

터널굴착 시 전자뇌관과 비전기뇌관 발파에 관한 비교 연구

윤지선¹⁾ · 임수환¹⁾ · 이진무²⁾ · 이 효²⁾

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 저감효과와 시공성, 효율성을 비교 검토하고자 한다.

2. 전자기폭시스템의 구성 및 특성

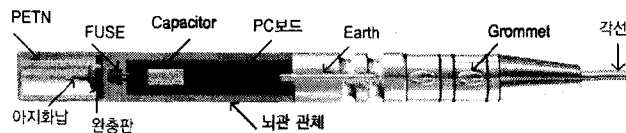


그림 1. 전자뇌관의 내부구조

1990년대 초반에 전자 타이머에 의해 초 정밀시차로 특수한 용도에 사용하기 위해 개발된 전자 뇌관(Electronic detonator)은 시차범위를 0~25,000ms까지 부여할 수 있으며 IC회로를

1) 인하대학교

2) SK건설

통해 기록한다. 기존 뇌관(MS, DS)의 경우 단차별 오차범위가 후단으로 갈수록 50ms이상의 큰 오차가 날수 있는 데 반하여 전자뇌관의 경우 단차별 0.2ms이하의 오차범위로 Controlled blasting(터널의 경우 smooth blasting)이나 적정 파쇄입도를 원하는 석산이나 광산 등에서 사용목적에 따라 보다 적절하게 대처할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3. 파형합성 및 초시결정

3.1 파형합성

파형과 관계없이 전형적인 발파진동은 종선을 따라 시간이나 거리에 따라 변하는 사인파로 근사할 수 있다. 정현파(正弦波)의 +, - 수치를 조정하여 시간차를 조절하면 수치합성에 의해 간섭 효과로 진동이 제어되도록 한다.

3.2 초시결정

파형합성프로그램

현장암반에서 단공발파로 독립파형을 획득하여 각 독립파형을 실제 발파환경과 동일하게 시뮬레이션 함으로서 실제 발파 시 진동이 최소가 될 수 있는 지연초시를 찾을 수 있으며, 또한 결정된 지연초시 적용 시 발파진동의 예측도 가능하다.

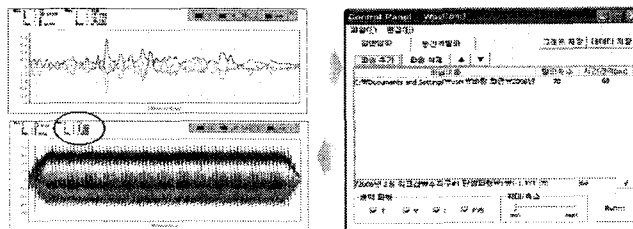


그림 2. 파형합성 프로그램

4. 현장실험

4.1 현장개요

표 1. 현장 개요

구 분	내 용
터 널 명	00 터널
굴착구간	STA.372k225.5~STA.372k183.1
주요암종	세일~사암
RMR	18 ~ 29
암반등급	IV, V 등급

암종분포	• 백악기 하양층군 퇴적암류(세일, 사암) 및 혼펠스, 백악기 흑운모화강암, 화산암 복합체 (안산암, 각력응회암, 유문암 등), 제3기 암맥군으로 형성
지질구조	• 충리면 방향성(주향 N10°W, 경사 15°SW), 용연단층(주향 N14°E, 경사 90°) • 퇴적암~혼펠스 경계부 단층(주향 N75°W, 경사 85°NE)
특기사항	• 퇴적암~화강암 경계(혼펠스), 화강암지역(습지발달), 화산암 복합체(혼펠스 포획)

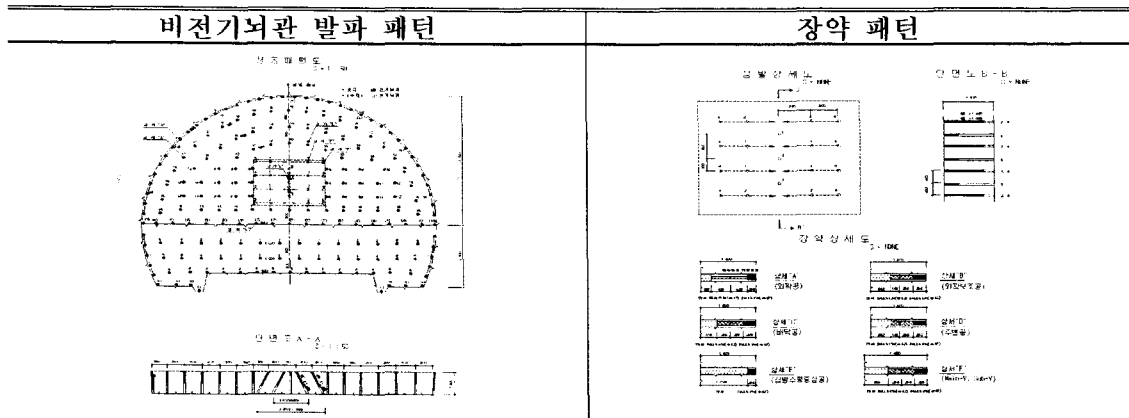
4.2 실험방법

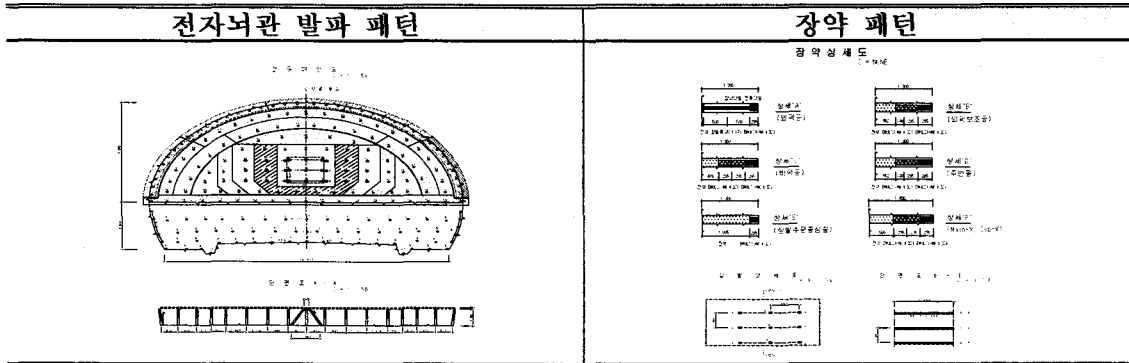
전자뇌관과 비전기뇌관을 비교하기 위하여 비전기뇌관을 이용한 발파를 두 번 수행한 후 전자뇌관을 이용한 발파를 총 5회 실시하였다. 전자뇌관을 이용한 발파는 전자뇌관을 전 영역에 활용하고 단공발파를 원칙으로 하며 공수 및 발파규모를 고려하여 총 12개의 소영역으로 분할하여 하여 발파를 수행하였다. 공간 지연초시는 기초 단발발파에서 얻어진 발파파형을 합성하여 얻어진 가능 초시 17, 21, 45, 66ms를 적용하고 영역간 지연초시는 800ms를 적용하였다. 각 실험의 적용초시는 다음과 같다.

표 2. 실험 개요

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

표 3. 비전기 뇌관 및 전자뇌관 발파 패턴도, 장약패턴도

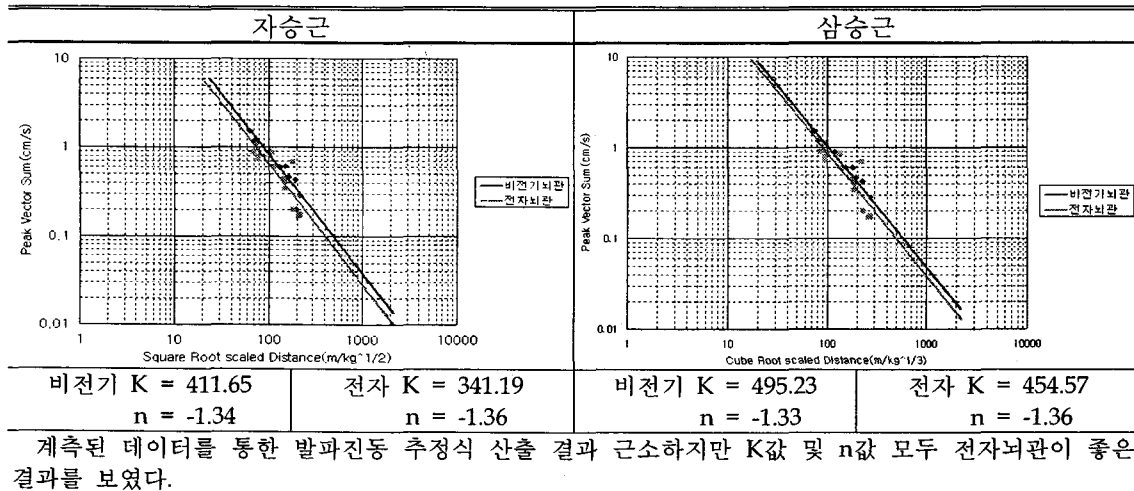




4.3 실험 결과

1) 발파진동 계측

표 4. 발파진동 Data 및 진동추정식 산출



2) 소음 계측

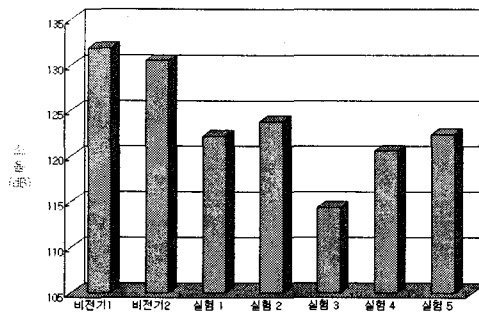


그림 3. 소음 측정 결과 비교

소음측정 결과 전체적으로 비전기뇌관을 적용했을 경우가 전자뇌관을 적용했을 경우보다 소음레벨이 크게 측정되었다. 비전기뇌관을 적용한 경우의 평균 소음레벨은 131.2dB을 나타냈고 전자뇌관을 적용한 경우는 120.68dB을 나타내었다. 이는 전자뇌관을 사용했을때 비전기뇌관을 사용한 경우보다 8%의 감소를 보였고 가장 적은 소음을 나타낸 실험3의 경우는 14%의 소음감소를 보였다.

3) 비산거리 및 굴진율 측정

비산거리 측정 결과 비전기뇌관을 사용한 경우의 평균 비산거리는 13.7m를 나타내었고 전자뇌관을 사용한 경우는 10.74m를 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.

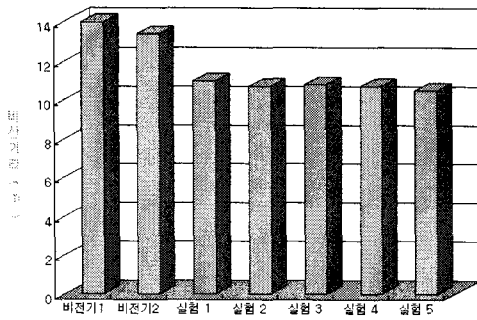


그림 4. 비산거리 측정 결과 비교

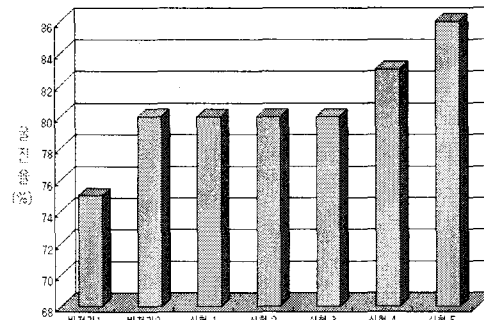


그림 5. 굴진율 측정 결과 비교

5) 여굴량 측정 및 파쇄입도 분석

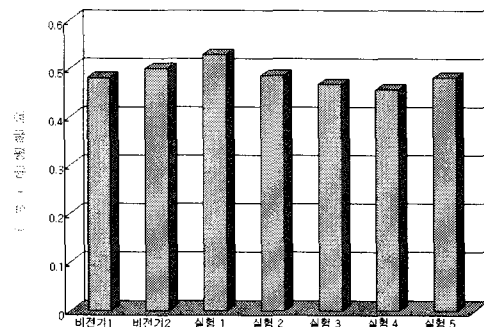


그림 6. 여굴량 측정 결과 비교

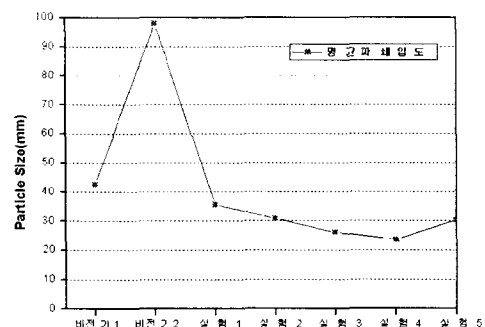


그림 7. 파쇄입도 분석결과 비교

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

1.3% 감소한 것으로 나타났다.

평균 파쇄입도(P_{50})분석 결과 전자뇌관의 파쇄입도가 비전기뇌관 적용시 보다 양호한 결과를 나타내었으며 전자뇌관 적용 파쇄입도의 평균값과 비전기 적용의 파쇄입도 평균값을 비교한 결과 전자뇌관을 적용한 경우의 파쇄입도가 약 50%정도 낮게 나타났다.

5. 결론

전자뇌관의 경우 단공발파가 원칙이며 다양한 시차를 매우 적은 오차로 입력이 가능하다. 이를 이용하여 기존의 비전기뇌관을 이용한 발파와 전자뇌관을 적용한 다단시차 발파(OBM)를 비교하여 전자뇌관을 적용하는 경우가 진동·소음 저감, 효율성 증대를 이룰수 있음을 증명하는 것이 이 논문의 목적이라 할수있다. 비전기뇌관을 적용한 발파와 전자뇌관을 적용한 발파의 비교 결과는 다음과 같다.

- 1) 진동치 측정자료의 회기분석결과, 전자뇌관의 파형합성에 의해 도출된 지연초시를 이용한 다단 분할발파의 결과가 K값, n 값 모두 근소하게 좋은 값을 나타내었다. 또한 소음의 크기는 전자뇌관을 사용했을 경우 비전기와 비교하여 전체적으로 낮은 값을 나타내었고 8% 정도의 감소를 보였다.
- 2) 비산거리 측정 결과 전자뇌관을 사용했을 경우 비전기뇌관을 사용했을때와 비교하여 27.5%의 거리감소를 나타내었으며 굴진률 역시 5.4%정도 증가하였고, 전자뇌관 적용시의 평균파쇄입도는 비전기뇌관 적용시 보다 50%정도 낮게 나타났으며 비전기뇌관 적용시 전자뇌관에 비하여 대파의 발생량이 큰 것으로 나타났다. 여굴량 측정 결과 큰 차이는 보이지 않았으나 평균값으로 나타낸 경우에는 전자뇌관 적용의 경우가 1.3% 작은 여굴량을 보였다.
- 3) 기존 비전기뇌관의 경우 지연시차의 높은 오차범위를 가지고 있으며 단수의 제약을 받는 단점을 가지고 있으나 전자뇌관의 경우 0~25,000ms까지의 범위안에서 자유로운 단차를 줄수 있으며 초사의 오차가 적은 장점을 가지고 있다 이를 이용하여 본 실험을 통해 확인한 진동·소음 저감효과로 인한 민원문제 해결, 비산거리 감소, 굴진률 증가 여굴량 감소로 시공성, 효율성 증대효과까지 기대할수 있다.

감사의 글

본 논문은 건설 교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설핵심기술연구개발사업(04핵심기술C01)의 지원으로 이루어진 것으로, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 윤지선, 1992, 최신 발파기술, 구미서관. pp. 55.
2. 윤지선, 임종민, 배상훈, 이진무, 2006, 발파진동 파형합성과 전자뇌관을 이용한 전단면 다단 시차 발파에 관한 실험적 연구, 대한토목학회, 2006년도 정기학술대회 논문집 pp. 578-581.
3. 선우춘, 류창하, 2000, 발파진동 측정에 대한 고찰, 화약·발파, 대한화약발파학회, Vol. 18, No. 4.
4. 선우춘, 류창하, 최병희, 2001, 영상처리기법에 의한 발파 파쇄암의 파쇄도측정, 화약·발파, Vol. 19, No. 2.
5. Sasol Co. Ltd. Sasol Explosives Catalogue.