

전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 터널발파 시공사례

이민수^{1)*}, 김희도¹⁾, 이 효²⁾, 이준원²⁾

Tunnel Blasting case by Combination of Electronic Detonator and Non-electric Detonator

Min Su Lee, Hee Do Kim, Hyo Lee, Jun Won Lee

Abstract It proceed the trial test by applying blasting system with combination of electronic detonator and non-electric detonator(Supex Blasting Method) for the purpose of preventing the over-break as well as controlling the blasting vibration and noisy at the site of Boseong-Imseongri railroad section OO. As a result of that, the blasting vibration and noisy was measured within the allowable standard of vibration. In conclusion, the combination of electronic detonator and non-electric detonator can not only reduce come construction cost, level of vibration and noisy but also get the prevention effect for Public resentment and minimize the rock-damage through over break control.

Key words Supex Blasting Method(SBM), Electronic detonator, Non-electric detonator, Blasting vibration, Over-break

초 록 철도터널 발파 시 근접한 보안물건에 대하여 발파진동 및 소음을 제어하고, 여굴방지를 목적으로 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(Supex Blasting Method)을 적용하여 보성~임성리 OO 철도건설공사에서 시험발파를 실시하였다. 그 결과 발파진동과 소음은 허용기준치 이내로 측정된 것으로 나타났다. 결과적으로 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 터널발파 시스템은 공사비 절감, 발파진동 및 소음제어를 통한 민원방지 효과 및 여굴제어로 굴착예정선 주변의 암반손상권을 최소화하는 것으로 나타났다.

핵심어 Supex Blasting Method(SBM), 전자뇌관, 비전기뇌관, 발파진동, 여굴

1. 서 론

철도터널 굴착 시 근거리에서 측사와 가옥 등의 보안물건이 위치하고 있는 현장에서 발파 진행시 진동과 소음제어 및 여굴방지 목적으로 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)으로 발파를 실시하였다.

최근들어 근거리의 보안물건에 대한 진동 및 소음을 제어하기 위하여 전자뇌관을 사용한 연구(손영복 외, 2016)등이 활발히 진행되고 있으며, 비전기뇌관과

전자뇌관을 조합한 발파공법(김진수, 2013)등도 새롭게 연구되고 있다.

전자뇌관은 시차오차와 단차의 한계점을 가지고 있는 전기, 비전기뇌관과 비교하여 오차범위가 0.01% 이내로 초시차가 거의 없다. 그리고 0~20,000ms까지 자유롭게 시차를 조절할 수 있고, 정확한 분석을 할 수 있어 진동과 소음을 제어 할 수 있다. 그러나 일반뇌관에 비하여 고가에 형성되어 있어 전자뇌관 수량을 사용목적에 따라 최소화하여 공사비를 절감할 수 있는 방안도 연구되고 있다.

본 현장에서는 심발부와 외곽부분에 전자뇌관을 사용하고, 그밖에 확대공에 비전기뇌관을 사용한 SBM발파공법으로 진동 및 소음을 허용기준치 이내로 제어하고 공사비절감과 여굴제어를 최소화한 시공 사례를 소개하고자 한다.

¹⁾ (주)고려노벨화약

²⁾ SK건설

* 교신저자 : attom1234@daum.net

접수일 : 2018년 3월 14일

심사 완료일 : 2018년 3월 23일

게재 승인일 : 2018년 3월 27일

2. 공사개요 및 주변현황

한국철도시설공단에서 발주하여 2017년 0월0일에 시험발파 실시한 보성~임성리 제00공구 철도건설공사의 00터널은 전남 장흥군 장흥읍 금산리 일원에 위치하고 있다.

지형적 특성으로는 남동쪽은 제암산, 사자산으로 험준한 산계를 이루고 있으며 북서쪽으로는 매봉, 용곡리, 북곡리 노년기 지형으로 상대적으로 고도가 낮으며 지질적 특성으로는 선캄브리아기 변성암류인 화강암질 편마암으로 담회색을 띠며 편마구조가 뚜렷이 관찰되는 담회색 암상과 각섬석, 흑운모를 함유한 괴상을 나타내고 있다.

해당터널의 STA. 229km081~229km116의 35m 구간은 진동제어의 목적으로 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)이 설계되어 있으며, 인접한 보안물건으로는 시험발파 지점인 STA. 229km116에서 128m의 이격거리에 축사와 88m의

거리에 가옥이 있다. 당 현장의 발파진동 허용기준은 소음진동 관리법, 실시설계 보고서, 환경분쟁 조정위원회의 조정사례를 참고로 설정되었으며 허용기준은 표 1과 같다.

3. 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)의 구성 및 특징

3.1 전자발파시스템의 구성 및 특징

전자발파시스템은 그림 1과 같이 구성이 되어 있다(ORICA, 2013). 이 발파시스템의 특징은 정밀시차에 의한 1ms단위의 자유로운 시차조절과 터널 안에서 뇌관의 이상유무 점검이 가능하다는 점이다. 또한 뇌관의 기폭에 필요한 에너지를 내부 축전지에 충전 후 진행하므로 뇌관에 의해 발생할 수 있는 컷오프(cut-off)현상을 방지하며 누설전류와 낙뢰와 같은 위험성을 방지하기 위하여 뇌관내부에 2단계의 안전장치가 구성되어 있다. 그리고 특정 디지털 신호에 의해

표 1. 발파진동 허용기준

구 분	적용허용기준치		비 고
	진동	소음	
축 사	0.075cm/sec 57dB(V)	60dB(A)	환경분쟁 조정위원회의 조정사례 설계 자문위원 검토결과
민 가	0.2cm/sec	75dB(A)	최근 환경영향평가 협의사례

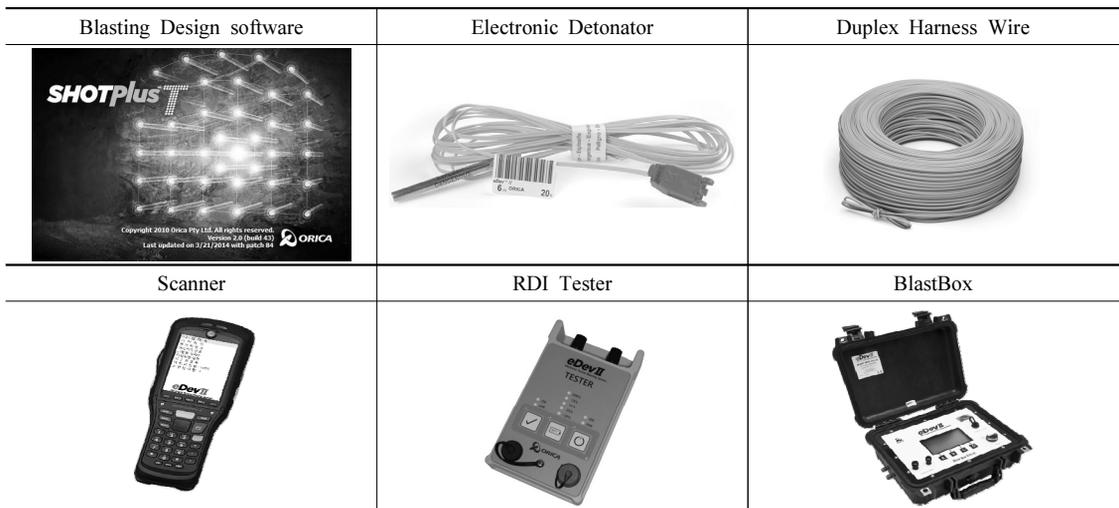


그림 1. 전자발파 시스템 구성

서만 최종 발파명령이 이루어지므로 전기에 대한 위험성을 방지할 수 있다.

3.2 비전기뇌관의 구성 및 특징

그림 2와 같이 터널용 비전기뇌관의 공내뇌관은 20~25ms의 시차를 가지고 있는 MS뇌관과 25~500ms의 시차를 가지고 있는 LP뇌관이 있으며 표면뇌관은 Bunch Connector로 구성이 되어 있다(고려노벨화약, 2016). 특징은 전기로 기폭되는 전기뇌관과 달리 충격파(shock wave)로 진행이 되기 때문에 어떠한 전기적 위험에도 안전하며 표면뇌관으로 시차를 조절하여 무한단차의 실현이 가능하다.

3.3 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)

전자뇌관과 비전기뇌관의 각각의 특성인 정밀시차와 무한단차를 조합·활용한 공법으로 심발부 전자뇌관 적용을 통한 진동수준 저감과 최외곽부 전자뇌관 적용을 통한 기반암 손상영역 최소화를 목적으로 활용될 수 있다. 또한, 활용목적 별로 구획된 영역에 선택적으로 전자뇌관을 적용하고 나머지 영역에는 비전기뇌관을 적용하여 전자뇌관 적용에 따른 기술적 이

점은 취하며 상대적으로 고가인 전자뇌관 사용량은 최소화시킨 발파공법이다(김진수, 2013). 그림 3은 당현장의 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 평면도와 스타터를 전자뇌관으로 사용한 뇌관 결선도이다.

4. 시험발파

본 발파 시공 시 발파효율을 개선하기 위하여 그림 3과 같이 기존 설계된 패턴도에서 심발위치 조정 및 측벽부 패턴을 조정하여 시험발파를 진행하였으며 발파제원으로는 NE150(φ32x300mm, 0.25kg/pcs) 28.25kg과 Kinex-III(φ17x500mm, 0.100kg/pcs) 2.8kg 전자뇌관 58개와 비전기뇌관 57개를 사용하였다. 시험발파패턴은 발파공경 45mm, 천공장 1.1m, 굴진장 1.0m, 지발당장약량 0.375kg, 비장약량 0.871kg/m³이며 전자뇌관 그룹별 시차와 비전기뇌관의 적용초시는 표 2와 표 3으로 설계하였다(최태홍, 2017).

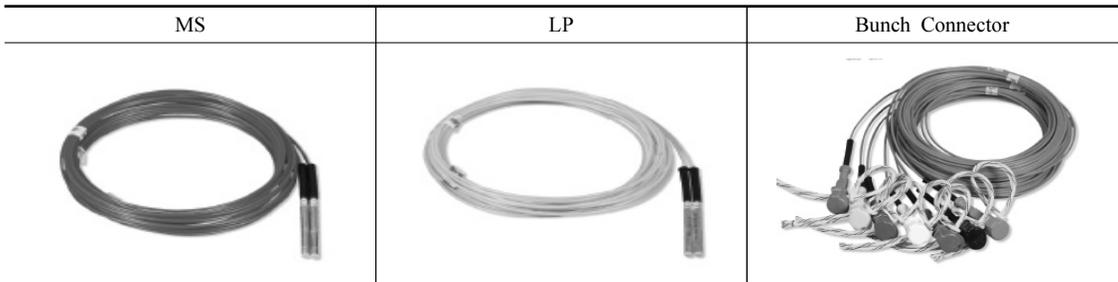


그림 2. 터널용 비전기뇌관의 구성

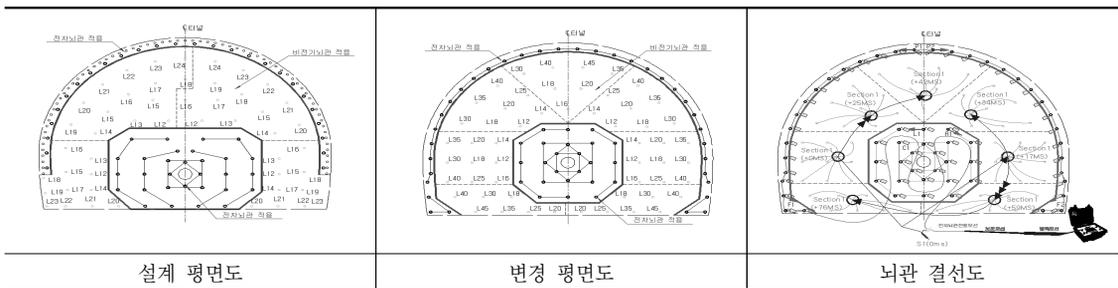


그림 3. 전자뇌관과 비전기뇌관의 조합 패턴도

표 2. 전자뇌관 그룹별 시차표

시차 그룹		그룹간 시차	그룹내 시차
심발공	C1	100 ms	50 ms
확대공 및 바닥공	L1	50 ms	30 ms
	R1	30 ms	30 ms
	F1	50 ms	30 ms
	F2	30 ms	30 ms
외곽공	P1	3,970 ms	20 ms
	P2	20 ms	20 ms

표 3. 비전기뇌관 적용초시

뇌관번호 (LP)	1영역	2영역	3영역	4영역	5영역	6영역	7영역
	0ms	17ms	25ms	34ms	42ms	59ms	76ms
12	1,200	1,217	1,225	1,234	-	-	-
14	1,400	1,417	1,425	1,434	-	-	-
16	1,600	1,617	-	-	1,642	1,659	1,676
18	1,800	1,817	1,825	1,834	1,842	1,859	1,876
20	2,000	2,017	2,025	2,034	2,042	2,059	2,076
25	2,500	2,517	2,525	2,534	-	2,559	2,576
30	3,000	3,017	3,025	3,034	3,042	3,059	3,076
35	3,500	3,517	3,525	3,534	3,542	3,559	3,576
40	4,000	4,017	4,025	4,034	4,042	4,059	4,076
45	-	-	-	-	4,542	4,559	4,576

표 4. 발파진동추정식 적용한 진동속도

진동추정식	보안물건	이격거리	지발당장약량	진동속도 (cm/sec)
$V_{95\%} = 2405.9 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-2.10}$	축사	128m	0.375kg	0.032
	민가	88m	0.375kg	0.071

5. 계측 결과 및 분석

5.1 계측 결과

설계패턴도와 같이 지발당장약량 0.375kg/delay로 전자뇌관과 비전기뇌관의 조합공법을 적용하여 발파를 실시하였다.

발파 계측은 Instantel사의 Blastmate Series 제품을 사용하였으며, 총 11대의 계측기를 보안물건 및 자유장에 설치하였다. 그 중 발파지점과 최단거리 128m 이격되어 있는 축사에서는 발파진동속도 0.024cm/sec, 소음레벨 51.6dB(A), 88m 이격되어 있는 가옥에서는

발파진동속도 0.056cm/sec로 허용기준치 이내로 측정이 되었다.

5.2 결과 분석

시험발파 결과 축사와 민가에서 허용기준치 이내로 측정되어 보안물건에 물리적 영향은 없을 것으로 판단된다. 또한 계측된 DATA를 활용하여 표 4와 같이 본 현장의 지반조건에 맞는 발파진동 추정식을 산출하였으며, 이를 근거로 이격거리별 지발당장약량을 적용하여 민가와 축사에 진동속도를 예측한 결과 축사 0.032cm/sec, 민가 0.071cm/sec로 허용기준 이내

로 예상이 되어 보안물건에 큰 영향이 없이 설계구간의 공사를 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

시차오차 0.01% 이내의 정밀한 시차를 가진 전자뇌관으로 심발공과 확대공에 적용하여 허용기준 이내로 발파진동과 소음을 제어하였으며, 외곽공의 경우 전자뇌관의 정밀한 시차로 공과 공사이의 인장 파괴 유도를 극대화하여 설계굴착선의 손상범위를 줄여 여굴을 최소화 할 수 있었다. 전자뇌관의 초기설정은 심발부분 50ms, 확대부분 30ms, 외곽부분 20ms로 하였다.

6. 결론

본 시공사례는 보안물건이 근접한 터널에서 굴착 시 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)을 적용하여 발파진동과 소음의 감소 및 여굴 방지를 한 사례로 결론은 다음과 같다.

보안물건인 축사와 가옥이 각각 128m, 88m 이격된 터널현장에서 지발당장약량 0.375kg/delay로 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템(SBM)을 진행한 결과 축사에선 진동속도 0.024cm/sec, 소음레벨 51.6dB(A), 민가에선 0.056cm/sec로 측정이 되어 허용규제 기준 이내로 나타났다.

시험발파 결과에 계측된 DATA를 활용하여 현장

의 지반조건에 맞는 발파진동 추정식을 산출하였으며, 이를 근거로 이격거리별 지발당장약량을 적용하여 민가와 축사에 진동속도를 예측한 결과 허용기준치 미만인 축사 0.032cm/sec, 민가 0.071cm/sec로 예상이 되어 보안물건에 큰 영향 없이 설계구간의 공사를 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

터널 발파 시 최대 진동이 발생하는 심발부에 정밀한 시차를 가진 전자뇌관을 적용한 결과 발파진동이 감쇠되었으며, 또한 초시오차가 거의없는 전자뇌관을 이용하여 외곽공에 20ms로 초시를 설정하였을 경우 진동 및 소음제어와 여굴방지 효과가 우수한 것으로 나타났다. 그리고 확대공과 바닥공에 비전기뇌관을 사용하여 초시의 중첩 및 적용시차의 역전현상이 방지되었으며 전자뇌관의 사용량을 최적화하여 시공성과 경제성이 향상된 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 고려노벨화약, 2016, 제품설명서, pp. 30-35.
2. 김진수, 2013, 전자뇌관과 비전기뇌관을 조합한 발파시스템 및 발파방법에 관한 연구, 대한화약발파공학회.
3. 손영복, 김갑수, 김재훈, 2016, 분산장약공법을 이용한 도심지 전자발파 시공사례, 대한화약발파공학회 논문집.
4. 최태홍, 2017, 시험발파결과보고서, pp. 107-111.
5. ORICA, 2013, 제품카타로그, p. 3.



이 민 수

(주)고려노벨화약
기술영업팀 과장

Tel: 02-756-2863
E-mail: attom1234@daum.com



김 희 도

(주)고려노벨화약
기술영업팀 이사

Tel: 02-756-2863
E-mail: nonelgim@hanmail.net



이 효

SK건설
Infra ENG'G 2팀 부장

E-mail: hyolee@sk.com



이 준 원

SK건설
Infra ENG'G 2팀 과장

E-mail: jwlee0427@sk.com