

산악터널에 인접한 개인 박물관의 발파공해 영향평가 및 굴착 시공사례

The Blasting Pollution Effects Estimation & The Excavation Construction Case Study Of Personal Museum On Tunnel

권순섭* 이명철** 박태순*** 정인철**** 이현구*****
Kwon, Soon Sub Lee, Myong Choul Park, Tae Soon Jeong, In Choul Lee, Hyun Gu

ABSTRACT

The third double-track construction part of work, called Chung Ang Railroad line(Deok-So~Won-Ju) is in progress and the personal museum located 330m from the starting point of Pal-Dang Tunnel(length=4,470m) line in the canyon is to be effected by rock blasting during the tunnel excavation work, especially museum articles and building itself. This paper is the example of application suitable tunnel rock blasting pattern for excavation after the case study about the investigation and analysis of rock blasting noise pollution during tunnel excavation work. The museum is a three-story building, RC concrete structure and is located 17m from the top of the tunnel, in the center of the double-track line. Comparing estimate vibration frequency with site vibration one, it can be verified the reasonable rock blasting noise pollution as improving the application of tunnel excavation rock blasting pattern. The above pattern has been selected economically and effectively and applied to our construction field.

1. 서론

중앙선 덕소~원주간 복선전철 제3공구 건설공사 구간중 장대터널인 팔당터널(4,470m)의 노선에 시점측에서 330m떨어진 협곡부 지점에 위치한 개인 박물관(약 7000여점 보관, 시가 250억원추정)이 터널 굴착중 발파로 인한 소장품 및 건물에 피해가 예상됨에 따라 발파공해의 영향을 검토하고, 분석하여 이에 적합한 굴착패턴을 산정후 적용한 사례로서, 건물은 3층 철근콘크리트 구조로서 터널 직상부 17m 지점의 노선 중앙부에 위치하고 있다.

예상 진동치와 실제 현장에서 측정한 진동치를 비교하여 발파공해의 적정성을 검증하고, 향후 굴착 패턴의 적용성을 개선함으로써 경제적인 굴착 패턴을 산정하여 현장에 적용하였다.

2. 팔당터널

1) 개요

- * 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정, 정회원, 삼성물산(주)건설부문 소장, 기술사
- ** 삼성물산(주)건설부문 팔당터널 공사 과장
- *** 서울산업대학교 교수, 정회원, 공학박사, 기술사
- **** 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원, 삼성물산(주)건설부문 상무이사
- ***** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 차장, 기술사

남양주시 와부읍 팔당리에서 조안면 진중리까지 총 4,470m의 월드터널로서 NATM 터널 L=4,410m와 개착터널 L=60m로서, 기존 단선전철을 복선전철로 건설하여 국토의 균형 발전과 지역개발을 촉진하고 수도권 동남부 도심 인구분산 및 교통편의를 제공하며, 선로의 용량을 증강(51~136%)하여 장래의 열차 고속화에 대비한 국가 간선 철도망을 구축하고자 계획되었으며 현재 시공점 양쪽에서 굴진작업을 진행중에 있다.

2) 민원의 개요(개인 박물관)

팔당터널 시점에서 330m지점의 직상부(17m)경기도 남양주시 와부읍 팔당리 19-4번지에 있는 무속인 김재연씨(일명 남산 도깨비) 소유의 가옥으로서 당 건물 근처에 예불산 목덕 박물관을 신축하여 여러해 동안 수집해온 도깨비관련 소장품들(7,000여점 이상) 박물관에 전시 하고자 현재 임시로 본 가옥에 보관중으로, 소장품 및 건물에 피해가 가지 않도록 굴착공법을 변경 시행함.

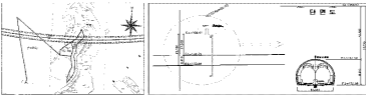


그림 1. 민원건물 위치도

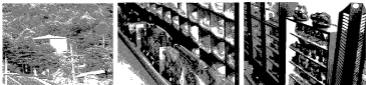


그림 2. 건물 상세도

3) 현장의 지형 및 지질구조

팔당터널은 예불산(△679)을 최고봉으로 북북서 방향의 능선이 우세하고 대부분의 능선은 편암 및 규암으로 형성되어 있으며 저지대는 편마암으로 이루어져 있다.

지질은 신카브리아 기의 호상 혹은도 편마암을 기반으로 편마암과 편암이 반복하여 분포하고

있으며 국부적으로 규암 및 화강암이 나타나며 수차례에 걸친 구조적 운동에 의하여 습곡 및 단층 구조로 여러 방향의 불규칙한 절리와 단층들이 발달되어 있고 팔당터널 굴착 구간에는 편마암이 전체 의 23.3%를 점유하고 있다.

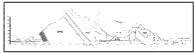


그림 3. 지질공단면도

3. 발과 진동 규제기준

표 1. 건설교통부 설계기준 (Unit : kine)

구분	건물의 종류	허용 진동치
터널발파 설계기준 (1999)	진동예민 구조물(문화재 등)	0.3
	조적식 벽체와 목재 천장 구조물(재래가옥 등)	1.0
	조적식 중소형 건축물(저층 양옥, 연립 주택 등)	2.0
	철근콘크리트 중소형 건축물(중,저층 아파트 등)	3.0
	철근콘크리트 대형 건축물(고층 아파트 등)	15.0

4. 시험발파 및 영향권 분석

1) 시험발파 개요



- 당초 설계패턴에 의한 천공, 장약 실시
- 계속실시로 거리 및 장약량 변화에 따른 감쇠지수 파악
- 신뢰성 있는 분석을 위해 30점 이상의 계속자료 확보

- 천산프로그램을 이용하여 회귀분석 실시
- 현장특성에 맞는 발파진동 추정식 산출
- 이격거리별 저발당 허용장약량 산출

- 저발당 허용장약량에 따른 발파공법 선정
- 발파공해 허용기준 이내의 발파공법 적용성 검토

- 선정된 발파공법에 적합한 폭약의 종류 및 저발당 장약량 결정
- 이격거리별 발파공해 허용기준을 고려한 발파패턴 설계
- 설계된 발파패턴의 안전성 검토 후 적용

- 보안물건과의 이격거리별 설계패턴 적용
- 설계패턴별 장약량 등 천공패턴 준수
- 발파작업과 병행하여 발파계측 실시

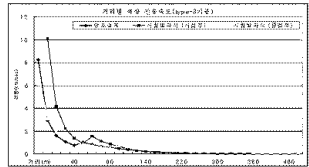
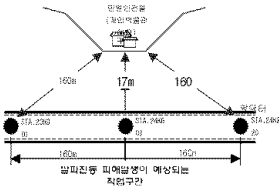


그림 4. 발파 진동 영향원(자승근 환산식 적용)

그림 5. 거리별 예상 진동 속도

5. 굴착공법 패턴의 적용

표 2. 발파공법 패턴의 선택

구분	표준지보패턴 및 발파지진 적용선행 [참고(원)28mφ18-24km223] L=300m]										계	
	TYPB-2 (42M)		TYPB-1 (26M)		TYPB-2 (20M)		TYPB-3 (185M)		TYPB-2 (60M)			
표준지보패턴	TYPB-2 (42M)		TYPB-1 (26M)		TYPB-2 (20M)		TYPB-3 (185M)		TYPB-2 (60M)		(20/20)	
굴착 방식	원단면 굴착		원단면 굴착		원단면 굴착		원단면 굴착		원단면 굴착			
당도 (m)	42		26		20		186		60		300M	
원칙	TYPB-2		TYPB-1		TYPB-2		TYPB-3		TYPB-2			
	L=3.5M/회		L=3.0M/회		L=2.5M/회		L=2.0M/회		L=0.5M/회			
별칭 (2차)	원단면 굴착		원단면 (다단식발파+ Line Drilling)		상·하단면 (다단식 발파+ 선진도링+ 라인 드릴링)		상·하단면 (다단식 발파+ 선진도링+ 라인 드릴링)		원단면 (다단식 발파+ Line Drilling)		계	
	당도 (m)	42	10	26	20	10	60	10	30	26	10	60
원칙	TYPB-2		TYPB-1-L		TYPB-1-M		TYPB-2-O		TYPB-3-G		TYPB-3-K	
	L=3.5M/회		L=2.0M/회		L=2.0M/회		L=1.5M/회		L=0.8M/회		L=0.8M/회	
원칙	TYPB-2		TYPB-1-L		TYPB-1-M		TYPB-2-O		TYPB-3-G		TYPB-3-K	
	L=3.5M/회		L=2.0M/회		L=2.0M/회		L=1.5M/회		L=0.8M/회		L=0.8M/회	
원칙	TYPB-2		TYPB-1-L		TYPB-1-M		TYPB-2-O		TYPB-3-G		TYPB-3-K	
	L=3.5M/회		L=2.0M/회		L=2.0M/회		L=1.5M/회		L=0.8M/회		L=0.8M/회	

6. 발파 공해 저감 사례

1) 심발공의 효율 극대화

심발공(Cut Hole)은 터널 발파에서 자유면을 형성시키기 위하여 가장 먼저 발파되는 부분으로, 암석을 압축하고 깨어 표면으로 파냄으로서 자유 면을 형성 시킨다.

심발공은 터널발파의 성공 여부에 90% 이상 좌우되는 중요한 요소이다.

표 3. 당 현장의 적용 심발공

구분	개 요 도	개 요
선대구경		<p>φ362mm로 50m를 수평 보링하여 1차 심발공 발파시 대규모의 2차자유면을 확보 심발 및 확대공 의뢰공 발파시 진동 및 소음을 저감시킴. (1회 굴진장 1~1.5m) *별도의 진공 장비가 필요.</p>
선진도강		<p>심발부 외곽과 중심부에 φ65mm의 무장약공을 진공하여 심배기의 효율을 극대화하여 2차 자유면을 확보 확대공 의뢰공 발파시 진동 및 소음을 저감시킴. (1회굴진장 0.8m)</p>

2) 선대구경 수평보링공법+라인트리링 공법+다분할 미진동 소발파 공법

터널 발파에 있어서 보안물건과 근접된 구역 또는 터널 직상부에 보안물건이 근거리에 위치 하였을때 터널단면에 선대구경 수평보링공을 4공을 설치(φ362mm×4공, 공간격90cm, 공략위치 : 바닥에서 1m 상부, 1회 천공장:50m)하여 선대구경 1차 확대 발파로 횡방향의 거대한 2차자유면을 형성시켜 굴착하는 공법으로서, 자유면에 대하여 상부 암석을 다분할 미진동 소발파로 자중에 의해 파괴를 유도하므로서 무진동 굴착수준으로 굴착이 가능.

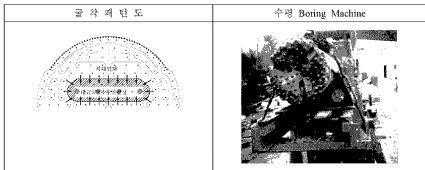




그림 6. 굴착 패턴도 및 수평 Boring Machine

3) 암질에 따른 최적의 진공수 및 화약량의 도출

변경된 발파제단은 정밀한 지질조사 및 기타 자연적 요건을 고려하지 못하고 일반적인 암질을 기준으로 설계되기 때문에 지반당 화약량을 기준으로 설계가 되는 맹점이 있다.

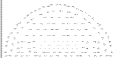
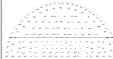

당 현장에서는 발파시마다 2대의 진동 소음 측정기를 사용(Instanitel社) 진동이 발생하는 영역을 도출 집중 관리하여 장약량 및 진공수를 조정하여 시공함.

표 4. 진공 및 장약량 수정

당 초	변 경
<p style="text-align: center;">삼 부</p> 	<p style="text-align: center;">삼 부</p> 
<p>1) 선진도경부와 확대부의 암이 강하여 1차 선진도경부의 효율이 저하되고 이로 하여 확대부지 효율 또한 저하되어 발파 진동 소음이 커지는 결과가 도출됨.</p> <p>2) 당초 line drilling은 두장약공으로 설계 되어 시공 하였으나 확대부와 심발공의 간격이 다소 먼 (200mm) 관계로 미끌이 발생.</p>	<p>1) 선진도경부와 확대부에 각각 10-14공을 추가로 진공 장약하여 발파 한 결과 위의 그래프에서와 같이 진동값이 줄어들었으며 발파의 효과 또한 증가하여 미끌의 발생이 현저히 줄어들었다.</p> <p>2) line drilling을 진공후 발파시 정밀 폭약으로 격공 장약을 하여 발파를 한결과 발파 진동 소음에는 큰 영향을 미치지 않아 약을 하며 시공을 하였다. (당 현장의 암질에서는 두장약공과 장약공과의 적정거리는 150mm 이가격정할 것으로 판단됨)</p>

5) 발파 구역의 변경

표 5 발파구역의 변경

구 분	요 약 도	변 경 사 유
변 경 설 계		-25분할 25회 발파(관리 기준은 만족됨) 많은 발파로 인한 작업자들의 안전 및 환기 상태가 매우 취약하며 발파 시간이 길어(8시간) 작업의 능률이 떨어짐.
1 차 변 경		-9분할 5회발파 9구역으로 분할하고 다단 발파를 시행 5회로 발파를 하였으나 진동값이 다소 높아 2차 변경
2 차 변 경		-9분할 5회발파 심베기후 자유낙하를 이용한 확대부와 외곽공을 다단발파(확대부 기준으로 0.10cm/sec 정도의 저감효과가 나타남)

9. 계 측

1) 내공변위 및 천단침하

시공중 지장물 중심인 24k060지점을 중심으로 앞뒤로 10.0m간격으로 총 10개소에 천단 및 내공 변위 측정계를 설치하여 터널 내부의 변위를 측정하여 지반 침하로 인한 가옥의 피해를 사전에 예방하고자 시행하였으나 3.0mm 내외의 변위를 보여 지장 건물에는 영향이 없는 것으로 판단됨.

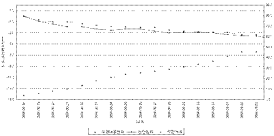


그림 7. 내공 및 천단 침하 계측

10. 결 론

산업화, 도시화가 급격히 진행됨에 따라 국민의 권리 의식이 향상되고 토지 가격의 상승으로 지상 공간을 개발할 경우 보상이 커다란 문제로 제기되고 있다.

또한 녹지 시설의 대한 욕구와 자연 환경의 파괴 등도 지상 공간을 활용하는데 있어 제한을 가지고 있다.

따라서 지하공간의 개발이 절실히 필요하며 지하의 굴착 및 건설에 따른 기술과 비용의 문제는 지상공간의 불리함이 점차 해소되고 있는 실정이다. 현재 지하터널 및 도로 터널 사회 간접 자본의 저증화와 관련 전력구 터널을 비롯하여 각종 터널공사 및 수로 식음 및 유류 에너지 저장비축을 위한 지하의 개발이 활발히 진행되고 있으며 앞으로도 계속 증가 할 것으로 사료된다.

특히 지하철이나 전력구 등은 인구가 밀집된 도심시 구간을 통과하는 구간이 상대적으로 많아 기존의 발파 공법을 사용시 허용 규제치 이상의 발파 진동으로 인한 민원의 발생 소지가 있고 무진동 공법은 규제치 이하의 시공은 가능 하나 공사비가 매우 비싸고 공기가 길어져 매우 제한적으로 적용 되고 있다.

당 현장에서 적용한 선대구경 수평보링+라인 드릴링+다분할 미진동 소발파공법이나, 선진도강+다단식 발파공법은 근접지역에 지장물이 있는 구간에서 굴진장의 조절이 가능하며 선대구경의 경우 지반의 사전 확인 및 지하수의 유도 배수가 이루어져 지하수가 포화되어 있을 경우 안정적인 발파를 이루어 질 수 있음. 발파 진동의 감소는 물론이고 안전정인 굴착으로 민원감소 및 발파효율의 증대 되어 당 현장과 유사한 구간의 발파시 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 권인환지(2004) NATM터널공법.
2. 한국터널공학회지(2004) 터널이론 과 실무.
3. 임한옥의지(2003) 터널공학.
4. 한국지반공학회지(1998) 터널.
5. 이희진, 임한옥지(1995) 터널 지하공간 굴착공법.
6. 황원주(2004) 대한 발파공학회 발파 기능 워크샵 중 발파실제 논문.
7. 서울대학교 에너지, 자원 신기술 연구소 선 대구경 수평 보링공법에 관한 연구 1998.
8. 서울대학교 공학연구소 선 대구경 수평 보링공을 이용한 터널발파공법에 관한 연구 중간 보고서,1999