

다단식 발파기와 전자뇌관(OBM공법)을 이용한 벤치 킷 발파에 관한 비교 연구

윤지선¹⁾ · 배상훈²⁾

1. 서 론

최근 지반굴착 시공 시 가장 큰 문제가 되는 것은 진동·소음관련 민원발생이다. 특히 도심지 및 도심근접지 발파 굴착 시공에 있어서 진동·소음 민원에 대한 효과적인 대책이 필요한 실정이며, 관련 연구수행 실적도 미비한 수준이다.

본 연구에서는 정밀 제어발파의 장점을 가지고 있는 전자뇌관과 다단식 발파기를 사용하였으며 기존 발파와 비교하여 그 특성을 분석하였다. 100공 발파 규모의 노천굴착 현장에서 전자뇌관은 발파진동 파형합성을 통해 얻어진 최적초시를 적용하여 16ms, 45ms의 지연시차를 사용하여 다단시차 분할 발파를 실시하였고, 다단식 발파기는 10ms, 50ms를 적용한 발파를 실시하여 진동, 소음 및 감쇄특성을 분석하여 각각의 발파기법을 비교함으로써 진동·소음 저감을 위한 최적의 발파기법을 수립하는데 그 목적이 있다.

2. 기폭시스템

2.1 전자뇌관

1990년대 초 개발된 전자뇌관의 특징은 지연초시설정의 정밀성과 자율성에 있다. 전자뇌관은 기존뇌관의 지연요소와 다른 매개체로서 그림 1과 같이 IC회로를 내장한 PC칩을 쓰고 있다. 이로 인해 지연요소로 첨장약을 쓰는 기존뇌관의 초시오차범위(10%이내)보다 정밀한 초시오차범위(1~2%이내)를 가지고 있다. 또한, 0~25000ms까지 1ms 단위로 초시적용이 가능하므로 단차적용범위의 무한성을 가지고 있다.

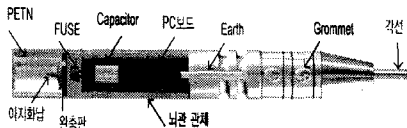


그림 1. 전자뇌관의 내부구조



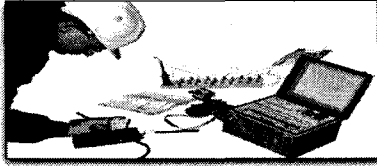

전자 기폭 시스템의 구성

1) 인하대학교

2) (주)미래공영

2.2 다단식 발파기


표 1. 다단식 발파기의 기폭 시스템

다단식 발파기	
기폭 시스템 구성	 
원 리	<ul style="list-style-type: none"> • 뇌관에 전류공급 시간을 조정하여 뇌관고유시차+발파기에 의한 지연시차로 수백여 공을 발파
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 지반진동 : 저감효과 우수 • 소 음 : 모든 뇌관이 공내에서 기폭되므로 유리함
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • Tester기에 의해 회로 점검 • 모든 공을 결선하여야 하므로 시간이 다소 지연 • 초시 조정에 한계를 가지고 있음
비산거리	<ul style="list-style-type: none"> • 단수증가 및 1발파당 약량 감소로 비산거리 감소

3. 현장 실험

3.1 현장 및 지질 개요

표 1. 현장 및 지질 개요

현장 위치	경기도 ○○시 일원 ○○지구 택지개발사업 조성공사	현장 지질도
지질 개요	<ul style="list-style-type: none"> • 층서 : 선캠브리아기(Pre-Cambrian)에 해당 • 암 상 : Pre Cambrian Banded Biotite Gneiss (호상 흑운모 편마암) ↳ 흑운모대와 석영장석질대의 호상 구조를 나타냄. 	

3.2 실험 방법

본 실험에서는 100공 발파 규모의 노천굴착 현장에서 전자뇌관은 발파진동 파형합성을 통해 최적초시를 적용하여 16ms, 45ms의 지연시차를 사용하여 다단시차 분할 발파(OBM공법)를 실시하였고, 다단식 발파기는 기존의 전기뇌관을 사용하여 10ms, 50ms를 적용한 발파

를 실시하였다. 이에 대한 자세한 내용은 표 2~5에 수록하였다.

표 2. 다단식 발파기를 이용한 10ms시차적용 발파패턴

발파 패턴도	발파 개요
	<ul style="list-style-type: none"> • 다단시차 발파기를 이용 발파 • 목적: 기존 전기뇌관을 이용한 다단시차 발파 • 적용초시: 10 ms • 총 발파시간: 990 ms (= 1 sec)
	발파 제원
	<ul style="list-style-type: none"> • 천공경: $\varnothing 76$ • 벤치높이: 7.2 m • 공수: 100 공 • 천공장: 8 m • 최소저항선: 2.5 m • 공간격: 3.0 m • 공당 장약량: 12 kg • 총 장약량: 1200 kg • 비 장약량: 0.222 kg/m²

표 3. 다단식 발파기를 이용한 50ms시차적용 발파패턴

발파 패턴도	발파 개요
	<ul style="list-style-type: none"> • 다단시차 발파기를 이용 발파 • 목적: 기존 전기뇌관을 이용한 다단시차 발파 • 적용초시: 50 ms • 총 발파시간: 4950 ms (= 5.0 sec)
	발파 제원
	<ul style="list-style-type: none"> • 천공경: $\varnothing 76$ • 벤치높이: 7.2 m • 공수: 100 공 • 천공장: 8 m • 최소저항선: 2.5 m • 공간격: 3.0 m • 공당 장약량: 12 kg • 총 장약량: 1200 kg

표 4. 다단식 발파기를 이용한 10ms시차적용 분할 발파패턴

발파 패턴도	발파 개요
	<ul style="list-style-type: none"> • 다단시차 발파기를 이용 발파 • 목적: 기존 전자뇌관을 이용한 다단시차 발파 • 적용방법: 20회로 다단시차 발파기를 이용 20회로를 10ms로 연결 • 적용초시: 10 ms • 영역당 발파 공 수: 20 공 • 영역간 지연시차: 800 ms • 총 발파시간: 6190 ms (≒ 6.2 sec) <hr/> <p style="text-align: center;">발파 제원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 천공경: Ø 76 • 벤치높이: 7.2 m • 공 수: 120 공 • 천공장: 8 m • 최소저항선: 2.5 m • 공간격: 3.0 m • 공당 장약량: 12 kg • 총 장약량: 1440 kg

전자뇌관을 이용한 발파에서는 영역을 총 8구역으로 구분하여 영역간 장약량 비율을 1:1:1.3:1:1:1.3으로 구분함으로써 리듬감(6/8박자)을 부여하여 진동·소음 저감뿐만 아니라 발파 소음에 의한 불쾌감을 저감시키려 시도하였다.

표 5. 전자뇌관을 이용한 OBM공법 적용 발파패턴

발파 패턴도	발파 개요
	<ul style="list-style-type: none"> • 전자뇌관 합성초시 적용 분할 발파 • 목적: 합성초시와 영역구분을 통한 발파진동, 소음의 저감을 목적으로 함 • 적용초시: 1~4영역: 16ms 5~8영역: 45ms • 영역간 시차: 1~4영역: 1000ms 5~8영역: 800ms • 총 발파시간: 8859 ms (≒ 8.9 sec) <hr/> <p style="text-align: center;">발파 제원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 천공경: Ø 76 • 벤치높이: 7.2 m • 천공장: 8 m • 공 수: 100 공 • 최소저항선: 2.5 m • 공간격: 3.0 m • 공당 장약량: 12 kg • 총 장약량: 1200 kg

발파 진동·소음 계측기는 InstanTel사의 Blastmate DS-677 4대와 DS-477 7대를 사용하였으며 회귀분석 data 확보를 위해 발파원으로부터 최초 50m지점에서 이격거리 20m간격으로 가급적 일직선상에 계측기를 설치하였다

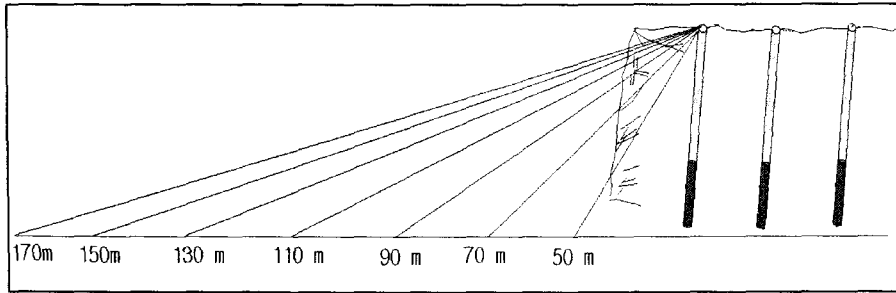


그림 2. 계측 모식도

3.3 실험 결과

발파 진동 및 감쇄경향 분석

본 4회에 걸친 100공 이상의 시험발파에서 7.2m정도의 벤치에 천공경 76mm로 천공하여 에멀전계 폭약을 사용하여 발파하였다. 천공장 8m, 최소저항선 2.5m로 동일한 조건을 적용하여 발파하였다. 시험발파에서 측정된 진동치를 근거로 회귀분석을 한 결과비교가 표 6~9 까지이며 그림 3은 소음치를 그래프로 비교한 것이다.

표 6. PVS를 이용한 자승근 진동 추정식 비교

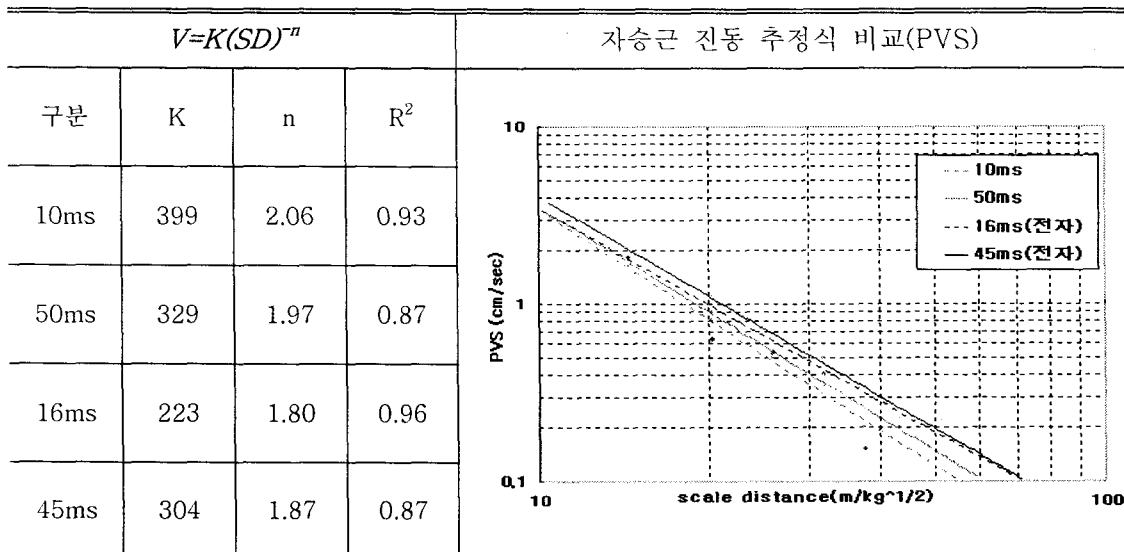


표 7. PVS를 이용한 삼승근 진동 추정식 비교

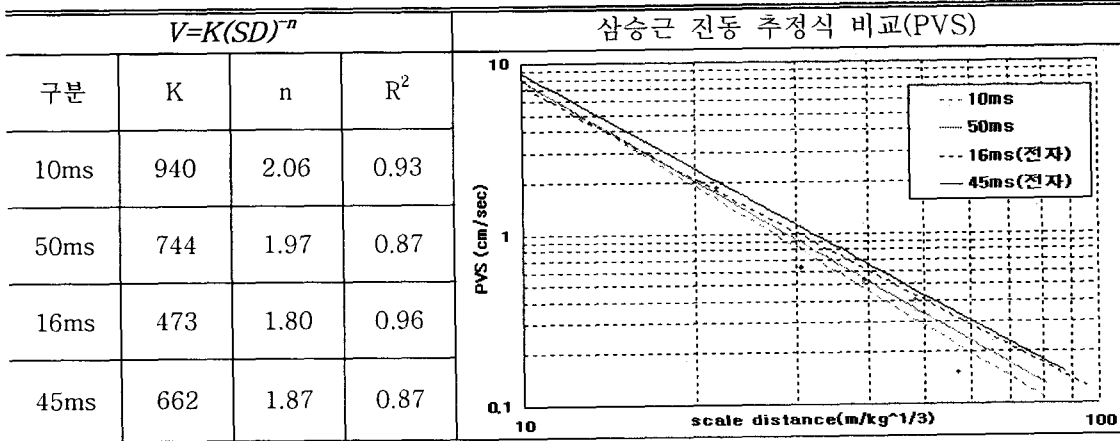


표 8. PPV를 이용한 자승근 진동 추정식 비교

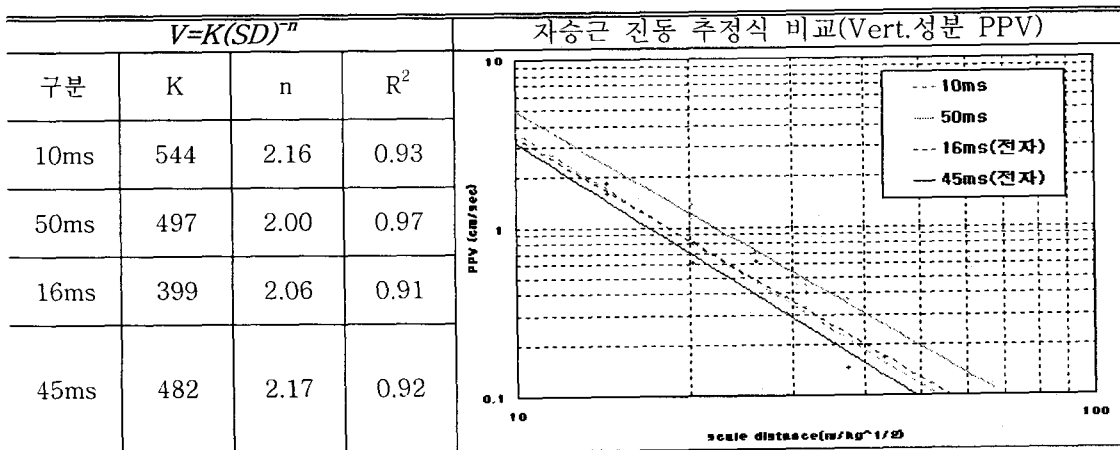
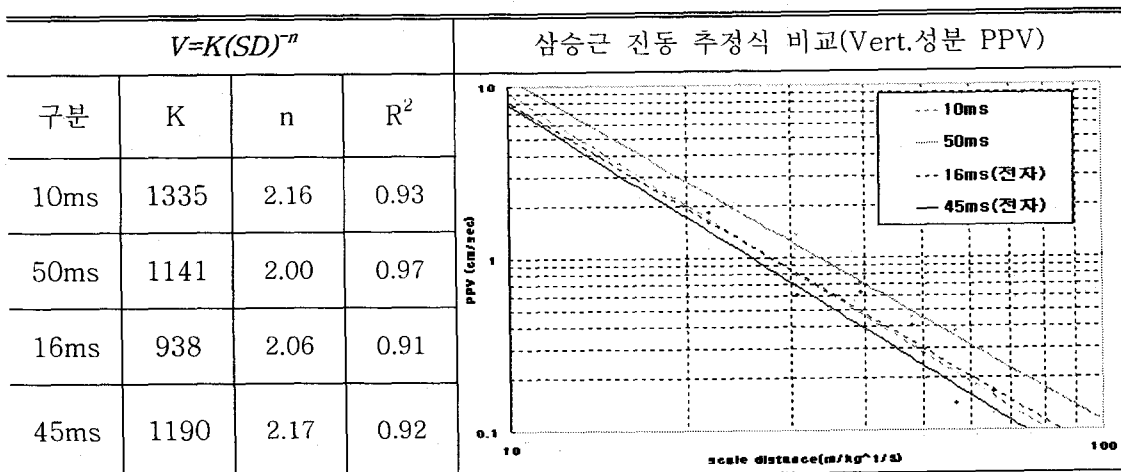


표 9. PPV를 이용한 삼승근 진동 추정식 비교



소음 분석

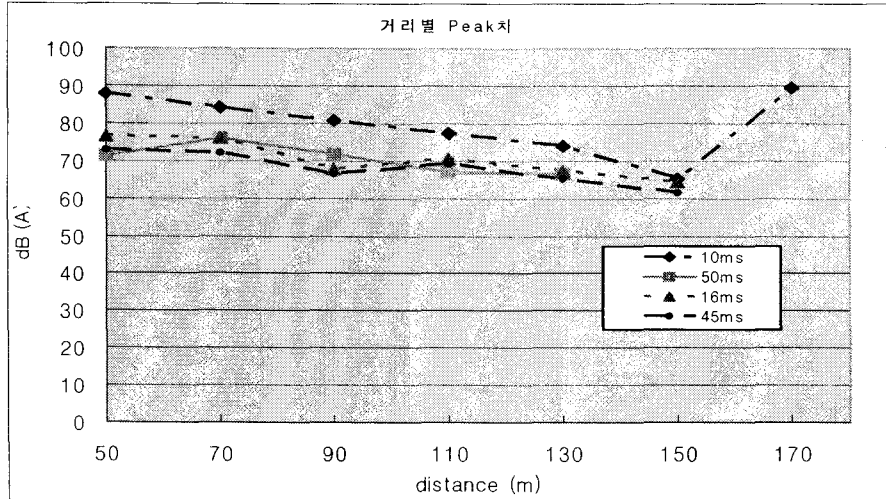


그림 3. 거리별 소음 Peak치 비교

6. 결론

동일현장 동일암반 조건에서 100공 규모의 발파를 실시하였다. 단공발파를 원칙으로 하여 다단식 발파기로 공당 지연초시 10ms, 50ms의 시차를 준 시험발파 3회와 전자뇌관을 이용하여 공당 지연초시 16ms, 45ms를 준 시험발파 1회를 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 4회의 각 시험발파에서 전체 PVS값의 최대치는 1.72 ~ 1.86cm/sec 사이의 값들로 나와 비슷하였으며 회귀분석을 해본 결과 감쇄경향에서는 뚜렷한 차이를 보이지는 않았으나 전자뇌관 16m적용 시에 비교적 낮은 K치를 얻을 수 있었다.

2) 소음에서는 전체적으로 지연초시가 짧을수록 소음이 크게 나왔으며 45ms적용 OBM발파에서 소음치가 가장 작게 나왔고 10ms적용 다단식 발파기 발파 대비 최고 25%정도 소음 저감 효과를 나타내었다.

3) 본 실험에서 단공발파를 원칙으로 한 지발발파가 가능한 다단식 발파기를 이용한 발파와 전자뇌관을 이용한 OBM발파를 비교 수행한 결과 발파규모가 커질수록 다단식 발파기를 이용한 경우가 영역분할과 초시의 단수 조합이 복잡하고 어려워지는 경향이 있으며 또한 공당 지연시차가 길어지게 되면 최초 뇌관의 기폭시간을 표면지연시차뇌관의 최종 점화시간보다 길게 선정하여 cut-off를 방지해야 하므로 기존 뇌관을 이용하여 단수 조합이 더욱 어려워지는 경향이 있었다.

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.
2. 안명석, 1995, 다단식 발파기에 의한 노천발파 실험, 대한화약발파공학회지, Vol. 13 No. 4.
3. 윤지선, 임종민, 배상훈, 이진무, 2006, 발파진동 파형합성과 전자뇌관을 이용한 전단면 다
단시차 발파에 관한 실험적 연구, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
4. 윤철현, 1996, 최신 화약발파해석, 구미서관.