

이완식 발파공법의 진동과 소음 특성

양형식¹⁾, 김남수²⁾, 김원범¹⁾, 최미진¹⁾

Vibration and Noise Characteristics of Spall Blasting Method

Hyung-Sik Yang, Nam-Soo Kim, Won-Beom Kim and Mi-Jin Choi

Abstract : Ground vibration, sound pressure and fragmentation size were measured at the construction site using the spall blasting method(SBM). They were analyzed and compared to those of suggested method by the minister of construction and transportation(MOST). Vibration and sound pressure by SBM were slightly smaller than MOST method but fragmentation size were larger.

Key words : spall blasting method, ground vibration, blasting sound pressure, fragmentation size

초 록 : 본 연구에서는 이완식 발파공법과 건교부 제시 발파공법을 적용한 현장에서 지반진동과 소음을 측정, 분석하고 비교하였다. 건교부 방식 발파에 비해 이완식 발파공법이 다소간 진동감쇠 효과가 있었다. 발파매트를 사용한 이완식 발파시험 결과가 건교부 방식 발파에 비하여 소음이 감쇠되는 것으로 나타났으며, 파쇄입도는 다소 떨어졌다.

핵심어 : 이완식 발파, 지반진동, 발파소음, 파쇄도

1. 서 론

건설공사 중 실시되는 발파, 향타 등의 작업은 진동과 소음을 발생시켜 민원이 끊이지 않고 있는 상황이다. 진동이나 소음은 인간이 감각적으로 직접 느낄 수 있다는 점에서 민원의 가능성이 많다. 또 감성, 지성이 개개인마다 다르기 때문에 진동, 소음이 인체에 미치는 영향을 정확히 결정하는 것은 어려운 실정이다. 발파현장에서 발생할 수 있는 민원을 예상하여 발파진동을 측정하고 분석한 결과를 발파설계에 이용하고 있으나 공기나 경제성의 문제로 발파작업을 설계대로 실시하지 않는 경우가 흔하기 때문에 민원이 발생하여 공기지연, 보상비 등으로 공사 진행을 어렵게 할 수 있다.

발파진동이나 소음의 크기를 결정하는 요인으로는 화약의 종류, 장약량, 기폭방법, 전색상태, 자유면의 수, 폭원과 축점간의 거리, 지질조건 등이 있

다. 이러한 요인을 고려하여 발파진동이나 소음을 감소시키는 여러 공법들이 개발되고 있다. 그 중에서 이완식 발파공법과 건교부 제안의 일반발파공법의 현장 적용을 통하여 지반진동의 특성과 영향 등을 검토, 분석하고 비교하였다.

2. 이완식 발파공법

2.1 공법 개요

이완식 발파공법은 2001년 신기술로 지정된 공법이다.(㈜부암테크, 2001) 암반의 1자유면 상태에서의 발파작업은 장약량과 천공심도에 따라 발파형태가 구분된다. 이완식 발파공법은 암반에 3 m 이내의 깊이로 천공하고 적은 장약량으로 암반에 긴 균열과 지표면의 용기 정도로 발파하여 암반을 대형굴삭기, 대형 브레이커, 혹은 도자로 굴착할 수 있는 한계로 균열을 발생시켜서 암반을 이완시키는 발파공법을 말하며, 발파작업에 따른 비산의 발생우려가 있으므로 철재로 제작된 특수 발파 매트를 발파공 상부에 덮고 굴착기의 삽날로 누르면 서 발파작업을 수행하여 비산의 위험을 차단하는 시스템으로 구성되어 있다. 작업수행은 천공 → 장

1) 전남대학교 건설지구환경공학부

2) 전 (주)부암테크 연구소장

접수일 : 2005년 9월 16일

약 → 철재 발파매트 설치 → 발파 → 2차 파쇄 또는 리핑의 과정을 거치며 철재 발파매트 설치와 2차 파쇄 또는 리핑 작업이 특징적이다.

2.2 시공방법

1) 천공

- 천공구경은 Φ 75 mm 이내로 시행한다.
- 크롤러 드릴 1 rad(L=3.0 m)를 기준으로 3 m 이내로 천공한다.
- 천공각도는 수직이거나, 수직에 가까운 75°이상으로 실시한다.
- 천공간격(S)과 최소저항선(W)은 $S=(1.0\sim 1.1)\times W$ 를 기준으로 한다.

2) 장약

- 충격에 둔감한 폭약을 선택하여 사용한다.
- 공당장약량(L)은 $L=(0.2\sim 0.3)\times W.S.H$ 산정공식을 기준으로 적정장약량을 도출한다.
- 공당장약량은 최대 1.0 kg 이하로 적용해야 한다.
- 사용뇌관은 뇌관의 시차간격이 25 m/s이하 MS뇌관을 사용한다.

3) 철판덮개

- 철재 프레임을 기본구조로 외곽에는 페타이어를 부착하여 제작되었다.

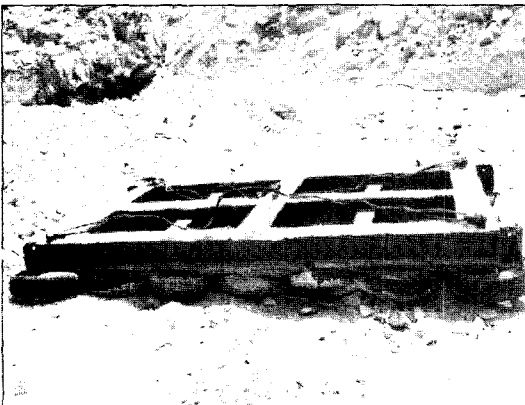


Fig. 1. Spall blasting mat.

4) 발파

- 발파공의 뇌관결선은 10공 이내로 선행결선을 완료한다.
- 백 호우 삼날에 연결된 철재 발파 매트를 이동하여 발파공 상부를 덮고서 발파공을 지면에 밀착시킨다.

- 발파모선은 15~30 m 이격거리에서 발파를 시행한다.

5) 2차 파쇄 및 리핑

- 발파가 완료된 곳에서는 암반이 이완된 곳을 2차 파쇄 또는 굴착을 시행한다.

3. 연구의 방법

이완식과 건교부 일반방식으로 설계를 하고 현재 시공 중인 현장 내에서 유사한 장소에 각각 적용하여 소음, 진동을 계측하고 회귀분석하여 비교하였다. 또 비산, 파쇄도를 조사 분석하여 공법간의 차이를 비교하였다. 현장은 창원~상주간 고속도로 연장공사 94 공구로서 경상북도 상주 현장이다. 기반암은 화강암이며 사용 폭약은 Emulite (150 mm)이다. 진동계측은 통계학적으로 의미 있는 수가 될 수 있도록 충분한 측정수를 확보하고 이격거리와 장약량을 변화시켜서 감쇠지수, 장약지수, 발파상수 등을 파악하였다. 일반발파는 총 6회, 이완식 발파는 총 30회를 실시하였다. 계측기는 Blastmate II DS-477, 677, DS-077과 Blastmate Plus 등의 발파진동소음계측기와 환경진동레벨계 VM-52 및 환경소음레벨계 NL-14를 사용하였다. 계측기의 제원은 다음과 같다.

4. 건교부 방식 발파와 이완식 발파의 비교

4.1 발파 진동

1) 건교부 방식 발파

건교부 설계 기준에 따라 연암에 대한 정밀진동발파 2회, 소규모진동발파 2회, 중규모진동발파 2회로 하였고, 보통암의 경우는 선행된 6회 발파에 2회의 일반발파를 추가하였다. 경암의 경우는 연암과 동일하게 6회를 선정하여 총 20회의 발파를 실시하였다.

2) 이완식 발파

건교부 방식과 동일하게 이완식 발파 설계 기준에 따라 연암에 대한 정밀진동발파 2회, 소규모진동발파 2회, 중규모진동발파 2회의 설계를 하였고, 보통암의 경우는 선행된 6회 발파에 2회의 일반발파를 추가로 설계하였다. 경암의 경우는 연암과 동일하게 6회를 선정하여 총 20회의 발파설계를 하였다.

Table 1. Specification of instruments

Item		Specification
Blastmate II (DS-477, 677)	vibration range	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0159~254 mm/s • 0.01~30 g • 1024 samples/s
	component frequency	<ul style="list-style-type: none"> • V, L, T, vector sum • 1.5~250 Hz
	noise range	<ul style="list-style-type: none"> • dB(A) : 55~110 dB • dB(L) : 88~142 dB
Blastmate II (DS-077)	vibration range	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0159~254 mm/s • 0.01~30 g • 1024 samples/s
	component frequency	<ul style="list-style-type: none"> • V, L, T, vector sum • 1.5~250 Hz
	noise range	<ul style="list-style-type: none"> • dB(A) : 55~110 dB • dB(L) : 88~142 dB
Blastmate Plus	vibration range	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0159~254 mm/s • 0.01~30 g • 1024 samples/s
	component frequency	<ul style="list-style-type: none"> • V, L, T, vector sum • 2~300 Hz
	noise range	<ul style="list-style-type: none"> • dB(A) : 55~110 dB • dB(L) : 88~142 dB
VM-52	component frequency	Lv, Lva, Lx, Leq, Lmax
	range	1~80 Hz
		30~120 dB
NL-14	component frequency	Lp, Leq, Le, Lmax, Lx
		A compensation: 25~130 dB C compensation: 30~130 dB FLAT: 33~130 dB

Table 2. Design by MOST suggested method

		precision	small scale	medium scale	general scale
hole diameter (mm)		φ51	φ51	φ75	φ75
hole length (m)		2.0	2.7	3.2	5.7
burden (m)		0.8	1.0	1.4	1.7
hole space (m)		0.8	1.2	1.6	1.9
charge (kg/delay)	soft rock	0.32	1.0	2.0	5.0
	medium~ hard rock	0.48	0.96	2.0	5.0
mat		waste tire mat			

Table 3. Design by Spall blasting method

		precision	small scale	medium scale	general scale
hole diameter (mm)		φ51	φ51	φ75	φ75
hole length (m)		2.0	3.0	3.2	5.5
burden (m)		0.8	1.0	1.4	1.8
hole space (m)		0.8	1.0	1.5	1.8
charge (kg/delay)	soft rock	0.3125	0.8	1.7	4.3
	medium~ hard rock	0.48	0.8	1.7	4.3
mat		spall blasting mat			

3) 진동 결과분석

본 연구 결과를 이용하여 회귀분석을 실시한 결과 아래와 같은 추정식을 도출하여 표 4에 수록하였다.

4.2 발파 소음

측정 대상 지점은 발파지점으로부터 50 m 떨어진 근접 지역에서 5회 실시한 후, 민원이 예상되는 100 m 지점에서 5회 실시하였다. 사용 계측기는

Table 4. Predicted coefficients of vibration equation for MOST and SBM blasting

MOST blasting			Rock type	Reliability	Spall blasting		
R	K	n			R	K	n
0.90	317	-1.79	weak rock	50%	0.92	178	-1.65
	666	-1.79		95%		323	-1.65
0.93	870	-1.96	medium rock	50%	0.80	465	-1.91
	1443	-1.96		95%		1206	-1.91
0.90	794	-1.98	hard rock	50%	0.92	521	-1.91
	1804	-1.98		95%		984	-1.91

거리에 따른 진동치를 분석한 결과를 보면 이완식 발파의 진동치가 좀 더 낮게 나타나고 있으며, 진동추정식의 입지상수(K)와 감쇠지수(n)값은 큰 차이가 없다. 이완식 발파공법은 건교부 발표 분류보다 화약량이 조금씩 적고 파쇄능률에서는 큰 차이가 없기 때문에 진동속도가 적게 나타나는 것은 예상된 결과이기도 하다. 본 연구를 통해서 계측된 결과는 다른 변수를 최소화하기 위해 다수의 계측기를 동원하였지만 분석결과, 진동예측의 특성상 편차가 대단히 크기 때문에 계수의 유의성을 완벽하게 보이는 것은 아니다. 따라서 건교부 분류나 이완식 발파 공법의 적용 시 시험발파가 필요하며, 적절한 보정이 이루어져야 한다.

RION사의 NL-14 소음계측기를 사용하였다.

계측결과를 회귀분석한 결과 표 5와 같은 추정식을 도출하였다. 분석은 폭풍압과 dB(A)에 대하여 실시하였고, 두 경우 모두 이완식 발파의 소음값이 약 5 dB 정도 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 원인으로서 건교부 방식은 발파공해를 방지하기 위한 방법으로 페타이어매트를 사용하였고, 이완식 발파의 경우 페타이어와 철재빔을 이용하여 제작한 철재매트를 사용하였는데 두 가지 방호장비가 소음의 감쇠에 달리 영향을 미친 것으로 사료된다.

Table 5. Prediction equations for MOST and spall blasting noise

Type		Reliability	R	Predicted equation
MOST blasting	Peak pressure	50%	0.81	$P = 403 \left(\frac{D}{\sqrt{3 \text{ of } W}} \right)^{-2.33}$
		95%		$P = 850 \left(\frac{D}{\sqrt{3 \text{ of } W}} \right)^{-2.33}$
	dB(A)	50%	0.14	$dB(A) = 94.92 - 0.66 \log \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)$
Spall blasting	Peak pressure	50%	0.83	$P = 307 \left(\frac{D}{\sqrt{3 \text{ of } W}} \right)^{-2.33}$
		95%		$P = 627 \left(\frac{D}{\sqrt{3 \text{ of } W}} \right)^{-2.33}$
	dB(A)	50%	0.56	$dB(A) = 96.68 - 0.7 \log \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)$

4.3 파쇄도

육안 분석을 통해 입도분포를 확인하였다.

연암을 대상으로 발파를 실시한 결과는 건교부 방식과 이완식 발파 모두 2차 작업이 필요치 않은 양호한 입도를 나타내었다(Fig. 2). 2단계로 Size별 입도분포를 분석한 결과 이완식 발파공법이 건교부 방식에 비해 입자 크기가 다소 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 다소 적은 장약량에 따른 영향으로 평가된다.

보통암을 대상으로 발파를 실시한 결과는 건교부 방식에 비해 이완식 발파의 입도가 다소 크게

나타내었다(Fig. 3). 지반상태 등, 차이에 대한 여러 원인을 들 수 있지만 보통암에 대한 장약량의 차이가 점더 영향을 미친 결과로 판단된다. 일정량의 2차 골삭작업이 필요할 것으로 사료된다.

경암을 대상으로 발파를 실시한 결과는 건교부 방식과 이완식 발파 모두 2차 작업을 필요로 할 정도의 대괴를 발생시켰다(Fig. 4). 2단계로 size별 입도분포를 분석한 결과 이완식 발파공법이 건교부 방식에 비해 입자 크기가 다소 크게 나타나는 경향을 보이고 있다.

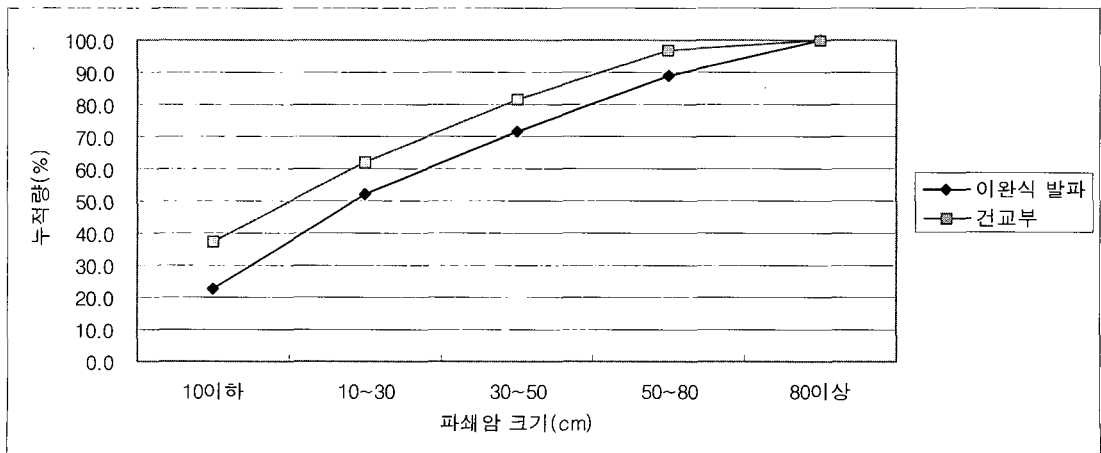


Fig. 2. Size distribution for soft rock by MOST and spall blasting.

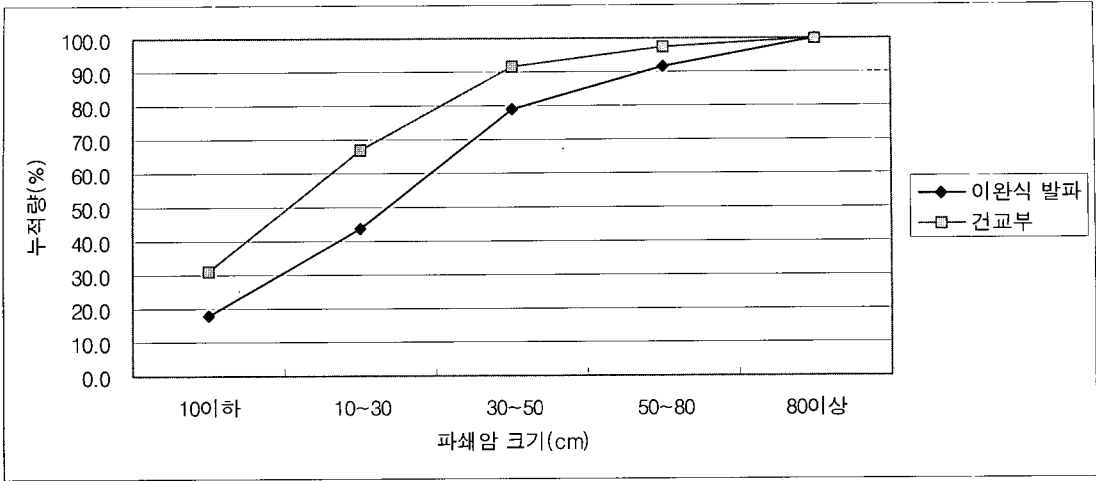


Fig. 3. Size distribution for medium rock by MOST and spall blasting.

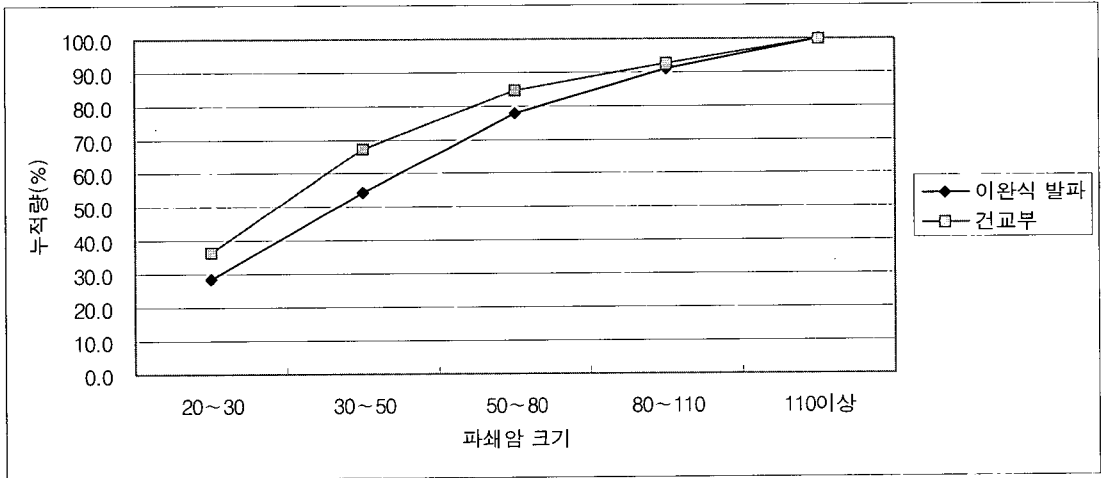


Fig. 4. Size distribution for hard rock by MOST and spall blasting.

건교부 방식 및 이완식 발파공법에 대한 파쇄도를 분석한 결과, 압중별로 연암에서 경암으로 갈수록 대파를 발생시키는 경향을 보이고, Type별로는 정밀 진동 제어발파의 경우, 건교부 방식 및 이완식 발파 모두 2차 작업을 필연적으로 수반하는 정도의 파쇄를 보여 주었으며, 규모를 증가시킴에 따라 일반발파와 동일하게 양호한 파쇄효과를 보여 주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 일반발파와 이완식 발파공법의 현장적용을 통해 소음, 진동 및 파쇄도 등을 비교하였다. 현장적용시험을 통해 진동의 경우, 제한된 자료에 의한 결과이긴 하나 회귀분석결과 K값은 95 % 신뢰구간에서 일반발파에 비해 이완식 발파공법이 10 % 정도 감소하였고, 감쇠지수 또한 이완식 발파의 감쇠비가 크게 나타나 다소간 진동감

쇠 효과가 있을 것으로 보인다. 소음의 경우는 발파매트를 사용한 이완식 발파시험 결과가 일반발파에 비하여 9.4 dB 정도 소음이 감쇠되는 것으로 나타났다. 파쇄입도는 이완식 발파가 일반발파에 비해 다소 떨어졌다.

위의 결과를 종합할 때, 일반발파의 경우는 자유면을 활용한 대규모 발파에 적합한 방법으로서 시설물 등과 같은 근접지역에서의 안전한 측면을 고려한 경우, 이완식 발파공법이 진동과 소음 등의 발파공해에 대한 충분한 제어를 통해 우위를 보였으며, 기계식 장비를 이용하여 시공성을 향상할 수 있고, 재료비 절감 및 대량시공을 통해 경제적 측

면 또한 고려할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 철재와 페타이어를 이용한 발파매트는 분진 및 비산 문제를 능동적으로 대처할 수 있는 장비로 뛰어난 활용가능성을 보여 주었다.

참고문헌

1. (주)부암테크, 2001, 페타이어를 부착한 철재매트를 이용한 단일 자유면에서의 이완식 발파공법, 건설교통부 신기술 제 312호.



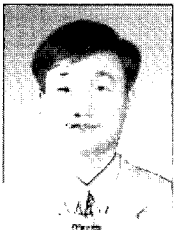
양형식

1979 서울대학교 공과대학 자원공학과 학사
1981 서울대학교 대학원 자원공학과 석사
1987 서울대학교 대학원 자원공학과 박사
Tel. 062-530-1724
E-mail hsyang@jnu.ac.kr
현재 전남대학교 건설지구환경공학부 교수



김원범

2002 전남대학교 공과대학 자원공학과 학사
2004 전남대학교 대학원 지구시스템공학과 석사
E-mail hp96042345@nate.com
현재 전남대학교 공과대학 조교, 박사과정



김남수

1987 전남대학교 공과대학 자원공학과 학사
1994 전남대학교 대학원 자원공학과 석사
1996 전남대학교 대학원 자원공학과 박사
E-mail nskim2633@hanmail.net
현재 전남대학교 강사



최미진

2003 조선대학교 공과대학 자원공학과 학사
2005 전남대학교 대학원 지구시스템공학과 석사
E-mail wangle@hanmail.net
현재 전남대학교 대학원 지구시스템공학과 박사과정