

# 터널굴착 시 전자뇌관과 비전기뇌관 발파에 관한 비교 연구

윤지선<sup>1</sup>, 임수환<sup>2\*</sup>, 이진무<sup>3</sup>, 배상훈<sup>4</sup>

## Study on comparison with electronic detonation blasting and non-electric detonation blasting

Ji-Sun Yoon, Su-Hwan Lim, Jin-Moo Lee, Sang-Hoon Bae

**Abstract** Today, Large and bigger underground construction are increased. In this study, Blating used electronic detonation (OBM Method) and non-electric detonation are carried out. Through comparison with two method, reduction of vibration and noise and efficiency of construction are investigated. As a result of this study, using electronic detonation is shown that it can control lower vibration and noise level, and better HCF, mucfile, advance rate and fragmentation.

**Keywords:** Electronic detonation, electric detonation

요 지 본 연구에서는 정밀한 초시설정이 가능한 전자뇌관을 이용하여 터널에서의 다단 시차 분할발파(OBM)를 실시하며 대형 대단면 지하 공간 창출 요구에 발맞추어 기존뇌관(비전기뇌관)과의 비교를 통해 진동·소음 저감효과와 시공성, 효율성을 비교 검토하고자 하였다. 본 연구를 통해 전자뇌관 적용 시 진동 소음 제어 및 비산거리, 여굴량, 파쇄입도가 비전기뇌관과 비교하여 양호한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

주요어: 전자뇌관, 비전기뇌관

### 1. 서 론

우리나라는 지난 20년 동안 사회 간접시설(도로, 철도, 전력, 통신시설 등)의 소 단면 터널건설에 급속한 발전을 이룩하여 양과 규모면에서 국제적 상위위치에 있다. 이런 급속한 양적성장과 비교해 대형 지하 공간 건설기술 능력은 미흡한 현실이다. 하지만 대형·대단면 지하 공간 창출에 대한 요구는 매우 크고 강하여 신속한 건설기술 개발이 필요하다. 사회간접시설인 터널의 규모 확대에 따른 발파 굴착 시 굴진효율을 높이고 발파 진동을 저감시키며 공기단축과 공사비용 절감을 위한 발파 굴착 기술의 개발이 시급한 실정이다. 오늘날 가장 일반화되어 발파현장에서 사용되고 있는 전기뇌관과 비전기뇌관의 경우 정밀도가 MS(Milli Second) 단위까지 이르렀으나, 뇌관 지연시차의 부정확성과 정밀성 부족으로 인해 진동과 소음의 환경피해와 발파효율의 감소를 초래한다.

본 연구에서는 정밀한 초시설정이 가능한 전자뇌관을

이용하여 터널에서의 다단 시차 분할발파(OBM)를 실시하며 대형 대단면 지하 공간 창출 요구에 발맞추어 기존뇌관(비전기뇌관)과의 비교를 통해 진동·소음 저감 효과와 시공성, 효율성을 비교 검토하고자 한다.

### 2. 전자기폭시스템의 구성 및 특성

1990년대 초반에 전자 타이머에 의해 초 정밀시차로 특수한 용도에 사용하기 위해 개발된 전자 뇌관(Electronic detonator)은 시차범위를 0~25,000 ms까지 부여할 수 있으며 IC회로를 통해 기폭한다. 기존 뇌관(MS, DS)의 경우 단차별 오차범위가 후단으로 갈수록 50 ms 이상의 큰 오차가 날수 있는 데 반하여 전자뇌관의 경우 단차별 0.2 ms 이하의 오차범위로 Controlled blasting(터널의 경우 smooth blasting)이나 적정 파쇄입도를 원하는 석산이나 광산 등에서 사용목적에 따라 보다 적절하게 대

<sup>1</sup>정회원, 인하대학교 토목공학과 교수  
<sup>2</sup>정회원, 인하대학교 토목공학과 석사  
<sup>3</sup>정회원, SK건설 GeoTask팀 팀장  
<sup>4</sup>정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정, 태건건설 대표이사  
\*교신저자: 임수환 (limsh7177@naver.com)



그림 1. 전자뇌관의 내부구조(Sasol catalogue)

처할 수 있다는 장점을 가지고 있다(2006 윤지선 외).

### 3. 파형합성 및 초시결정

#### 3.1 파형합성

파형과 관계없이 전형적인 발파진동은 종선을 따라 시간이나 거리에 따라 변하는 사인파로 근사할 수 있다. 합성하고자 하는 정현파(正弦波)의 시간차를 조절하여 임의의 시간대에서 +, - 수치를 가감의 수치합성을 수행함으로써 각 파형간의 간섭 효과로 진동이 제어되도록 한다.

#### 3.2 초시결정

##### o 파형합성프로그램

현장암반에서 단공시험발파를 수행함으로써 독립파

형을 획득한 후 각 독립파형을 1 ms부터 100 ms까지 1 ms 단위로 늘리며 합성을 하여 현장에 알맞은 진동이 최소가 되는 지연초시를 찾아낼 수 있다. 또한 실제 발파와 동일한 조건으로 발파 공수를 부여하여 시뮬레이션 함으로서 실제 발파 시 발파진동의 진동레벨도 예측이 가능하다.

### 4. 현장실험

#### 4.1 현장개요

실험은 경부고철 구간의 00 터널 STA.377k225.5~STA.372K183.1 구간에서 실시하였다. 본 구간은 백악기 하양층군 퇴적암류와 혼펠스, 백악기 흑운모화강암, 화산암 복합체등이 혼재해있으며 주요 암종은 세일~사암이다. 층리면이 주향 N10°W, 경사 15°SW, 용연단층

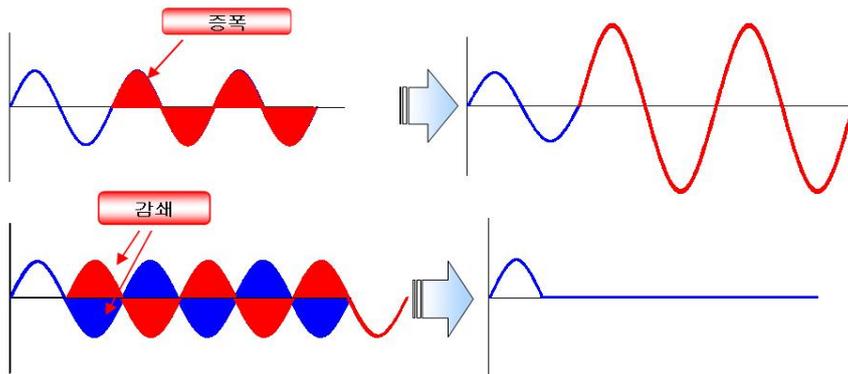


그림 2. 파형합성의 원리

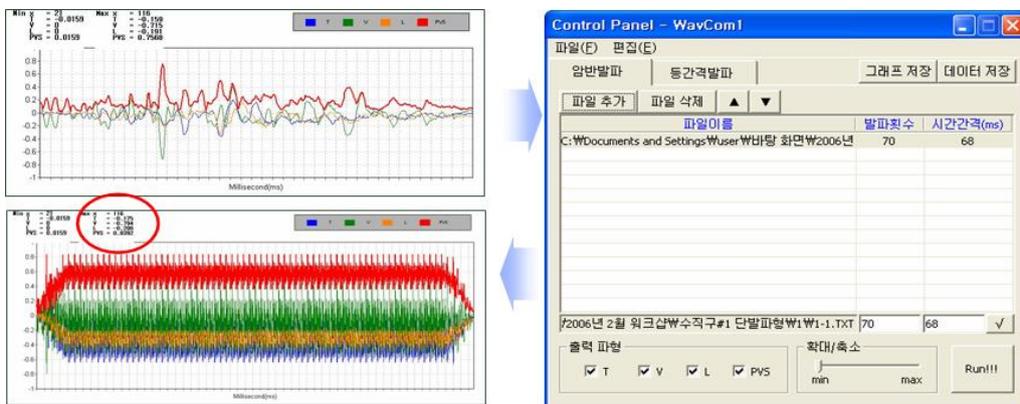


그림 3. 파형합성 프로그램

이 주향 N14°E, 경사 90° 퇴적암~혼펠스 경계부 단층이 주향 N75°W, 경사 85°NE로 분포해있으며 RMR은 18~29이고 IV, V등급의 암반등급을 나타내고 있다.

4.2 실험방법

전자뇌관과 비전기뇌관을 비교하기 위하여 비전기뇌관을 이용한 발파를 두 번 수행한 후 전자뇌관을 이용한 발파를 총 5회 실시하였다. 전자뇌관을 이용한 발파는

전자뇌관을 전 영역에 활용하고 단공발파를 원칙으로 하며 공수 및 발파규모를 고려하여 총 12개의 소영역으로 분할하여 하여 발파를 수행하였다. 각 실험의 적용초시와 적용발파패턴 및 실험제원은 다음 표 1, 2, 3에 나타내었다.

4.3 초시결정

공간 지연초시는 기초 단발발파에서 얻어진 발파파형

표 1. 비전기 뇌관 발파 패턴도, 장약패턴도

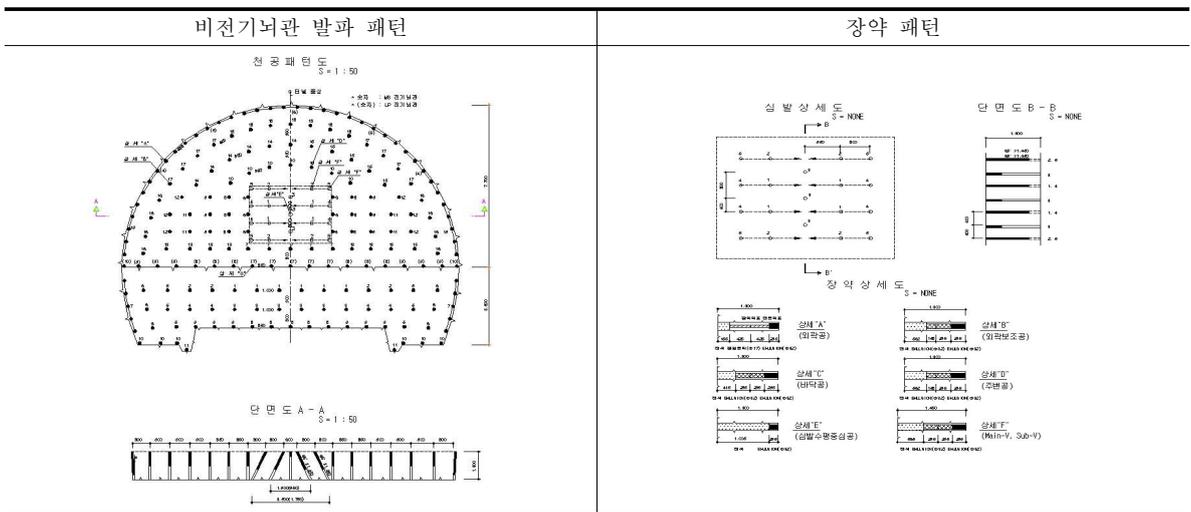


표 2. 전자뇌관 발파 패턴도, 장약패턴도

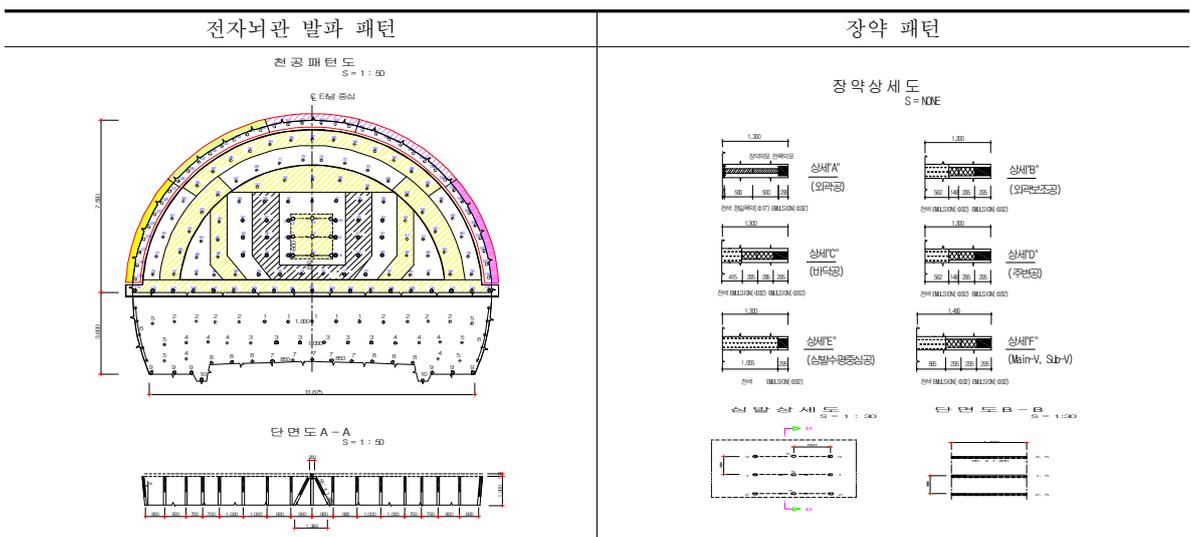
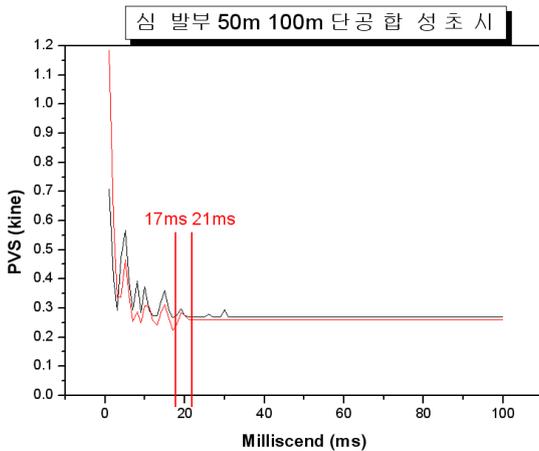


표 3. 실험 제원

	천공장 (m)	천공수 (공)	지발당 장약량 (kg)	총 장약량 (kg)
비전기 1	1.2	160	2.0	104
비전기 2	1.5	160	2.0	130
실험 1	1.5	150	1.5	100
실험 2	1.5	150	1.5	125
실험 3	1.5	150	1.5	130
실험 4	1.2	150	1.5	112
실험 5	1.5	154	1.5	105

을 파형합성프로그램을 이용하여 도출한 적용 가능 초시 17, 21, 45, 66 ms를 각각 실험에 따라 분할하여 적용하고 영역 간 지연초시는 800 ms를 적용하였다. 파형합성프로그램에 의해 도출하는 초시결정과정과 각 실험별 적용초시는 다음 그림 4, 표 4와 같다.



#### 4.4 실험 결과

##### 1) 발파진동 계측

계측된 데이터를 통한 95% 신뢰도의 발파진동 추정식 산출 결과 근소하지만 K값 및 n값 모두 낮은 값으로 전자뇌관이 발파진동에 유리한 결과를 나타내었다. 발파진동 추정식 산출 결과는 표 5와 같다.

##### 2) 소음 계측

소음측정 결과 전체적으로 비전기뇌관을 적용했을 경우가 전자뇌관을 적용했을 경우보다 소음레벨이 크게 측정되었다. 비전기뇌관을 적용한 경우의 평균 소음레벨은 131.2 dB을 나타냈고 전자뇌관을 적용한 경우는 120.68 dB을 나타내었다. 이는 전자뇌관을 사용했을때 비전기뇌관을 사용한 경우보다 8%의 감소를 보였고 그림 3에서 가장 적은 소음을 나타낸 실험3의 경우는 비전기뇌관 사용 시 평균 소음레벨과 비교하여 14%의 소음 감소를 보였다.

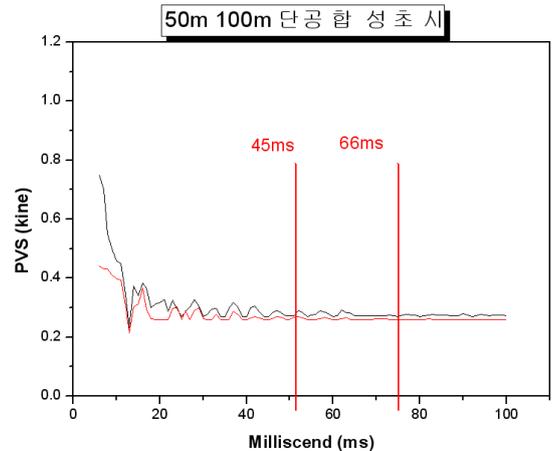


그림 4. 초시 결정

표 4. 적용 초시 개요

	심발부	확대부	바닥부	최외곽부
비전기 1,2	MS 1~5번	MS 6~18번	LP 7~10번	MS 19, LP4~6번
실험 1	17 ms	45 ms	45 ms	17 ms
실험 2	17 ms	17 ms	17 ms	17 ms
실험 3	21 ms	66 ms	66 ms	21 ms
실험 4	21 ms	66 ms	66 ms	21 ms
실험 5	17 ms	45 ms	45 ms	17 ms

표 5. 발파진동 Data 및 진동추정식 산출

자승근		삼승근	
비전기 K = 411.65 n = -1.34	전자 K = 341.19 n = -1.36	비전기 K = 495.23 n = -1.33	전자 K = 454.57 n = -1.36

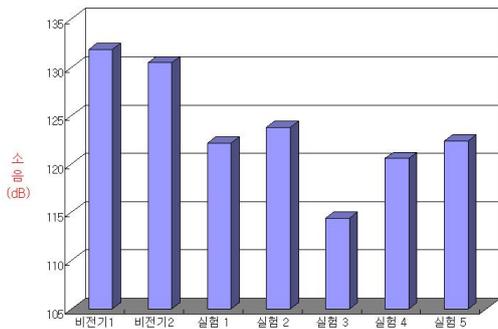


그림 5. 소음 측정 결과 비교

3) 비산거리 및 굴진율 측정

비산거리 측정 결과 비전기뇌관을 사용한 경우의 평균 비산거리는 13.7 m를 나타내었고 전자뇌관을 사용한

경우는 10.74 m를 나타내었다. 이는 전자뇌관을 적용했을 경우 비전기뇌관 적용 시 보다 27.5%의 거리감소를 보였다.

굴진율 측정 결과는 비전기 뇌관 적용 평균 굴진율은 77.5% 전자뇌관 적용 평균 굴진율은 81.9%이다. 굴진율 비교 시 전자뇌관 적용이 약 5.4% 높은 굴진율을 보였다. 비산거리 측정결과 및 굴진율 측정결과는 다음 그림 6, 7과 같다.

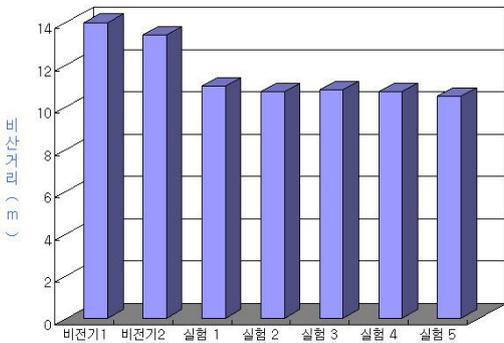


그림 6. 비산거리 측정 결과 비교

4) 여굴량 측정 및 파쇄입도 분석

여굴량은 비교적 비슷한 수준의 결과를 보였으며 전자뇌관 적용 총 5회 실험의 평균은 0.484 m 비전기뇌관 2회 평균은 0.4905를 나타내었다.

평균 파쇄입도( $P_{50}$ )분석 결과 전자뇌관의 파쇄입도가

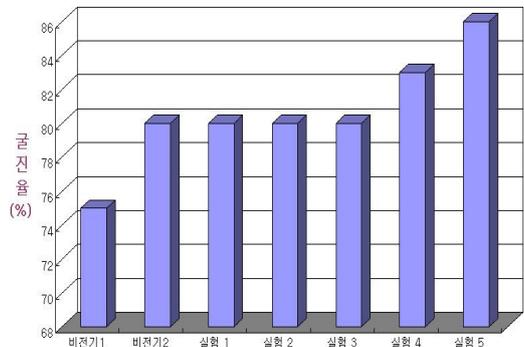


그림 7. 굴진율 측정 결과 비교

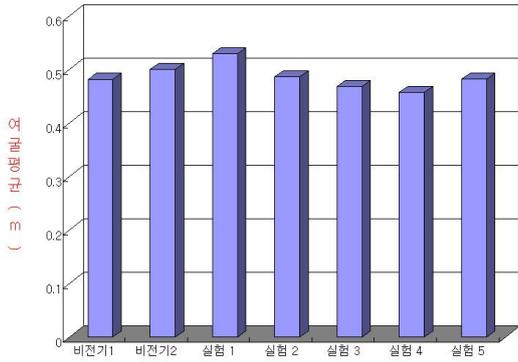


그림 8. 여굴량 측정 결과 비교

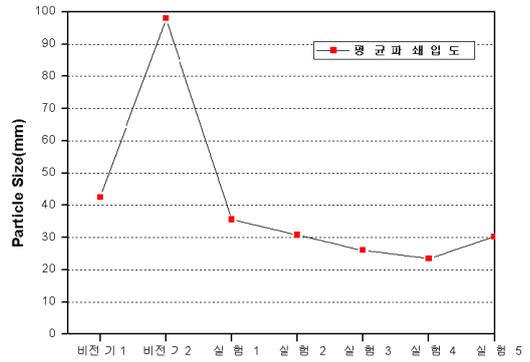


그림 9. 과쇄입도 분석결과 비교

비전기너관 적용시 보다 양호한 결과를 나타내었으며 전자너관 적용 과쇄입도의 평균값과 비전기 적용의 과쇄입도 평균값을 비교한 결과 전자너관을 적용한 경우의 과쇄입도가 약 50%정도 낮게 나타났다. 여굴량 측정과 평균과쇄입도 분석결과는 그림 8, 9와 같다.

## 5. 결론 및 고찰

전자너관의 경우 단공발파가 원칙이며 다양한 시차를 매우 작은 오차로 입력이 가능하다. 이를 이용하여 기존의 비전기너관을 이용한 발파와 전자너관을 적용한 다단시차 발파(OBM)를 비교하여 전자너관을 적용하는 경우가 진동·소음 저감, 효율성 증대를 이룰 수 있음을 증명하는 것이 이 논문의 목적이라 할 수 있다. 비전기너관을 적용한 발파와 전자너관을 적용한 발파의 비교 결과는 다음과 같다.

1) 진동치 측정자료의 회기분석결과, 전자너관의 파형 합성에 의해 도출된 지연초시를 이용한 다단 분할 발파의 결과가 K값, n 값 모두 근소하게 더 낮은 진동치를 나타낼 수 있는 낮은 값을 나타내었다. 하지만 낮은 실험횟수로 회기분석에서 큰 신뢰도를 갖지 못하므로 추후 많은 데이터를 확보한 K, n치의 비교가 필요할 것으로 사료된다. 또한 소음의 크기는 전자너관을 사용했을 경우 비전기와 비교하여 전체적으로 낮은 값을 나타내었고 8%정도의 감소를 보였다.

2) 비산거리 측정 결과 전자너관을 사용했을 경우 비전기너관을 사용했을때와 비교하여 27.5%의 거리감소를 나타내었으며 굴진률은 전자너관의 경우 5.4%정도 낮았으나 차이는 거의 없었다. 전자너관 적용시의 평균과쇄입도는 비전기너관 적용시 보다 50%정도 낮게 나타났으며 비전기너관 적용시 전자너관에 비하여 대피의 발생량이 큰 것으로 나타났다. 이는 전자너관의 큰 특징 중 하나인 매우 높은 정밀도로 발파가 효율적으로 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

여굴량 측정 결과 두 경우 거의 차이가 없는 1.3%를 나타내었다. 일반 터널 굴착공법 적용시 최외곽 굴착에 사용되는 smooth blasting 공법의 경우 제발로 인한 높은 지발당 장약량을 나타내지만 전자너관을 활용할 경우 최외곽영역도 분할이 가능하며 실제 적용시 큰 차이를 나타내지 않았으므로 낮은 진동, 소음 레벨과 적은 손상영역을 나타낼 것이라 사료된다.

3) 기존 비전기너관의 경우 지연시차의 높은 오차범위를 가지고 있으며 단수의 제약을 받는 단점을 가지고 있으나 전자너관의 경우 0~25,000 ms까지의 범위 안에서 자유로운 단차를 줄 수 있으며 초시의 오차가 적은 장점을 가지고 있다. 이를 이용하여 본 실험을 통해 확인한 진동·소음 저감효과로 인한 민원문제 해결, 비산거리 감소, 굴진을 증가 여굴량 감소로 시공성, 효율성 증대효과까지 기대할 수 있다.

참고문헌

1. 윤지선, 임종민, 배상훈, 이진무 (2006), “발파진동 파형 합성과 전자뇌관을 이용한 전단면 다단시차 발파에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 2006년도 정기학술대회 논문집, pp. 578-581.
2. Sasol Co. Ltd. Sasol Explosives Catalogue. (남아프리카 공화국)



윤 지 선

인하대학교  
토목공학과  
교수

E-mail: jyoona@inha.ac.kr



임 수 환

인하대학교  
토목공학과  
석사

E-mail: limsh7177@naver.com



이 진 무

SK건설  
GeoTast팀  
팀장

E-mail: Jmlee-d@skec.co.kr



배 상 훈

인하대학교  
토목공학과 박사과정,  
태진건설 대표이사

E-mail: taejin@taejinenc.com