18

※ 진동원으로부터 약 55m 이상 구간에서 0.2 cm/sec 허용진동수준 만족

② 플라즈마 파암공법 진동영향평가

▶ 이격거리별 예상 진동속도(cm/sec)

이격거리(m)	10	20	30	40	50
진동속도(cm/sec)	1.507	0.508	0.267	0.171	0.121

※ 진동원으로부터 약 40m 이상 구간에서 허용진동 수준 만족

③ 유압파쇄, 점보드릴 공법적용시 진동영향 평가

▶ 점보드릴 천공시

이격거리(m)	5	10	15
진동속도 (cm/sec)	0.037~ 0.045	0.019~ 0.032	0.011~ 0.013

▶Breaker 타격시

이격거리(m)	10	15
진동속도(cm/sec)	0.014~0.043	0.007~0.013

* 진동원로부터 약 15m 이내 구간에서도 허용진동속도 0.2cm/sec를 만족 함.

이와같은 유압파쇄기를 사용한 터널굴착시 본 유압파쇄기 사용시의 진동영향은 크지 않으나, 드릴에 의한 천공작업시와 유압파쇄후 정확한 터널단면 형상을 만들기 위한 Breaker 작업이 필수적이었으며, 이들 작업시 실제 진동영향을 알아보기 위해 진동소음 측정기를 이용하여 천공작업과 breaker 작업시 작업장과 제일 가까운 오페라극장하부에서 진동을 측정해본 결과 최대진동속도가 0.013kine(cm/sec)으로 유압파쇄 공법적용시 건물에 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났다.

4. 유압파쇄공법 적용

유압파쇄공법을 예술의전당 하부터널 굴착시 적용한 현장사진을 순서대로 나열하면 다음과 같다.

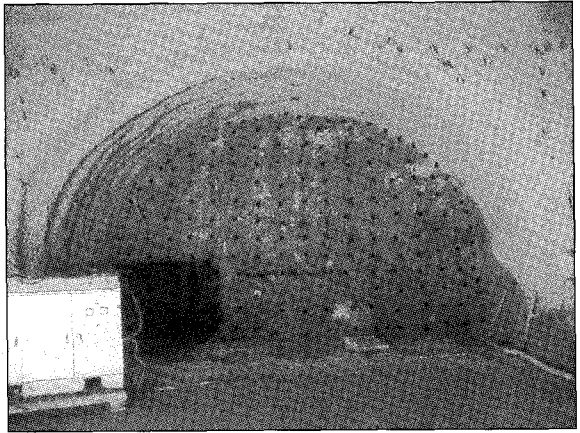


사진 2. 터널막장내 천공을 실시

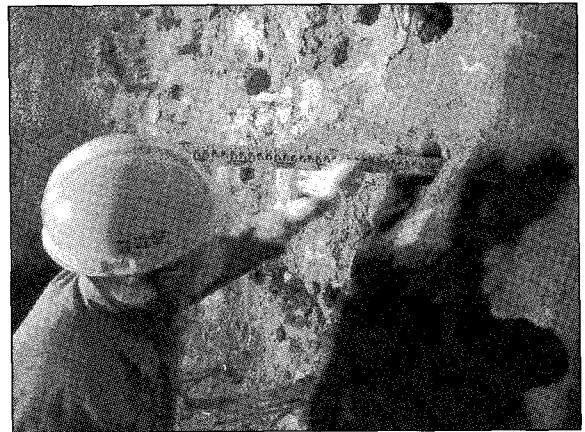


사진 3. 천공깊이를 확인



사진 1. 천공비트를 사용

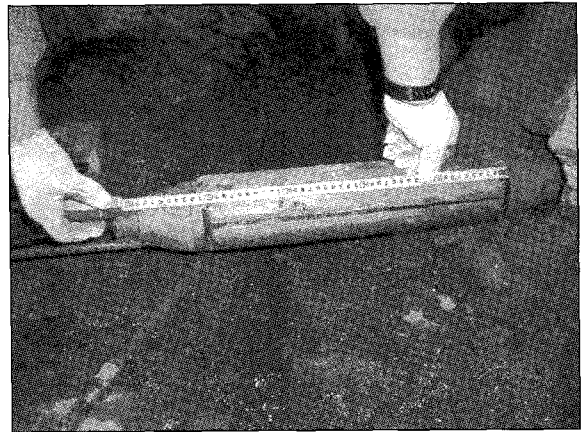


사진 4. 유압파쇄기를 공내로 장치 전

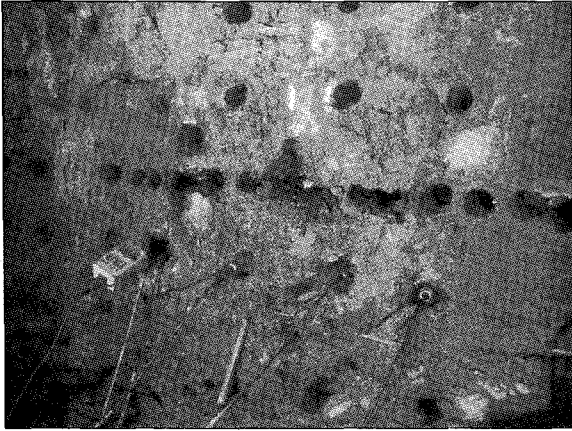


사진 5. 유압파쇄기를 공내로 장치

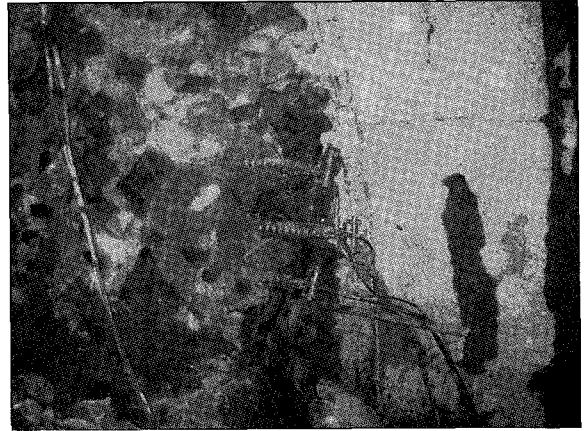


사진 8. 터널막장면 파쇄

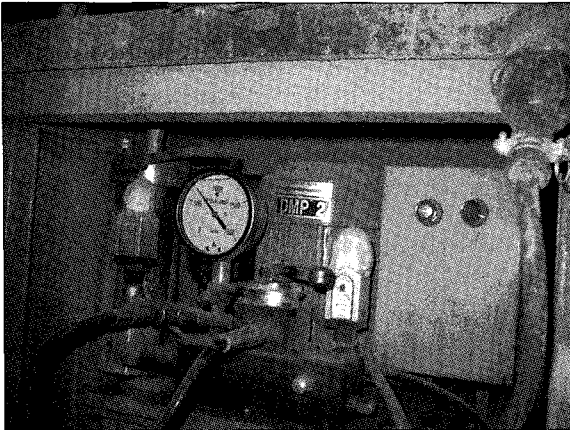


사진 6. 유압기를 사용하여 유압송출



사진 9. breaker에 의해 타격 처리부분



사진 7. 터널막장면 파단

이와같이 예술의 전당하부 터널통과시 유압파쇄기를 사용한 공법을 적용함으로써 변형영향을 최소화했으며, 또한 예술의 전당 공연중의 진동등의 영향을 최소화하여 도심지내 문화재급 건물하부에서 터널굴착공법으로 성공적으로 사용되었던 유압파쇄공법을 한 일례로 소개하였다.