

폭약의 기폭위치에 따른 지반진동 예측

김승은¹⁾, 류복현^{2)*}, 강추원³⁾, 고진석³⁾

Prediction of Ground Vibration According to the Priming Location

Seung-Eun Kim, Pog-Hyun Ryu, Choo-Won Kang and Chin-Surk Ko

Abstract Excavations by blasting in urban area have caused lots of complaints. Hence, special attentions need to be paid to controlling the ground vibrations in designing blasting for those areas. In this study, among the various parameters that can affect the propagation characteristics of ground vibrations, the effect of the priming location of explosive on the ground vibration level was studied for two types of emulsion explosives that had different detonation velocities. Three priming locations of top, middle, and bottom were considered in a charged hole. In the experiment on the effect of detonation velocity, the ground vibration caused by the explosive with a lower detonation velocity showed larger attenuation in the amplitude. The priming locations also affected the ground vibrations levels. The ground vibration level produced from middle priming was found to be larger than the other priming methods under the same blast conditions, but the attenuation of amplitude was also larger in this case. In contrast, the ground vibration level from bottom priming was not larger than the middle priming, but the attenuation was smaller so that the ground vibration was detected at a longer distance.

Key words Priming location, Top priming, Middle priming, Bottom priming, Ground vibration

초 록 도심지 부근에서 이루어지는 암반 굴착작업의 증가에 따라 민원제기가 급증하고 있다. 이로 인해 발파설계시 안정성을 가장 우선적으로 고려하며, 그중에서도 지반진동을 제어하기 위한 노력이 필요하다. 본 연구에서는 발파진동의 전파특성을 결정하는 여러 인자들 중 발파조건인 기폭방법과 폭약의 종류에 따른 지반진동의 전파 특성을 알아보았다. 지반진동은 폭속이 작은 폭약에서 더 크게 나타났지만 진폭의 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않는 특징이 나타났다. 기폭위치별 회귀분석 결과 중간기폭이 평균적인 진동수준이 가장 크게 나타났지만 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않았다. 역기폭은 중간기폭보다 진동 수준은 낮았으나 감쇠가 작아서 진동이 멀리 전파하는 특징이 나타났다.

핵심어 기폭위치, 정기폭, 중간기폭, 역기폭, 지반진동

1. 서 론

최근 인구가 밀집한 도심지 부근에서 이루어지는 암반 굴착작업에 대한 민원 제기가 급증하고 있다. 따라서 종래의 발파방법보다 효과적으로 진동을 제어하

기 위해 노력함에 따라 발파 기술자들은 발파를 설계할 때, 발파진동의 전파 특성을 결정짓는 여러 입지조건과 발파조건을 고려한다.

발파조건 중 폭약의 종류에 따른 진동특성의 연구로 강대우와 안봉도(2007)는 폭약 중의 기폭점으로부터 어느 정도의 거리에서는 폭속이 감소함에 따라 진동이 감소하는 에멸전 폭약의 폭속 변화에 따른 진동특성을 연구하였다. 또, Mark Leidig et al. (2010)은 다양한 범위의 폭발속도를 갖는 3가지 다른 타입의 폭약(흑색화약(black powder), 중ANFO(heavy ANFO), 콤포지션 B(composition B))으로 폭발 실험을 수행하

¹⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 석사과정

²⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 박사과정

³⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 교수

* 교신저자 : pogryu@hanmail.net

접수일 : 2010년 12월 17일

심사 완료일 : 2010년 12월 24일

게재 승인일 : 2010년 12월 28일

여 지반진동 차이의 정량화 연구를 실시한 결과 발파 구역으로부터 거리가 증가하면 최대입자속도(peak particle velocity; PPV)의 주파수가 감소하는 특징이 나타났다. 이들 연구는 적용범위가 연구조건에서의 적용범위로 국한되는 점이 보였다.

폭약의 기폭의 방법으로서 기폭약의 적절한 위치는 안정성과 효율성 둘 다의 관점에서 중요하게 작용한다. 강추원 외(2000)는 장공발파에서 기폭약(primer)의 위치가 발파진동에 미치는 영향에 대해 연구한 바 있다. 그러나 연구대상의 기폭위치가 중간기폭을 제외한 정기폭과 역기폭에 대해서만 연구되었다.

따라서 본 연구에서는 폭약의 종류와 기폭방법에 따른 발파에 의한 진동의 전파 특성을 파악하고 이들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 노천 현장에서 폭속이 다른 두 종류의 에멀전 폭약에 기폭위치를 정기폭, 중간기폭, 역기폭으로 분류하여 지반진동을 계측한 후 회귀분석을 통해 비교 분석하였다.

또한, 평균 지반진동 예측식을 통하여 폭약종류와 기폭위치에 따른 지반진동을 노모그램 분석, 각각의 지발당 장약량에 대한 예상진동치를 비교분석 함으로써, 폭약의 기폭방법이 지반진동의 저감요소로서 바탕이 될 수 있도록 하였다.

2. 연구지역의 지질

본 연구의 실험지역은 군산시 나포면 서포리 산 21-8번지로 군산시의 북동부이고 취성산지의 서 측

단부에 위치하고 있으며, Fig. 1과 같다. 군산시의 산지는 북동부의 취성산지, 중앙부의 금성산지, 서부의 영병산지의 3구역으로 나눌 수 있다. 취성산지는 옥구반도의 골격을 이루는 지대로 함라산(241m)에서 대초산(147m)까지이다. 이 산지의 분포지대는 군산시의 북동부인 나포, 서수, 성산, 임피, 개정면이며, 구성암석은 선캄브리아기의 화강암질 편마암이다.

군산지역의 지질도를 살펴보면 비교적 단순한 암상 분포로 구성되어 있다. 기반암으로 생각할 수 있는 경기편마암 복합체인 서산층군을 비롯하여 화강암질 편마암, 안구상 편마암 이들을 부정합으로 덮는 평안누층군이 소규모로 옥구읍 남쪽을 노출 분포하고, 이 평안누층군을 중생대 신라층군이 역시 부정합으로 피복하고 있다. 이들 신라층군은 중생대말의 화산활동으로 관입 또는 분출해 온 산성화산암류로 관입 또는 피복되어 있다. 이들 암석은 북북동 내지 남남서 방향으로 선캄브리아기의 서산층군, 화강암질 편마암, 안구상 편마암이 달리고 저 멀리 바다로 건너 섬들을 이루고 있다. 본 연구지역인 나포면 서포리가 이 지역에 속하는 암석지대이다(Fig. 2).

3. 현장실험 방법 및 결과

3.1 실험 방법

실험현장의 편마암지역에서 총 24회의 발파실험을 실시하였다. 기폭위치에 따라 발파에 의한 지반진동의 전파 특성을 파악하기 위해 천공장과 기폭위치에

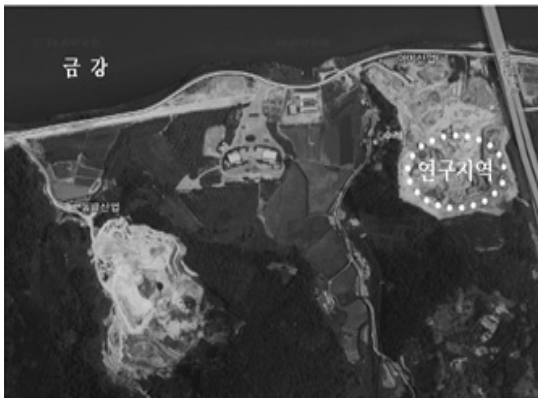


Fig. 1. Site map of study area.

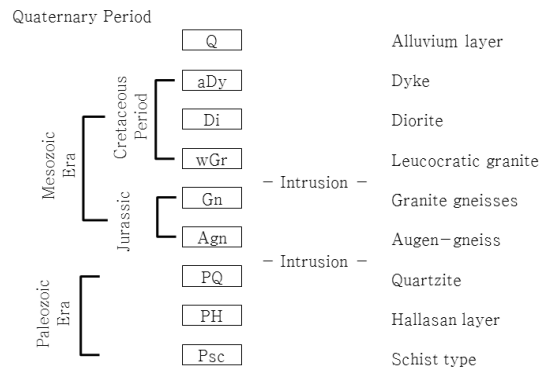


Fig. 2. Geological genealogy of study area.

따른 단일공 기반진동을 계측하는 방식으로 현장실험을 진행하였으며 실험조건은 Table 1과 같고, 발파패턴은 Fig. 3과 같다.

Table 2는 실험에 사용된 폭약의 주요 성능을 나타낸 표이다.

3.2 계측결과

Table 1의 발파조건과 Fig. 3의 발파패턴으로 총 24회에 걸쳐 실시된 기반진동 계측 결과 총 461개의 자료를 획득하였으며 기반진동의 계측은 Fig. 4와 같이 20대의 계측기를 사용하여 발파 지점과 7~109m의 거

Table 1. Experimental conditions

No.	#1~#6	#7~#12	#13~#18	#19~#24
Explosive	Emulsion explosive I		Emulsion explosive II	
Explosive diameter(mm)	Φ50			
Detonator	MS Detonator			
Diameter (mm)	76			
Drilling Length(mm)	6.0	9.0	6.0	9.0
Spacing (mm)	2.0	3.0	2.0	3.0
Burden (mm)	1.8	2.7	1.8	2.7
Charge per hole(kg)	6.4	14	6.5	14
Charge per delay(kg)	6.4	14	6.5	14
Number of hole(ea)	1			

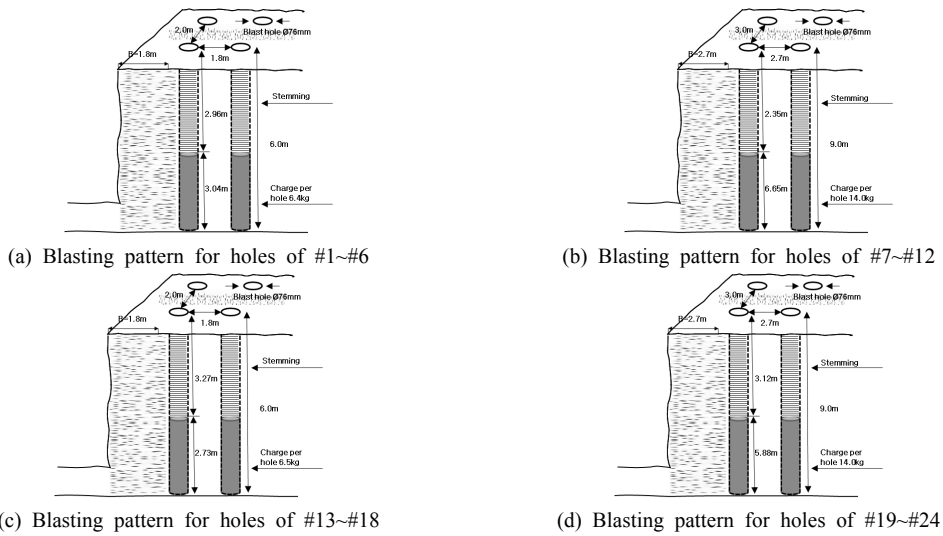


Fig. 3. Blasting patterns.

Table 2. Main performance of explosives

Products	Average detonation velocity (m/s)	RWS (%)	Bulk density (g/cc)	Heat energy (kcal/kg)	Gas volume (l/kg)
Emulsion explosive I	5,700	120	1.1~1.2	880	950
Emulsion explosive II	6,000	160	1.2~1.3	1,300	865

리에서 행해 졌다.

현장실험 계측결과에 따르면 PPV의 경우 0.031~19.8cm/s로 계측되었다.

4. 자료처리 및 결과고찰

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 폭약 종류에 의한 PPV 자료와 정기폭, 중간기폭, 역기폭에 의한 PPV 자료를 각각 수집하였다. 입지상수 K 와 n 을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 선형관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리 하여 지반진동 예측식을 구하였다. 성분별 지반진동 데이터의 전산처리는 TunDesign™ 4의 보조프로그램인 TDTTestBlast를 사용하였다.



Fig. 4. Seismographs installed in the study area.

4.1 폭약의 종류에 따른 결과고찰

폭약의 종류에 따른 분석결과를 보면 에멀전 폭약 I의 경우 동일한 발파조건에서 지반진동이 에멀전 폭약 II보다 더 크게 나타나지만 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않은 특징이 나타났다(Fig. 5).

폭약의 종류에 따른 자승근 평균 지반진동 예측식을 이용하여 장약량을 0.5, 1.6, 5.0, 15.0kg으로 달리 할 때의 거리별 예측 지반진동 값을 Fig. 6에 그래프로 도시하였다. 그림에서 보듯이 장약량이 0.5kg의 경우 거리가 15m 이내에서는 에멀전 폭약 I의 지반진동 값(PPV emulsion I)이 에멀전 폭약 II의 지반진동 값(PPV emulsion II)보다 더 크게 예측되었고, 15m 이상에서는 에멀전 폭약 II가 더 크게 예측되었다. 즉, Fig. 6의 예측 그래프에서 각 폭약별 예측수준의 반전이 일어나는 교점은 15m로 나타났다. 이와 같

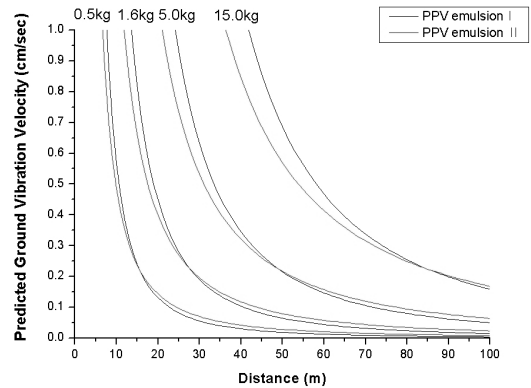
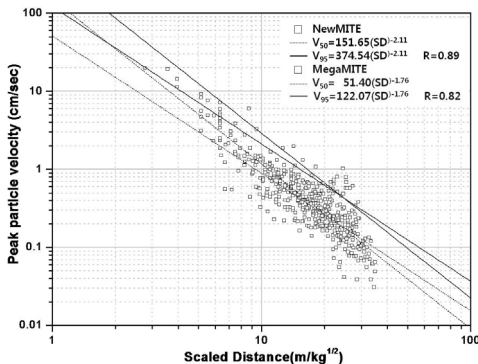
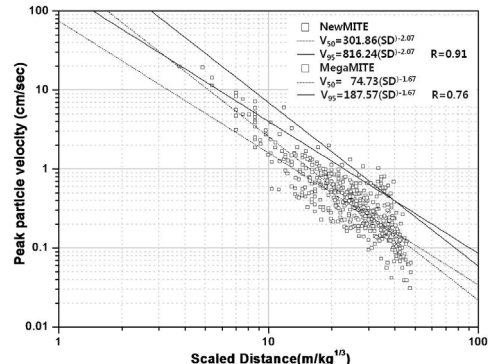


Fig. 6. Comparison of predicted ground vibration levels with distance for the emulsion explosive I and II.



(a) Square root method



(b) Cube root method

Fig. 5. Comparison of regression results of the two explosive types.

은 경향은 모든 장약조건에서 마찬가지로 관찰되었다. 즉, 장약량이 0.5kg인 경우 교점거리는 15m, 마찬가지로 1.6kg의 경우 27m, 5.0kg의 경우 49m, 15.0kg의 경우 85m였다. 이 결과를 보면 근거리에서는 에멀전 폭약 II가, 원거리에서는 에멀전 폭약 I이 진동제어 측면에서 보다 유리한 것을 알 수 있다.

4.2 기폭위치에 따른 결과고찰

기폭위치에 따른 분석결과를 보면 K 와 n 값이 가장 큰 중간기폭의 진동 값이 가장 크게 나타나고 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않고 역기폭은 다른 기폭위치보다 진동 값이 크지 않으나 감쇠가 크지 않아서 진동이 멀리 전파하는 특징을 보인다(Fig. 7).

기폭위치에 따른 자승근 평균 지반진동 예측식을 이용하여 장약량을 0.5, 1.6, 5.0, 15.0kg으로 변화시킬 때 거리별 예측 지반 진동치를 Fig. 8에 도시하였다. 그림에서 보듯이 장약량이 0.5kg인 경우 거리 4m 이내에서는 지반진동 수준이 중간기폭(PPV_{m,p})일 때 가장 높고, 정기폭(PPV_{t,p}), 역기폭(PPV_{b,p}) 순으로 나타났다. 5~12m에서는 중간기폭, 역기폭, 정기폭,

13~20m에서는 역기폭, 중간기폭, 정기폭, 21m 이상에서는 역기폭, 정기폭, 중간기폭의 순으로 지반 진동치가 예측되었다. 이와 같은 경향은 모든 장약량에 대해서 마찬가지로 나타났으며, 그 결과를 Table 3에 간략하게 요약하였다. 이 결과를 보면 장약규모에 관계 없이 비교적 근거리에서는 중간기폭의 진동수준이 가장 크게 나타나고, 원거리에서는 역기폭의 진동수준

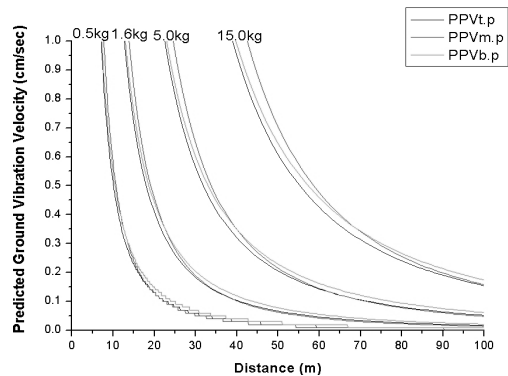
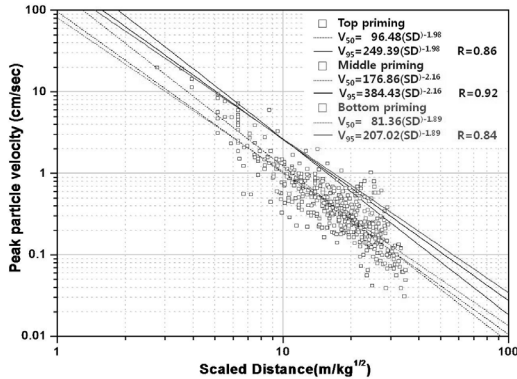
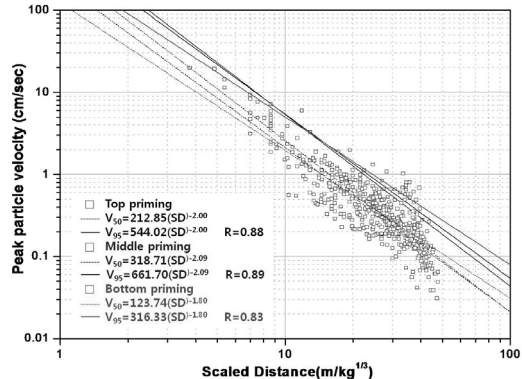


Fig. 8. Comparison of predicted ground vibration levels with distance for the different priming location.



(a) Square root method



(b) Cube root method

Fig. 7. Comparison of regression results of the different priming location.

Table 3. Dependency of ground vibration level on priming location

Ground vibration level	0.5kg	1.6kg	5.0kg	15.0kg
PPV _{m,p} > PPV _{t,p} > PPV _{b,p}	< 4m	< 8m	< 14m	< 25m
PPV _{m,p} > PPV _{b,p} > PPV _{t,p}	5~12m	9~22m	15~39m	26~68m
PPV _{b,p} > PPV _{m,p} > PPV _{t,p}	12~20m	23~36m	40~64m	69~112m
PPV _{b,p} > PPV _{t,p} > PPV _{m,p}	> 21m	> 37m	> 65m	> 113m

이 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 근거리에서는 되도록 중간기폭을 피하고, 원거리에서는 역기폭을 피하는 것이 진동수준을 보다 저감시키는 방안이 될 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 폭약의 종류와 기폭위치에 따른 지반진동의 발생특성을 고찰하였다. 이를 위하여 폭속이 다른 두 종류의 에멀전 폭약을 사용하여 정기폭, 중간기폭, 역기폭으로 시험발파를 실시하여 회귀분석 및 노모그램 분석을 실시하였다. 이를 토대로 폭약의 종류와 기폭위치에 따른 평균 지반진동 예측식을 이용하여 상호간의 성능을 비교하였다. 에멀전 폭약 I의 경우 동일한 발파조건에서 지반진동이 에멀전 폭약 II보다 더 크게 나타나지만 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않은 특징이 나타났다. 폭약의 종류에 따른 자승근 평균 지반진동 예측식을 이용하여 0.5, 1.6, 5.0, 15.0kg 장약량으로 거리별 예측 지반 진동치를 구하였다. 그 결과 모든 장약규모에서 상대적으로 근거리에서는 에멀전 폭약 I을 사용하였을 때 더 높은 진동수준이 발생하였고, 원거리에서는 에멀전 폭약 II가 더 높은 진동수준을 보였다. 이 결과는 근거리에서는 에멀전 폭약 II, 원거리에서는 에멀전 폭약 I을 사용하는 것이 진동제어의 측면에서 보다 유리함을 보여준다. 입지상수와 n 값이 가장 큰 중간기폭에서 진동값이 가장 크게 나타나고 감쇠가 커서 진동이 멀리 전파되지 않고 역기폭은 중간기폭보다 진동 값은 크지 않고 감쇠가 크지 않아서 진동이 멀리 전파하는 특징이 나타났다. 기폭위치에 따른 자승근 환산거리에 의한 지반진동 예측식을 이용하여 0.5, 1.6, 5.0, 15.0kg 장약량으로 거리별 예측 지반 진동치를 구하

였다. 그 결과 장약규모에 관계없이 근거리에서는 중간기폭의 진동수준이 가장 크게 나타났고, 원거리에서는 역기폭의 진동수준이 가장 크게 나타났다. 따라서 근거리에서는 되도록 중간기폭을 피하고, 원거리에서는 역기폭을 피하는 것이 진동수준을 좀 더 저감시키는 방안이 될 수 있을 것이다. 발파지점에서 발생하는 지반진동의 조절을 위해 발파방법과 거리, 폭약의 종류를 고려하는 것 외에도 발파설계 시 폭약의 기폭위치 고려는 발파 지점에서 발생하는 발파진동의 저감을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 더 다양한 폭약의 특성에 따른 진동의 저감효과와 본 연구에서 시행한 천공장보다 더 장공에서의 기폭위치에 따른 진동제어의 효과에 대한 연구가 진행되면 효과적인 진동제어로 발파재해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문 또는 저서는 지식경제부 자원개발특성화대학사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강대우, 안봉도, 2007, 에멀전 폭약의 폭속변화에 따른 진동특성연구, 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 351-357.
2. 강추원, 양해승, 문창일, 2000, 장공계단발파에서 Primer의 위치가 발파진동에 미치는 영향, 조선대학교 공학기술연구원, pp. 181-200.
3. Leidig, M., J.L. Bonner, T. Rath and D. Murray, 2010, Quantification of ground vibration differences from well-confined single-hole explosions with variable velocity of detonation, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 47, pp. 42-49.



김 승 은

조선대학교 대학원
에너지 자원공학과 석사과정

Tel : 062)230-7876
E-mail : happyday1030@hanmail.net



류 복 현

조선대학교 대학원
에너지 자원공학과 박사과정

Tel : 062)230-7876
E-mail : pogryu@hanmail.net



강 추 원

조선대학교 에너지 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7117
E-mail : cwkwang@chosun.ac.kr



고 진 석

조선대학교 에너지 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7118
E-mail : jsgo@chosun.ac.kr