



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 2월
박사학위 논문

석영반암 지역을 대상으로 한
발파진동 제어공법에 관한 연구

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

장 호 민

석영반암 지역을 대상으로 한
발파진동 제어공법에 관한 연구

A Study on the vibration - controlled blasting in
quartz porphyry rock mass

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

장 호 민

석영반암 지역을 대상으로 한
발파진동 제어공법에 관한 연구

지도교수 강 추 원

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함

2013년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

에너지자원공학과

장 호 민

장호민의 박사학위논문을 인준함

위원장	한국지질자원연구원	류	창	하	인
위원	군산대학교 교수	이	연	규	인
위원	(주) S K 건설	이		효	인
위원	조선대학교 교수	고	진	석	인
위원	조선대학교 교수	강	추	원	인

2013년 12월

조선대학교 대학원

< 목 차 >

List of Tables	iv
List of Figures	viii
Abstract	xi
1. 서론	1
2. 이론적 배경	4
2.1 지반진동	4
2.1.1 파의 이론	4
2.1.2 진동의 성분	6
2.1.3 진동의 물리적인 크기	10
2.2 발파진동	11
2.2.1 발파진동의 정의	11
2.2.2 발파진동과 지진진동의 비교	12
2.2.3 발파진동의 전파특성	14
2.3 발파진동의 추정식	16
2.3.1 95% 신뢰식의 결정	17
2.4 조절발파	18
2.4.1 Decoupling Effect	19
2.4.2 Line Drilling	20
2.4.3 Cushion Blasting	20
2.4.4 Smooth Blasting	21

2.4.5 Pre-Splitting	22
3. 현장실험	23
3.1 대상현장의 지형 및 지질	23
3.2 실내물성실험	25
3.2.1 실내물성실험의 종류	25
3.2.2 실내물성실험에 의한 결과분석	25
3.3 현장실험개요	27
3.4 현장실험 방법 및 결과	27
3.4.1 실험 방법	27
3.4.2 현장실험의 계측	34
4. 계측결과 및 분석	43
4.1 계측결과	43
4.2 Pattern별 최대입자속도(PPV)의 회귀분석 및 예측	47
4.2.1 Pattern-I	47
4.2.2 Pattern-II	49
4.2.3 Pattern-III	51
4.2.4 Pattern-IV	53
4.2.5 Pattern-V	55
4.2.6 Pattern-VI	57
4.2.7 Pattern-VII	59
4.2.8 Pattern-VIII	61
4.3 Pattern별 최대벡터합(PVS)의 회귀분석 및 예측	63
4.3.1 Pattern-I	63

4.3.2 Pattern-II	65
4.3.3 Pattern-III	67
4.3.4 Pattern-IV	69
4.3.5 Pattern-V	71
4.3.6 Pattern-VI	73
4.3.7 Pattern-VII	75
4.3.8 Pattern-VIII	77
5. 고찰	79
5.1 Pattern에 따른 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS) 의 진동특성 고찰	79
5.1.1 Pattern에 따른 최대입자속도(PPV)	80
5.1.2 Pattern에 따른 최대벡터합(PVS)	87
5.2 전색방법에 따른 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS) 의 진동특성 고찰	95
5.2.1 전색방법에 따른 최대입자속도(PPV)	96
5.2.2 전색방법에 따른 최대벡터합(PVS)	105
6. 결론	117
참 고 문 헌	120
Appendix	124

< List of Tables >

Table 2.1 Classification of elastic wave	6
Table 2.2 Comparison of blasting vibration and earthquake	14
Table 2.3 Merit of controlled blasting method	19
Table 3.1 Results of rock property test	26
Table 3.2 Blasting conditions	29
Table 3.3 Instrument specifications	35
Table 4.1 Prediction equation of blasting vibration for pattern-I peak particle velocity(PPV)	47
Table 4.2 Prediction equation of blasting vibration for pattern-II peak particle velocity(PPV)	49
Table 4.3 Prediction equation of blasting vibration for pattern-III peak particle velocity(PPV)	51
Table 4.4 Prediction equation of blasting vibration for pattern-IV peak particle velocity(PPV)	53
Table 4.5 Prediction equation of blasting vibration for pattern-V peak particle velocity(PPV)	55
Table 4.6 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VI peak particle velocity(PPV)	57
Table 4.7 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VII peak particle velocity(PPV)	59
Table 4.8 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VIII peak particle velocity(PPV)	61
Table 4.9 Prediction equation of blasting vibration for pattern-I peak vector sum(PVS)	63
Table 4.10 Prediction equation of blasting vibration for pattern-II	

peak vector sum(PVS)	65
Table 4.11 Prediction equation of blasting vibration for pattern-III	
peak vector sum(PVS)	67
Table 4.12 Prediction equation of blasting vibration for pattern-IV	
peak vector sum(PVS)	69
Table 4.13 Prediction equation of blasting vibration for pattern-V	
peak vector sum(PVS)	71
Table 4.14 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VI	
peak vector sum(PVS)	73
Table 4.15 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VII	
peak vector sum(PVS)	75
Table 4.16 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VIII	
peak vector sum(PVS)	77
Table 5.1 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for pattern- I ,II (PPV)	82
Table 5.2 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for pattern-III,IV(PPV)	82
Table 5.3 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for pattern- V ,VI(PPV)	83
Table 5.4 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for pattern-VII,VIII(PPV)	83
Table 5.5 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for different patterns(PPV)-0.125kg	85
Table 5.6 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for different patterns(PPV)-0.5kg	86
Table 5.7 The influence of charge per delay on the predicted ground	
vibration velocity for different patterns(PPV)-1.6kg	87

Table 5.8	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern- I ,II (PVS)	89
Table 5.9	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-III,IV(PVS)	89
Table 5.10	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern- V ,VI(PVS)	90
Table 5.11	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-VII,VIII(PVS)	90
Table 5.12	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-0.125kg	92
Table 5.13	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-0.5kg	93
Table 5.14	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-1.6kg	94
Table 5.15	Prediction equation of blasting vibration for part tamping peak particle velocity(PPV)	96
Table 5.16	Prediction equation of blasting vibration for full tamping peak particle velocity(PPV)	98
Table 5.17	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- I (PPV)	101
Table 5.18	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- II (PPV)	101
Table 5.19	The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method-III(PPV)	102
Table 5.20	Prediction equation of blasting vibration for part tamping peak vector sum(PVS)	105
Table 5.21	Prediction equation of blasting vibration for full tamping	

peak vector sum(PVS)	107
Table 5.22 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- I (PVS) ...	110
Table 5.23 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- II (PVS) ...	110
Table 5.24 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method-III(PVS) ...	111

< List of Figures >

Figure 2.1 Phase difference of displacement velocity and acceleration	5
Figure 2.2 Progressive characteristic of elastic wave in the ground	7
Figure 2.3 Wave propagation and particle motion	8
Figure 2.4 Vibration element	9
Figure 2.5 Blasting vibration compared to nuclear and earthquake motion	13
Figure 3.1 Site map of study area	23
Figure 3.2 Geology genealogy of study area	24
Figure 3.3 Blasting pattern	30 ~ 33
Figure 3.4 Measurements of study area	36 ~ 38
Figure 3.5 Vibration time history of measurement result	39 ~ 42
Figure 4.1 Measurements data	43 ~ 45
Figure 4.2 Measurements data of all pattern	46
Figure 4.3 Square root scaled distance of pattern-I (PPV)	48
Figure 4.4 Cube root scaled distance of pattern-I (PPV)	48
Figure 4.5 Square root scaled distance of pattern-II (PPV)	50
Figure 4.6 Cube root scaled distance of pattern-II (PPV)	50
Figure 4.7 Square root scaled distance of pattern-III (PPV)	52
Figure 4.8 Cube root scaled distance of pattern-III (PPV)	52
Figure 4.9 Square root scaled distance of pattern-IV (PPV)	54
Figure 4.10 Cube root scaled distance of pattern-IV (PPV)	54
Figure 4.11 Square root scaled distance of pattern-V (PPV)	56
Figure 4.12 Cube root scaled distance of pattern-V (PPV)	56
Figure 4.13 Square root scaled distance of pattern-VI (PPV)	58

Figure 4.14	Cube root scaled distance of pattern-VI(PPV)	58
Figure 4.15	Square root scaled distance of pattern-VII(PPV)	60
Figure 4.16	Cube root scaled distance of pattern-VIII(PPV)	60
Figure 4.17	Square root scaled distance of pattern-IX(PPV)	62
Figure 4.18	Cube root scaled distance of pattern-X(PPV)	62
Figure 4.19	Square root scaled distance of pattern-I (PVS)	64
Figure 4.20	Cube root scaled distance of pattern-I (PVS)	64
Figure 4.21	Square root scaled distance of pattern-II (PVS)	66
Figure 4.22	Cube root scaled distance of pattern-II (PVS)	66
Figure 4.23	Square root scaled distance of pattern-III (PVS)	68
Figure 4.24	Cube root scaled distance of pattern-III (PVS)	68
Figure 4.25	Square root scaled distance of pattern-IV (PVS)	70
Figure 4.26	Cube root scaled distance of pattern-IV (PVS)	70
Figure 4.27	Square root scaled distance of pattern-V (PVS)	72
Figure 4.28	Cube root scaled distance of pattern-V (PVS)	72
Figure 4.29	Square root scaled distance of pattern-VI (PVS)	74
Figure 4.30	Cube root scaled distance of pattern-VI (PVS)	74
Figure 4.31	Square root scaled distance of pattern-VII (PVS)	76
Figure 4.32	Cube root scaled distance of pattern-VII (PVS)	76
Figure 4.33	Square root scaled distance of pattern-VIII (PVS)	78
Figure 4.34	Cube root scaled distance of pattern-VIII (PVS)	78
Figure 5.1	Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for patterns(PPV)	81
Figure 5.2	Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for patterns(PVS)	88
Figure 5.3	Square root scaled distance of part tamping(PPV)	97
Figure 5.4	Cube root scaled distance of part tamping(PPV)	97

Figure 5.5 Square root scaled distance of full tamping(PPV)	99
Figure 5.6 Cube root scaled distance of full tamping(PPV)	99
Figure 5.7 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for different tamping patterns(PPV)	103
Figure 5.8 Relationship between percentage of attenuation and distance for different tamping patterns(PPV)	104
Figure 5.9 Square root scaled distance of part tamping(PVS)	106
Figure 5.10 Cube root scaled distance of part tamping(PVS)	106
Figure 5.11 Square root scaled distance of full tamping(PVS)	108
Figure 5.12 Cube root scaled distance of full tamping(PVS)	108
Figure 5.13 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for different tamping methods(PVS)	112
Figure 5.14 Relationship between percentage of attenuation and distance for different tamping methods(PVS)	113
Figure 5.15 Area of after blasting	114
Figure 5.16 Area of after cleaning slope	115~116

ABSTRACT

A study on the vibration – controlled blasting in quartz porphyry rock mass

Chang, Ho Min

Advisor : Prof. Kang, Choo Won, Ph.D.

Department. of Energy & Resource Engineering,
Graduate School of Chosun University

In order to build the foundation of highly industrialized society, construction has been grown along with industrialization. Therefore, the expansion of the social infrastructure facilities also has become necessary.

Such social infrastructure facilities has been mainly created by civil work based on blasting work. The problems such as noise and vibration are common issues in infrastructure facilities. Such problems cause environmental and health problems to people. Therefore, people increase their demand for removing noise and vibration from construction. Excavating has to be performed effectively in order to prevent any damage on surrounding rock.

This study focused on combination of Cushion Blasting and Smooth Blasting to create smooth fracture surface and control blasting vibration.

The explosives were distributed in the hole and middle of the hole using rope and detonating cord downlines, and using different charging and stemming methods.

Eight patterns were performed a total of 160 blasting from the source of blasting to 9~88m distance and measured by blasting vibration sound level meter. Total 1,847 data were acquired and blasting vibration predict equations were derived by experiment.

In accordance with results of blast vibration prediction equations Peak Particle

Velocity(PPV) and Peak Vector Sum(PVS) were analyzed by nomogram to investigate vibration characteristics. Adapting the Ministry standard "Road construction open-cut blasting design and construction guidelines" explosives of 0.125, 0.5, 1.6kg were performed and compared vibration decrease tend, suggest an appropriate pattern to be used.

The explosion was done 160 times to collect 1847 data from 9-88 meters.

Patterns by prediction equations Peak Particle Velocity(PPV) and Peak Vector Sum(PVS) through the average 10 ~ 100m distance from blasting resulted that in same explosives I ~ IV, pattern-V ~ VIII the pattern-III and IV was higher in the vibration decrease compared with pattern- I ,II the pattern-VII and VIII was higher in the vibration decrease compared with pattern V,VI.

The use of 50mm explosives could be the reason for it.

The vibration decrease is estimated lower as the distance got further.

1) Peak Particle velocity (PPV)

- ① pattern-I : II = maximum 9.18% decrease of vibration
- ② pattern-III: IV = maximum 11.99% decrease of vibration
- ③ pattern-V : VI = maximum 4.40% decrease of vibration
- ④ pattern-VII: VIII = maximum 6.04% decrease of vibration

2) Peak Vector Sum (PVS)

- ① pattern-I : II = maximum 9.01% decrease of vibration
- ② pattern-III: IV = maximum 12.01% decrease of vibration
- ③ pattern-V : VI = maximum 4.54% decrease of vibration
- ④ pattern-VII: VIII = maximum 5.87% decrease of vibration

At this point in the case of pattern-II shows the lowest predicted value and the vibration, pattern-VII case shows the highest predictive value of vibration. Pattern-II is thought to be the most suitable vibration control method in the cases.

The results of standard method of blasting vibration control by comparative

analysis of explosives

1) Peak Particle velocity (PPV)

① When precision vibration control (over 0.125kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 123.74% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

② When small vibration control (over 0.5kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 115.26% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

③ When medium vibration control (over 1.6kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 108.39% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

2) Peak Vector Sum (PVS)

① When precision vibration control (over 0.125kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 123.43% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

② When small vibration control (over 0.5kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 114.98% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

③ When medium vibration control (over 1.6kg)
predict the vibration velocity of the pattern-II was maximum 108.14% decreased up compared to predict the vibration velocity of the pattern-VII.

In Part Stemming (pattern- I , III, V , VII) and Full Stemming (pattern-II , IV, VI, VIII) of different stemming method, Part Stemming pattern was lower vibration velocity than Full Stemming pattern.

This was due to the mechanical and structural features in the bedrock of the study area. The more applicable amount of explosives was increase, the more vibration damping was increase.

The results of comparative analysis of the boundary of the explosives by the standard method of blasting vibration control method

1) Peak Particle velocity (PPV)

① When precision vibration control (over 0.125kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 6.26% vibration decrease predict

② When small vibration control (over 0.5kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 6.82% vibration decrease predict

③ When medium vibration control (over 1.6kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 7.29% vibration decrease predict

2) Peak Vector Sum (PVS)

① When precision vibration control (over 0.125kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 6.21% vibration decrease predict

② When small vibration control (over 0.5kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 6.77% vibration decrease predict

③ When medium vibration control (over 1.6kg) :

Full Stemming Patterns : Part Stemming Patterns = 7.23% vibration decrease predict

Results of pattern blasting were cleaned near by blasting excavation line.

This characteristics of the ground vibration is judged by the bedrock of the propagation and structural dynamics (discontinuity distribution, etc.) depends on the characteristics of the study area.

Through this study, results can be utilized in the surface finish construction,

shipyard dock, and urban underground construction ,and the study about difference from rock mechanical and structural properties of ground vibrations should be more pursued.

1. 서론

고도로 산업화된 사회의 기반 구축을 위해서 사회간접시설의 확충은 필수적인 요소이고, 이에 수반되는 건설 산업분야는 산업발전과 함께 더불어 성장해 왔다. 이러한 사회간접시설 구축의 대부분은 토목공사가 주로 형성하고, 발파공사는 근간을 이루어왔다.

도심지 개발에 있어서 가장 많이 발생하는 문제 중의 하나가 소음, 진동 등의 환경문제이다. 환경문제에 대한 인식의 변화 등으로 인한 사람과 정밀기기에 대한 소음, 진동문제는 기존의 방진기술로는 그 욕구를 충족하기 힘들 뿐 아니라 개발공사자체를 어렵게 할 경우가 늘고 있다.

이러한 상황에서 발파에 의한 작업은 더욱 규제를 받게 되고, 늘어나는 환경적 요구를 충족시키기 위해 저 진동이며 작업능률을 높이고 경제적인 암반제거 공법이 필요하게 되었다.^{1),2),3)}

발파로 인해 발생하는 발파제해들 중 발파진동의 저감을 위한 방법으로 동시에 기폭되는 화약량인 지발당 장약량을 줄임으로써 발파지점에서 발생하는 발파진동을 저감시키는 방법과 라인드릴링이나 프리스플리팅 등의 조절발파법을 이용하여 발파진동을 진동전과 경로상에서 차단하는 방법이 널리 적용되고 있다.

그러나 발파작업의 시공성과 경제성을 고려할 때 지발당 장약량을 줄임으로써 발파진동을 제어하는 데는 한계가 있고, 진동 전과 경로 상에서 발파진동을 차단하는 방법은 정량적인 진동저감 효과를 제시할 수 있을 만큼의 충분한 연구결과가 제시되어있지 못한 실정이다.

발파로 발생하는 지반진동의 크기에 영향을 주는 변수들은 지발당 장약량 이외에도 암반의 역학적·구조적 특성, 폭원에서 측점까지의 거리, 사용화약, 천공패턴, 발파공 직경과 화약 직경과의 비, 기폭방법, 전색상태 등 많은 변수들이 영향을 미치게 된다.

일반적으로 사용되는 발파 방법으로는 폭약 에너지를 충분히 제어하지 못하므로, 암반이 큰 손상을 받게 되고 발파 주위 암반에 많은 균열이나 과굴이 형성될 수 있다. 따라서 폭약 에너지의 작용 방향을 제어하는 것이 필요하다. 이와같이 일반적인 발파법의 결점을 개선할 수 있는 방법으로 제시되고 있는 것이 조절발파공법이다.

조절발파공법은 주로 노천이나 터널 굴착시 평활한 파단면을 얻기 위해서 오래전에 외국에서 개발되어 왔으나 우리나라의 경우 좁은 국토에서 인구의 증가와 건설기술의 발달

로 주거지와 의 거리가 가까워지면서 발파작업으로 인해 발생하는 진동, 소음으로 인한 민원발생을 예방하고 더욱 경제적인 발파공법의 필요성이 대두되었다.^{22),30)}

실제 실험에 의한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 심동수 등(2004)은 기존의 PS발파공법은 진동 및 폭음이 크며 절단효과의 미약 등 적용상의 한계로 인하여 여러 가지 사회적으로 문제가 제기되어 이러한 한계를 보완하여 개발된 NPS(New Pre-Splitting)발파공법을 방진공법으로서의 진동감쇠효과를 연구하였다.¹²⁾

이태노(2006)는 터널 및 굴착선공 천공패턴 및 그것을 이용한 조합형 조절발파공법에 관한 것으로 굴착선에 설치된 무장약공 및 장약공을 조합한 굴착선공을 선행시켜 기폭시키므로써 굴착예정선을 매끄럽게 함과 아울러 발파진동이 굴착예정선의 외부로 전달되지 않도록 하여 여굴을 최소화하고 진동의 피해를 저감시키는 목적으로 조합형 조절발파공법을 연구하였다.¹⁹⁾

김정규(2012)등은 산업용폭약을 이용하여 성형폭약을 제작하여, 콘크리트 블록실험 결과 성형폭약의 조절발파 효과를 검증하였으며, 투명관을 이용하여 성형폭약이 공 내부에 장전될 때 센터 가이드와 방향유지 다짐봉을 이용한 장전방법을 제시하였다.⁷⁾

정동호 등(2007)은 노치공을 이용한 선균열 발파공법은 조절발파 공법을 조합한 복합공법으로 노치의 선단에 응력집중을 크게 해서 노치의 선단으로부터 균열이 발생하도록 하여 기존 제어 발파공법의 문제점을 개선할 수 있는 공법으로 이를 적용하기 위해 장비개발을 위하여 노치비트 시스템 최적화 실험을 수행하였다.²⁰⁾

안명석 등(2009)은 과거의 고전적 제어발파공법과 최근에 정립된 현대적 진동제어발파공법의 현황과 향후 전망에 대해 고찰하였다.¹³⁾

성지완 등(2010)은 구조물 근접 터널발파시 진동제어를 위한 조합형 조절발파공법을 서울지하철 917공구 중심으로 적용하여 기존의 라인드릴링공법과 프리스프리팅공법의 단점 및 한계성을 개선하여 굴착예정선에 완전한 균열층을 형성시키고 진동 전달을 차단시킬수 있는 새로운 개념의 조합형 제어발파공법을 제시하였다.¹⁰⁾

오성남(2003)은 지하공동이나 암반사면 굴착을 위한 조절발파방법에 있어서, 장약공에 폭약이 장전된 관형의 장약홀더를 이용한 조절발파방법을 제시하였다.¹⁶⁾

심동수와 강대우(2004)는 안산암, 화강암, 화강편마암의 3종류의 암반을 대상으로 NPS(New Pre-splitting) 발파법의 열수로 1~4열로 적용하여 발파로 인한 진동을 발파전후의 발파진동 값을 기준으로 진동 감쇠효과를 비교하여 그 결과 2열일 때 감쇠효과가 가장 뛰어난 것으로 보고되었다.¹¹⁾

R. Frank(1999)는 전 세계에서 수집한 실제 현장사례를 중심으로 사면발파에서

pre-splitting을 이용한 highwall control을 하는데 필요한 발파설계변경에 대해 연구하였다.⁴⁸⁾

이와 같이 지금까지 이루어진 연구들을 살펴보면 굴착예정선에 맞게 조절발파를 실시하며 진동감쇠를 시키기 위한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구는 군산지역의 석영반암을 대상으로 굴착예정선에 맞는 매끄러운 파단면 형성과 발파 진동 제어 유도공법 연구를 위해 조절발파 공법인 Cushion Blasting과 Smooth Blasting을 혼합하였다. 로프를 사용하여 폭약이 장약공의 중간에 위치하게끔 묶어주고, 도폭선을 이용하여 폭약을 등간격으로 배치하여 장약량과 전색방법 등을 달리하여 발파를 진행하였다.

8가지 패턴을 사용하여 총 160회의 발파를 실시하였으며 발파원으로부터 9~88m 거리에서 발파진동소음측정기를 사용하여 총 1,847개의 진동속도 Data를 획득하여 발파진동 예측식을 도출하였다. 그리고 도출된 평균 발파진동 예측식을 통해 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 노모그램 분석을 통해 진동특성을 규명하였고, 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계 시공 지침”에 제시된 표준발파공법의 진동제어 공법별 경계의 기준 장약량인 0.125, 0.5, 1.6kg을 적용하여, 장약량과 전색방법에 따른 진동 감쇠경향을 비교분석하여 적절한 pattern을 제시하는데 연구 목적이 있다.

이러한 연구는 사면의 마감 공사, 조선소 dock, 시가지의 지하 터파기 공사 등에 한 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 지반진동

발파에 의한 지반진동은 암반 중에 밀폐된 상태로 놓인 폭약이 폭발하면 그 폭약의 폭발압은 기폭 후 수 μsec 에서 최고치에 달하고 그 압력은 5~20만 기압으로 추정되며, 이 값은 주위의 암반 강도보다 훨씬 높다.

장약공 내의 폭약의 폭발로 인하여 발생한 총 에너지 중 대부분은 주위 암석을 파괴, 이동시키지만 이 에너지 중 0.5~20%는 탄성파로 변화되어 암반 중을 전파해 감으로써 폭원으로부터 떨어진 지점에서 암석 중 또는 지표면에서 진폭과 주기는 갖는 진동으로 나타난다.

2.1.1 파의 이론

입자와 파동은 입자라는 말은 물질이 한곳에 집중되어 있어서 에너지를 전달할 수 있음을 뜻한다. 반면 파동은 정반대이어서 에너지가 공간에 퍼져서 존재하는 것을 의미한다. 즉, 진동은 물질의 전달이 아니라 공간으로의 에너지를 전달인 것이다. 지반진동의 탄성파의 파장을 λ 라하고 탄성파의 전파속도를 c , 주기를 T 라 하면, 파장 λ , 탄성파 전파속도 c 와 주기 T 의 관계는 식(2.1)과 같다.¹⁸⁾

$$\lambda = cT = c\left(\frac{1}{f}\right) \quad (2.1)$$

진동원으로 인한 지반진동은 일반적으로 변위(Displacement), 진동속도(Velocity), 진동가속도(Acceleration)의 3가지 형태와 진동 주파수(Frequency)로 표시되며, 전형적인 발파진동의 형태를 일정한 주기의 단순 정현 진동(Simple Harmonic Motion)으로 가정 할 경우 최대 진폭에서의 변위, 진동속도, 진동가속도 사이에는 식(2.2) ~ (2.5)의 관계가 성립한다. 여기서 한 가지 유념할 것은 지반진동과 에너지의 전파속도(wave propagation)와 매질의 운동속도(Particle Velocity)는 전혀 다르다는 것이다.

이들 변위, 속도, 가속도, 상호간의 진폭 및 위상에 관한 관계는 정현진동에 대해서만

성립하므로 비 조화진동에서는 성립하지 않는다.

식 (2.2)는 입자변위를 시간의 함수로 나타낸 것이다.

$$\mu = \mu_o \cos(\omega t + \theta) : \mu = \int \dot{\mu} dx \quad (2.2)$$

$$\dot{\mu} = \frac{d\mu}{dt} = -\omega \mu_o \sin(\omega t + \theta) : \dot{\mu} = \int \ddot{\mu} dx \quad (2.3)$$

$$\ddot{\mu} = \frac{d\dot{\mu}}{dt} = \frac{d^2\mu}{dt^2} = -\omega^2 \mu_o \cos(\omega t + \theta) \quad (2.4)$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \left(\frac{1}{T}\right) \quad (2.5)$$

μ_o : 변위, μ_o : 최대 변위(mm), θ : 위상각(rad), $(\omega t + \theta)$: 위상

$\dot{\mu}$: 입자속도(mm/sec · cm/sec · Kine) : $\ddot{\mu}$: 가속도 (gal · cm/sec²)

t : 시간(sec), ω : 원진동수(가속도 · Angular Velocity · rad/sec) 또는 각진동수

f : 주파수(진동수 · Frequency · Hz · c/sec), T:주기(sec)

진동원으로 인한 지반진동은 일반적으로 변위(Displacement), 진동속도(Velocity), 진동 가속도(Acceleration)의 3가지 형태는 Figure 2.1과 같다.

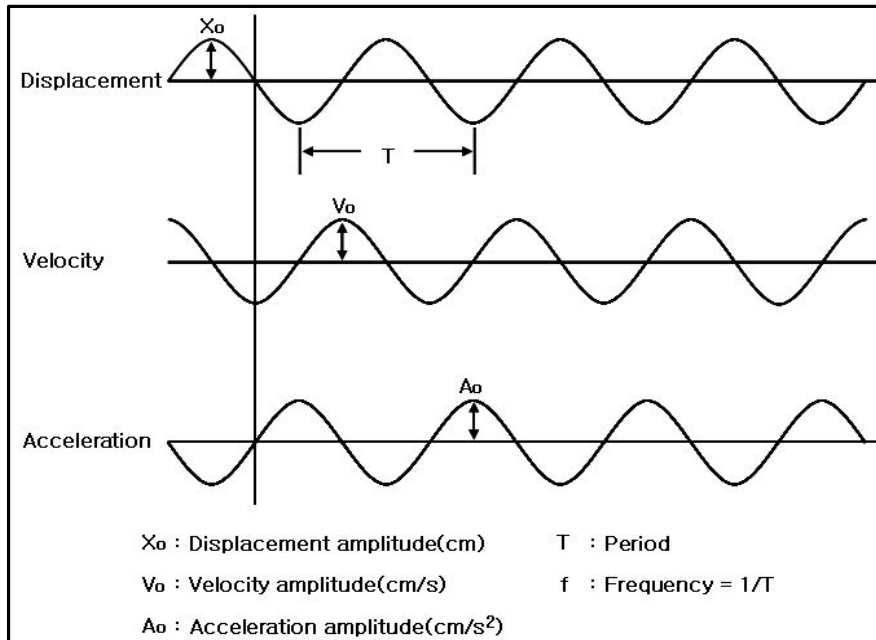


Figure 2.1 Phase difference of displacement velocity and acceleration¹¹⁾

위의 식에서 알 수 있듯이 최대 변위는 $\pm \mu_o$, 최대 진동속도는 $\pm w\mu_o$, 최대 진동 가속도는 $\pm w^2\mu_o$ 이다. 발파로 인한 지반진동의 특성과 관련된 대부분 상황에서 최대 입자운동의 절대치가 중요하므로 $\mu_{\max} = \mu_o$, $\dot{\mu}_{\max} = v$, $\ddot{\mu} = a$ 로 절대치로 나타낼 수 있으며, 이들 상호간에는 함수관계가 있어 진동주파수를 알고 단순정현운동으로 가정하면 최대 입자속도의 변수를 쉽게 구할 수 있다.

2.1.2 진동의 성분

지반진동은 지표면 및 지반내부에 위치한 각종 진동원의 가진 작용으로 지반으로 전달된 진동에너지가 탄성파에너지의 형태로 지반이라는 전파매질을 통하여 전파되어 나가는 과정에서 지반을 구성하는 토립자들이 운동을 일으키는 물리적 현상이다. 진동원에 의한 탄성파의 형태는 암반 내부로 전달되는 체적파와 물체 표면을 따라 이동하는 표면파로 구성된다.^{1),2),3),28)}

Table 2.1은 탄성파의 종류를 나타낸다.

Table 2.1. Classification of elastic wave

wave	Body wave	P-Wave (Primary wave, Compressional wave)
		S-Wave (Secondary wave, Shear wave)
	Surface wave	L-Wave (Love wave, Largest wave)
		R-Wave (Rayleigh wave, Maximum wave)
		Hydrodynamic wave
		Couple wave

Figure 2.2는 이와 같은 지반 내 탄성파의 전파특성을 나타낸 것이다.

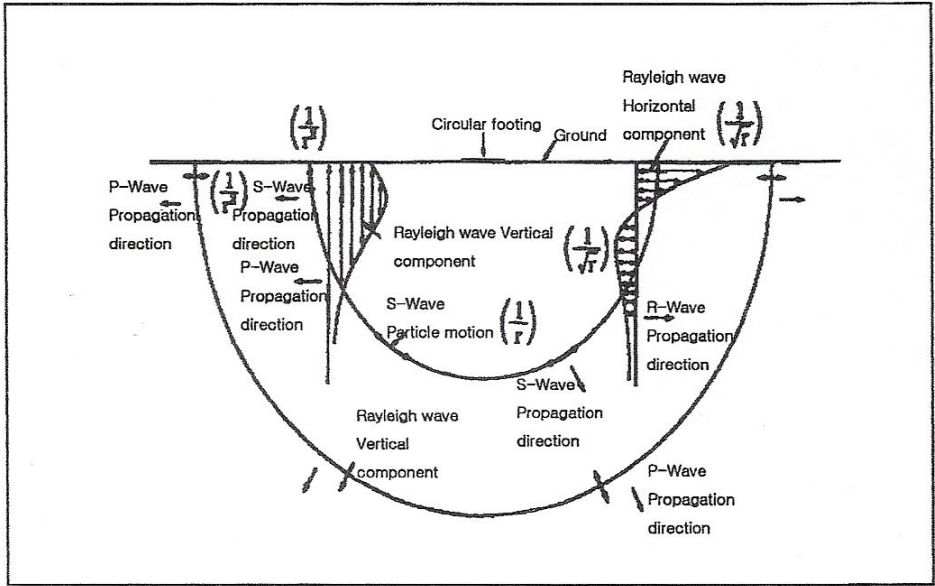


Figure 2.2 Progressive characteristic of elastic wave in the ground¹¹⁾

진동원에 의해 탄성파는 전파되는 방법에 따라 첫째는 암반내부를 전파하는 체적파로 지표면을 포함한 지반내부 전체를 통해 원구형의 파동면을 형성하며 입체적으로 전파되는 탄성파로서 P파(Primary wave), S파(Secondary wave, shear wave)로 구성된다. 압축파는 파의 진행방향에 따라 압축과 인장변형을 유발하고, 전단파는 파의 진행방향과 직교하는 두 축방향으로 전단변형을 유발한다. 따라서 지표면을 기준으로 할 때 압축파는 종수평 진동을, 전단파는 횡수평 진동을 일으킨다. 따라서, 압축파, 전단파를 각각 종파(longitudinal wave), 횡파(lateral wave)라고도 부르며, 또한 전단파의 수평방향 성분을 SH파, 수직방향 성분은 SV파라고도 부른다. S 파는 고체의 편차적 탄성작용에 의해 발생함으로 액체와 기체에는 존재하지 않는다.

둘째는 암반표면을 따라 전파하는 표면파로 R파(rayleigh wave), L파(love), H파(hydrodynamic), C파(couple)의 4가지로 분류된다. 탄성파가 매우 상이한 매질 즉, 지반과 공기, 지반과 물, 매우 다른 탄성을 가진 지층들을 지날 때에는 다른 형태의 탄성파 즉 표면파가 발생한다. 표면파는 지표면을 따라 전파되는 탄성파로서 러브파 등은 특수한 성층구조의 지표면에서 발생하지만 레일리파는 성층구조와 관계없이 항존 한다. 레일리파는 파 에너지가 커서 수진구조물에 미치는 영향력이 큰 관계로 흔히 표면파를 레일리파라고 한다. 레일리파는 Figure 2.2에서 보이듯이 원통형의 파동면을 갖고, 깊이가 증

가함에 따라 파에너지가 급격하게 감소하는 특성을 갖는다. 한편, 표면파는 파의 진행방향에 따라 종수평 변형(P파 상응의 압축, 인장변형)과 동시에 파의 진행방향과 수직으로 전단변형(S파 상응의 수직 전단변형)을 일으키므로 지표면은 수평, 수직운동을 동시에 일으킨다. 이러한 측면에서 레일리파를 P-SV파라고도 부른다.

Figure 2.3은 파의 종류에 따른 입자운동의 모양을 나타낸다.

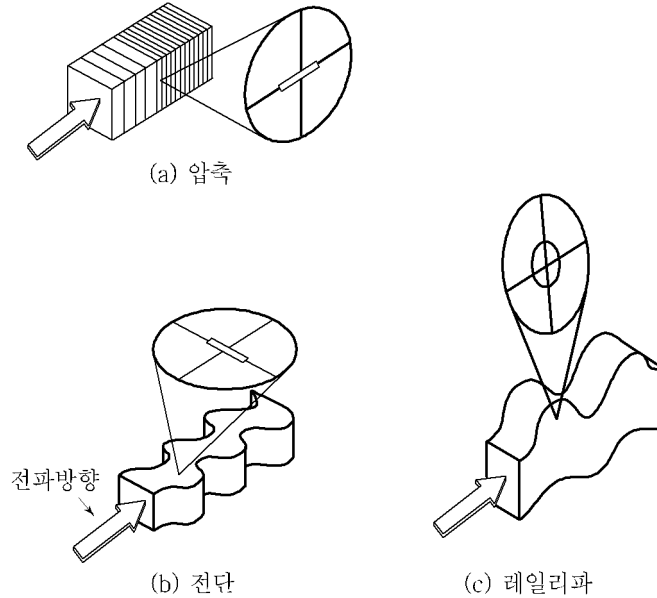


Figure. 2.3 Wave propagation and particle motion²³⁾

체적파 중에 P파는 여러 가지 면에서 단순진동을 유발하며 P파가 정면이 아닌 어떤 방향으로든 자유면을 만나면 진행 방향과 수직되게 진동하는 S파를 발생시킨다. R파는 P파와 S파에 비하여 전파속도가 느리나 상대적으로 저주파의 진동이므로 진폭의 감쇠가 적어 멀리 까지 전파된다. 보통 표면파는 암석대신에 암석위의 표토를 지나기 때문에 P파와 S파의 진행 속도 보다 더 느리다. 토양에서는 모든 파들의 파속이 줄어드는 특성이 있는데 그 중에서도 표면파가 제일 많은 영향을 받는다. 근 거리에서는 P, S, R 파가 모두 함께 도달하여 파의 형태를 구분하기가 대단히 복잡하다. 반면, 원 거리에서는 느리게 움직이는 S파와 L파가 P파로부터 분리되기 시작한다. 진동원의 위치가 깊지 않고, 암반이 균질하지 않을 경우 체적파는 보통 방출에너지의 절반 이하로 나타나고 나머지는 암석의 표면이나 내부의 자유면을 따라 이동하는 표면파가 된다. 다시 말해 탄성파의 크기는 비교적 원거리에서 전파속도가 느린 표면파가 지배적인 것으로 알려져 있다. 또한 발파로 인한 지반진동과 같은 낮은 지표하의 지반진동에 의한 피해에 있어서 진동파형 중

표면파로 인한 피해가 더 크게 우려됨을 알 수 있다.

진동원을 대상으로 한 지반진동의 측정은 Figure 2.4와 같이 방향에 따라 진동원으로부터 측정점을 향하는 평면상파의 진행방향 성분(Longitudinal or Radial Component), 진행방향에 직교하는 수직방향 성분(Vertical Component), 이들 두 방향과 직각을 이루는 접선방향 성분(Transverse Component)으로 이루어진다.

평면상파의 진행방향 성분(Longitudinal or Radial Component)에는 P파가 속하며, 진행방향에 직교하는 수직방향 성분(Vertical Component)은 표면파 즉, 지반진동의 피해에 관련한 R파가 이에 속한다.

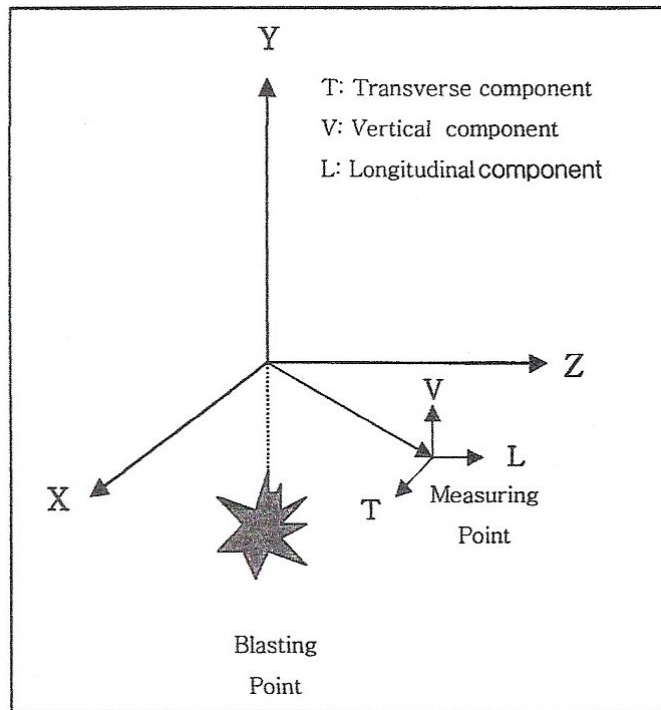


Figure 2.4 Vibration element⁴⁾

이들 3 성분의 상대적 크기는 대상 암반이나 지형 및 진동원에 의해 생성된 탄성파 즉, P파, S파 및 표면파인 Rayleigh Waves 등의 상호간섭에 따라 변하고 진동 주파수는 각각 다르게 나타난다. 따라서 3성분 중 각각 단일성분(T, V, L)에 대한 크기와 우월성분의 최대치가 원하는 계측위치에서 측정될 수 있어야 한다.

2.1.3 진동의 물리적인 크기

진동변위(displacement)는 정지상태로부터 움직인 폭을 표시하며, 전체진폭(peak to peak치)과 편진폭(0 to peak치)이 있다. 일반적으로 진폭은 편진폭을 의미한다. 단위는 m이지만, 실제의 진폭은 매우 작아 μm (1/1,000mm)를 사용한다. 공해진동에 있어서는 대부분 $500\mu\text{m}$ 이하의 변위를 대상으로 한다. 지반진동을 정현파 진동으로 가정하면 지표면에서의 변위는 식 (2.6)과 같다.

$$X = A_0 \sin(\omega t) \quad (2.6)$$

여기서, X 는 변위진폭, A_0 는 변위진폭의 최대치, ω 는 각진동수, t 는 시간을 나타낸다. 진동속도(velocity)란 단위 시간당의 변위량으로, 단위는 m/s이며, 표기 기호는 일반적으로 v 로 나타낸다. 진동속도는 변위진폭을 미분함에 의해 구할 수 있으며, 식 (2.7)과 같으며, 이로부터 진동 속도 최대치(peak치)는 $A_0\omega$ 임을 알 수 있다.

$$v = A_0\omega \cos(\omega t) \quad (2.7)$$

단위 시간당 속도 변위량을 진동가속도(acceleration)라고 하며, 중력가속도는 980 gal(1G)이며, 단위는 m/s^2 (gal= cm/s^2 , $g=9.8\text{m/s}^2$)이다. 지진에 의해 피해가 발생한 경우는 200~300gal정도가 되며, 공해진동에서는 30gal(많은 사람이 진동을 느낌) 전후를 대상으로 하고 있다. 진동가속도 a 는 식 (2.8)과 같다.

$$a = -\omega^2 A_0 \sin(\omega t) \quad (2.8)$$

식 (2.8)로부터 진동가속도 최대치(peak치)는 $A_0\omega^2$ 임을 알 수 있다.

피크-피크값(peak to peak치, $2A_0$)는 전체 진폭을 일컬으며 일반적으로 진폭이라 표기하며, 짧은 시간의 충격 등을 크기로 나타내기에 특히 유용하다. 이 값은 단지 최대값만을 표시할 뿐이며 시간에 대한 변화량은 나타나지 않는다.

그리고, 최대값(peak치, A_0)는 편진폭을 일컬으며 일반적으로 진폭이라 표기하며, 짧은 시간의 충격 등을 크기로 나타내기에 특히 유용하다. 이 값은 단지 최대값만을 표시할

뿐이며 시간에 대한 변화량은 나타나지 않는다.

평균값($2A_0/\pi$)은 파의 시간에 대한 변화량을 표시하지만 어떤 유용한 물리적 양과는 직접 관련이 없기에 실제로 사용범위가 국한되어 있다.

시간에 대한 변화량을 고려하고 진동의 파괴적 능력을 나타내는 에너지 량과 직접 관련된 진폭을 표시하는 실효치(RMS값, $A_0/\sqrt{2}$)는 진동크기의 표현에 가장 적절하다.

진동가속도레벨(Vibration acceleration level, VAL)은 측정대상 진동의 가속도 실효치를 $A_r(\text{m/s}^2)$ 라 하고, 기준진동의 가속도 실효치를 $A_0(10^{-5}\text{m/s}^2)$ 라 하면, 진동가속도 레벨 $L_a(\text{dB})$ 은 식 (2.9)로 표시된다.

$$L_a = 20 \log(A_r/A_0) \text{ (dB)} \quad (2.9)$$

인체에 느껴지는 약한 진동의 진동 가속도 레벨을 60dB, 진도 4정도의 진동가속도 레벨은 94dB이다. 인체에 느껴지는 가장 약한 진동의 가속도레벨은 0dB이 아니며, 약 50dB정도이다.

또, 진동레벨(Vibration level, VL)이란 진동가속도레벨은 단순한 물리량이므로 진동평가지 이 값에 인체진동감각에 따른 주파수보정을 하여 평가(합산)한 것을 진동레벨이라 하며, 식 (2.10)과 같다.

$$VL = VAL + W_n \text{ (dB(V))} \quad (2.10)$$

여기서, W_n 은 인체감각에 따른 주파수 보정치이다.

2.2 발파진동

2.2.1 발파진동의 정의

암반 중에 밀폐된 상태인 장약공 내의 폭약이 폭굉하면 강력한 충격압과 고온의 가스압이 발생하는데, 이때 그 주위의 암반은 강력한 충격압과 고온의 가스압에 의해 녹거나

파쇄 되고 특히, 충격압에 의한 충격파(Shock wave)의 전달로 파쇄대 이후 균열대를 형성하여 암반의 파괴영역이 확대된다. 폭약의 충격압은 폭약의 종류, 장약밀도, 폭속 등에 따라 다르지만 기폭 후 수 μsec 의 짧은 시간 내에 최고 값에 달하고 그 압력은 5~10만 기압으로 추정되며, 발생하는 대부분의 에너지는 암석의 파괴에 이용되나, 실험 결과에 의하면 발파로 인하여 발생하는 총 에너지 중에서 0.5~20%에 달하는 잔여 에너지는 탄성파로 변환되어 주위 암반 중에 전파되어 가면서 지면에서는 진폭과 주기를 갖는 진동으로 나타나게 되는데 이것이 발파에 의한 진동이다.^{23),28),49)}

2.2.2 발파진동과 지진진동의 비교

발파진동은 지진동에 비하여 지속시간이 짧고, 주파수 범위도 수십에서 수백 Hz인 관계로 감쇠가 쉽게 일어난다. 발파진동 파형과 지진파형의 계측 사례를 보면, 주파수 대역과 지속시간 면에서 큰 차이를 보이고 있으며 이에 따라 진동을 받는 대상 구조물에도 미치는 영향이 크게 달라진다. 같은 크기의 진동이라도 저주파수의 진동이나 지속 시간이 긴 진동은 더 큰 피해를 줄 수 있다. 지반진동의 크기를 표시하려면 지반진동 크기를 비교할 수 있는 척도가 필요하며, 그 크기정도를 변위 · 진동속도 · 진동가속도의 3가지 형태로 표시할 수 있다. Duvall & Fogelson(1962)은 이의 3가지 척도 중 구조물 피해정도를 평가하는데 진동속도가 가장 상관관계가 있음을 결론지었고 식(2.11), (2.12)의 성립 관계를 입증하였다.

$$v = w\mu_o = 2\pi f\mu_o; \quad \mu_o = \frac{v}{2\pi f} \quad (2.11)$$

$$a = w^2\mu_o = (2\pi f)^2\mu_o = 2\pi f v; \quad v = \frac{a}{2\pi f} \quad (2.12)$$

미광무국(US Bureau of Mines · 1971)과 유럽, 캐나다 등에서도 구조물의 피해정도가 진동속도에 비례한다고 보고한 바 있어 발파진동의 규제기준을 진동속도로 나타내는 것이 일반적인 견해이다.

발파진동과 자연 지진진동의 특성을 비교해 보면 Table 2.2와 같이 자연지진의 경우는 1Hz 정도 또는 그 이하의 저주파수의 파형을 보이는 반면 발파진동은 지진진동에 비해 지속시간이 비교적 짧고 주파수 범위가 수십에서 수백 Hz의 고주파인 관계로 감쇠가 쉽게 일어난다.

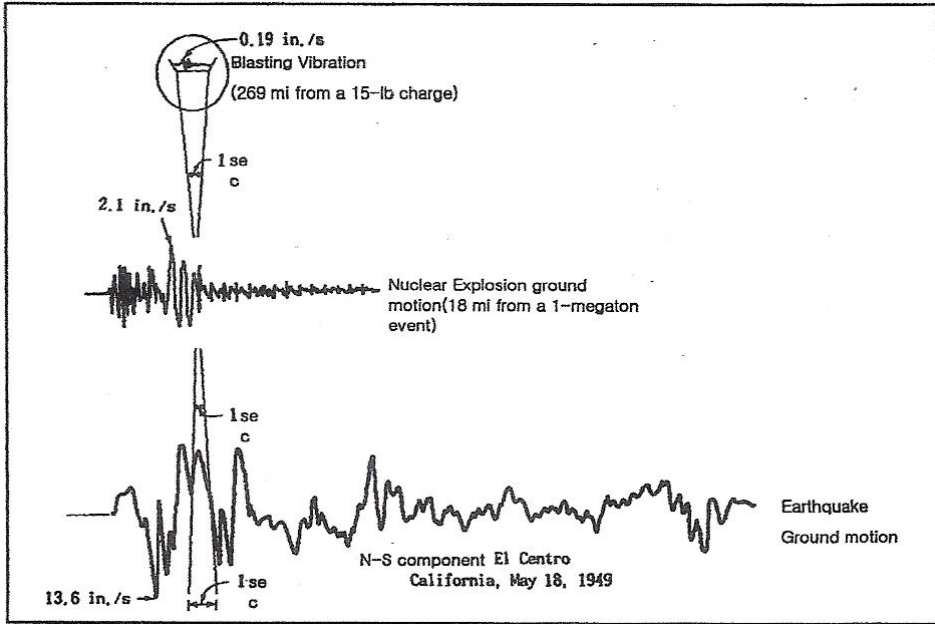


Figure 2.5 Blasting vibration compared to nuclear and earthquake motion²³⁾

자연지진에서는 피해 척도를 가속도 기준으로 평가하고 있으며, 동일한 가속도에서 주파수(Hz)의 크기에 따라 식(2.12)의 관계가 성립할 경우 구조물 평가기준인 진동속도의 크기는 크게 달라질 수 있다. 발파진동에 의해 영향을 받을 수 있는 구조물의 피해수준은 대상구조물과 지반조건에 따라 다양하게 나타나며, 여러 학자 및 국가에 따라 각각 다르므로 일률적으로 적용하기는 곤란하다.

그러나 일반적으로 지진에 의한 진동피해의 경우 그 정도를 가속도로 표시하고, 발파진동에 의한 피해의 정도는 진동속도에 비례한다고 보기 때문에 세계 각국에서는 대부분 발파진동의 규제기준을 진동속도의 최대치로 정하고 있다.⁵³⁾

Table 2.2. Comparison between blasting vibration and earthquake

	Blasting Vibration	Earthquake
Energy resource	Explosive	Crustal Movement(Diastrophism)
Seismic center	Surface of the Eearth, below 10Km	over 10Km
Energy Form	Compress Wave	shear Wave
Progressive route	Surface of the Earth	Variety Base Rock
Frequency	Tens Hz~200Hz	Below 10 Hz
Du	below 0.1 sec or 0.5~2sec	below 10 sec
Wave form	Simple	Complex
Unit	cm/sec, Hz	gal

2.2.3 발파진동의 전파특성

진동전파 특성에 영향을 미치는 인자에 대하여 잘 파악하는 것은 지반진동 문제를 다루는데 매우 중요한 사항이다. 한편, 동일한 가진 및 수진 조건일지라도 지반의 성층구조 및 각 지층의 연경도에 따라 문제를 일으킬 정도의 지반진동이 유발될 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 건설 진동, 교통진동, 기계기초 진동 등으로 인한 지반진동 문제를 일으키는 지반은 일반적으로 상부지층이 비교적 연약지층으로 구성 되었고 하부의 견고한 지층까지 깊이가 어느 이상이 되어 지반진동의 탁월주파수(10-30Hz)에 근접한 고유진동 주파수를 갖는 성층특성을 갖는 지반이다. 이러한 지반은 굳은 지반이나 연약층의 깊이가 낮은 지반보다 후술할 바와 같이 입력진동(진동원-지반, 또는 지반-수진구조물)에 대한 임피던스(impedance)가 상대적으로 낮아 지반진동 문제를 일으킬 가능성이 높다. 한편 비록 상, 하부지층이 굳은 지층일지라도 상부 굳은 지층의 두께가 얼마 안 되고 중간에 연약층이 협제한, 이른바 ‘샌드위치 지반’ 역시 지반진동 문제를 일으킬 가능성이 크다. 이는 중간의 연약층으로 입사된 큰 탄성과 에너지가 대부분이 연약한 중간 층 내 갇힌 채 다중반사(중복반사 multiple-refraction)되면서 먼 곳까지 쉽게 전파되기 때문이다. 즉 중간 연약층이 일종의 파동 안내(wave-guide)역할을 하기 때문이다. 따라서 다음에

는 각 전파단계별로 지반진동 전파특성에 영향을 미치는 요인들에 대하여 개관하고, 특히 지반진동의 거리감쇠 예측 문제에 대하여 중점적으로 설명한다.

(1) 진동원 - 지반전파

지반진동은 지반내외에 위치한 진동원에 의해 지반이 일차적으로 가진됨으로서 발생한다. 이때 진동원의 가진 힘과 가진 주파수 특성 등의 가진 조건이 같더라도 지반으로 최종 전달되는 진동강도 및 진동에너지의 주파수 분포 특성은 달라짐에 유의할 필요가 있다. 일례로 같은 해머를 사용하더라도 강관말뚝 하단이 개방된 경우와 폐단 처리한 경우의 유발되는 지반진동 강도 및 주파수 특성은 달라진다. 본질적으로 기계적, 구조적, 재료적 특성이 상이한 진동원의 압력 진동에너지의 일부는 마찰열의 형태로 손실되므로 지반으로 전달되는 에너지는 적어지는(입력손실) 한편, 어떤 주파수 성분의 에너지는 지반의 '저항'을 받아 억제당하는 반면에, 어떤 주파수 성분의 에너지는 '순응'을 얻어 신장되기 때문이다. 이와 같은 입력 손실 특성 및 주파수에 따른 에너지 분포 특성을 좌우하는 것은 이른바 진동원-지반 시스템간의 동적역제(impedance) 또는 동적순응(compliance) 특성으로서 임피던스 특성에 따라 같은 조건일지라도 진동원과 지반의 동적 상호작용 특성은 달라진다.

(2) 지반내 전파

지반진동파는 지반내로 확산되면서 거리가 멀어짐에 따라 파에너지 강도가 점점 저하된다. 이를 거리감쇠(attenuation)라고 한다.

이러한 거리감쇠는 첫째로 파동면이 확장됨에 따라 에너지가 전달되는 토체의 부피가 기하급수적으로 증가하므로 자연적으로 에너지 강도가 저하되는 것에 기인한다. 이를 기하감쇠(geometrical damping)라 한다.

둘째로는 토립자 운동으로 발생하는 마찰로 인하여 파 에너지 일부가 열로 전환(열손실)되어 운동역학적 에너지 강도가 내부적으로 감쇠되는 것에 기인한다. 이를 재료감쇠(material damping 또는 internal damping)라 한다. 즉, 지반진동파가 지반내로 전파되거나 가면서 전파거리가 증가할수록 에너지 강도가 저하되는 거리감쇠는 본질적으로 이러한 기하감쇠와 재료감쇠에 의한 것으로서 길에 따라 지수함수 적으로 파에너지 강도가 감쇠되는 이상적인 거리감쇠 특성을 나타낸다.

그러나 실제의 지반은 대부분 다층, 복잡한 비균질 지반이고 지형적으로 요곡이 심한 경우도 많다.

더욱이 인구밀집 지역의 경우는 각종 구조물 및 지상 장애물을 만나면 복잡하게 반사, 회절 되면서 상쇠간섭(destruction interference) 또는 보강간섭(construction interference)을 일으킨다. 한편으로는 전술한 파동안내 효과(wave guide effect)에 의하여 거리가 떨어진 곳임에도 큰 진동이 전달된다. 따라서 이러한 경우에는 지반진동의 거리감쇠 특성이 전술한 균질지반의 이상적인 변화 양상에서 크게 벗어 날수도 있음에 유념해야 한다.

지반진동 문제가 많이 발생하는 지역은 대부분 도시권 등 인구 및 상업 활동 밀집 지역이다. 이러한 지역은 지상으로서는 다양한 건축물이 균집을 이루고 지하로는 건물의 지하실, 지하철, 지하차도 및 보도, 전력구, 상-하수도, 통신구 등을 다종다양한 도시기반시설물이 매설된 관계로 균질지반 등 단순한 지반조건을 가정하여 지반진동의 거리감쇠 특성을 예측하는 것은 실제와 크게 다를 수 있음에 각별히 유의해야 한다.

2.3 발파진동의 추정식

진동의 크기는 화약류의 종류에 따른 화약의 특성, 장약량, 기폭방법, 전색의 상태나 화약의 장전밀도, 자유면의 수, 폭원과 측점간의 거리, 지질조건 등에 따라 다르고, 지발뇌관의 사용으로 일정한 시간간격으로 기폭하는 지발당 최대장약량과 폭원으로부터의 거리 등이 전파특성에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이 된다.

발파진동의 크기를 결정하는 요소로는 크게 입지조건과 발파조건으로 구분할 수 있는데 전자는 발파지점과 주변 구조물의 기하학적인 형태와 해당지역의 지질 및 암반상태, 지형 등에 의해 결정되는 변수이며, 후자는 지발당장약량과 폭원으로부터 거리를 들 수 있는데 이들은 깊은 함수관계가 성립한다.

한편 진동의 전파특성을 이론적으로 파악하려는 노력이 많은 연구자들에 의해 계속되어져 왔다. Hendron, Devine, Oriad 등 많은 연구자들은 발파현상에 관련된 변수의 차원 해석을 근거로 하여, 많은 발파진동의 측정경험을 토대로 지상구조물의 피해의 척도가 되는 지반의 진동속도를 지발당 최대장약량과 폭원으로부터의 거리를 매개변수로 하여 경험적 관계식을 나타낼 수 있음을 제시하였다.

이와 같이 여러 학자들에 의해 발파진동의 이론적인 특성에 관련된 변수의 차원해석으로 여러 가지 경험식을 제안하였는데 지발당 최대장약량과 발파원으로부터의 거리를 주요변수로 하여 여러 가지 경험식을 제안한 것 중 가장 많이 적용되는 이론식은 (2.13)식

과 같은 형태로 표시할 수 있다. 한편 일본에서는 입지 특성 환산식이라 하여 (2.14)식과 같은 형태로 표시한다.

$$V = K \left(\frac{R}{W^b} \right)^n \quad (2.13)$$

$$V = KR^n W^m \quad (2.14)$$

V : 지반의 진동속도 (particle velocity, cm/sec)

R : 발파원으로부터의 거리 (m)

W : 지발당 장약량(charge per delays, Kg/Delays)

K, n, m : 지질의 암반조건, 발파조건 등에 따르는 상수

b : 1/2 또는 1/3($\frac{1}{2}$ or $1/3 \cdot \text{Square or Cube Root Scaled}$)

거리 R 은 원칙적으로 발파원으로부터의 최단거리를 취한다. 거리기점은 진동원과 거리가 먼 경우에는 장약부분의 중심을 기점으로 한다. 한편 측정점이 진동원에 가깝고 또 지발당 장약량이 거의 같은 지발발파의 경우에는 가장 가까운 공을 택하며, 지발발파에서도 장약량이 현저히 다를 경우에는 장약량이 많은 공을 기점으로 한다. 또 다공제발 발파에서 각공의 장약량이 거의 같은 경우에는 가장 가까운 공을 기점으로 하고 장약량이 현저하게 다를 경우는 장약량이 많은 공을 기점으로 한다.

폭원으로부터 거리가(D)와 지발당 장약량(W)의 관계는 환산거리(Scaled Distance)함수로 나타낼 수 있으며, 장약지수(b)가 실험적으로 1/2일 때 평방근 환산거리(Square Scaled Distance), 1/3일 때 입방근 환산거리(Cube Root Scaled Distance)라 하여 이들은 차원해석의 이론을 근거로 하고 있다.

일반적으로 가까운 거리에서는 삼승근이, 먼 거리에서는 자승근이 더욱 정확한 것으로 알려져 있다.

2.3.1 95% 신뢰식의 결정

발파설계를 위해서는 대상 지역의 시험발파를 통한 K, n 상수 값을 정의하는 것이 중요하며, K, n 값이 결정되고, 허용 진동속도가 주어지면 발파진동식에서 폭원으로부터 거리와 지발당 장약량과의 관계를 나타내는 노모그램을 작성할 수 있다.

입지상수의 결정방법은 측정 자료처리를 로그-로그 그래프 상에서 최소자승법에 의해 최적 적합식(best fit line)을 구하며 이를 50% 신뢰식이라고 한다.

입지상수 K 의 50% 값을 K_0 라 하고 95%, 99%의 K 값을 각각 K_1 , K_2 라 하면 K_0 , K_1 , K_2 값은 로그 정규분포의 특성을 이용하여 식 (2.15), (2.16), (2.17)과 같이 구할 수 있다.

$$K_0 = \exp A_0 \quad (2.15)$$

$$K_1 = \exp(A_0 + 1.645\sigma) \quad (2.16)$$

$$K_2 = \exp(A_0 + 2.326\sigma) \quad (2.17)$$

여기서, σ 는 표준편차이다. 또한 신뢰식의 기울기 n 은 동일하다.

2.4 조절발파

발파에 의해 굴착되는 부분은 효과적으로 잘 파쇄 되어야 하지만 남아있는 주위 암반에 손상을 주어서는 안 된다.

Control Blast의 기본 원리는 적은 장약량으로 공 주위에 균열을 발생시켜 공과 공을 연결하는 파단면을 형성하는 것이다. 공과 공 사이에 발생하는 균열은 처음에는 폭발에 의한 충격파에 의해 발생되어 나중에 폭발 Gas에 의해 균열이 확대된다. 일반적으로 사용되는 발파 방법으로는 폭약 에너지를 충분히 제어하지 못하므로, 암반이 큰 손상을 받게 되고 발파 주위 암반에 많은 균열이나 과굴이 형성될 수 있다. 따라서 폭약 에너지의 작용 방향을 제어하는 것이 필요하다. 이와 같이 일반적인 발파법의 결점을 개선할 수 있는 방법으로 제시되고 있는 조절 발파법으로 스무스 발파(Smooth Blasting), 프리스플리팅(Pre-Splitting), 쿠션 발파(Cushion Blasting), 라인 드릴링(Line Drilling) 등이 있다.

일반적으로 조절 발파에서는 발파공의 지름에 비해 작은 지름의 폭약을 장약하여 폭약과 발파공의 벽 사이에 공간을 형성하여 발파할 때 Gas압을 감소시켜 공 벽면의 손상을 적게 하고 공 사이에 균열을 유도하도록 한다.

Table 2.3 Merit of controlled blasting method

	Merit
Line drilling	<ul style="list-style-type: none"> • 경암 굴착에 있어서 우수한 효과를 낸다. • 발파할 때 후방으로 전달되는 폭발 에너지의 일부가 굴착예상면에 천공된 공들에 의해 차단되어 뒤쪽 암반에 영향을 주지 않기 때문에 매끈한 면을 얻을 수 있다.
Cushion Blasting	<ul style="list-style-type: none"> • 공간격이 넓어서 천공은 줄어든다. • 좋은 암질이 아니더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다.
Pre-Splitting	<ul style="list-style-type: none"> • 라인드릴링에 비해 굴착공수가 적어도 된다. • 화강암 등 양질의 균질암에 효과적이다.
Smooth Blasting	<ul style="list-style-type: none"> • 발파면의 요철과 여굴을 최소화한다. • 슛크리트 타설량이 감소하여 공사비용이 적게 든다. • 원지반의 암석의 균열을 최소화한다.

2.4.1 Decoupling Effect

Decoupling이란 장약 공벽과 폭약사이에 공간을 취하는 것을 총칭하는 것으로서 발파공 지름에 비하여 훨씬 적은 지름의 폭약을 장전하여 발파공 내벽 사이에 상당한 공간을 유지하도록 위치시킨 상태를 Decoupling 장약이라고 하며, 이 공간이 폭약의 폭발 충격력을 약하게 하는 소위 Cushion의 역할을 한다.

Decoupling을 이용하는 발파는 일반적으로 제어발파(Control Blasting)라고 불리며 이것에 속해 있는 것에는 Smooth Blasting, Pre-Splitting, Urbanite 공법 등이 있지만 어느 것이든 파쇄에 의한 피파괴물의 손상을 가능한 한 작게 하고자 할 때 이용된다. 물론, 공간이 완충재로 작용하기 때문에 폭약의 폭발에 의한 충격력이 약하게 되며, 피파괴물 벽면의 손상을 방지함과 동시에 소음이나 진동의 억제에도 유효하다.

Decoupling Index(D.I)는

$$D.I = \frac{\phi_b}{\phi_e} \tag{2.18}$$

여기서 ϕ_b 는 발파공의 지름, ϕ_e 는 폭약의 지름으로 발파공과 폭약과 사이의 공간의 크기를 표시하는 것으로서 밀장전의 경우 $D.I$ 는 1이 된다.

단, Decoupling을 이용한 발파는 어디까지나 장약공 벽에 작용하는 폭발충격력과 Gas 압력을 약하게 하여 벽면 보호, 진동, 소음의 억제를 목적으로 한 발파이기 때문에 발파 효과의 면에서 보면 폭발에너지 대부분을 파괴작용에 이용할 수 없기 때문에 완전한 발파효과는 기대할 수 없다.

2.4.2 Line Drilling

굴착 예상면을 따라 일렬의 공들을 공 간격이 좁게 연속적으로 천공하여 본 발파를 할 때 파단면의 형성이 유도되도록 하는 방법이다. Pre-Splitting이나 Smooth Blasting와 비교할 때, 파단 예정면에 천공한 공에는 장약을 하지 않는다는 것이 특징이다.

라인 드릴링공과 인접한 첫 번째 주변공과의 거리는 본발파 최소저항선의 0.5~0.75배 정도가 되게 한다. 또, 첫 번째 열의 천공 간격은 본발파 공 간격의 0.5~0.75배로 시행하며, 장약은 일반 장약량의 반 정도로 한다.

이렇게 하여 형성된 공들은 장약한 공들이 발파될 때에 발생한 균열들이 Line Drilling 된 면을 따라 파쇄되고, 그 바깥쪽으로는 균열이 미치지 못한다.

그리고 가장 중요한 요소 중의 하나로서 예정 파단선상의 공들이 평행 천공이 이루어져야 하기 때문에 천공 작업의 숙련이 필요하며, 균질하지 않은 암반에서는 이 발파방법은 비효과적이다.

Line Drilling의 장점은 약장약일 경우에는 굴착선에 영향을 줄 수 있는 곳에서는 적용 가능하며, 발파할 때 후방으로 전달되는 폭발 에너지의 일부가 굴착 예상면에 천공된 공들에 의해 차단되어 뒤쪽 암반에 영향을 주지 않기 때문에 매끈한 면을 얻을 수 있다.

단점으로는 매우 균일한 암반을 제외하고는 발파결과를 예견할 수 없고, 천공간격을 밀접하게 하기 때문에 천공비용이 많이 들며, 천공을 많이 하기 때문에 천공시간이 많이 소요되며, 아주 적은 천공오차에도 나쁜 결과를 초래한다.

2.4.3 Cushion Blasting

Line Drilling과 같이 일렬의 발파공이 천공되지만 천공 수에서는 Line Drilling보다 적

게 요구된다. Smooth Blasting와 마찬가지로 굴착 예상면의 발파공들을 맨 나중에 기폭시키지만 장약방법은 상이하다. 발파공보다 훨씬 작은 지름의 폭약을 발파공 내에 분산시키고 폭약을 Free Face 쪽의 발파공 벽에 장약하고 나머지 부분은 전색을 실시한다.

Line Drilling에 비해 공 간격을 넓게 할 수 있기 때문에 천공비가 감소하지만, 작업의 어려움 때문에 지하 작업에서는 적당하지 못하고 노천에서 수평 및 경사공에 적용할 수 있다.

Cushion Blasting의 장점으로는 공간격을 크게 할 수 있고, 천공을 적게 할 수 있으며, 암반이 불균일한 곳에 잘 적용된다는 점이고, 단점은 Cushion 발파공이 점화되기 전에 주발파공이 발파되어야 하며, 다른 방법, 즉 Pre-Splitting과의 결합 없이 90°된 코너에 적용하기 어렵다.

2.4.4 Smooth Blasting

인접한 2개의 장약공을 동시에 기폭하면 각각의 폭약으로부터 응력파가 나와서 방사상으로 전파하여 그 응력파가 공 중앙에서 충돌하므로 서로 간섭하여 인장파를 파생하여 천공의 선과 직각방향으로 파단이 생긴다.

발파 방법은 노천이나 지하 터널 작업 모두에서 사용할 수 있지만 주로 지하 터널 작업에서 많이 사용되는 발파법이다. 일반 발파 방법과 마찬가지로 예상 굴착면의 발파공을 맨 나중에 발파시키는 점에서는 같지만 천공 형태는 정상적인 발파작업에 비해 공 간격을 좁게 하고 다른 공보다 작은 지름과 낮은 장약 밀도를 가진 폭약을 사용하는 점에서 차이가 있다.

SB공에는 약포의 지름이 적은 저비중 폭약을 장전, 천공지름과 약포지름의 차를 크게 하여 폭약을 기폭하면 장시간에 걸쳐 공벽에 정적인 압력으로 하여 서로 연결하는 선상에 원활한 균열을 생기게 하기 때문에 Decoupling 효과도 이용된다.

Smooth Blasting의 장점으로는 발파에 의한 터널공사나 지하실 공사에서 굴착면을 평활하게 함으로써 수정작업이 적어지게 된다. 그 때문에 자주 시공 작업이 빨라지며, 낙석이나 낙반의 위험이 적어지므로 안전상 좋고, 지나친 굴착이 적어지므로 콘크리트 매설량이 감소되고 공사비용이 적게 들며, 수로 터널에서는 수류의 마찰이 적어지며 또한 통기경도에서는 통기효율이 좋아진다는 점이며, 단점은 암석이 천매암, 결정편암과 같이 절리, 층리, 편리 등이 발달한 암석에서는 효과가 적고, SB공의 공간격과 최소저항선과

의 사이에 조화와 정확도를 요구함으로써 고도의 천공기술이 요구되며, SB공의 천공간격이 보통의 발파법보다 좁기 때문에 천공수가 많게 되고, 천공과 장약에 경비가 들게 되므로 실시하기 어렵다.

2.4.5 Pre-Splitting

PS발파(Pre-Splitting 발파)는 법면 보호 및 원활한 벽면을 형성시키기 위하여 본 발파에 앞서서 계획 법면의 선상에 미리 불연속면을 만드는 제어발파의 일종이며, 기본적으로는 Smooth Blasting 이론의 연장이다.

장약공의 직경에 비교해서 작은 직경의 폭약을 장약하면 폭약과 장약공 사이에 공간이 형성되며, 이 공간에 의해 폭약이 폭발할 때 발생하는 충격압은 공기층의 폭굉 Impedance의 차이에 의한 충격의 감쇠효과가 크며, Gas압은 장약공 내 체적의 영향을 받기 때문에 공간이 크면 Gas압의 값은 작게 된다.

따라서 공벽에 작용하는 충격압 및 Gas압을 조밀 장전의 경우와 비교한다면 벽면을 손상시키는 정도가 훨씬 작은 상태로 공과 공 사이에 균열을 발생시키는 것이다.

Pre-Splitting 효과는 천공 정밀도에도 크게 영향을 받기 때문에 가급적 천공 정밀도를 높여 천공하는 것이 필요하며, Pre-Splitting은 암반 상태에 대응한 공 간격 및 약량을 결정해야 하므로 시험발파를 실시하고 Pre-Splitting 효과를 확인할 필요가 있다.

3. 현장실험

3.1 대상현장의 지형 및 지질

본 연구지역은 군산시 성산면 성덕리 산 2-1번지로 장항~군산간 29번 국도상의 당선리와 금강하구둑을 지나 요동에서 북동측으로 분지된 709호선 지방도를 따라 약 4km 지점에 위치한다. 노령산맥과 차령산맥 남서연장부에 해당하며 실험지역 일대에는 북동방향의 능선(망해산 230.3m~취성산 205.0m~용천산 141.0m)과 남북 방향의 오성산(227.7m) 능선이 발달한 지역이다(Figure 3.1).

연구지역의 지질은 광역적으로 살펴보면, 함열도폭(1:50000) 남동부일대에는 고생대 편마암류를 포함한 변성퇴적암류를 기반암으로 하고 중생대 쥐라기로 추정되는 편마암류와 후기에 이들을 관입한 백악기 관입암류(섬록암, 석영반암, 암맥) 등으로 구성된다. 석영반암은 중생대 백악기 관입암류로 함열도폭 북부에 주로 발달했다(Figure 3.2).



Figure 3.1 Site map of study area.

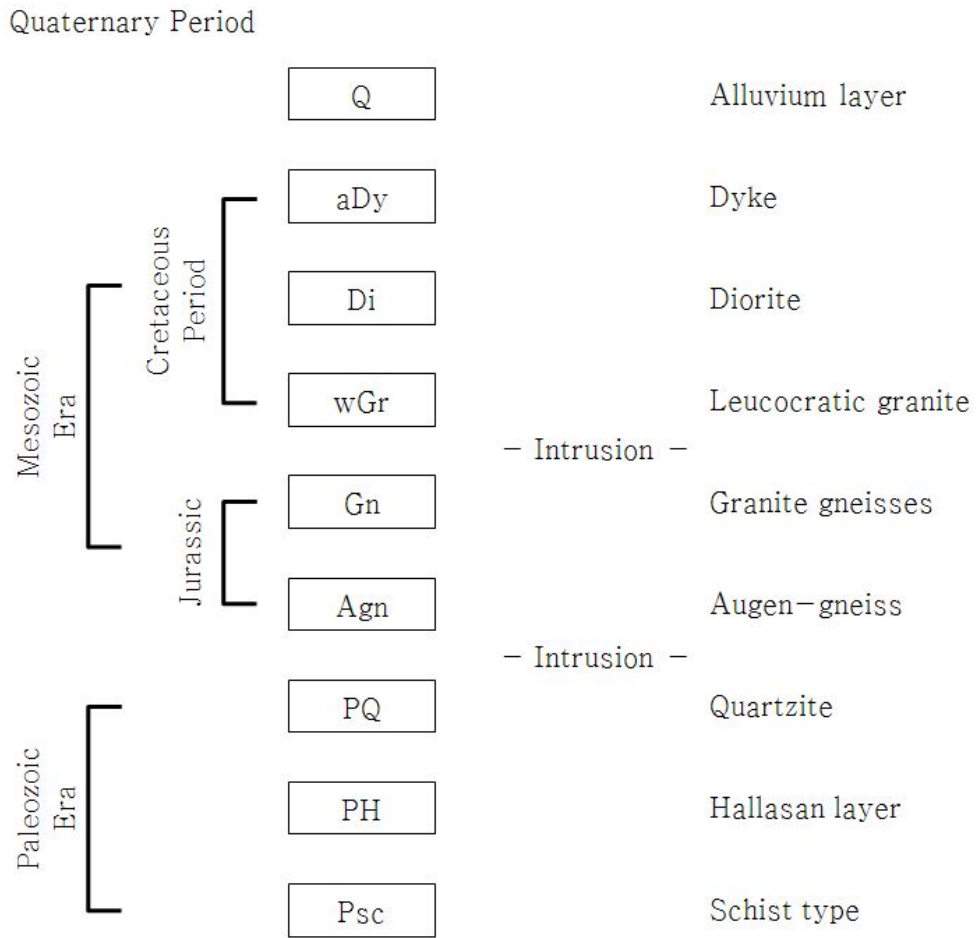


Figure 3.2 Geology genealogy of study area.

3.2 실내물성실험

3.2.1 실내물성실험의 종류

연구지역에서 블록 시험편을 채취하여 코어 천공기를 사용하여 NX 크기의 코어 시험편을 시추하였다. 다양한 실내물성실험을 위해 ISRM 규정에 맞도록 시험편을 성형·제작하였다.

실내물성실험의 종류는 비중, 공극률, 탄성과 전파속도, 일축압축강도이며, 각각의 실내물성실험은 각 5회씩 실시하였다.

위에 열거한 각 시험은 ISRM(International Society for Rock Mechanics)의 제안방법과 ASTM(American Society for Testing Materials)의 표준시험법에 의거하여 실시하였다.

3.2.2 실내물성실험에 의한 결과분석

(1) 비중, 공극률

비중, 공극률은 METTLER TOLEDO사의 AG Balance, desiccator 및 건조오븐을 사용하여 구하였다. 그 결과 연구지역의 비중은 $2.537\sim 2.567\text{g/cm}^3$ 범위로 분포하며 평균 2.550g/cm^3 이고, 공극률은 $1.248\sim 3.571\%$ 범위로 분포하며 평균 2.580% 로 측정되었다.

(2) 일축압축강도

일축압축강도는 만능재료시험기(Universal Testing Machine, UTM, Model No. KPUT-100)를 사용하여 구하였다. 그 결과 연구지역의 일축압축강도는 $65.90\sim 77.86\text{MPa}$ 범위로 분포하며 평균 71.88MPa 로 측정되었다.

(3) 탄성계수

탄성계수는 일축압축시험 시 구한 강도와 일축시험편에 부착한 CAS사의 스트레인 게이지를 통해 VISHAY사의 Portable Strain Indicator에서 읽은 축 방향 변형률을 나누어 구하였다. 그 결과 연구지역의 탄성계수는 $2.57\sim 2.76\times 10^4\text{MPa}$ 범위로 분포하며 평균 $2.62\times 10^4\text{MPa}$ 로 측정되었다.

(4) 탄성과 전파속도 (P파속도)

탄성과 전파속도(P파속도)는 OYO사의 New Sonicviewer로 P파의 전파속도를 구하였다. 그 결과 연구지역의 P파 전파속도는 3,182~3,862m/sec 범위로 분포하며 평균 3,546m/sec로 측정되었다.

다음 Table 3.1은 조사지역의 주요 실내실험 결과를 나타내었다.

Table 3.1 Results of rock property tests

Physical properties	No.	Results
Specific gravity (g/cm ³)	1	2.567
	2	2.537
	3	2.541
	4	2.555
	5	2.549
	Average	2.55
Porosity (%)	1	1.248
	2	3.571
	3	3.023
	4	2.682
	5	2.367
	Average	2.58
Uniaxial compressive strength (MPa)	1	77.86
	2	65.90
	3	70.02
	4	71.88
	5	73.65
	Average	71.88
Young's modulus (×10 ⁴ MPa)	1	2.68
	2	2.76
	3	2.62
	4	2.57
	5	2.74
	Average	2.62
P-wave velocities (m/sec)	1	3,182
	2	3,862
	3	3,567
	4	3,428
	5	3,693
	Average	3,546

3.3 현장실험개요

굴착예정선의 매끄러운 파단면과 발파 진동제어 유도공법 연구를 위해 장약량과 전색 방법에 따라 발파에 의한 진동의 전파 특성을 파악하기 위해서는 정해진 공간격, 저항선, 천공장, 그리고 장약량 등에 따라 실규모 시험발파를 하고, 이때에 발생하는 발파진동을 발파진동 계측기를 사용하여 측정하여야 한다. 그리고 측정된 자료를 분석하여 장약량과 전색방법에 따라 발생할 수 있는 진동정도를 예측하여 발파진동의 전파 특성을 규명한다. 본 연구에서는 장약량과 전색방법에 따라 Pattern을 8개로 나누어 4공(2지발)씩 발파를 통해 진동을 계측하는 방식으로 현장실험을 진행하였다.

3.4 현장실험 방법 및 결과

3.4.1 실험 방법

본 연구의 현장실험지역은 전라북도 군산시 성산면 성덕리 산 2-1번지에 위치한 연구 지역에서 총 160여회 발파에 대한 현장실험을 실시하였다.

실험 조건은 Table 3.2와 같다.

Pattern별 발파는 장약량을 2.5kg, 2.85kg, 3.0kg, 3.6kg으로 변화를 주었고, 전색방법에서 부분전색의 경우 지표에서 1.5m 지점을 막아, 1.5m만 전색하였으며, 완전전색의 경우 공저까지 밀폐하여 전색하였다.

장약방법은 도폭선에 Emulsion계 폭약을 등간격으로 배치하고 끈을 사용하여 폭약이 공의 중간부위에 오게끔한 후 MS 전기뇌관을 최하단부 폭약에 연결하였다.

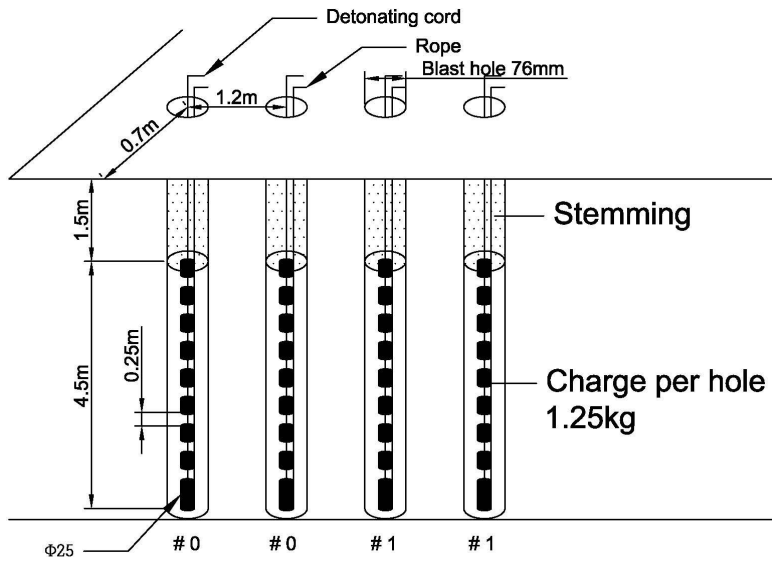
발파조건은 공경 $\phi 76\text{mm}$, 공간격 1.2m, 저항선 0.7m, 천공장 6.0m로 하여 4공씩 2지발로 시험발파를 실시하였다. 폭약은 $\phi 25\text{mm}$, $\phi 32\text{mm}$, $\phi 50\text{mm}$ 인 Emulsion 폭약을 사용하였고, 도폭선과, 뇌관은 MS 전기뇌관을 사용하였다.

각 2지발로 Newmite $\phi 25\text{mm}$ 10개(1.25kg)를 사용하여 부분 전색한 경우를 Pattern-I, 완전 전색한 경우를 Pattern-II라 하고, $\phi 25\text{mm}$ 5개와 $\phi 50\text{mm}$ 1개(1.425kg)를 사용하여 부분 전색한 경우를 Pattern-III, 완전 전색한 경우를 Pattern-IV라 하고, $\phi 32\text{mm}$ 6개(1.5kg)를 사용하여 부분 전색한 경우를 Pattern-V, 완전 전색한 경우를 Pattern-VI라

하고, $\phi 32\text{mm}$ 4개와 $\phi 50\text{mm}$ 1개(1.8kg)를 사용하여 부분 전색한 경우를 Pattern-VII, 완전 전색한 경우를 Pattern-VIII라 하였다. pattern별로 각 20회씩 발파를 실시하였다. 발파패턴은 Figure 3.3과 같다.

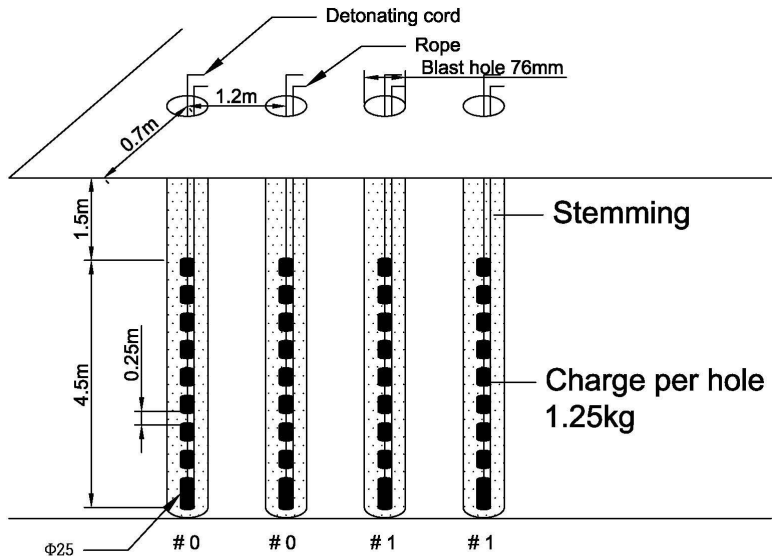
Table 3.2 Blasting conditions

Classification	Pattern- I	Pattern- II	Pattern- III	Pattern- IV	Pattern- V	Pattern- VI	Pattern- VII	Pattern- VIII
Explosive	Newmite Plus							
Explosive diameter(mm)	25		25, 50		32		32, 50	
Detonator	MS Detonator							
Stemming condition	part	full	part	full	part	full	part	full
Diameter(mm)	76							
Drilling Length (m)	6.0							
Spacing (m)	1.2							
Burden (m)	0.7							
Charge per hole (kg)	1.25		1.425		1.5		1.8	
Delay per hole (kg)	2.5		2.85		3.0		3.6	



Free Face

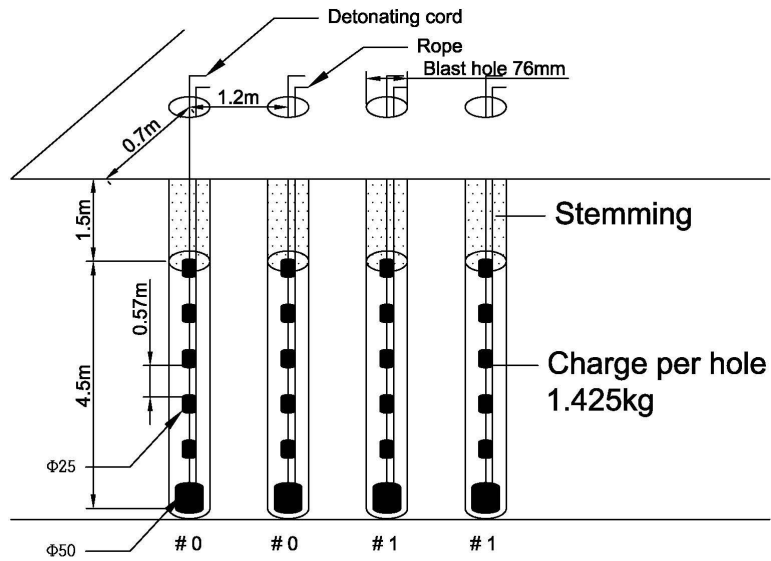
a) Blasting pattern I



Free Face

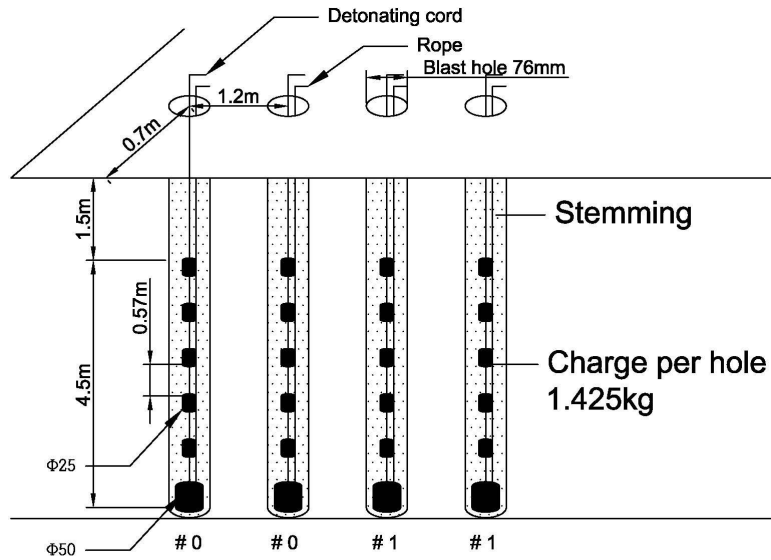
b) Blasting pattern II

Figure 3.3 Blasting pattern



Free Face

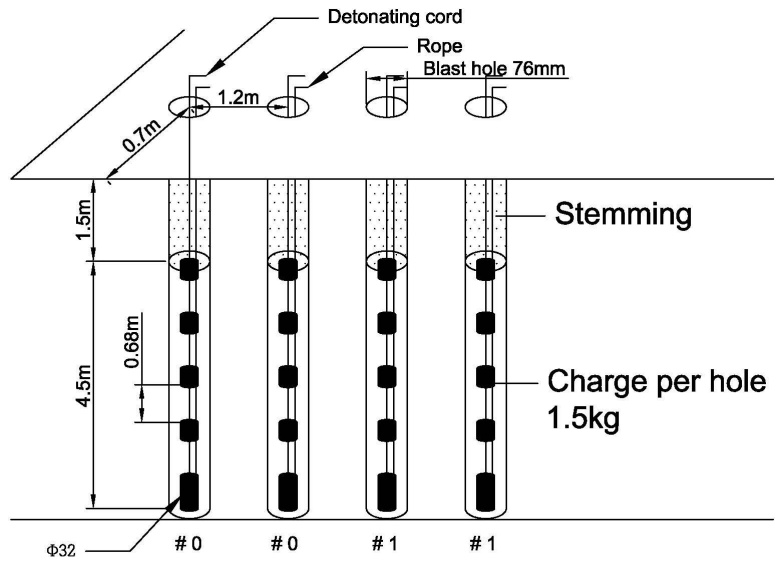
(c) Blasting pattern III



Free Face

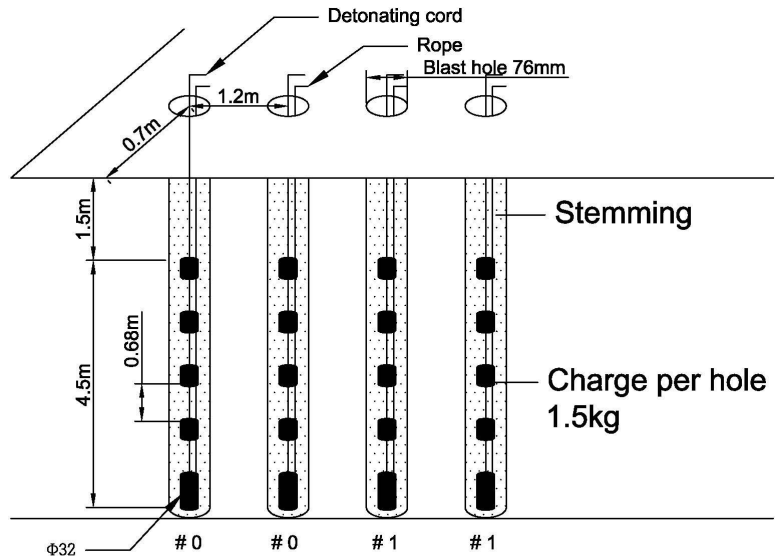
(d) Blasting pattern IV

Figure 3.3 Continued



Free Face

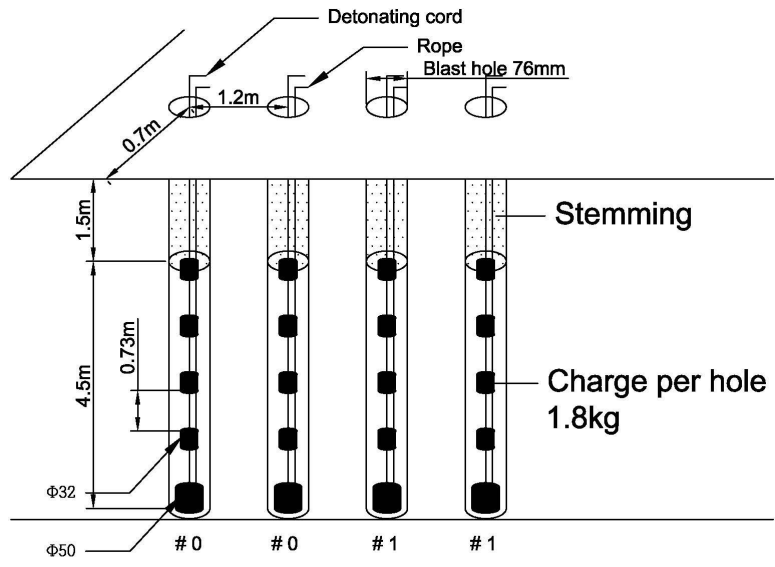
(e) Blasting pattern V



Free Face

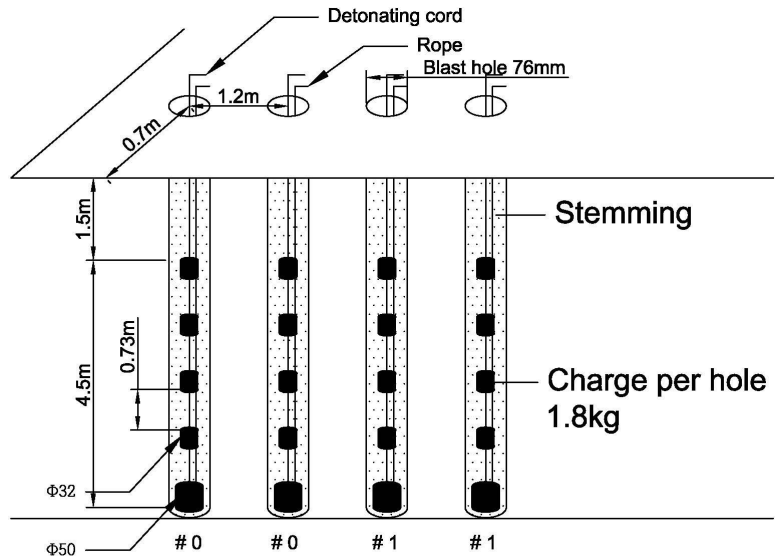
(f) Blasting pattern VI

Figure 3.3 Continued



Free Face

(g) Blasting pattern VII



Free Face

(h) Blasting pattern VIII

Figure 3.3 Continued

3.4.2 현장실험의 계측

현장실험의 계측은 PMT사의 eXAD-8와 InstanTel사의 Blastmate II, III 등 총 11~16대의 계측기기를 사용하여 계측을 실시하였다.

실험 계측에 사용된 eXAD-8와 Blastmate II, III는 현장의 발파 및 건설장비 등을 이용한 작업 시 발생하는 소음, 진동 등을 계측하여 진행, 접선, 수직 및 주파수 등을 현장에서 인쇄하여 진동 계측 값을 손쉽게 확인할 수 있으며, 지발당 장약량(charge weight per delay)과 거리(distance)를 수동으로 입력하면 이를 환산거리(Scaled distance)로 자동으로 계산하는 기능뿐만 아니라, 진동측정의 주파수 및 시간이력 등을 상세히 보여주는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 진동 측정기기라 할 수 있다.

eXAD-8와 Blastmate II, III의 측정범위는 0.013~25.4cm/sec이다. 주파수 분석을 수행하고자 할 때 모두 ZC(Zero Cross Frequency)와 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)이 가능하며 USBM/OSMRE와 DIN 4150 주파수 분석이 가능하다.

Table 3.3은 사용된 계측기기의 특성을 나타낸다.

Figure 3.4는 현장 실험장소와 실험 현장의 사진 및 계측 장면이다.

Table 3.3 Instrument specifications

Section	Specifications	
Seismic	Max. range	Up to 254mm/sec
	Trigger level	0.13~253.9mm/sec step of 0.1mm/sec
	Peak acceleration	0.01~30g calculated
	Peak displacement	0.0025~38.1mm calculated
	Frequency analysis	USBM/OSMRE & DIN 4150
Linear & C weight air	Range	88 to 142dB(0.5~250Pa)
	Trigger levels	100, 102, 104 & 105~142dB in step of 1dB
A weight sound	Range	55 to 110dB
	Trigger levels	55.0~110.0dB in step of 0.2dB
	Frequency response	0.5~8KHz, impulse filtering
Frequency	Sampling rate	1,024samples/second
	Frequency response	Seismic & linear air 1.5~250Hz
Full waveform recording	Record modes	Manual, single shot, continuous, auto
	Fixed record time	1 to 10sec, selectable in 1 sec increments +0.25 pretrigger
Strip chart recording	Record method	Record to memory & to protter output
	Intervals	5sec, 15sec, 1min., selectable
	Analysis	Frequency of peak & peak vector sum for each interval



(a) Working of process

Figure 3.4 Measurements of study area

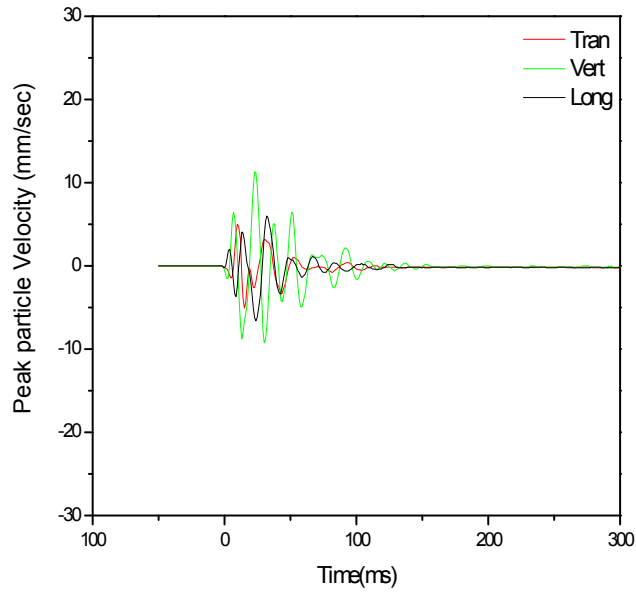


(b) stemming
Figure 3.4 Continued

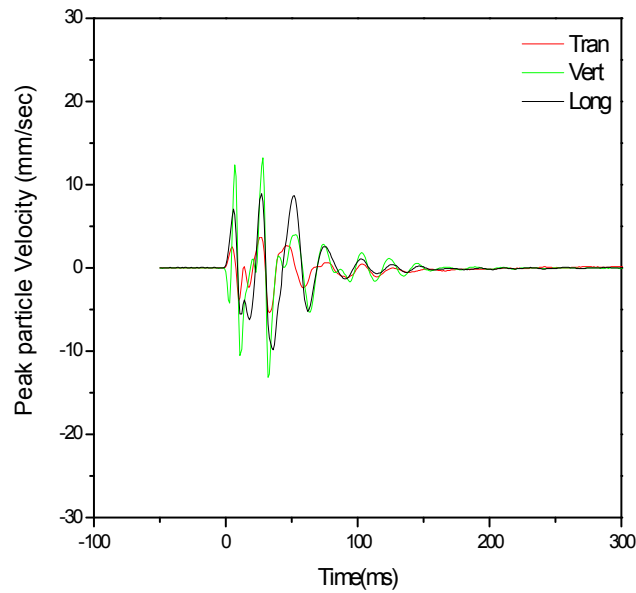


(c) Measurements
Figure 3.4 Continued

Figure 3.5는 각 pattern별 대표적인 발파진동 세성분의 파형을 나타낸 것이다.

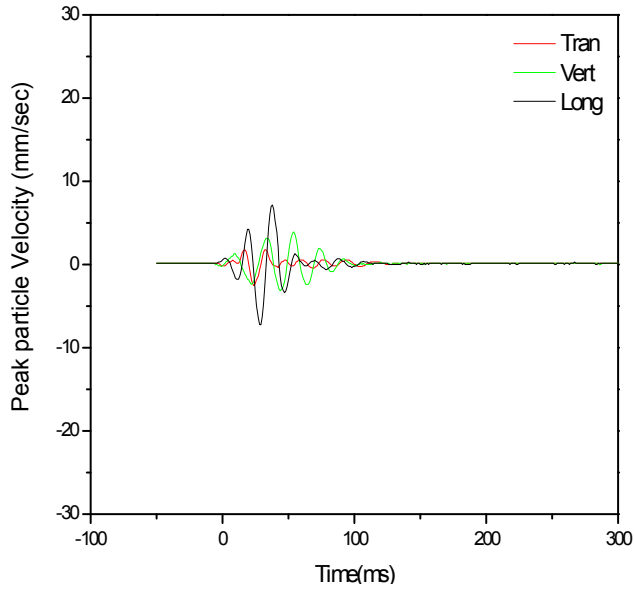


(a) Pattern I

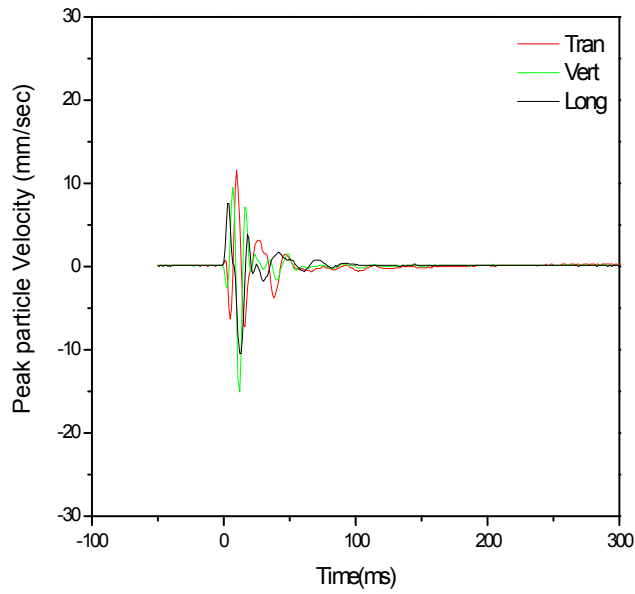


(b) Pattern II

Figure 3.5 Vibration time history of measurement result

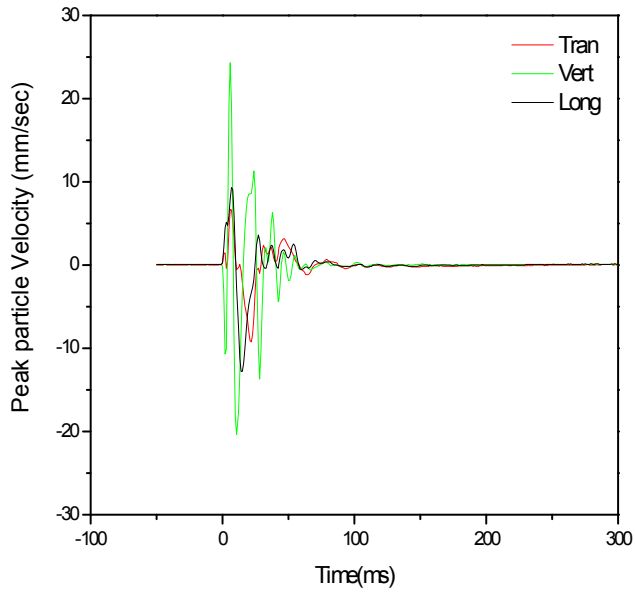


(c) Pattern III

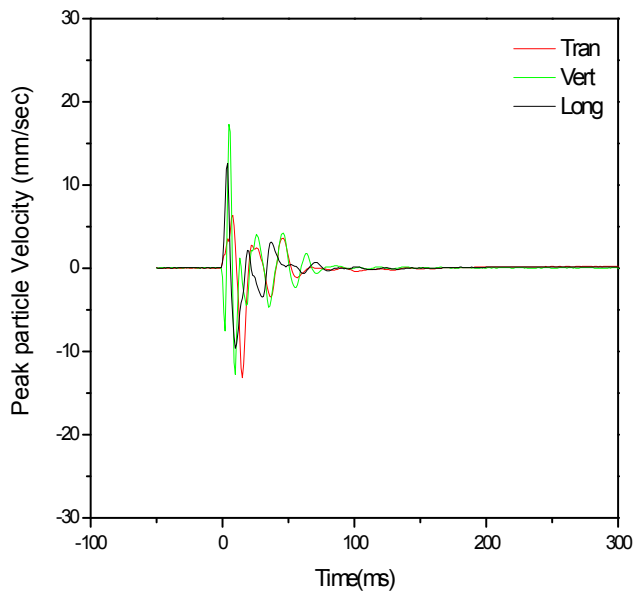


(d) Pattern IV

Figure 3.5 Continued

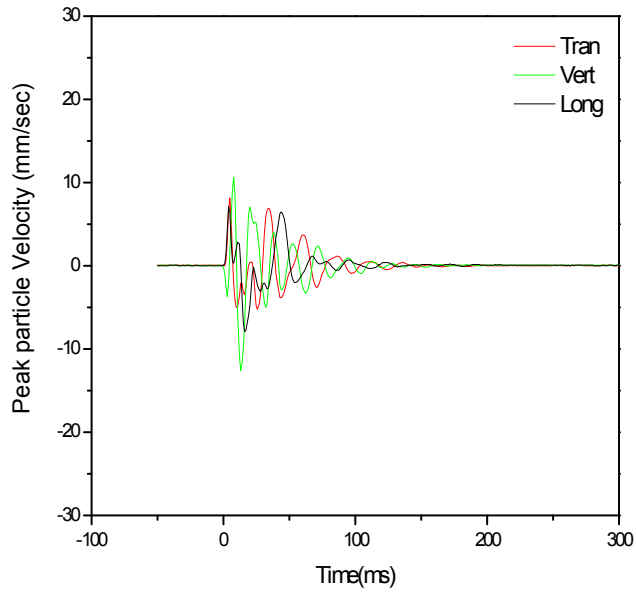


(e) Pattern V

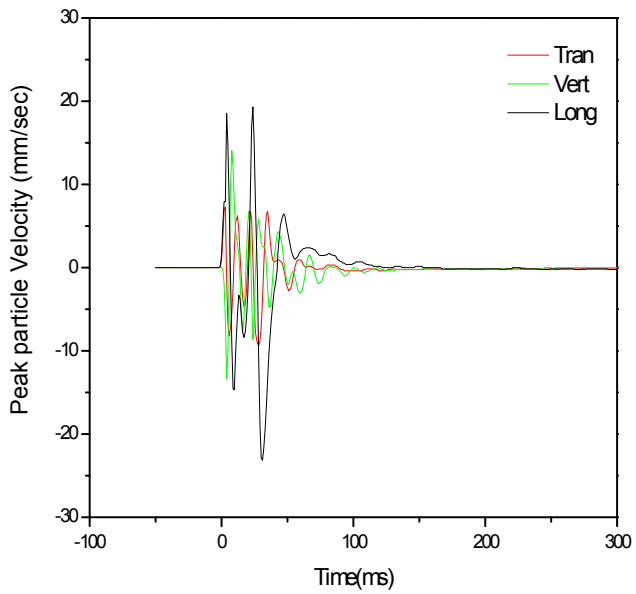


(f) Pattern VI

Figure 3.5 Continued



(g) Pattern VII



(h) Pattern VIII

Figure 3.5 Continued

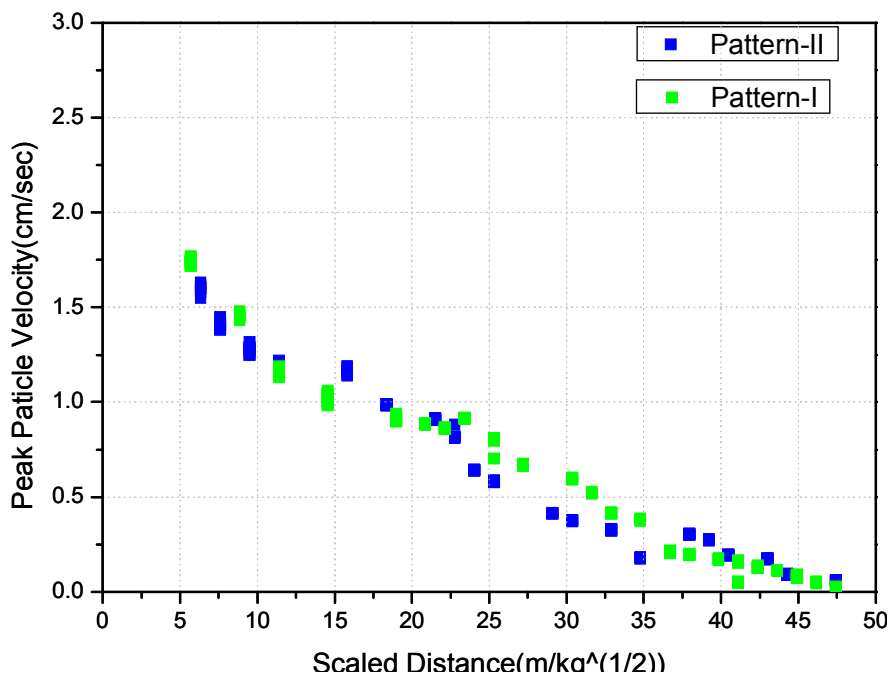
4. 계측결과 및 분석

4.1 계측결과

Table 3.2의 발파조건과 Figure 3.2의 발파패턴으로 총 160회에 걸쳐 실시된 발파진동 계측 결과 총 1,847개의 자료를 획득하였으며 계측된 자료는 부록에 첨부하였다. 그리고 발파진동의 계측은 Figure 3.4와 같이 11~16대의 계측기를 사용하여 발파 지점과 9~88m의 거리에서 행해 졌다.

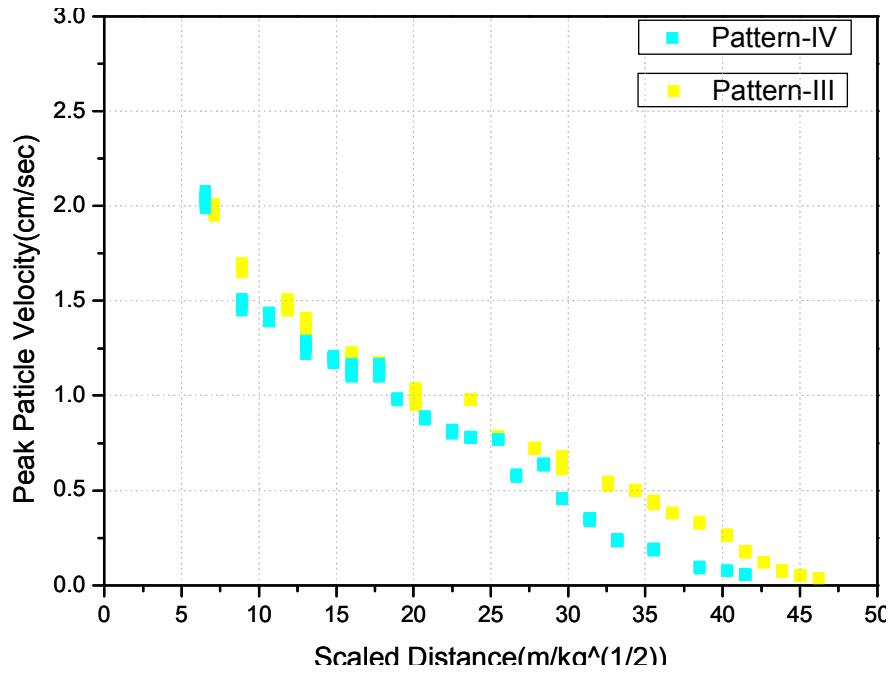
부록에 첨부된 연구지역의 현장실험 계측결과표에 따르면 Pattern별 발파는 최대입자 속도(PPV, Peak Particle Velocity)가 0.02~2.98cm/sec로 계측되었고, 최대벡터합(PVS, Peak Vector Sum)은 0.024~3.40cm/sec로 계측되었다.

Figure 4.1은 계측자료를 도시한 것이다.

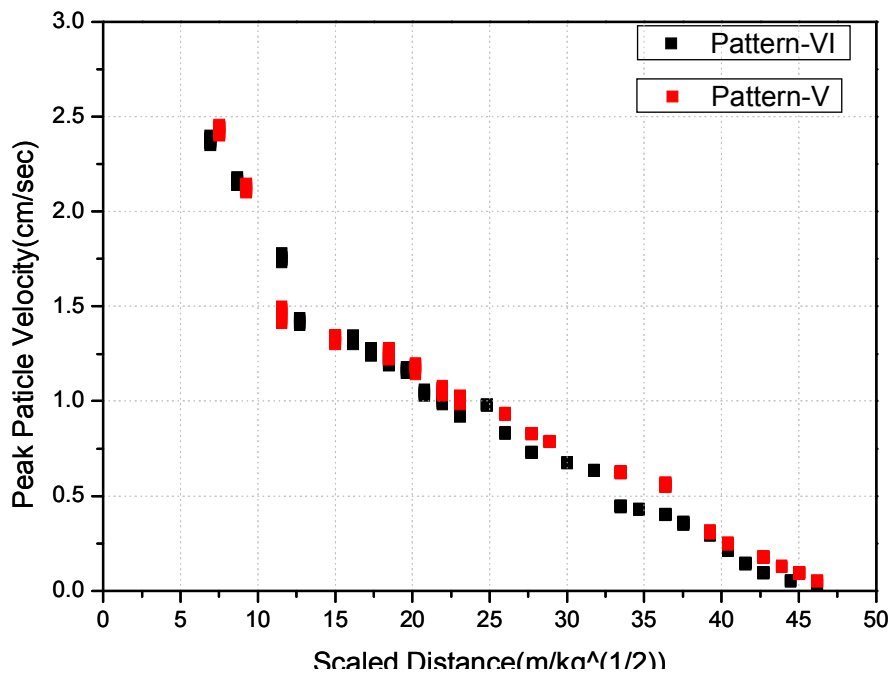


(a) pattern- I , II

Figure 4.1 Measurements data

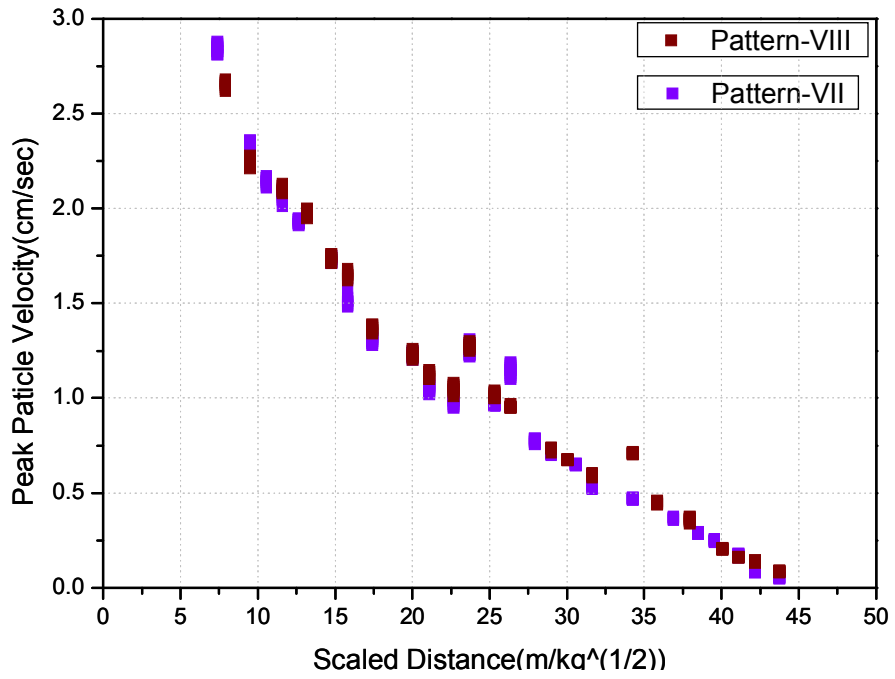


(b) pattern-III, IV



(c) pattern-V, VI

Figure 4.1 Continued



(d) pattern-VII, VIII

Figure 4.1 Continued

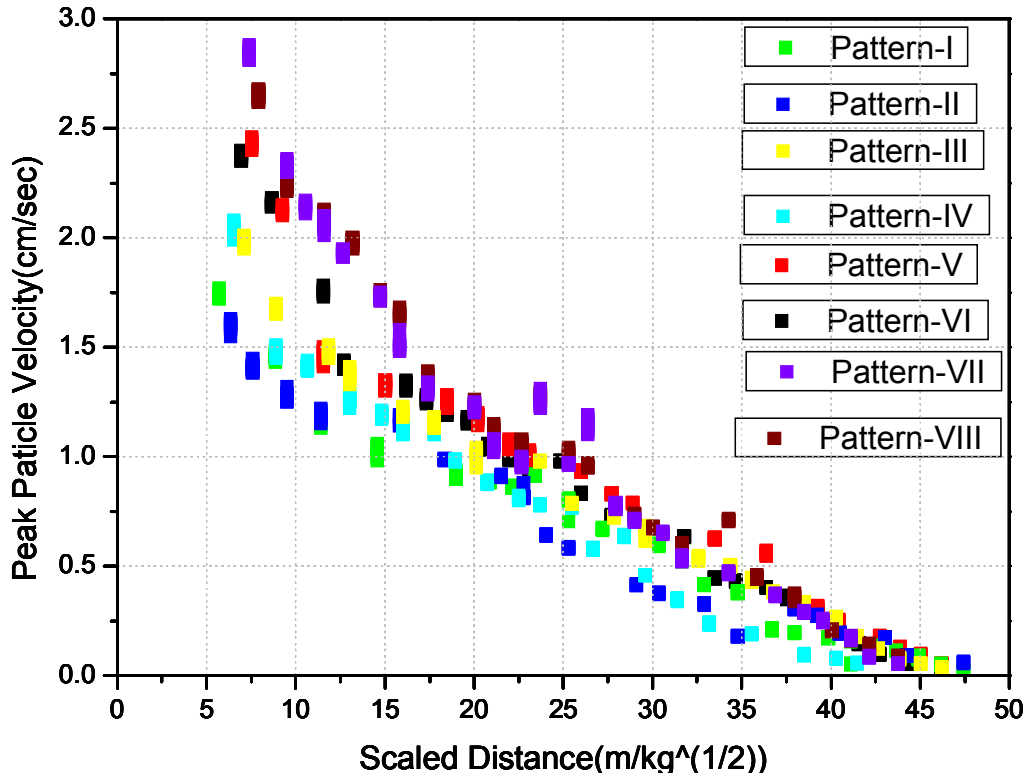


Figure 4.2 Measurements data of all pattern

Figure 4.2는 모든 pattern의 계측치를 한 그래프에 도시한 것으로서, pattern-II의 계측 결과가 가장 낮은 분포를 보이고 있으며, pattern-VII의 계측결과가 가장 높게 형성되고 있다.

4.2 Pattern별 최대입자속도(PPV)의 회귀분석 및 예측

4.2.1 Pattern- I

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern- I 에 대한 최대입자속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

지반진동 데이터의 전산처리는 TunDesign™ 4의 보조프로그램인 TDTTestBlast를 사용하였다.

Table 4.1은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern- I 에 대한 최대입자속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.1의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.3, 4.4)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.1 Prediction equation of blasting vibration for pattern- I peak particle velocity(PPV)

Pattern- I		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 160.60 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.817	240
	95%	$V_{95} = 229.45 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 139.23 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
	95%	$V_{95} = 299.68 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

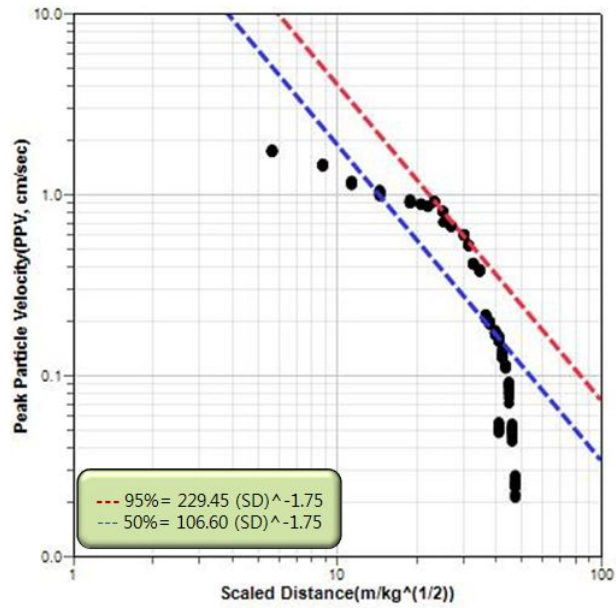


Figure 4.3 Square root scaled distance of pattern- I (PPV)

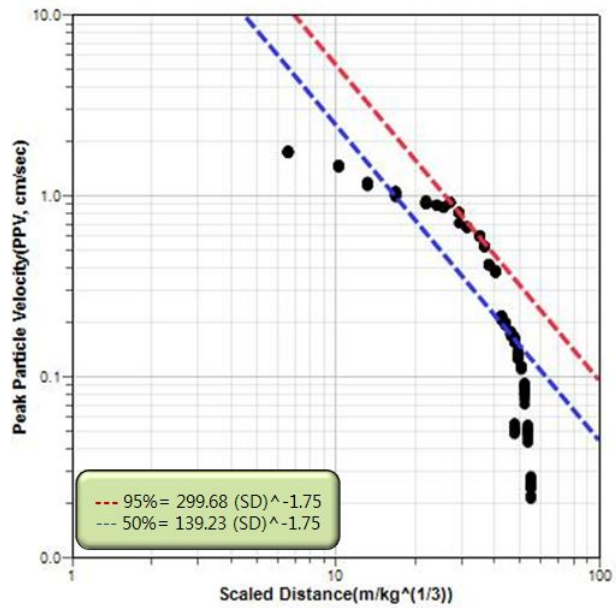


Figure 4.4 Cube root scaled distance of pattern- I (PPV)

4.2.2 Pattern- II

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-II에 대한 최대입자속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.2는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-II에 대한 최대입자속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.2의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.5, 4.6)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.2 Prediction equation of blasting vibration for pattern-II peak particle velocity(PPV)

Pattern-II		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 96.79 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.879	240
	95%	$V_{95} = 193.31 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 126.41 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
	95%	$V_{95} = 252.47 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

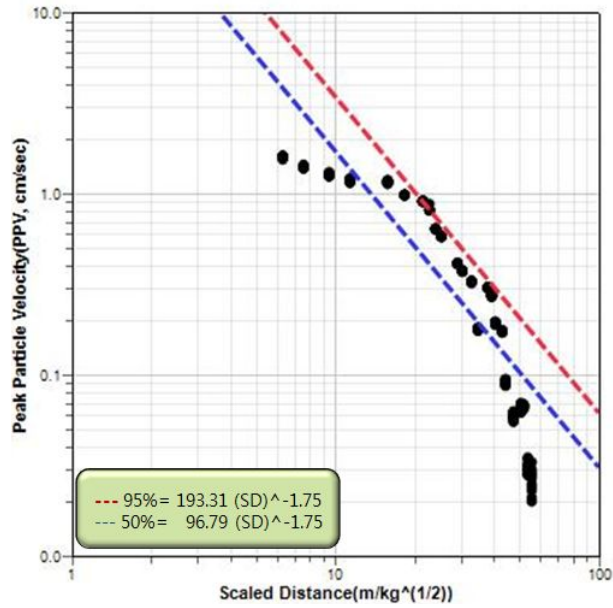


Figure 4.5 Square root scaled distance of pattern-II (PPV)

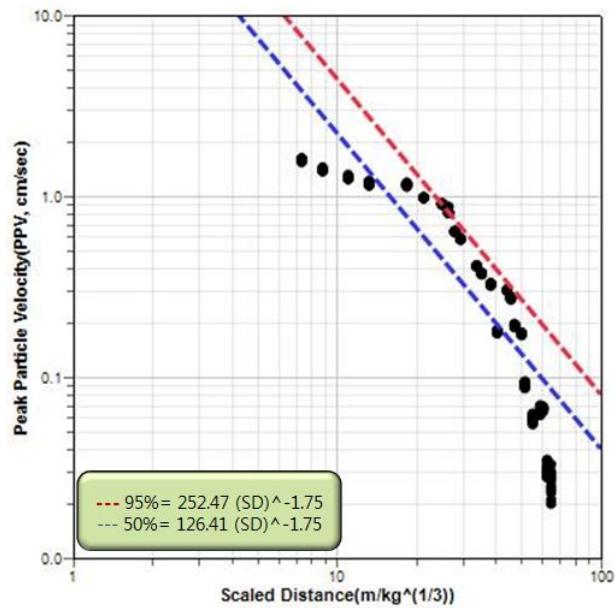


Figure 4.6 Cube root scaled distance of pattern-II (PPV)

4.2.3 Pattern-III

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-III에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.3은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-III에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.3의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.7, 4.8)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.3 Prediction equation of blasting vibration for pattern-III peak particle velocity(PPV)

Pattern-III		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 120.18 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$	0.829	220
	95%	$V_{95} = 222.26 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 162.11 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
	95%	$V_{95} = 299.79 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		

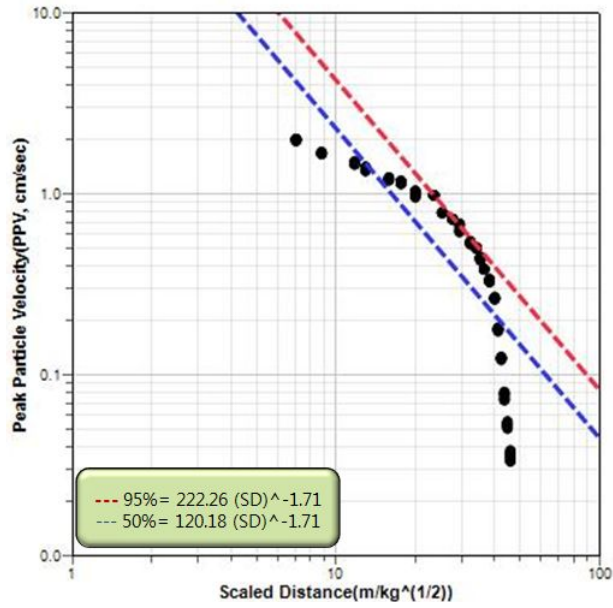


Figure 4.7 Square root scaled distance of pattern-III(PPV)

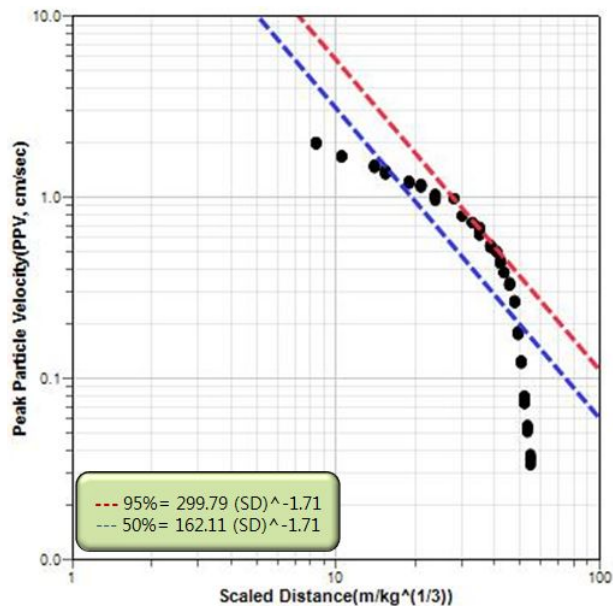


Figure 4.8 Cube root scaled distance of pattern-III(PPV)

4.2.4 Pattern-IV

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-IV에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.4는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-IV에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.4의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.9, 4.10)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.4 Prediction equation of blasting vibration for pattern-IV peak particle velocity(PPV)

Pattern-IV		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 105.19 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$	0.853	210
	95%	$V_{95} = 195.59 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 141.80 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
	95%	$V_{95} = 263.67 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		

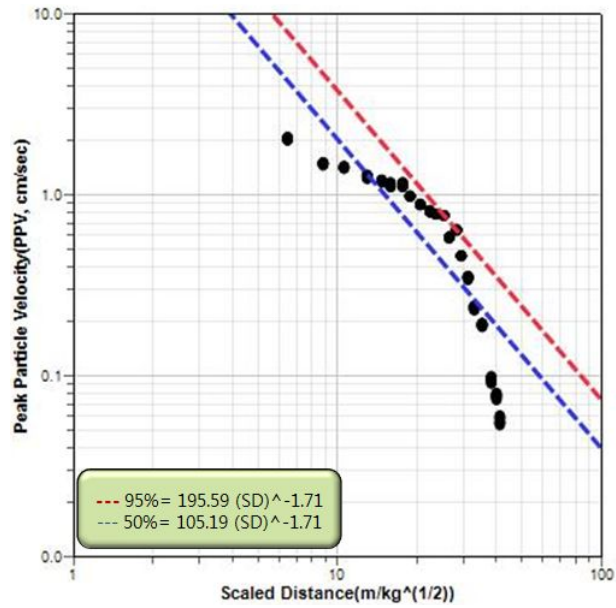


Figure 4.9 Square root scaled distance of pattern-IV (PPV)

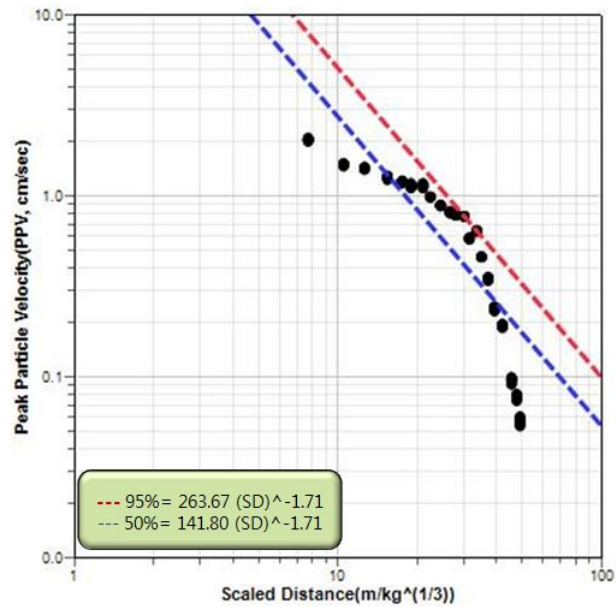


Figure 4.10 Cube root scaled distance of pattern-IV (PPV)

4.2.5 Pattern-V

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-V에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.5는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-V에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.5의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.11, 4.12)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.5 Prediction equation of blasting vibration for pattern-V peak particle velocity(PPV)

Pattern-V		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 142.70 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$	0.858	207
	95%	$V_{95} = 250.18 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 194.97 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
	95%	$V_{95} = 341.82 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		

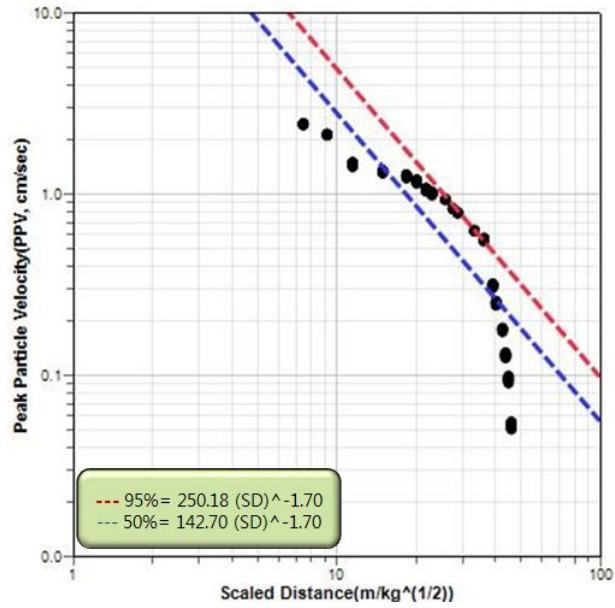


Figure 4.11 Square root scaled distance of pattern-V (PPV)

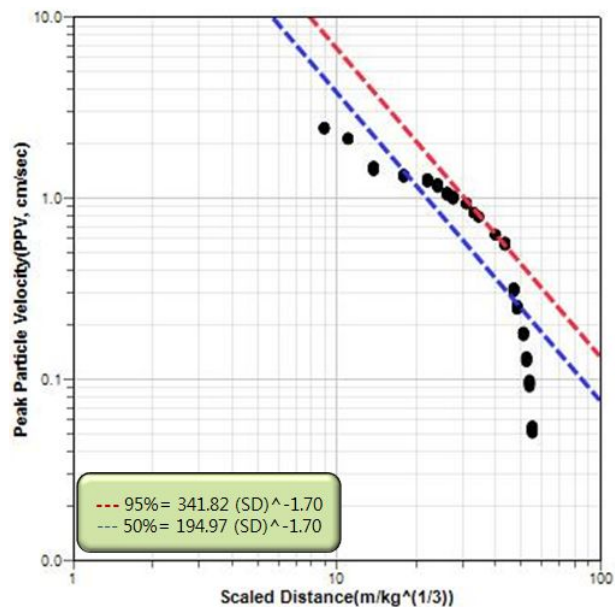


Figure 4.12 Cube root scaled distance of pattern-V (PPV)

4.2.6 Pattern-VI

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VI에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.6은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VI에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.6의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.13, 4.14)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.6 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VI peak particle velocity(PPV)

Pattern-VI		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 135.01 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$	0.848	254
	95%	$V_{95} = 226.02 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 184.25 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
	95%	$V_{95} = 308.46 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		

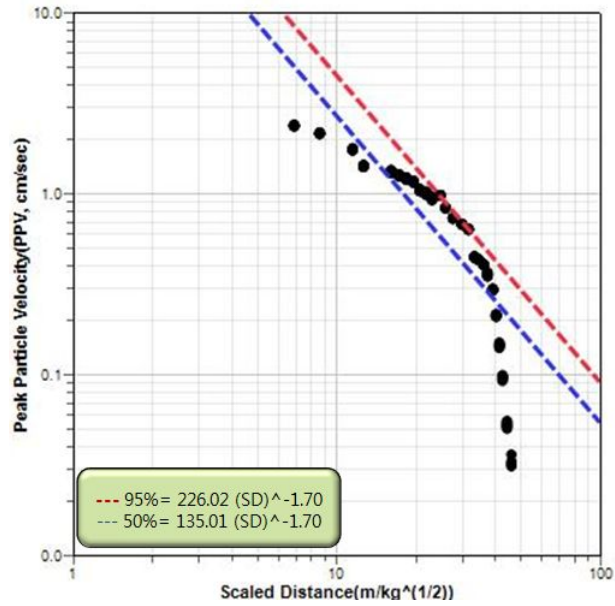


Figure 4.13 Square root scaled distance of pattern-VI(PPV)

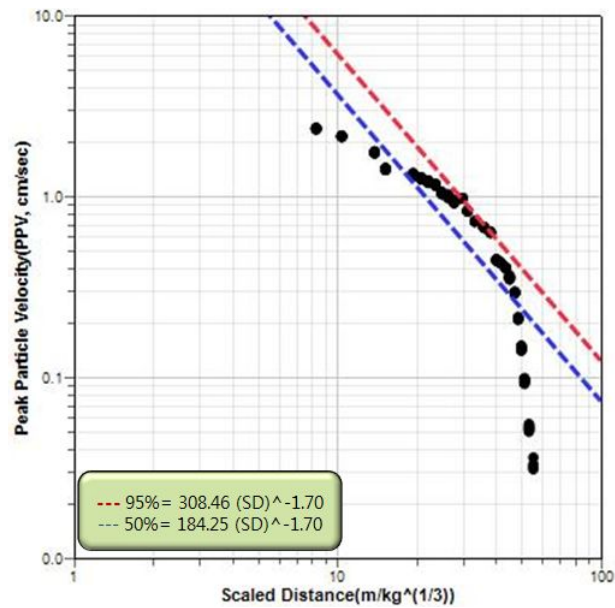


Figure 4.14 Cube root scaled distance of pattern-VI(PPV)

4.2.7 Pattern-VII

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VII에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.7은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VII에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.7의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.15, 4.16)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.7 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VII peak particle velocity(PPV)

Pattern-VII		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 158.06 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$	0.884	230
	95%	$V_{95} = 274.09 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 226.86 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
	95%	$V_{95} = 393.38 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		

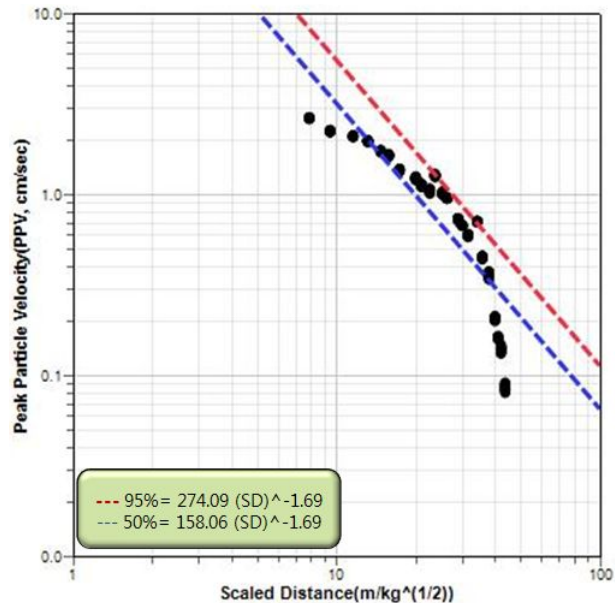


Figure 4.15 Square root scaled distance of pattern-VII(PPV)

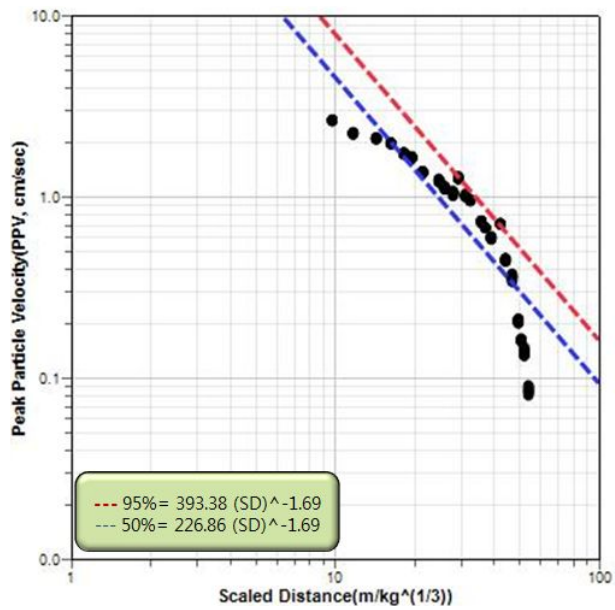


Figure 4.16 Cube root scaled distance of pattern-VII(PPV)

4.2.8 Pattern-VIII

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VIII에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.8은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VIII에 대한 최대입자 속도(PPV) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.8의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과 (Figure 4.17, 4.18)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.8 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VIII peak particle velocity(PPV)

Pattern-VIII		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 146.92 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$	0.877	246
	95%	$V_{95} = 264.39 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 210.57 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
	95%	$V_{95} = 378.94 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		

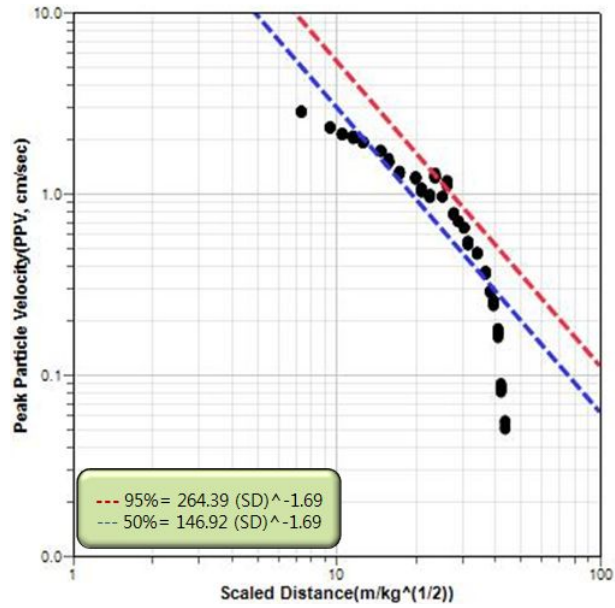


Figure 4.17 Square root scaled distance of pattern-VIII (PPV)

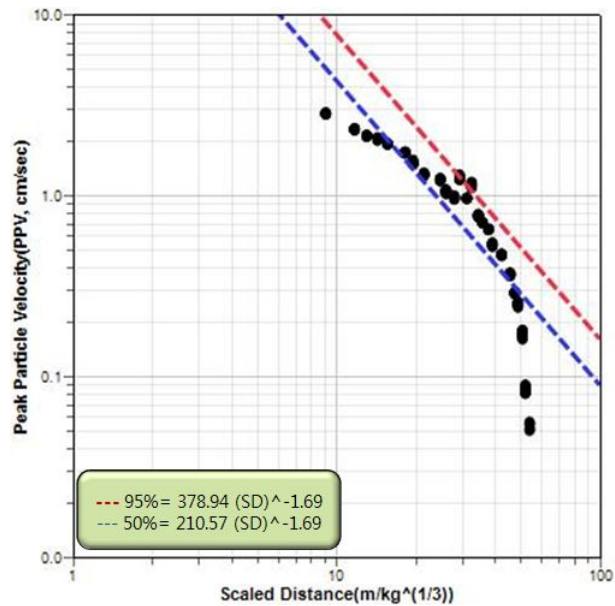


Figure 4.18 Cube root scaled distance of pattern-VIII (PPV)

4.3 Pattern별 최대벡터합(PVS)의 회귀분석 및 예측

4.3.1 Pattern- I

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern- I 에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

지반진동 데이터의 전산처리는 TunDesign™ 4의 보조프로그램인 TDDTestBlast를 사용하였다.

Table 4.9는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern- I 에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.9의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.19, 4.20)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.9 Prediction equation of blasting vibration for pattern- I peak vector sum(PVS)

Pattern- I		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 125.32 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.817	240
	95%	$V_{95} = 269.67 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 163.67 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
	95%	$V_{95} = 352.21 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

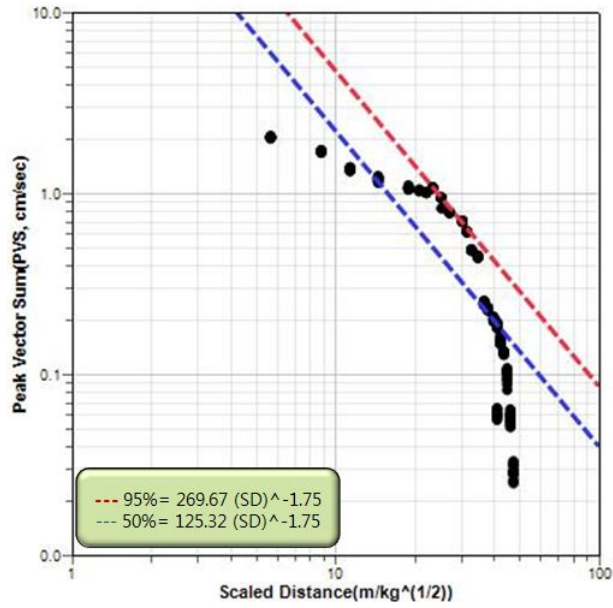


Figure 4.19 Square root scaled distance of pattern- I (PVS)

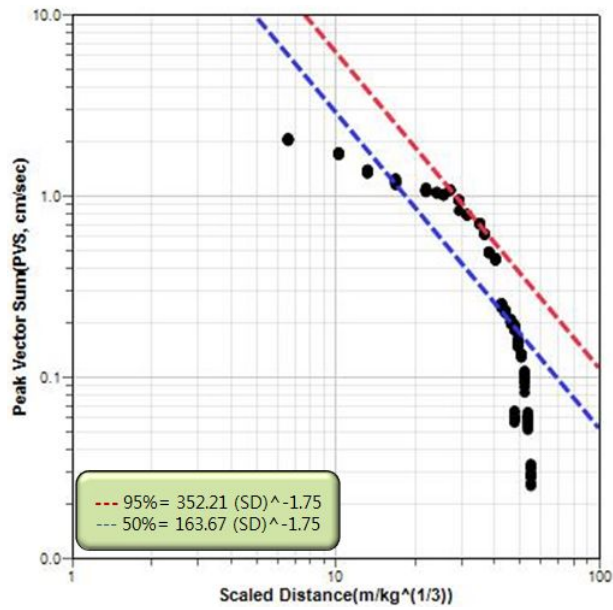


Figure 4.20 Cube root scaled distance of pattern- I (PVS)

4.3.2 Pattern- II

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-II에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.10은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-II에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.10의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.21, 4.22)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.10 Prediction equation of blasting vibration for pattern-II peak vector sum(PVS)

Pattern-II		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 113.98 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.879	240
	95%	$V_{95} = 227.70 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 148.86 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
	95%	$V_{95} = 297.37 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

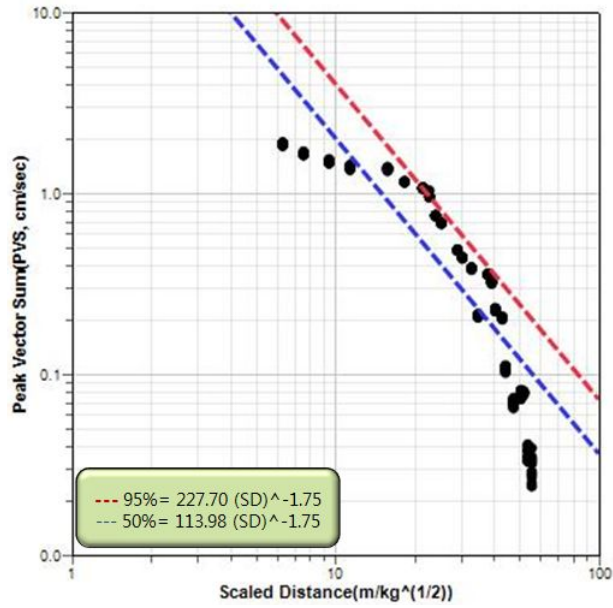


Figure 4.21 Square root scaled distance of pattern- II (PVS)

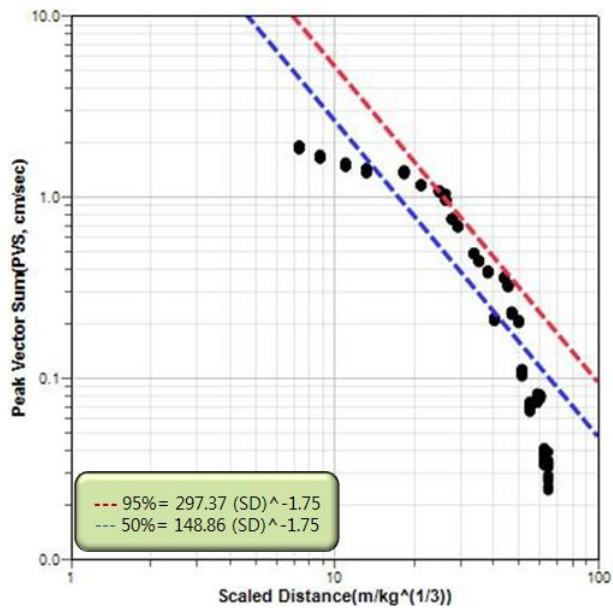


Figure 4.22 Cube root scaled distance of pattern- II (PVS)

4.3.3 Pattern-III

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-III에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.11은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-III에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.11의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.23, 4.24)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.11 Prediction equation of blasting vibration for pattern-III peak vector sum(PVS)

Pattern-III		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 141.85 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$	0.829	220
	95%	$V_{95} = 263.47 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 191.33 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
	95%	$V_{95} = 355.36 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		

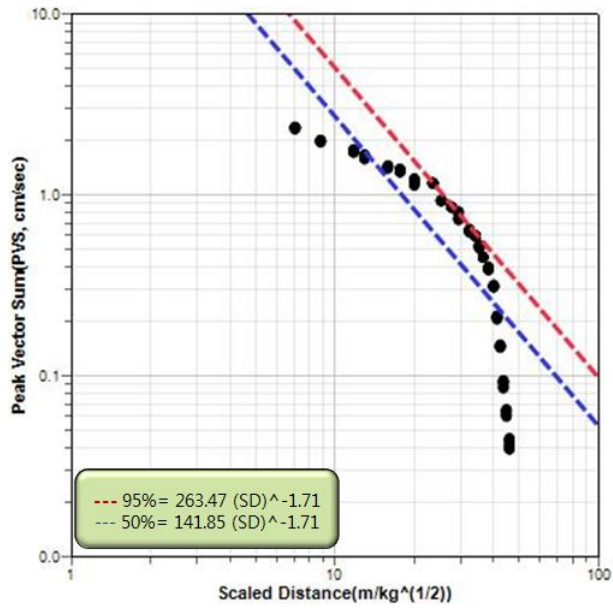


Figure 4.23 Square root scaled distance of pattern-III(PVS)

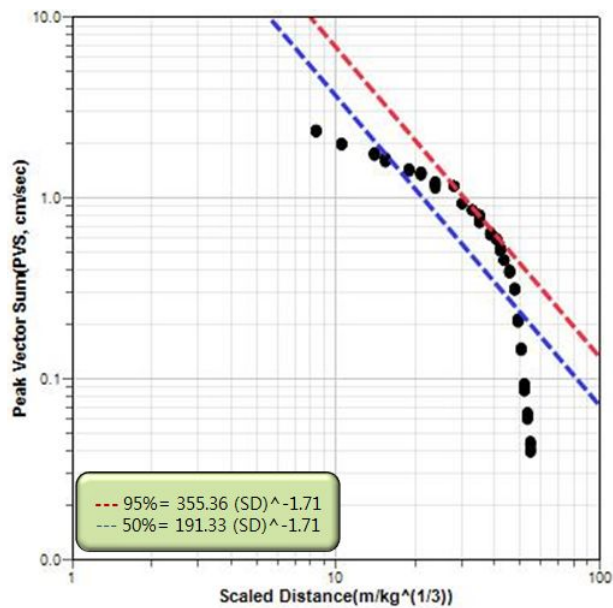


Figure 4.24 Cube root scaled distance of pattern-III(PVS)

4.3.4 Pattern-IV

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-IV에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.12는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-IV에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.12의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.25, 4.26)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.12 Prediction equation of blasting vibration for pattern-IV peak vector sum(PVS)

Pattern-IV		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 124.20 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$	0.853	210
	95%	$V_{95} = 230.87 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 167.44 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		
	95%	$V_{95} = 311.24 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.71}$		

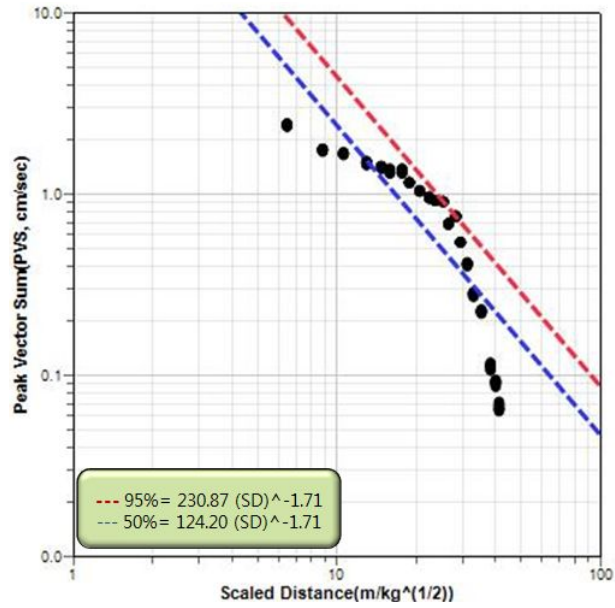


Figure 4.25 Square root scaled distance of pattern-IV(PVS)

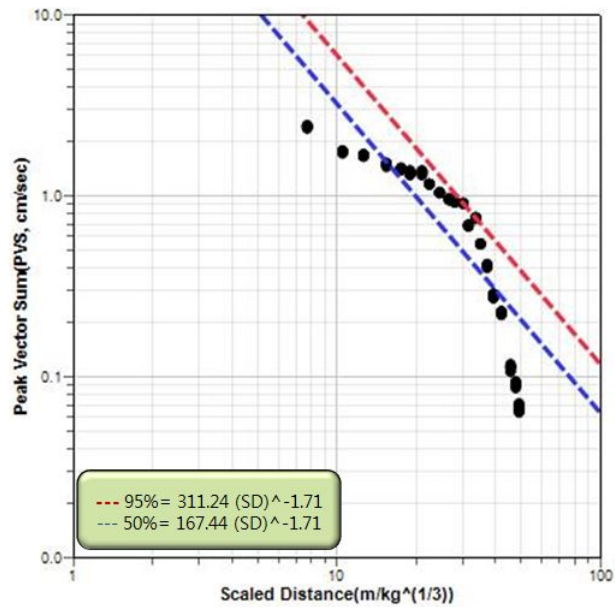


Figure 4.26 Cube root scaled distance of pattern-IV(PVS)

4.3.5 Pattern-V

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-V에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.13은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-V에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.13의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.27, 4.28)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.13 Prediction equation of blasting vibration for pattern-V peak vector sum(PVS)

Pattern-V		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 168.82 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$	0.858	207
	95%	$V_{95} = 296.14 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 230.67 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
	95%	$V_{95} = 404.63 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		

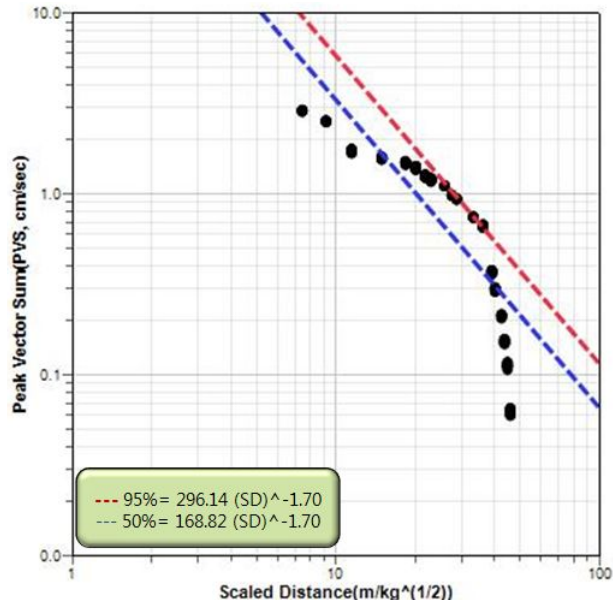


Figure 4.27 Square root scaled distance of pattern-V (PVS)

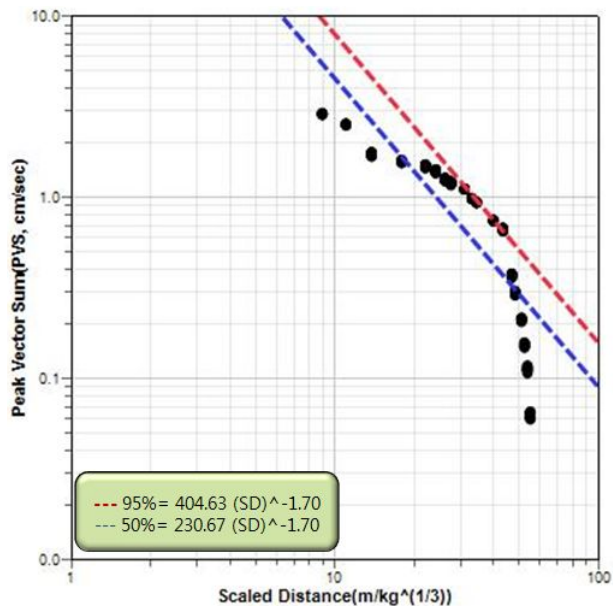


Figure 4.28 Cube root scaled distance of pattern-V (PVS)

4.3.6 Pattern-VI

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VI에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.14는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VI에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.14의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.29, 4.30)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.14 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VI peak vector sum(PVS)

Pattern-VI		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 159.47 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$	0.848	254
	95%	$V_{95} = 266.72 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 217.65 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		
	95%	$V_{95} = 364.03 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.70}$		

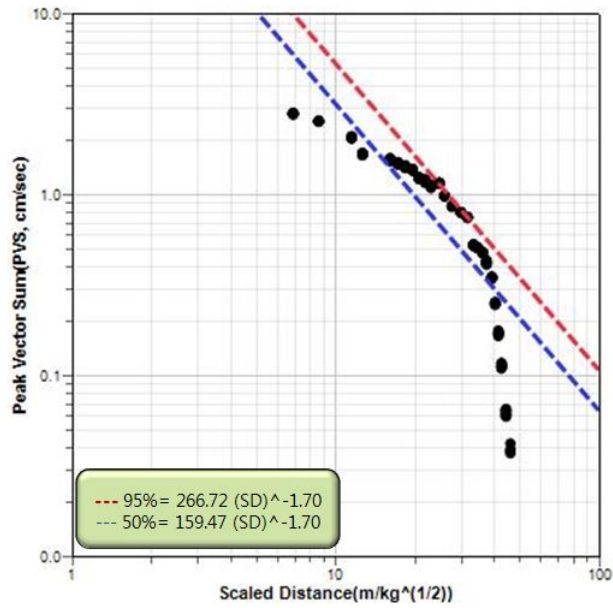


Figure 4.29 Square root scaled distance of pattern-VI(PVS)

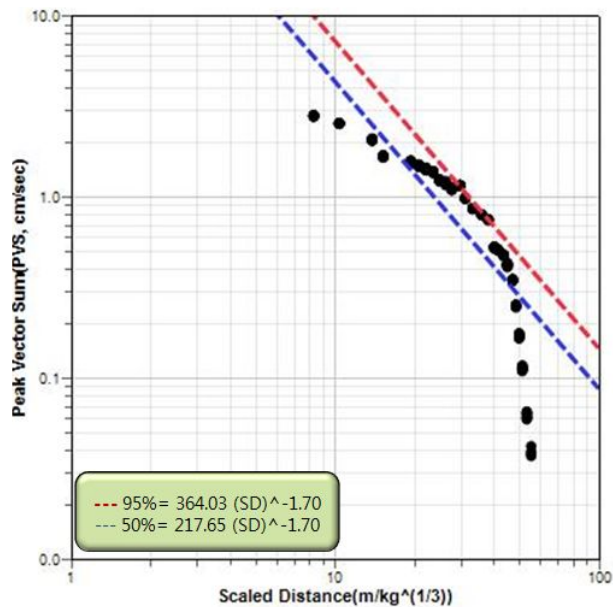


Figure 4.30 Cube root scaled distance of pattern-VI(PVS)

4.3.7 Pattern-VII

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VII에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.15는 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VII에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.15의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.31, 4.32)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.15 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VII peak vector sum(PVS)

Pattern-VII		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 186.05 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$	0.886	230
	95%	$V_{95} = 322.99 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 267.02 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
	95%	$V_{95} = 463.57 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		

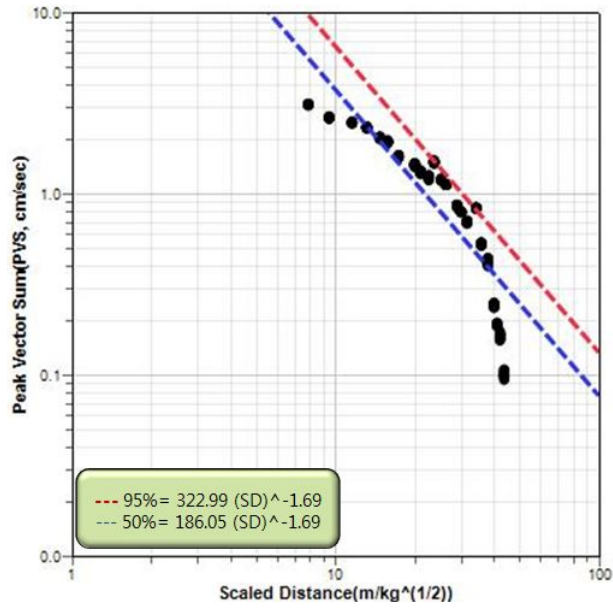


Figure 4.31 Square root scaled distance of pattern-VII(PVS)

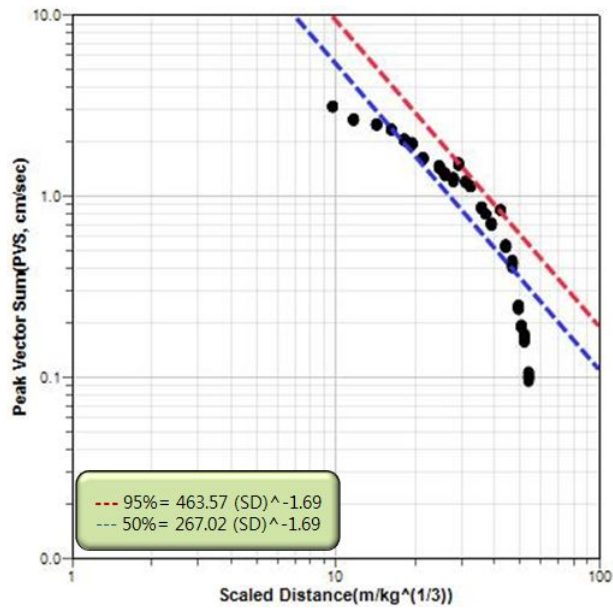


Figure 4.32 Cube root scaled distance of pattern-VII(PVS)

4.3.8 Pattern-VIII

현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터(부록 참고)에서 Pattern-VIII에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만을 수집하였다. 입지상수 K와 n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 로그-로그 그래프 상에서 1차 상관관계를 보이는 특성을 이용하였다. 그리고 통계처리하여 지반진동 예측식을 구하였다.

Table 4.16은 현장실험을 통해 계측된 지반진동 데이터에서 Pattern-VIII에 대한 최대벡터합(PVS) 데이터만 수집하여 회귀분석을 실시한 50, 95% 지반진동 예측식이다.

Table 4.16의 평균(50%) 지반진동 예측식을 이용하여 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.33, 4.34)는 다음과 같이 분석되었다.

Table 4.16 Prediction equation of blasting vibration for pattern-VIII peak vector sum(PVS)

Pattern-VIII		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 173.27 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$	0.877	246
	95%	$V_{95} = 312.40 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 248.35 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		
	95%	$V_{95} = 447.76 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.69}$		

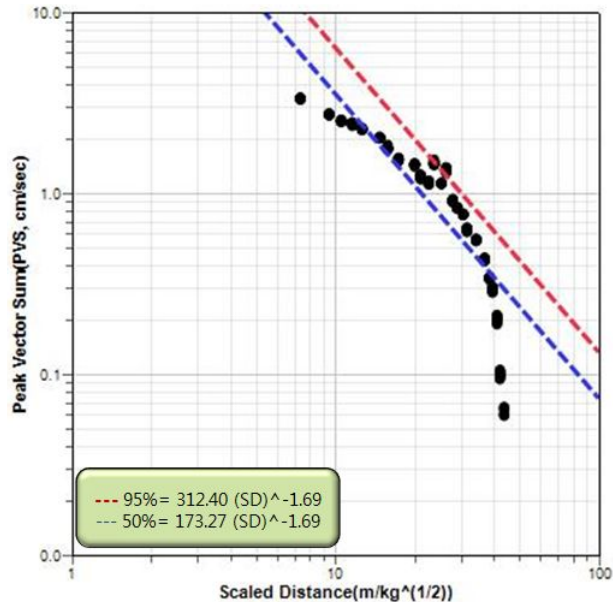


Figure 4.33 Square root scaled distance of pattern-VIII(PVS)

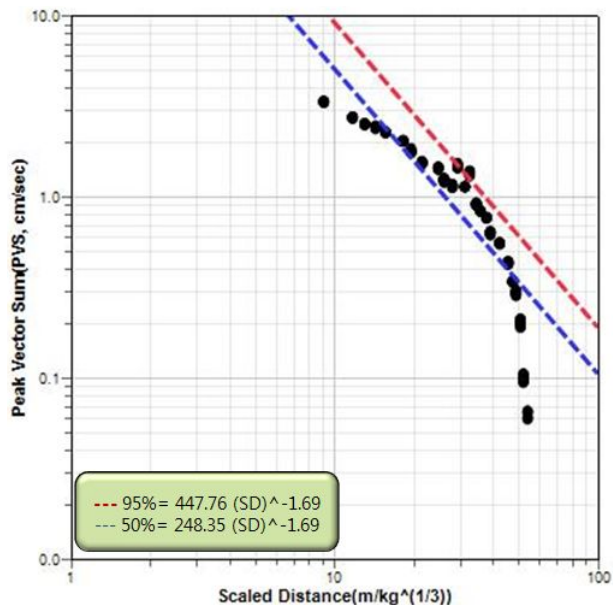


Figure 4.34 Cube root scaled distance of pattern-VIII(PVS)

5. 고찰

본 고찰에서는 군산지역 석영반암을 대상으로 한 굴착예정선에 맞는 매끈한 파단면 형성과 진동제어 유도공법 연구로서 pattern별 최대입자속도(PPV) 및 최대벡터합(PVS)을 비교분석하였고, 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파 공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 전색방법이 다른 발파에서의 최대입자속도(PPV) 및 최대벡터합(PVS)을 비교분석하였다.²¹⁾

5.1 Pattern에 따른 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 진동특성 고찰

Pattern별 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 평균 지반진동 예측식은 Table 4.1~4.16과 같다.

최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 평균 지반진동 예측식으로 Pattern별 노모그램 분석을 실시한 결과(Figure 4.3~4.34) SD값이 작은 쪽과 큰 쪽의 PPV의 값이 평균 수준보다 작게 나타났다. 이는 보이지 않는 불연속면이 존재하거나 sampling rate의 설정이 미흡하여 나타난 현상으로 생각된다.

Figure 4.1에서 장약량이 같은 pattern별 발파에서의 계측결과를 도시하였다.

Figure 4.2는 각 pattern에 대한 진동수준을 나타낸 것으로 pattern-II의 지반진동의 값이 가장 낮고, pattern-VII의 지반진동의 값이 가장 높게 분포되었음을 보여주고 있다.

자승근 환산거리가 $1\text{m/kg}^{1/2}$ 에서 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 지반진동 수준을 비교해 보면 최대벡터합(PVS)이 최대입자속도(PPV)보다 약 18%정도 높은 진동 수준이 나타났다.

Pattern별 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 진동특성을 고찰하기 위해 Table 4.1~4.16의 평균 지반진동 예측식으로 거리에 따른 예측진동치를 Figure 5.1, 5.2와 같이 도시하였다.

5.1.1 Pattern에 따른 최대입자속도(PPV)

(1) pattern에 따른 최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 같은 약경을 사용한 pattern- I ~ IV, pattern= V ~ VIII에서 pattern- I ~ II에 비해 pattern-III와 IV에서의 진동감쇠 현상이 높았으며, pattern- V와 VI에 비해 pattern-VII과 VIII에서의 진동감쇠 현상이 높게 나타났다. 이는 공저 장약으로 $\phi 50\text{mm}$ 의 폭약을 사용하여 공저 장약량이 많아진 것에 기인한 것으로 생각된다. 원거리로 갈수록 진동감쇠 현상이 낮게 예측되었다.

같은 장약량을 사용한 pattern별 예측진동속도를 비교한 결과

① Pattern- I, II

10~100m까지의 거리에서 Pattern-II의 예측진동속도는 Pattern-I의 예측진동속도에 비해 최대 9.18%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.1, Figure 5.1(a)).

② Pattern-III, IV

10~100m까지의 거리에서 Pattern-IV의 예측진동속도는 Pattern-III의 예측진동속도에 비해 최대 11.99%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.2, Figure 5.1(b)).

③ Pattern- V, VI

10~100m까지의 거리에서 Pattern-VI의 예측진동속도는 Pattern-V의 예측진동속도에 비해 최대 4.40%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.3, Figure 5.1(c)).

④ Pattern-VII, VIII

10~100m까지의 거리에서 Pattern-VIII의 예측진동속도는 Pattern-VII의 예측진동속도에 비해 최대 6.04%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.4, Figure 5.1(d)).

Table 5.1~5.4는 같은 장약량을 사용한 pattern에 따른 거리별 최대입자속도(PPV)의 예측진동치와 감쇠정도를 나타낸 표이다.

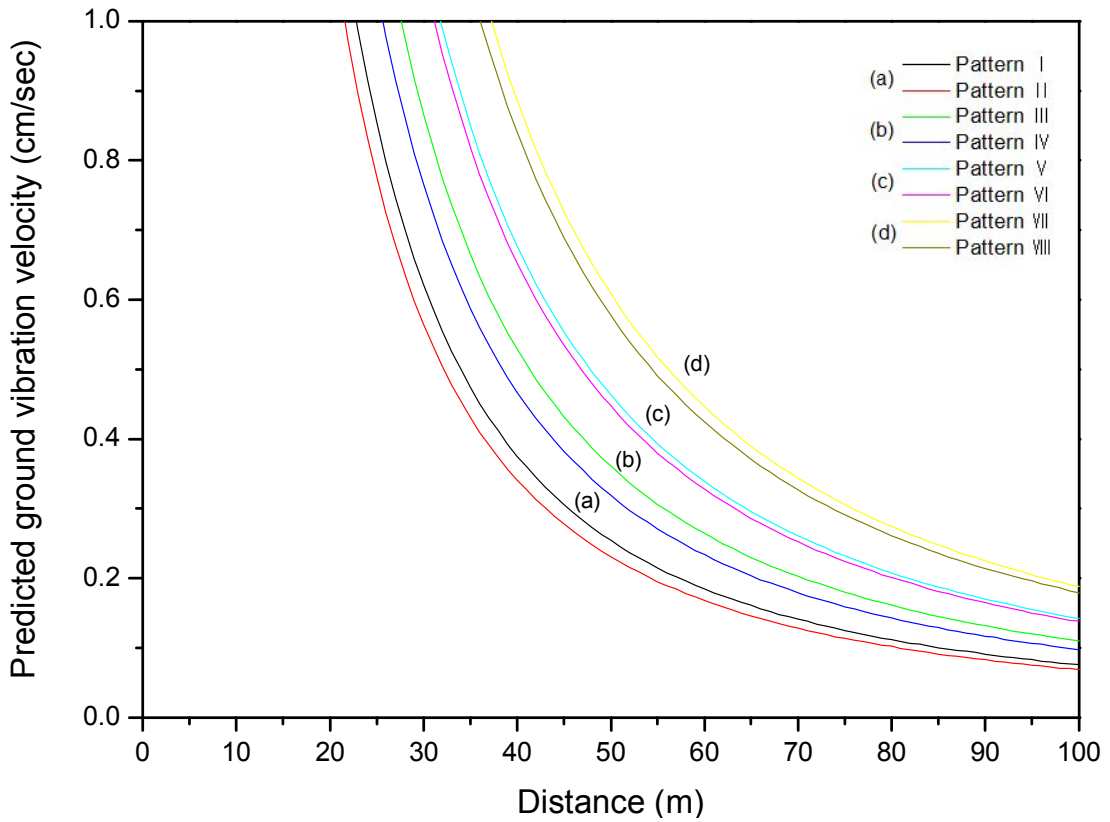


Figure 5.1 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for patterns(PPV): (a) charge per delay=2.5kg, (b) charge per delay=2.85kg, (c) charge per delay=3.0kg, (d) charge per delay=3.5kg.

Table 5.1 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern- I ,II (PPV)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV _{p-I}	PPV _{p-II}	PPV _{p-I} : PPV _{p-II}
10	2.5	4.238	3.849	9.175
20		1.261	1.146	9.162
30		0.621	0.564	9.155
40		0.375	0.341	9.150
50		0.254	0.231	9.146
60		0.185	0.168	9.142
70		0.141	0.128	9.140
80		0.112	0.102	9.137
90		0.091	0.083	9.135
100		0.076	0.069	9.133

Note) PPV_{p-I}=PPV of Pattern- I , PPV_{p-II}=PPV of Pattern- II

Table 5.2 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-III,IV(PPV)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV _{p-III}	PPV _{p-IV}	PPV _{p-III} : PPV _{p-IV}
10	2.85	5.694	5.011	11.989
20		1.735	1.531	11.798
30		0.866	0.765	11.687
40		0.529	0.467	11.607
50		0.361	0.319	11.546
60		0.264	0.234	11.495
70		0.203	0.179	11.453
80		0.161	0.143	11.416
90		0.132	0.117	11.383
100		0.110	0.097	11.354

Note) PPV_{p-III}=PPV of Pattern- III, PPV_{p-IV}=PPV of Pattern- IV

Table 5.3 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-V,VI(PPV)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV _{p-V}	PPV _{p-VI}	PPV _{p-V} : PPV _{p-VI}
10	3.0	7.189	6.872	4.402
20		2.206	2.118	4.007
30		1.105	1.064	3.775
40		0.677	0.652	3.610
50		0.463	0.447	3.482
60		0.339	0.328	3.377
70		0.261	0.252	3.288
80		0.208	0.201	3.212
90		0.170	0.165	3.144
100		0.142	0.138	3.083

Note) PPV_{p-V}=PPV of Pattern-V, PPV_{p-VI}=PPV of Pattern-VI

Table 5.4 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-VII,VIII(PPV)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV _{p-VII}	PPV _{p-VIII}	PPV _{p-VII} : PPV _{p-VIII}
10	3.5	9.263	8.703	6.039
20		2.866	2.705	5.618
30		1.443	1.365	5.371
40		0.887	0.841	5.195
50		0.608	0.577	5.058
60		0.446	0.424	4.947
70		0.344	0.327	4.852
80		0.274	0.261	4.770
90		0.225	0.214	4.698
100		0.188	0.179	4.633

Note) PPV_{p-VII}=PPV of Pattern-VII, PPV_{p-VIII}=PPV of Pattern-VIII

(2) 모든 pattern을 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준 발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 pattern-II의 경우가 가장 낮은 예측진동치를 나타내고 있으며, pattern-VII의 경우가 가장 높은 예측진동치를 나타내고 있다.(Table 5.5~5.7)

계측결과 및 예측진동치에서 가장 낮은 분포를 보이고 있는 pattern-II의 경우가 진동제어 공법에 가장 유리할 것으로 생각된다.

Table 5.5~5.7은 각 pattern에서 pattern-II에 대한 거리별 최대입자속도(PPV)의 감쇠 정도를 나타낸 표이다.

적용 기준 장약량이 높아질수록 진동감쇠는 낮아졌다.

10~100m까지의 거리에서 Pattern-II의 예측진동속도는 Pattern-VII의 예측진동속도에 비해 최대 123.74% 진동 감쇠효과가 예측되었다.

① 정밀 진동제어발파일 때(0.125kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 10.07%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 50.44%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 34.01%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 88.93%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 84.85%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 123.74%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 115.68%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.5)

Table 5.5 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PPV)-0.125kg

Distance (m)	Charge per delay(kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P-II : p-I	P-II : p-III	P-II : p-IV	P-II : p-V	P-II : p-VI	P-II : p-VII	P-II : p-VIII
10	0.125	-10.07	-39.12	-23.04	-70.76	-64.79	-96.78	-86.89
20		-10.05	-42.43	-26.24	-76.04	-70.59	-104.53	-95.13
30		-10.04	-44.41	-28.16	-79.20	-74.07	-109.21	-100.12
40		-10.04	-45.83	-29.53	-81.48	-76.59	-112.60	-103.73
50		-10.03	-46.94	-30.61	-83.27	-78.57	-115.26	-106.58
60		-10.03	-47.85	-31.50	-84.74	-80.20	-117.46	-108.94
70		-10.03	-48.63	-32.25	-86.00	-81.59	-119.34	-110.95
80		-10.02	-49.31	-32.91	-87.09	-82.80	-120.98	-112.71
90		-10.02	-49.91	-33.49	-88.06	-83.88	-122.43	-114.27
100		-10.02	-50.44	-34.01	-88.93	-84.85	-123.74	-115.68

② 소규모 진동제어발파일 때 (0.5kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 10.08%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 46.94%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 30.61%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 83.27%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 78.57%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 115.26%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 106.58%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.6)

Table 5.6 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PPV)-0.5kg

Distance (m)	Charge per delay(kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P-II : p-I	P-II : p-III	P-II : p-IV	P-II : p-V	P-II : p-VI	P-II : p-VII	P-II : p-VIII
10	0.5	-10.08	-35.88	-19.91	-65.64	-59.19	-89.31	-79.00
20		-10.07	-39.12	-23.04	-70.76	-64.79	-96.78	-86.89
30		-10.06	-41.05	-24.90	-73.83	-68.16	-101.28	-91.67
40		-10.05	-42.43	-26.24	-76.04	-70.59	-104.53	-95.13
50		-10.05	-43.52	-27.29	-77.77	-72.50	-107.10	-97.86
60		-10.04	-44.41	-28.16	-79.20	-74.07	-109.21	-100.12
70		-10.04	-45.17	-28.89	-80.42	-75.42	-111.02	-102.04
80		-10.04	-45.83	-29.53	-81.48	-76.59	-112.60	-103.73
90		-10.04	-46.42	-30.10	-82.42	-77.63	-114.00	-105.23
100		-10.03	-46.94	-30.61	-83.27	-78.57	-115.26	-106.58

③ 중규모 진동제어발파일 때(1.6kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 10.10%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 44.06%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 27.82%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 78.64%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 73.46%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 108.39%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 99.24%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.7)

Table 5.7 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PPV)-1.6kg

Distance (m)	Charge per delay(kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P-II : p-I	P-II : p-III	P-II : p-IV	P-II : p-V	P-II : p-VI	P-II : p-VII	P-II : p-VIII
10	1.6	-10.10	-33.22	-17.35	-61.46	-54.64	-83.27	-72.64
20		-10.08	-36.39	-20.41	-66.45	-60.08	-90.50	-80.25
30		-10.07	-38.29	-22.23	-69.44	-63.35	-94.85	-84.85
40		-10.07	-39.64	-23.55	-71.60	-65.71	-98.00	-88.19
50		-10.06	-40.71	-24.57	-73.29	-67.57	-100.48	-90.82
60		-10.06	-41.58	-25.42	-74.68	-69.10	-102.53	-93.00
70		-10.05	-42.33	-26.14	-75.87	-70.40	-104.28	-94.86
80		-10.05	-42.97	-26.77	-76.90	-71.54	-105.81	-96.49
90		-10.05	-43.55	-27.32	-77.82	-72.55	-107.17	-97.93
100		-10.05	-44.06	-27.82	-78.64	-73.46	-108.39	-99.24

5.1.2 Pattern에 따른 최대벡터합(PVS)

(1) Pattern에 따른 최대벡터합(PVS)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 같은 약경을 사용한 pattern- I ~ IV, pattern= V ~ VIII에서 pattern- I ~ II에 비해 pattern-III와 IV에서의 진동감쇠 현상이 높았으며, pattern- V와 VI에 비해 pattern-VII과 VIII에서의 진동감쇠 현상이 높게 나타났다. 이는 공저 장약으로 $\phi 50\text{mm}$ 의 폭약을 사용하여 공저 장약량이 많아진 것에 기인한 것으로 생각된다. 원거리로 갈수록 진동감쇠 현상이 낮게 예측되었다.

같은 장약량을 사용한 pattern별 예측진동속도를 비교한 결과

① Pattern- I , II

10~100m까지의 거리에서 Pattern-II의 예측진동속도는 Pattern-I의 예측진동속도에 비해 최대 9.01%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.8, Figure 5.2(a)).

② Pattern-III, IV

10~100m까지의 거리에서 Pattern-IV의 예측진동속도는 Pattern-III의 예측진동속도에

비해 최대 12.01%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.9, Figure 5.2(b)).

③ Pattern-V, VI

10~100m까지의 거리에서 Pattern-VI의 예측진동속도는 Pattern-V의 예측진동속도에 비해 최대 4.54%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.10, Figure 5.2(c)).

④ Pattern-VII, VIII

10~100m까지의 거리에서 Pattern-VIII의 예측진동속도는 Pattern-VII의 예측진동속도에 비해 최대 5.87%, 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.11, Figure 5.2(d)).

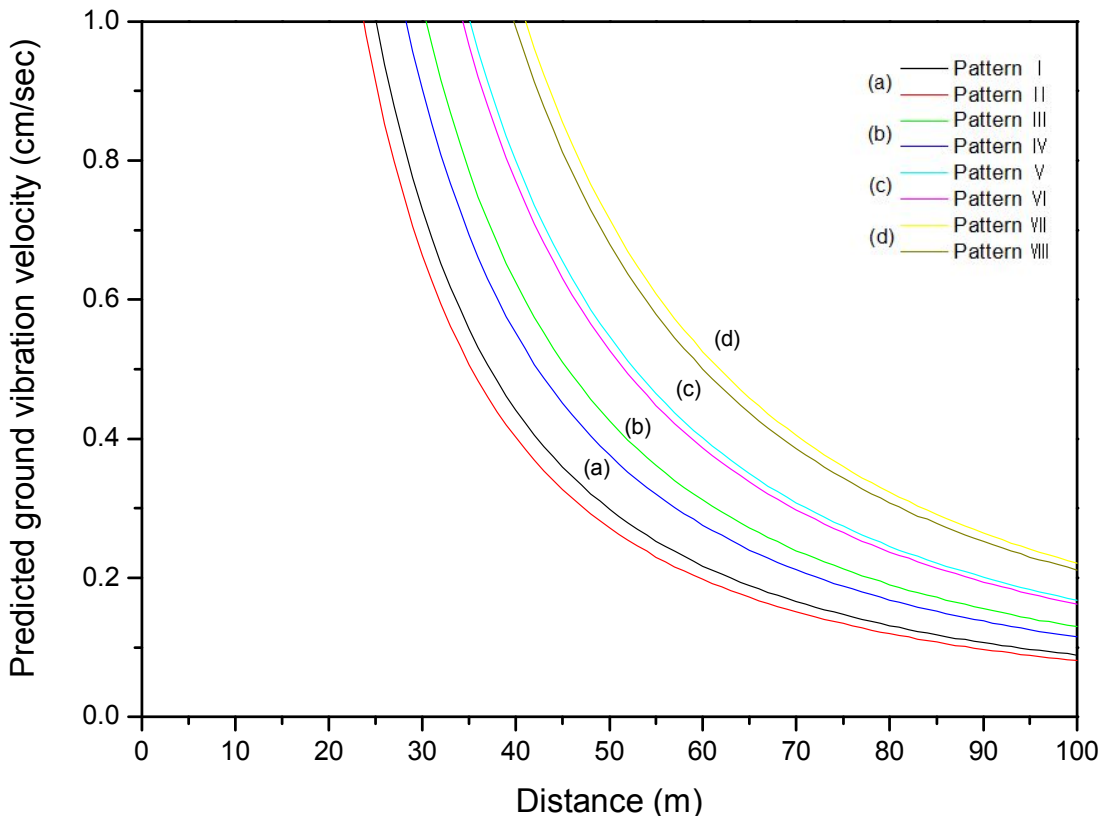


Figure 5.2 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for patterns(PVS): (a) charge per delay=2.5kg, (b) charge per delay=2.85kg, (c) charge per delay=3.0kg, (d) charge per delay=3.5kg.

Table 5.8~5.11은 같은 장약량을 사용한 pattern에 따른 거리별 최대백터합(PVS)의 예측진동치와 감쇠정도를 나타낸 표이다.

Table 5.8 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern- I ,II (PVS)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%) PVS _{p-I} : PVS _{p-II}
		PVS _{p-I}	PVS _{p-II}	
10	2.5	4.983	4.534	9.011
20		1.483	1.350	8.998
30		0.730	0.664	8.990
40		0.441	0.402	8.985
50		0.299	0.272	8.981
60		0.217	0.198	8.977
70		0.166	0.151	8.974
80		0.131	0.120	8.972
90		0.107	0.097	8.969
100		0.089	0.081	8.967

Note) PVS_{p-I}=PVS of Pattern- I , PVS_{p-II}=PVS of Pattern- II

Table 5.9 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-III,IV(PVS)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%) PVS _{p-III} : PVS _{p-IV}
		PVS _{p-III}	PVS _{p-IV}	
10	2.85	6.723	5.915	12.013
20		2.049	1.806	11.845
30		1.023	0.903	11.747
40		0.625	0.552	11.677
50		0.426	0.377	11.623
60		0.312	0.276	11.578
70		0.239	0.212	11.541
80		0.190	0.168	11.508
90		0.156	0.138	11.480
100		0.130	0.115	11.454

Note) PVS_{p-III}=PVS of Pattern-III, PVS_{p-IV}=PVS of Pattern-IV

Table 5.10 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-V,VI(PVS)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%) PVS _{p-V} : PVS _{p-VI}
		PVS _{p-V}	PVS _{p-VI}	
10	3.0	8.501	8.115	4.535
20		2.608	2.500	4.136
30		1.307	1.256	3.902
40		0.800	0.770	3.735
50		0.547	0.527	3.606
60		0.401	0.387	3.500
70		0.308	0.298	3.411
80		0.245	0.237	3.333
90		0.201	0.194	3.264
100		0.168	0.162	3.203

Note) PVS_{p-V}=PVS of Pattern-V, PVS_{p-VI}=PVS of Pattern-VI

Table 5.11 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for pattern-VII,VIII(PVS)

Distance(m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%) PVS _{p-VII} : PVS _{p-VIII}
		PVS _{p-VII}	PVS _{p-VIII}	
10	3.5	10.902	10.262	5.870
20		3.373	3.189	5.455
30		1.698	1.610	5.211
40		1.044	0.991	5.038
50		0.715	0.680	4.903
60		0.525	0.500	4.793
70		0.405	0.386	4.700
80		0.323	0.308	4.619
90		0.264	0.252	4.547
100		0.221	0.211	4.484

Note) PVS_{p-VII}=PVS of Pattern-VII, PVS_{p-VIII}=PVS of Pattern-VIII

(2) 모든 pattern을 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준 발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 최대벡터합(PVS)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 pattern-II의 경우가 가장 낮은 예측진동치를 나타내고 있으며, pattern-VII의 경우가 가장 높은 예측진동치를 나타내고 있다.(Table 5.12~14)

계측결과 및 예측진동치에서 가장 낮은 분포를 보이고 있는 pattern-II의 경우가 진동제어 공법에 가장 유리할 것으로 생각된다.

Table 5.12~5.14는 각 pattern에서 pattern-II에 대한 거리별 최대입자속도(PPV)의 감쇠정도를 나타낸 표이다.

적용 기준 장약량이 높아질수록 진동감쇠는 낮아졌다.

10~100m까지의 거리에서 Pattern-II의 예측진동속도는 Pattern-VII의 예측진동속도에 비해 최대 123.43% 진동 감쇠효과가 예측되었다.

① 정밀 진동제어발파일 때(0.125kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 9.87%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 50.84%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 34.13%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 89.36%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 85.06%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 123.43%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 115.68%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.12)

Table 5.12 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-0.125kg

Distance (m)	Charge per delay(kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P-II : p-I	P-II : p-III	P-II : p-IV	P-II : p-V	P-II : p-VI	P-II : p-VII	P-II : p-VIII
10	0.125	-9.87	-39.46	-23.23	-71.30	-65.11	-96.57	-87.00
20		-9.85	-42.79	-26.42	-76.55	-70.87	-104.30	-95.21
30		-9.84	-44.78	-28.32	-79.69	-74.34	-108.96	-100.18
40		-9.84	-46.20	-29.69	-81.96	-76.84	-112.33	-103.78
50		-9.83	-47.32	-30.76	-83.73	-78.81	-114.98	-106.61
60		-9.83	-48.23	-31.64	-85.20	-80.43	-117.17	-108.96
70		-9.82	-49.01	-32.39	-86.44	-81.82	-119.04	-110.97
80		-9.82	-49.69	-33.04	-87.53	-83.02	-120.67	-112.72
90		-9.82	-50.30	-33.62	-88.49	-84.09	-122.13	-114.28
100		-9.82	-50.84	-34.13	-89.36	-85.06	-123.43	-115.68

② 소규모 진동제어발파일 때 (0.5kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 9.89%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 47.32%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 30.76%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 83.73%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 78.81%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 114.98%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 106.61%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.13)

Table 5.13 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-0.5kg

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P-II : p-I	P-II : p-III	P-II : p-IV	P-II : p-V	P-II : p-VI	P-II : p-VII	P-II : p-VIII
10	0.5	-9.89	-36.20	-20.13	-66.21	-59.53	-89.14	-79.14
20		-9.87	-39.46	-23.23	-71.30	-65.11	-96.57	-87.00
30		-9.86	-41.40	-25.09	-74.35	-68.46	-101.06	-91.76
40		-9.85	-42.79	-26.42	-76.55	-70.87	-104.30	-95.21
50		-9.85	-43.88	-27.46	-78.27	-72.77	-106.85	-97.93
60		-9.84	-44.78	-28.32	-79.69	-74.34	-108.96	-100.18
70		-9.84	-45.54	-29.05	-80.90	-75.68	-110.76	-102.10
80		-9.84	-46.20	-29.69	-81.96	-76.84	-112.33	-103.78
90		-9.83	-46.79	-30.25	-82.89	-77.88	-113.72	-105.27
100		-9.83	-47.32	-30.76	-83.73	-78.81	-114.98	-106.61

③ 중규모 진동제어발파일 때(1.6kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-I에 비해 100m에서 최대 9.90%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-III에 비해 100m에서 최대 44.43%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-IV에 비해 100m에서 최대 27.99%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-V에 비해 100m에서 최대 79.14%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VI에 비해 100m에서 최대 73.73%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 100m에서 최대 108.14%의 진동 감쇠가 예측되었다.

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VIII에 비해 100m에서 최대 99.30%의 진동 감쇠가 예측되었다.(Table 5.14)

Table 5.14 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different patterns(PVS)-1.6kg

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Percentage of attenuation(%)						
		P- II : p- I	P- II : p- III	P- II : p- IV	P- II : p- V	P- II : p- VI	P- II : p- VII	P- II : p- VIII
10	1.6	-9.90	-33.53	-17.59	-62.06	-55.00	-83.12	-72.80
20		-9.88	-36.72	-20.62	-67.02	-60.42	-90.32	-80.38
30		-9.87	-38.62	-22.44	-70.00	-63.67	-94.66	-84.97
40		-9.87	-39.99	-23.74	-72.14	-66.02	-97.80	-88.30
50		-9.86	-41.06	-24.76	-73.82	-67.87	-100.27	-90.92
60		-9.86	-41.94	-25.60	-75.20	-69.39	-102.31	-93.09
70		-9.85	-42.68	-26.32	-76.38	-70.69	-104.05	-94.94
80		-9.85	-43.33	-26.94	-77.41	-71.82	-105.57	-96.56
90		-9.85	-43.91	-27.49	-78.32	-72.83	-106.92	-98.00
100		-9.85	-44.43	-27.99	-79.14	-73.73	-108.14	-99.30

5.2 전색방법에 따른 최대입자속도(PPV)와 최대벡터합(PVS)의 진동특성 고찰

국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 전색방법이 다른 발파에서의 최대입자속도(PPV) 및 최대벡터합(PVS)을 비교분석하였다.

Pattern- I,Ⅲ,V,Ⅶ의 부분전색의 지반진동이 Pattern-Ⅱ,Ⅳ,Ⅵ,Ⅷ의 완전전색의 지반진동에 비해 크게 나타났다.

이는 기존의 연구들과는 상이한 것으로 본 연구지역의 암반의 불연속면 등 암반의 역학적, 구조적인 특성의 영향으로 생각되며, 분산 장약(공구로부터 1.5m까지)으로 인해 공내의 폭발에너지가 공 내부보다 공구방향으로 집중된 경우가 많아, 부분전색으로 인한 디커플링 효과보다 더 많은 영향을 끼친 것으로 보이며, 이로 인해 완전전색에 비해 약간 높은 지반진동이 계측된 것으로 판단된다.

5.2.1 전색방법에 따른 최대입자속도(PPV)

부분전색의 경우(Pattern- I, III, V, VII)의 최대입자속도(PPV) Data를 모두 수집하여 지반진동 예측식을 산출하고, 완전전색의 경우(Pattern- II, IV, VI, VIII)의 최대입자속도(PPV) Data를 모두 수집하여 지반진동 예측식을 산출하여 비교 분석하였다.(Table 5.15, 5.16, Figure 5.3~5.6).

Table 5.15 Prediction equation of blasting vibration for part tamping peak particle velocity(PPV)

Part tamping		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 150.29 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.76}$	0.833	897
	95%	$V_{95} = 302.93 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.76}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 198.11 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.825	
	95%	$V_{95} = 412.54 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

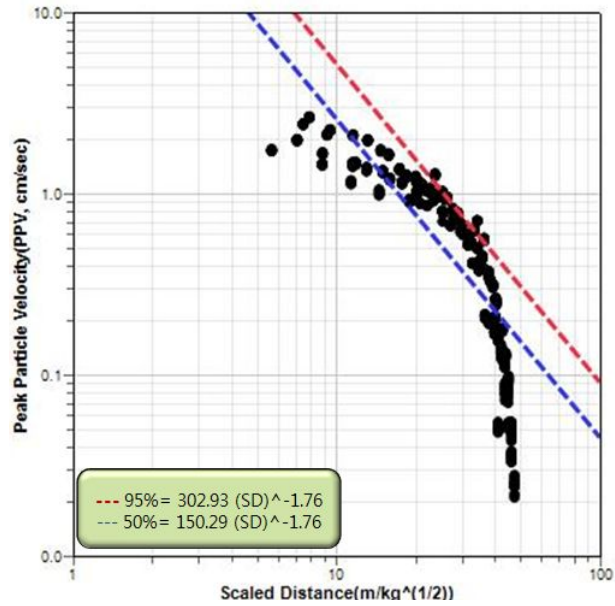


Figure 5.3 Square root scaled distance of part tamping(PPV)

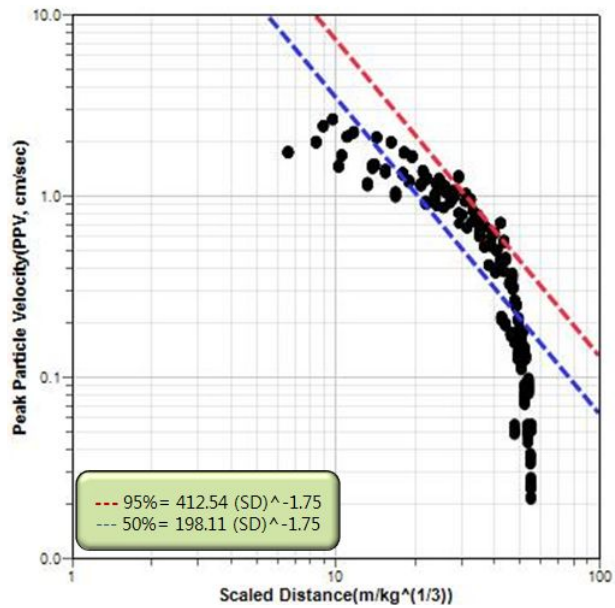


Figure 5.4 Cube root scaled distance of part tamping(PPV)

Table 5.16 Prediction equation of blasting vibration for full tamping peak particle velocity (PPV)

Full tamping		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 136.87 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.852	950
	95%	$V_{95} = 270.35 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 180.17 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.74}$	0.843	
	95%	$V_{95} = 360.99 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.74}$		

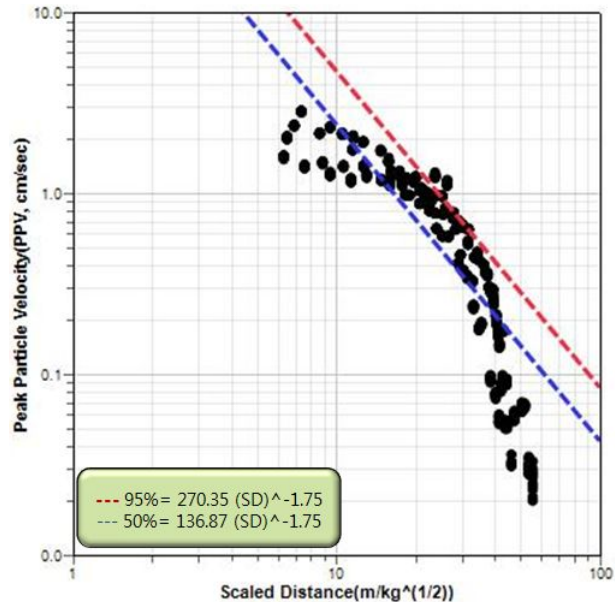


Figure 5.5 Square root scaled distance of full tamping(PPV)

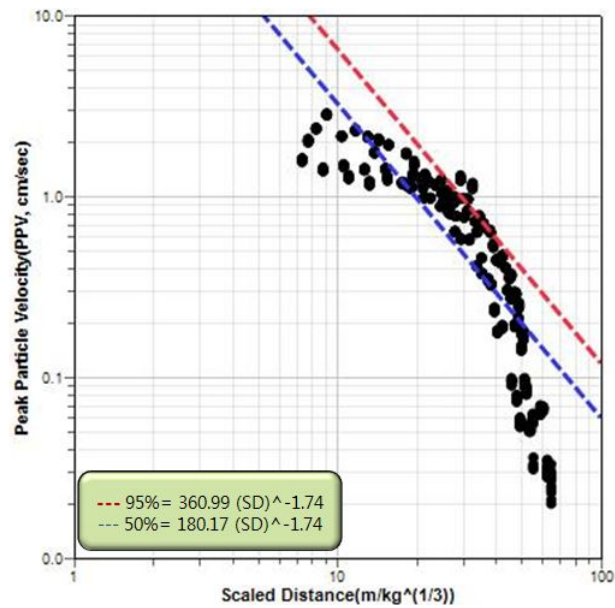


Figure 5.6 Cube root scaled distance of full tamping(PPV)

Table 5.17~5.19는 전색방법에 따른 거리별 최대입자속도(PPV)의 예측진동치와 감쇠 정도를 나타낸 표이다.

국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파공법에 진동 제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 전색방법에 따른 발파에서 최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측치를 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 장약량에 따라 진동감쇠 경향이 비슷하게 예측되었으며, 완전전색이 부분전색의 진동수준에 비해 낮게 예측되었다.

10~100m까지의 거리에서 완전전색의 예측진동속도는 부분전색의 예측진동속도에 비해 최대 7.29%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.17~5.19, Figure 5.7~5.8).

적용 기준 장약량이 높아질수록 진동감쇠효과도 높아졌다.

① 정밀 진동제어발파일 때(0.125kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 6.26%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.17, Figure 5.7(a)~5.8).

② 소규모 진동제어발파일 때(0.5kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 6.82%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.18 Figure 5.7(b)~5.8).

③ 중규모 진동제어발파일 때(1.6kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 7.29%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.19, Figure 5.7(c)~5.8).

Table 5.17 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- I (PPV)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV-p	PPV-f	PPV-p : PPV-f
10	0.125	0.417	0.391	6.258
20		0.123	0.116	5.694
30		0.060	0.057	5.362
40		0.036	0.034	5.127
50		0.025	0.023	4.943
60		0.018	0.017	4.793
70		0.014	0.013	4.666
80		0.011	0.010	4.556
90		0.009	0.008	4.459
100		0.007	0.007	4.372

Note) $PPV_p=PPV$ of part tamping, $PPV_f=PPV$ of full tamping

Table 5.18 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method- II (PPV)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV-p	PPV-f	PPV-p : PPV-f
10	0.5	1.415	1.318	6.818
20		0.417	0.391	6.258
30		0.204	0.192	5.928
40		0.123	0.116	5.694
50		0.083	0.079	5.512
60		0.060	0.057	5.362
70		0.046	0.044	5.236
80		0.036	0.034	5.127
90		0.030	0.028	5.030
100		0.025	0.023	4.943

Note) $PPV_p=PPV$ of part tamping, $PPV_f=PPV$ of full tamping

Table 5.19 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method-III(PPV)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PPV-p	PPV-f	PPV-p : PPV-f
10	1.6	3.940	3.653	7.285
20		1.162	1.084	6.728
30		0.569	0.533	6.400
40		0.343	0.322	6.167
50		0.232	0.218	5.986
60		0.168	0.158	5.837
70		0.128	0.121	5.712
80		0.101	0.096	5.603
90		0.082	0.078	5.507
100		0.068	0.065	5.420

Note) PPV_p =PPV of part tamping, PPV_f =PPV of full tamping

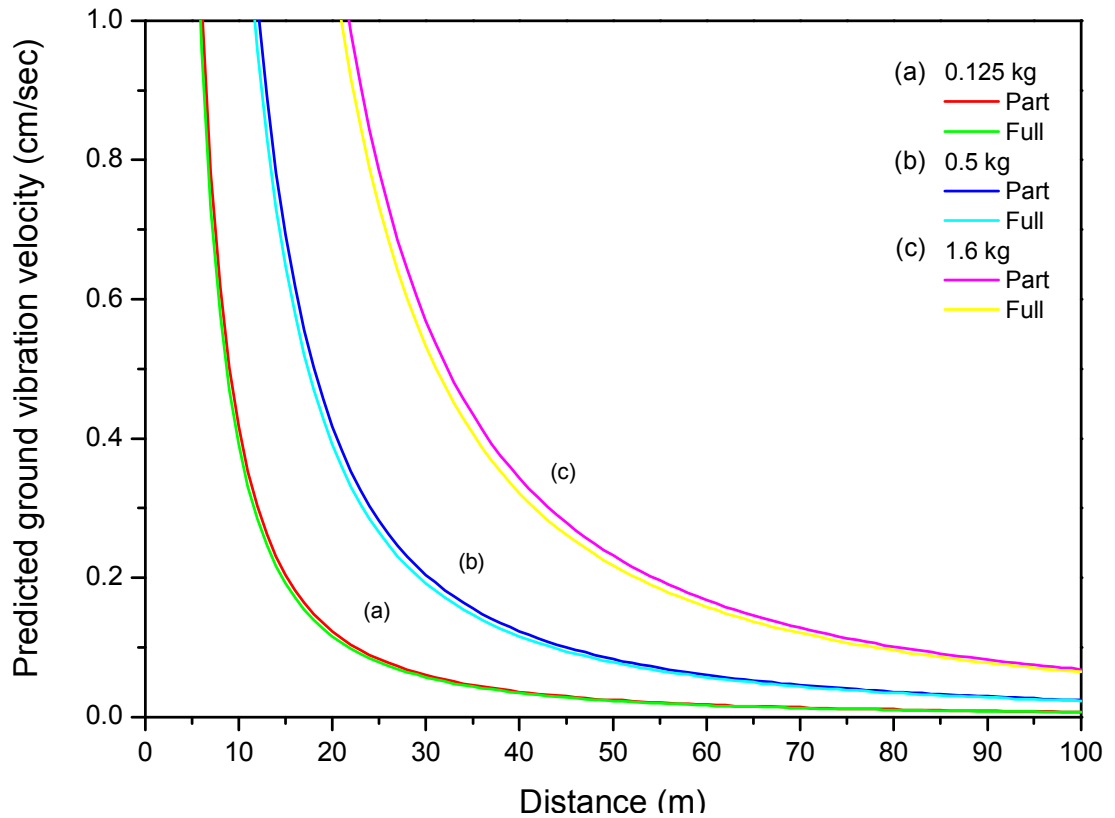


Figure 5.7 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for different tamping patterns(PPV): (a) charge per delay=0.125kg, (b) charge per delay=0.5kg, (c) charge per delay=1.6kg

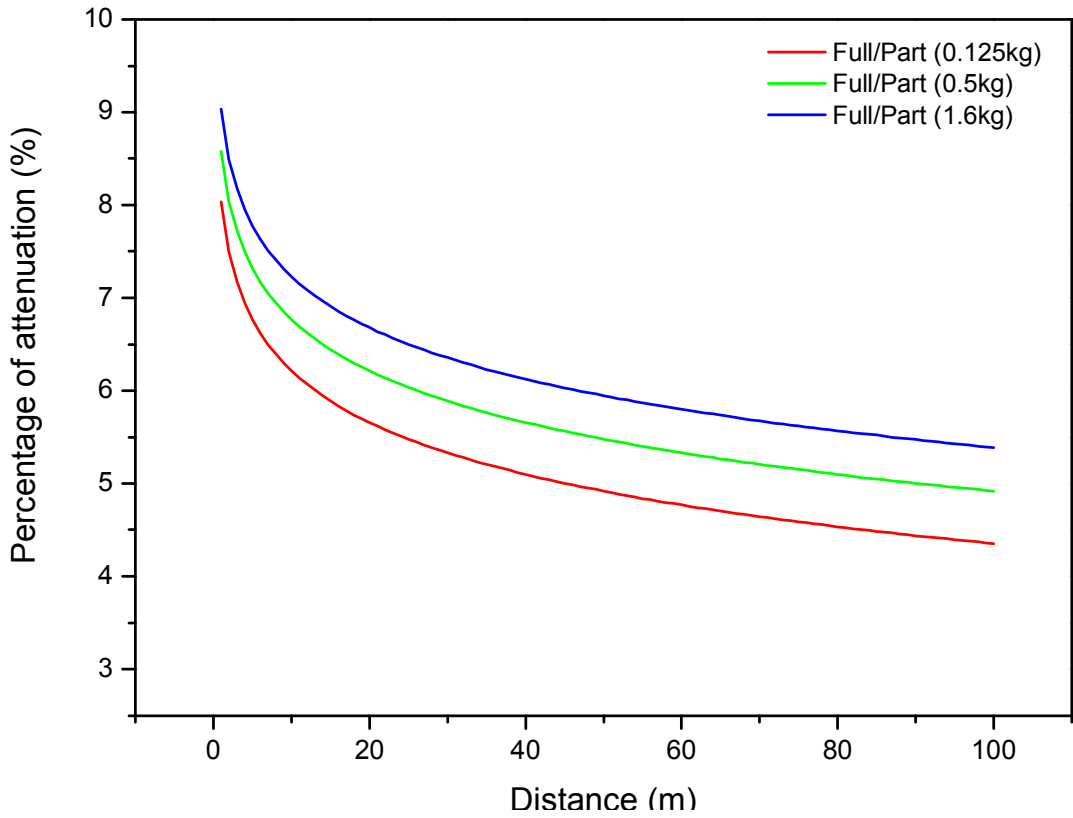


Figure 5.8 Relationship between percentage of attenuation and distance for different tamping patterns(PPV)

5.2.2 전색방법에 따른 최대벡터합(PVS)

부분전색의 경우(Pattern- I, III, V, VII)의 최대벡터합(PVS) Data를 모두 수집하여 지반진동 예측식을 산출하고, 완전전색의 경우(Pattern- II, IV, VI, VIII)의 최대벡터합(PVS) Data를 모두 수집하여 지반진동 예측식을 산출하여 비교 분석하였다.(Table 5.20, 5.21, Figure 5.9~5.12).

Table 5.20 Prediction equation of blasting vibration for part tamping peak vector sum(PVS)

Part tamping		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 177.20 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.76}$	0.833	897
	95%	$V_{95} = 356.08 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.76}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 233.58 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.825	
	95%	$V_{95} = 487.36 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		

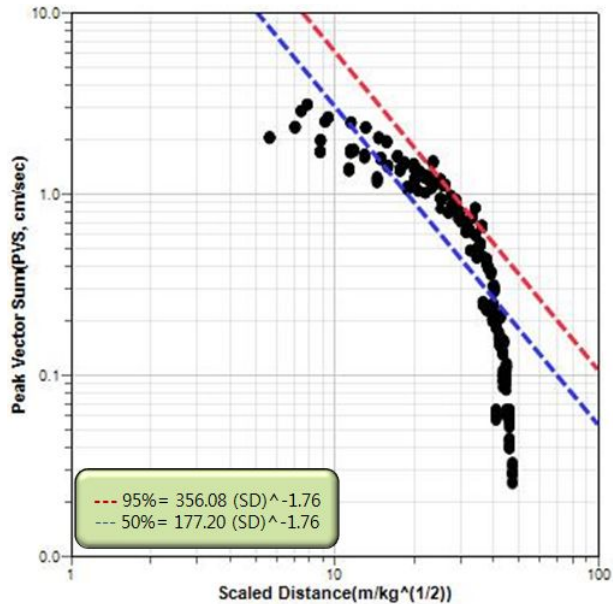


Figure 5.9 Square root scaled distance of part tamping(PVS)

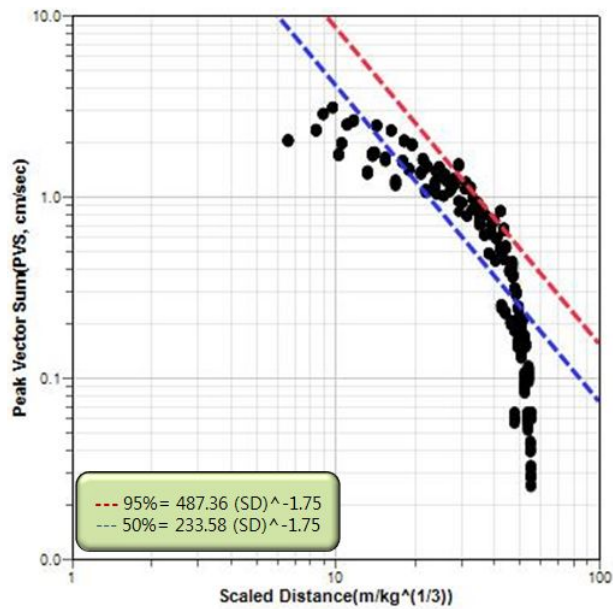


Figure 5.10 Cube root scaled distance of part tamping(PVS)

Table 5.21 Prediction equation of blasting vibration for full tamping peak vector sum(PVS)

Full tamping		Prediction equation	R	Number of data
Square root Method	50%	$V_{50} = 161.52 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$	0.852	950
	95%	$V_{95} = 319.38 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.75}$		
Cube root Method	50%	$V_{50} = 212.61 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.74}$	0.843	
	95%	$V_{95} = 426.25 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.74}$		

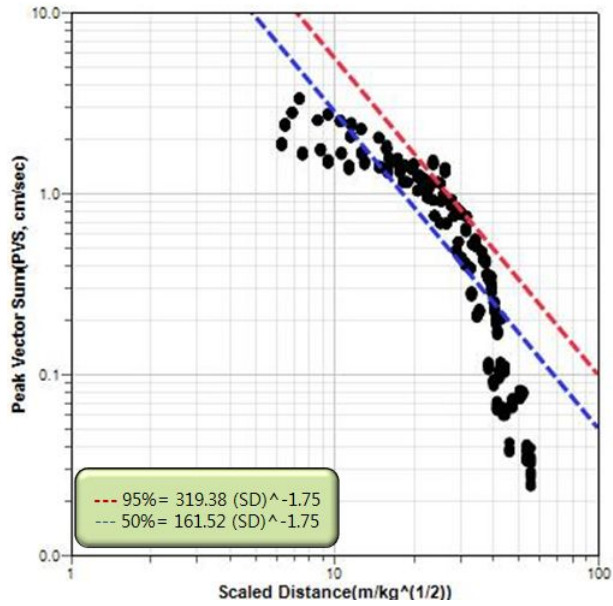


Figure 5.11 Square root scaled distance of full tamping(PVS)

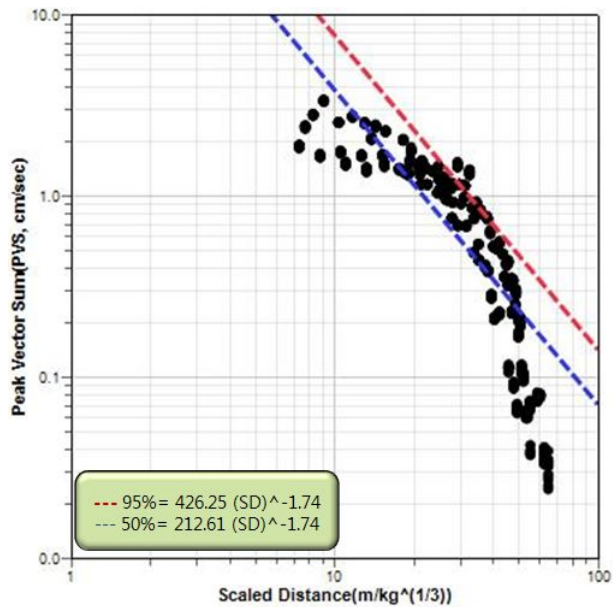


Figure 5.12 Cube root scaled distance of full tamping(PVS)

Table 5.22~5.24는 전색방법에 따른 거리별 최대백터합(PVS)의 예측진동치와 감쇠정도를 나타낸 표이다.

국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하여 전색방법에 따른 발파에서 최대백터합(PVS)의 평균 지반진동 예측치를 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 장약량에 따라 진동감쇠 경향이 비슷하게 예측되었으며, 완전전색이 부분전색의 진동수준에 비해 낮게 예측되었다.

10~100m까지의 거리에서 완전전색의 예측진동속도는 부분전색의 예측진동속도에 비해 최대 7.23%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.22~5.24, Figure 5.13~5.14).

적용 기준 장약량이 높아질수록 진동감쇠효과도 높아졌다.

① 정밀 진동제어발파일 때(0.125kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 6.21%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.22, Figure 5.13(a)~5.14).

② 소규모 진동제어발파일 때(0.5kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 6.77%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.23 Figure 5.13(b)~5.14).

③ 중규모 진동제어발파일 때(1.6kg이상)

완전전색의 예측진동속도는 부분전색에 비해 최대 7.23%의 진동 감쇠효과가 예측되었다.(Table 5.24, Figure 5.13(c)~5.14).

Table 5.22 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method(PVS)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PVS-p	PVS-f	PVS-p : PVS-f
10	0.125	0.492	0.461	6.214
20		0.145	0.137	5.658
30		0.071	0.067	5.331
40		0.043	0.041	5.098
50		0.029	0.027	4.917
60		0.021	0.020	4.769
70		0.016	0.015	4.644
80		0.013	0.012	4.535
90		0.010	0.010	4.440
100		0.009	0.008	4.354

Note) PVS_P=PVS of part tamping, PVS_f=PVS of full tamping

Table 5.23 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method(PVS)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PVS-p	PVS-f	PVS-p : PVS-f
10	0.5	1.668	1.555	6.767
20		0.492	0.461	6.214
30		0.241	0.227	5.889
40		0.145	0.137	5.658
50		0.098	0.093	5.478
60		0.071	0.067	5.331
70		0.054	0.051	5.206
80		0.043	0.041	5.098
90		0.035	0.033	5.003
100		0.029	0.027	4.917

Note) PVS_P=PVS of part tamping, PVS_f=PVS of full tamping

Table 5.24 The influence of charge per delay on the predicted ground vibration velocity for different tamping method(PVS)

Distance (m)	Charge per delay (kg)	Predicted ground vibration velocity (cm/sec)		Percentage of attenuation(%)
		PVS-p	PVS-f	PVS-p : PVS-f
10	1.6	4.645	4.310	7.228
20		1.370	1.279	6.678
30		0.671	0.628	6.355
40		0.404	0.380	6.125
50		0.273	0.257	5.946
60		0.198	0.186	5.799
70		0.151	0.142	5.675
80		0.119	0.113	5.568
90		0.097	0.092	5.473
100		0.081	0.076	5.388

Note) PVS_p=PVS of part tamping, PVS_f=PVS of full tamping

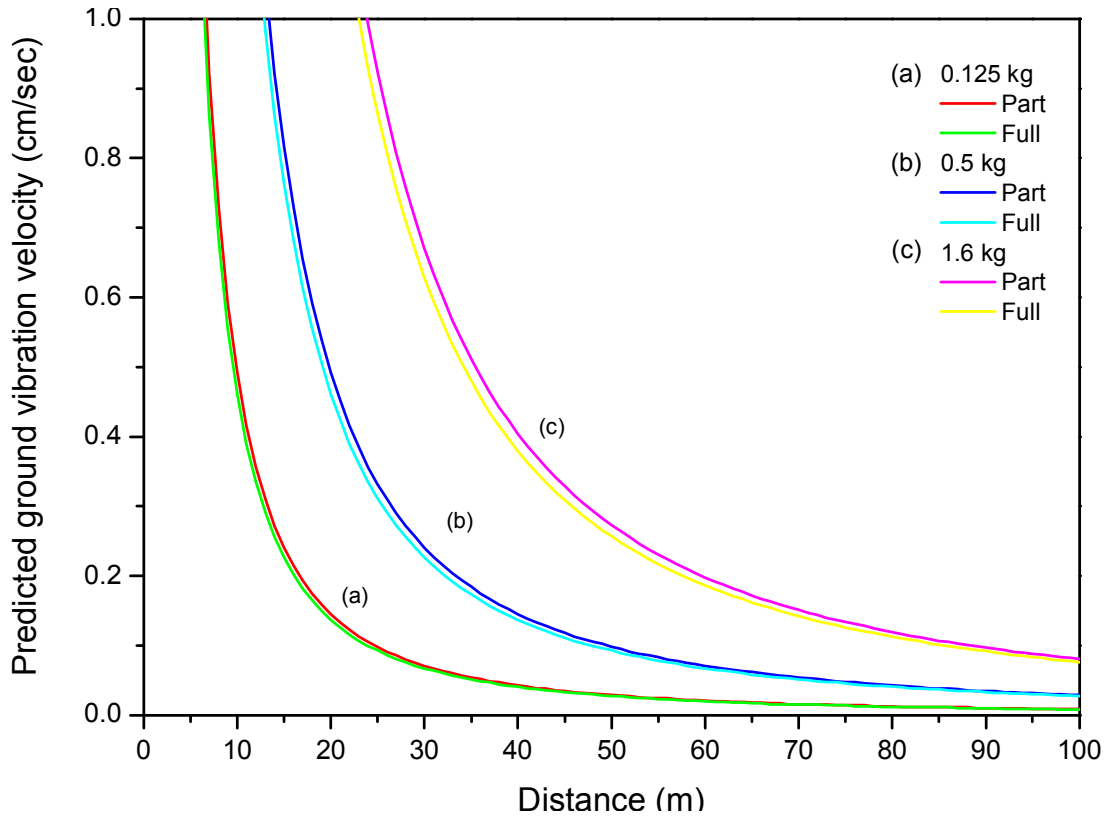


Figure 5.13 Relationship between predicted ground vibration velocity and distance for different tamping methods(PVS): (a) charge per delay=0.125kg, (b) charge per delay=0.5kg, (c) charge per delay=1.6kg

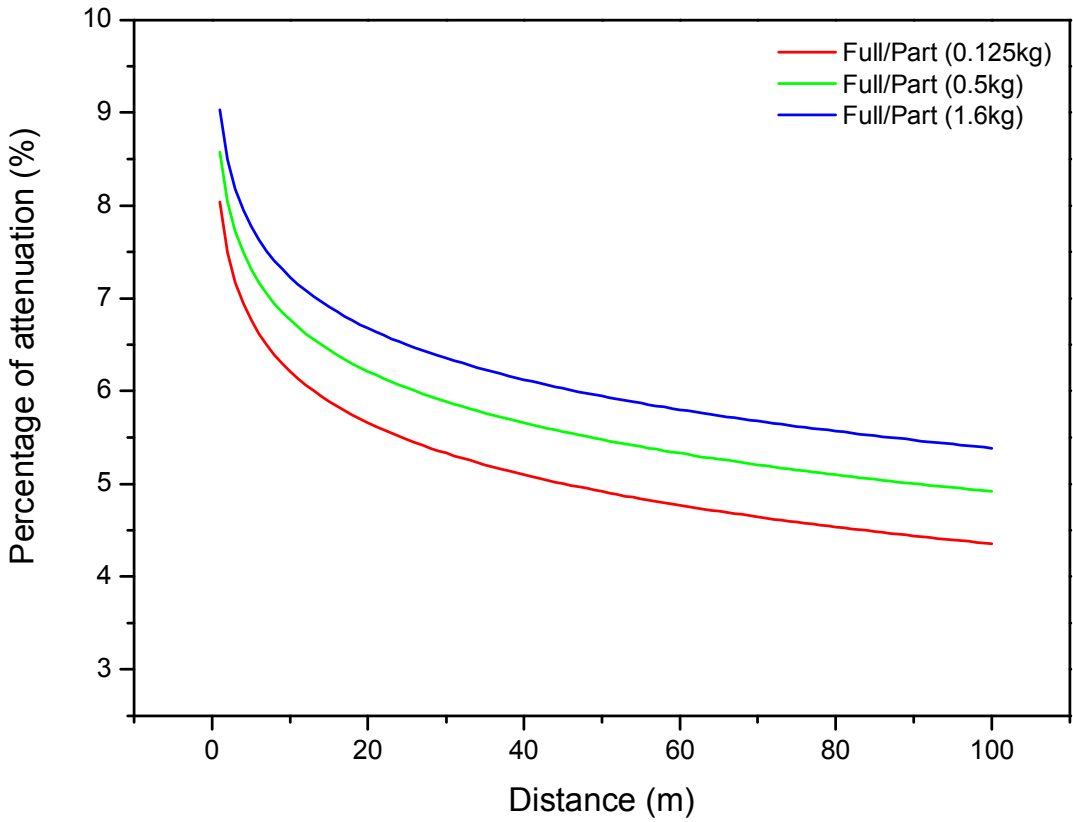


Figure 5.14 Relationship between percentage of attenuation and distance for different tamping methods(PVS)



Figure 5.15 Area of after blasting



Figure 5.16 Area of after cleaning slope



Figure 5.16 Continued

pattern별 발파 후 면정리를 한 결과 발파굴착 예정선에 맞게 매끄러운 파단면이 비교적 잘 형성되었다.(Figure 5.16)

6. 결론

본 연구는 군산지역의 석영반암을 대상으로 굴착예정선에 맞는 평활한 파단면 형성과 발파 진동 제어 유도 공법 연구를 위해 조절발파 공법인 Cushion Blasting과 Smooth Blasting을 혼합하여, 발파진동의 전파 특성을 파악하기 위해서 로프를 사용하여 폭약이 장약공의 중간에 위치하게끔 묶어주고, 도폭선을 이용하여 폭약을 등간격으로 배치하여 장약량과 전색방법 등을 달리한 8가지 pattern에 따라 총 160회의 시험발파를 실시하여 발파진동 예측식을 도출하였다. 그리고 도출된 평균 발파진동 예측식을 통해 pattern에 따른 최대입자속도(PPV) 및 최대벡터합(PVS)의 노모그램 분석을 통해 진동특성을 규명하였고, 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계 시공 지침”에 제시된 표준발파공법의 진동제어 공법별 경계 기준 장약량인 0.125, 0.5, 1.6kg을 적용하여 장약량과 전색방법에 따른 발파에서의 진동 감쇠경향을 비교분석하여 적절한 pattern을 한 방법으로 사용할 수 있도록 제시하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구지역에서 총 160회에의 시험발파를 통해 이격거리 9~88m지점에서 총 1,847개의 자료를 획득하였다. 계측결과는 최대입자속도(PPV)의 경우 0.02~2.88cm/sec, 최대 벡터합(PVS)의 경우 0.025~3.40cm/sec이며, pattern-II에서 가장 낮은 분포를 보이고, pattern-VII에서 가장 높은 분포를 보이고 있다.

2. Pattern별 발파에서 최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 발파진동 예측식을 통해 진동속도를 예측한 결과 같은 약경을 사용한 pattern-I ~ IV, pattern-V ~ VIII에서 pattern-I ~ II에 비해 pattern-III와 IV에서의 진동 감쇠 현상이 높았으며, pattern-V와 VI에 비해 pattern-VII과 VIII에서의 진동감쇠 현상이 높게 나타났다. 이는 공저 장약으로 $\phi 50\text{mm}$ 의 폭약을 사용하여 공저 장약량이 많아진 것에 기인한 것으로 생각된다. 원거리로 갈수록 진동감쇠 현상이 낮게 예측되었다.

같은 장약량을 사용한 pattern별 예측진동속도를 비교한 결과

- ① pattern-I : II = 최대 9.18%의 진동감쇠 효과 예측
- ② pattern-III : IV = 최대 11.99%의 진동감쇠 효과 예측

③ pattern-V : VI = 최대 4.40%의 진동감쇠 효과 예측

④ pattern-VII : VIII = 최대 6.04%의 진동감쇠 효과 예측

3. 모든 pattern을 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하였다.

최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 pattern-II의 경우가 가장 낮은 예측진동치를 나타내고 있으며, pattern-VII의 경우가 가장 높은 예측진동치를 나타내고 있다.

계측결과 및 예측진동치에서 가장 낮은 분포를 보이고 있는 pattern-II의 경우가 진동제어 공법에 가장 유리할 것이다.

표준발파공법의 진동제어 공법별 경계의 기준장약량으로 비교 분석한 결과는

① 정밀진동제어발파일 때(0.125kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 최대 123.74%의 진동 감쇠가 예측.

② 소규모 진동제어발파일 때(0.5kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 최대 115.26%의 진동 감쇠가 예측.

③ 중규모 진동제어발파일 때(1.6kg이상)

pattern-II의 예측진동속도는 pattern-VII에 비해 최대 108.39%의 진동 감쇠가 예측.

4. 국토해양부의 “도로공사 노천발파 설계, 시공 지침”에 제시된 표준발파공법에 진동제어공법의 경계 기준장약량으로서 0.125(정밀진동제어), 0.5(소규모 진동제어), 1.6kg(중규모 진동제어)을 적용하였다.

부분전색(pattern-I, III, V, VII)과 완전전색(pattern-II, IV, VI, VIII)의 전색 방법이 다른 발파에서 최대입자속도(PPV)의 평균 지반진동 예측식을 통한 10~100m의 이격거리에서 진동속도를 예측한 결과 완전전색이 부분전색의 진동수준에 비해 낮게 예측되었다.

이는 기존 연구의 결과들과 상이한 것으로 본 연구 지역의 암반의 역학적 및 구조적인 특징에 의한 현상으로 생각되며, 분산장약(공구로부터 1.5m까지)으로 인해 공내의 폭발 에너지가 공구방향으로 집중된 경우가 많아져 부분전색으로 인한 디커플링 효과보다 더 많은 영향을 끼친 것으로 보이며, 이로 인해 완전전색에 비해 약간 높은 지반진동이 계

측된 것으로 판단된다.

적용 장약량이 증가할수록 진동감쇠 경향도 높게 예측되었다.

표준발파공법의 진동제어 공법별 경계의 기준장약량으로 비교 분석한 결과는

① 정밀진동제어발파일 때(0.125kg이상) :

완전전색 예측진동속도 : 부분전색 예측진동속도 = 6.26%진동감쇠 예측.

② 소규모진동제어발파일 때(0.5kg이상) :

완전전색 예측진동속도 : 부분전색 예측진동속도 = 6.82%진동감쇠 예측.

③ 중규모진동제어발파일 때(1.6kg이상) :

완전전색 예측진동속도 : 부분전색 예측진동속도 = 7.29%진동감쇠 예측.

5. Pattern별 발파효과는 발파 후 면정리를 한 결과 발파굴착 예정선에 비교적 매끄러운 파단면을 형성하였다.

6. 본 연구수행 결과 위의 2, 3, 4와 같이 pattern별로 최대입자속도(PPV)의 진동특성을 분석하였고, 표준발파공법의 진동제어공법에 따른 기준 장약량으로 전색방법에 따른 발파에서 예측진동속도를 구하여 발파지점으로부터 보안물건의 거리에 따른 적용 발파공법에서 진동제어가 유리한 pattern을 결정할 수 있었다. 하지만 지반진동의 전파특성은 암반의 역학적 및 구조적(불연속면 분포 등) 특성에 의해 좌우되므로 본 연구의 결과는 연구지역의 특성에 의해 나타난 현상으로 생각된다.

7. 이러한 연구를 통해 사면의 마감공사, 조선소 dock, 시가지의 지하 터파기 공사 등에 한 방법으로 활용될 수 있을 것이며, 본 연구는 본 연구지역에 국한된 결과이므로, 향후 여러 대상 암반의 역학적, 구조적 특성의 차이에 따른 지반진동에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 강대우, 2006, 토목기술자를 위한 알기 쉬운 발파공학, 구미서관.
2. 강추원, 2013, 제3판 발파공학 A to Z, 구미서관.
3. 기경철, 김일중, 2002, 산학인을 위한 발파공학, 동화기술.
4. 기경철, 김일중, 원연호, 2002, 일반발파 진동제어 발파에 대한 연구, 화약·발파, Vol. 20, No. 1, pp. 27.
5. 김광염, 김동규, 정동호, 조상호, 2008, 노치발파공에 의한 파단면 제어 효과에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 26, No. 1, pp. 57-66.
6. 김재극, 1992, 산업화약과 발파공학 개정판, 서울대학교 출판부.
7. 김정규, 김원범, 고영훈, 김승준, 문희숙, 양형식, 장형두, 2012, 성형폭약을 이용한 조절발파 방법에 대한 연구, 한국암반공학회 춘계학술발표회, pp. 85-88.
8. 건설교통부, 2003, 암발파 설계·시공 잠정 지침(안).
9. 건설교통부, 2006, 도로공사 노천발파 설계·시공지침.
10. 성지완, 이태노, 노상림, 2010, 구조물 근접 터널발파시 진동제어를 위한 조합형 조절발파공법 적용사례연구-서울 지하철 917공구 현장중심으로-, 자연, 터널 그리고 지하공간 Vol. 14, No. 5.
11. 심동수, 강대우, 2004, 안산암, 화강암, 화강편마암에서의 NPS 발파법의 진동감쇠 효과에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 22, No. 2, pp. 13-20.
12. 심동수, 이신, 강대우, 2003, NPS 발파공법의 진동감쇠효과에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 21, No. 1, pp. 59-68.
13. 안명석, 신창용, 2009, 진동제어발파공법의 변천과정과 적용전망에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 27, No. 1, pp. 53-61.
14. 양형식, 1992, 발파진동학, 구미서관.
15. 윤대진, 1992, 암질에 따른 발파진동의 특성 및 발파진동이 건축물에 미치는 영향과 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문.
16. 오성남, 2003, 장약홀더를 이용한 조절발파방법, 특허.
17. 오이환, 원연호, 임한욱, 2006, 터널굴진에서 장약 및 기폭방법 개선에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 24, No. 2, pp. 1-8.
18. 이규성, 반무록, 황상용, 이성홍, 최규철, 황정률, 최태일 공저, 1999, 소음, 진동

공학, pp. 81

19. 이태노, 2007, 터널 및 개착발파의 굴착선공 천공패턴 및 그것을 이용한 조합형 조절발파공법, 특허.

20. 정동호, 문상조, 안대진, 정원준, 김은관, 김동규, 2007, 발파공해 해소 및 여굴 최소화를 위한 선균열 암굴착 노치장비 개발에 관한 연구, 터널과 지하공간, Vol. 17, No. 3, pp. 216-224.

21. 최병희, 류창하, 황현주, 최용근, 안명석, 2009, 제어발파의 설계 및 관리 과정에서의 PPV와 PVS의 역할, 화약·발파, Vol. 26, No. 2, pp. 1-10.

22. Alan B, Richards and Adrian J, Moore, 2006, Airblast Control Techniques in Open, International Society of Explosives Engineers, Vol. 2.

23. Altas Power Company, 1987, Explosives and Rock Blasting, pp.157-201, 321-406.

24. Archibald, J., 1976, Blasting Vibration Laboratory Manual. Kingston, Ontario, Canada: Queen's University, Mining Engineering Department.

25. Bicholls, H., Johnson, c., Duvall, W., 1971, Blasting Vibrations and Their Effects on Structures, Bulletin 656.

26. Birch, W. J., and Chaffer, R. 1982, Prediction of Ground vibrations from Blasting on opencast sites, Inst, Min. Metall., Trans., Sec. A(Mining Industry), UK, pp. 102-107.

27. Bollinger G. A., 1971, Blasting Vibration Analysis, pp.58-88.

28. Calvin J. Konya, and Edward J. Walter, 1990, Surface Blast Design, pp.35-58.

29. Charles H. Dowding, 1984, Blast vibration Monitoring and control, Northwestern University.

30. Dally, J,W, And Fourney, W,L, 1997, Fracture Control in Construction Blasting, Proc, 18th U.S, Symp, on Rock Mechanics, pp. 2A6-1~2A6-7.

31. Daemen, J. K. Barkley, R. H. Ghosh, A. Morlock, C. R. and Shoop, S. A., 1983, Ground and Air Vibrations Caused by Surface Blasting, Report prepared for U.S Bureau of Mines, Washington, DC.

32. Devine, J. R., 1966, Avoiding Damage to Residences from Blasting Vibrations, Highway Research Record 135, pp. 35-44.

33. Dupont Co., 1977, Blaster' Hand Book, Technical Services Division, E.I.

Dupont, pp. 494.

34. Edwards, A. T. and Northwood, T. D., 1960. Experimental study of effects of blasting on structures, *The Engineer*, Vol. 210, London, p. 40.

35. Fournery, W. L., and Barker, D. B., 1983, Effect of Time Delay on Fragmentation in Explosives, *Proceedings of the First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pp. 225-249.

36. Fournery, W. L. Dally, J.W, and Holloway D.C, 1978, Controlled Blasting with Ligamented Charge Holders, *Int. J. Rock Meth, Min, Sci, & Geometh, Abstr*, Vol. 15, pp. 121-129.

37. Johansson, C. H., and Persson, P. A., 1970, *Detonics of High Explosives*, New York, Academic Press.

38. Josef Kohler, Rudolf Meyer, *Explosives*, Fourth, revised and extended edition, pp. 66, 69, 288.

39. Kutter, H. K., and Fairhurst, C., 1971, On the Fracture Process in Blasting, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci., B*, pp. 181-202.

40. Mark Leidig, Jessie L. Bonner, Tim Rath, Donald 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

41. National Highway Institute, 1991, *Rock Blasting and Overbreak Control*, pp. 55-77.

42. Obert, L., and Duvall, W. I., 1950, *Generation and Propagation of Strain Waves in Rock*, USBM, RI 4663.

43. Olofsson, S. O., 1990, *Applied Explosive Technology for Construction and Mining*.

44. Per-Anders persson, Roger Holmberg, Jaimin Lee, 1992, *Rock Blasting and Explosives Engineering*, pp. 337-373.

45. Persson, P. A., Lundborg, N., and Johansson, C. H., 1970, The Basic Mechanism in Rock Blasting. *Proceedings of the 2nd Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Belgrade.

46. Pijush Pal Roy, *Rock Blasting Effects And Operations*, pp. 75-100.

47. Pit Slope Manual, 1977, Perimeter Blasting(Canmet, Report 77-44), Canada Center for Mineral and Energy Technology, Canada.
48. R. Frank Chiappetta, 1999, Minnesota's First International, Surface Blasting Conference Minnblast 99. Duluth, Minnesota, USA, pp. 299-333
49. Rune Gustafsson, 1981, Blasting Technique, Dynamite Nobel Wien, pp. 174-189.
50. Siskin, Vibrations From Blasting, International Society of Explosives Engineers cleveland, OH, USA, pp. 13-16.
51. Stephen M, 1999, New Technologies in Drilling Blast Holes, Duluth Minnesota, USA, June 7-11, pp. 159-163
52. Sushil Bhandari, 1997, Engineering Rock Blasting Operations, pp. 284-314.
William Hustrulid, Blasting Principles for Open pit Mining 2, Theoretical Foundations, pp. 680-756.
53. 175th Anniversary Edition of the Blasters' Handbook, 1980, Blasters' Handbook, Dupont.

Appendix

(Measurement results)

Measurement results of pattern I (1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	9	2.5	0.775	0.902	1.74	1.74	2.05	85	pattern I
2	9	2.5	1.23	1.39	1.73	1.73	2.03	77	
3	9	2.5	1.16	1.42	1.75	1.75	2.06	79	
4	9	2.5	0.964	1.76	1.55	1.76	2.07	73	
5	9	2.5	1.77	1.68	1.31	1.77	2.08	84	
6	9	2.5	1.27	1.72	1.43	1.72	2.02	>100	
7	9	2.5	1.06	1.73	1.62	1.73	2.03	57	
8	9	2.5	0.883	1.74	1.22	1.74	2.05	85	
9	9	2.5	0.827	1.67	1.75	1.75	2.06	67	
10	9	2.5	1.31	1.72	1.28	1.72	2.02	75	
11	14	2.5	0.761	1.22	1.45	1.45	1.71	51	
12	14	2.5	0.992	1.46	1.34	1.46	1.72	58	
13	14	2.5	0.381	0.902	1.48	1.48	1.74	66	
14	14	2.5	1.21	1.47	1.13	1.47	1.73	79	
15	14	2.5	1.04	1.38	1.45	1.45	1.71	81	
16	14	2.5	1.21	1.33	1.44	1.44	1.69	>100	
17	14	2.5	1.17	1.43	1.32	1.43	1.68	37	
18	14	2.5	0.787	0.722	1.45	1.45	1.71	57	
19	14	2.5	0.924	1.47	1.44	1.47	1.73	47	
20	14	2.5	0.826	1.46	1.12	1.46	1.72	61	
21	18	2.5	1.09	1.13	1.16	1.16	1.36	85	
22	18	2.5	0.567	1.17	0.886	1.17	1.38	77	
23	18	2.5	0.445	0.902	1.18	1.18	1.39	64	
24	18	2.5	0.792	1.15	1.06	1.15	1.35	67	
25	18	2.5	1.14	1.02	1.13	1.14	1.34	71	
26	18	2.5	0.917	0.975	1.13	1.13	1.33	45	
27	18	2.5	0.745	1.19	0.933	1.19	1.40	81	
28	18	2.5	1.10	1.16	1.26	1.16	1.36	73	
29	18	2.5	0.837	1.17	1.07	1.17	1.38	55	
30	18	2.5	0.481	0.667	1.25	1.15	1.35	41	
31	23	2.5	0.527	1.00	0.849	1.00	1.18	57	
32	23	2.5	0.483	0.594	1.04	1.04	1.22	57	
33	23	2.5	0.528	1.06	0.983	1.06	1.25	61	
34	23	2.5	0.662	0.763	1.01	1.01	1.19	55	
35	23	2.5	0.772	1.05	0.838	1.05	1.23	49	
36	23	2.5	0.802	0.923	1.00	1.00	1.18	73	
37	23	2.5	0.552	0.629	0.980	0.980	1.15	71	
38	23	2.5	0.664	0.990	0.971	0.990	1.16	71	
39	23	2.5	0.389	0.884	1.03	1.03	1.21	83	
40	23	2.5	0.482	0.667	1.04	1.04	1.22	75	
41	30	2.5	0.784	0.811	0.920	0.920	1.08	61	
42	30	2.5	0.591	0.910	0.764	0.910	1.07	64	
43	30	2.5	0.332	0.826	0.900	0.900	1.06	55	
44	30	2.5	0.662	0.797	0.940	0.940	1.11	51	
45	30	2.5	0.725	0.930	0.882	0.930	1.09	47	
46	30	2.5	0.438	0.920	0.813	0.920	1.08	54	
47	30	2.5	0.801	0.828	0.900	0.900	1.06	49	

Measurement results of pattern I (2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	30	2.5	0.624	0.768	0.910	0.910	1.07	65	pattern I
49	30	2.5	0.433	0.896	0.557	0.896	1.05	57	
50	30	2.5	0.428	0.898	0.617	0.898	1.06	69	
51	33	2.5	0.611	0.880	0.789	0.880	1.03	63	
52	33	2.5	0.528	0.764	0.890	0.890	1.05	54	
53	33	2.5	0.592	0.662	0.888	0.888	1.04	37	
54	33	2.5	0.884	0.726	0.813	0.884	1.04	57	
55	33	2.5	0.339	0.880	0.625	0.880	1.03	45	
56	33	2.5	0.425	0.882	0.782	0.882	1.04	>100	
57	33	2.5	0.381	0.886	0.684	0.886	1.04	45	
58	33	2.5	0.279	0.419	0.883	0.883	1.04	51	
59	33	2.5	0.339	0.633	0.890	0.890	1.05	68	
60	33	2.5	0.427	0.581	0.887	0.887	1.04	66	
61	35	2.5	0.321	0.612	0.862	0.862	1.01	79	
62	35	2.5	0.581	0.783	0.857	0.857	1.01	41	
63	35	2.5	0.623	0.766	0.869	0.869	1.02	52	
64	35	2.5	0.714	0.797	0.863	0.863	1.01	37	
65	35	2.5	0.294	0.859	0.819	0.859	1.01	57	
66	35	2.5	0.546	0.860	0.695	0.860	1.01	47	
67	35	2.5	0.381	0.467	0.861	0.861	1.01	61	
68	35	2.5	0.558	0.862	0.626	0.862	1.01	65	
69	35	2.5	0.413	0.863	0.534	0.863	1.01	57	
70	35	2.5	0.475	0.858	0.585	0.858	1.01	44	
71	37	2.5	0.622	0.727	0.915	0.915	1.08	57	
72	37	2.5	0.711	0.833	0.911	0.911	1.07	61	
73	37	2.5	0.328	0.479	0.918	0.918	1.08	45	
74	37	2.5	0.397	0.682	0.917	0.917	1.08	51	
75	37	2.5	0.713	0.915	0.751	0.915	1.08	53	
76	37	2.5	0.427	0.912	0.837	0.912	1.07	55	
77	37	2.5	0.351	0.449	0.919	0.919	1.08	41	
78	37	2.5	0.529	0.723	0.913	0.913	1.07	57	
79	37	2.5	0.388	0.916	0.861	0.916	1.08	57	
80	37	2.5	0.445	0.582	0.917	0.917	1.08	61	
81	40	2.5	0.552	0.699	0.800	0.800	0.941	55	
82	40	2.5	0.433	0.811	0.582	0.811	0.954	49	
83	40	2.5	0.618	0.807	0.723	0.807	0.949	73	
84	40	2.5	0.429	0.552	0.704	0.704	0.828	41	
85	40	2.5	0.553	0.726	0.798	0.798	0.938	61	
86	40	2.5	0.513	0.796	0.768	0.796	0.936	53	
87	40	2.5	0.528	0.673	0.801	0.801	0.942	75	
88	40	2.5	0.802	0.512	0.764	0.802	0.943	61	
89	40	2.5	0.278	0.419	0.808	0.808	0.950	64	
90	40	2.5	0.394	0.805	0.712	0.805	0.947	55	
91	43	2.5	0.376	0.666	0.433	0.666	0.783	51	
92	43	2.5	0.489	0.669	0.381	0.669	0.787	47	
93	43	2.5	0.521	0.622	0.671	0.671	0.789	54	
94	43	2.5	0.383	0.308	0.673	0.673	0.791	39	

Measurement results of pattern I (3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	43	2.5	0.217	0.473	0.675	0.675	0.794	45	pattern I
96	43	2.5	0.344	0.667	0.391	0.667	0.784	47	
97	43	2.5	0.275	0.666	0.398	0.666	0.783	59	
98	43	2.5	0.391	0.525	0.664	0.664	0.781	53	
99	43	2.5	0.238	0.481	0.669	0.669	0.787	54	
100	43	2.5	0.422	0.631	0.670	0.670	0.788	62	
101	48	2.5	0.517	0.600	0.412	0.600	0.706	57	
102	48	2.5	0.317	0.481	0.594	0.594	0.699	55	
103	48	2.5	0.249	0.377	0.590	0.590	0.694	67	
104	48	2.5	0.283	0.597	0.527	0.597	0.702	35	
105	48	2.5	0.276	0.428	0.603	0.603	0.709	51	
106	48	2.5	0.265	0.289	0.601	0.601	0.707	58	
107	48	2.5	0.333	0.524	0.600	0.600	0.706	66	
108	48	2.5	0.318	0.598	0.482	0.598	0.703	49	
109	48	2.5	0.482	0.596	0.555	0.596	0.701	61	
110	48	2.5	0.327	0.594	0.472	0.594	0.699	55	
111	50	2.5	0.406	0.440	0.524	0.524	0.616	37	
112	50	2.5	0.208	0.387	0.521	0.521	0.613	57	
113	50	2.5	0.291	0.478	0.517	0.517	0.608	47	
114	50	2.5	0.248	0.394	0.522	0.522	0.614	61	
115	50	2.5	0.188	0.521	0.338	0.521	0.613	45	
116	50	2.5	0.237	0.526	0.456	0.526	0.619	57	
117	50	2.5	0.294	0.492	0.527	0.527	0.620	64	
118	50	2.5	0.338	0.511	0.524	0.524	0.616	67	
119	50	2.5	0.404	0.503	0.525	0.525	0.617	51	
120	50	2.5	0.271	0.478	0.523	0.523	0.615	45	
121	52	2.5	0.211	0.343	0.412	0.412	0.485	81	
122	52	2.5	0.197	0.414	0.311	0.414	0.487	33	
123	52	2.5	0.127	0.417	0.364	0.417	0.490	55	
124	52	2.5	0.194	0.419	0.305	0.419	0.493	41	
125	52	2.5	0.221	0.366	0.411	0.411	0.483	57	
126	52	2.5	0.238	0.288	0.410	0.410	0.482	57	
127	52	2.5	0.267	0.301	0.412	0.412	0.485	61	
128	52	2.5	0.228	0.413	0.349	0.413	0.486	55	
129	52	2.5	0.118	0.416	0.339	0.416	0.489	49	
130	52	2.5	0.164	0.339	0.414	0.414	0.487	43	
131	55	2.5	0.173	0.376	0.264	0.376	0.442	41	
132	55	2.5	0.249	0.256	0.379	0.379	0.446	62	
133	55	2.5	0.179	0.281	0.387	0.387	0.455	43	
134	55	2.5	0.386	0.338	0.361	0.386	0.454	35	
135	55	2.5	0.223	0.383	0.348	0.383	0.450	61	
136	55	2.5	0.138	0.231	0.376	0.376	0.442	64	
137	55	2.5	0.257	0.374	0.308	0.374	0.440	55	
138	55	2.5	0.175	0.266	0.378	0.378	0.445	51	
139	55	2.5	0.157	0.380	0.291	0.380	0.447	47	
140	55	2.5	0.166	0.258	0.381	0.381	0.448	54	
141	58	2.5	0.084	0.210	0.083	0.210	0.247	39	

Measurement results of pattern I (4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	58	2.5	0.079	0.161	0.217	0.217	0.255	44	pattern I
143	58	2.5	0.098	0.152	0.215	0.215	0.253	47	
144	58	2.5	0.102	0.189	0.206	0.206	0.242	49	
145	58	2.5	0.111	0.193	0.204	0.204	0.240	43	
146	58	2.5	0.092	0.210	0.113	0.210	0.247	34	
147	58	2.5	0.085	0.211	0.181	0.211	0.248	22	
148	58	2.5	0.076	0.167	0.213	0.213	0.250	57	
149	58	2.5	0.214	0.152	0.192	0.214	0.252	45	
150	58	2.5	0.152	0.217	0.125	0.217	0.255	37	
151	60	2.5	0.127	0.197	0.163	0.197	0.232	35	
152	60	2.5	0.195	0.161	0.168	0.195	0.229	51	
153	60	2.5	0.162	0.178	0.193	0.193	0.227	58	
154	60	2.5	0.144	0.191	0.144	0.191	0.225	46	
155	60	2.5	0.117	0.199	0.182	0.199	0.234	49	
156	60	2.5	0.082	0.113	0.200	0.200	0.235	31	
157	60	2.5	0.109	0.198	0.134	0.198	0.233	27	
158	60	2.5	0.075	0.196	0.080	0.196	0.230	37	
159	60	2.5	0.089	0.095	0.197	0.197	0.232	57	
160	60	2.5	0.090	0.141	0.194	0.194	0.228	47	
161	63	2.5	0.065	0.173	0.151	0.173	0.203	61	
162	63	2.5	0.087	0.171	0.168	0.171	0.201	33	
163	63	2.5	0.131	0.155	0.175	0.175	0.206	37	
164	63	2.5	0.114	0.149	0.169	0.169	0.199	44	
165	63	2.5	0.155	0.178	0.142	0.178	0.209	47	
166	63	2.5	0.128	0.166	0.134	0.166	0.195	51	
167	63	2.5	0.170	0.157	0.139	0.170	0.200	45	
168	63	2.5	0.091	0.152	0.172	0.172	0.202	61	
169	63	2.5	0.083	0.131	0.173	0.173	0.203	73	
170	63	2.5	0.121	0.174	0.155	0.174	0.205	55	
171	65	2.5	0.127	0.166	0.105	0.166	0.195	41	
172	65	2.5	0.122	0.159	0.105	0.159	0.187	57	
173	65	2.5	0.093	0.117	0.154	0.154	0.181	57	
174	65	2.5	0.072	0.123	0.155	0.155	0.182	61	
175	65	2.5	0.087	0.094	0.153	0.153	0.180	55	
176	65	2.5	0.102	0.088	0.143	0.157	0.185	49	
177	65	2.5	0.085	0.093	0.160	0.160	0.188	73	
178	65	2.5	0.072	0.102	0.163	0.163	0.192	71	
179	65	2.5	0.068	0.162	0.141	0.162	0.191	31	
180	65	2.5	0.084	0.158	0.138	0.158	0.186	53	
181	65	2.5	0.031	0.044	0.051	0.051	0.060	15	
182	65	2.5	0.028	0.043	0.054	0.054	0.064	21	
183	65	2.5	0.037	0.055	0.041	0.055	0.065	14	
184	65	2.5	0.044	0.046	0.051	0.051	0.060	15	
185	65	2.5	0.032	0.049	0.042	0.049	0.058	41	
186	65	2.5	0.029	0.050	0.033	0.050	0.059	17	
187	65	2.5	0.041	0.051	0.048	0.051	0.060	24	
188	65	2.5	0.027	0.047	0.048	0.048	0.056	39	

Measurement results of pattern I (5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	65	2.5	0.029	0.049	0.034	0.049	0.058	27	pattern I
190	65	2.5	0.039	0.051	0.053	0.053	0.062	39	
191	67	2.5	0.088	0.139	0.111	0.139	0.163	13	
192	67	2.5	0.076	0.098	0.134	0.134	0.158	34	
193	67	2.5	0.061	0.116	0.129	0.129	0.152	11	
194	67	2.5	0.055	0.127	0.082	0.127	0.149	27	
195	67	2.5	0.053	0.124	0.076	0.124	0.146	35	
196	67	2.5	0.130	0.128	0.105	0.130	0.153	47	
197	67	2.5	0.060	0.124	0.128	0.128	0.151	15	
198	67	2.5	0.048	0.091	0.126	0.126	0.148	21	
199	67	2.5	0.071	0.125	0.091	0.125	0.147	18	
200	67	2.5	0.083	0.107	0.131	0.131	0.154	26	
201	69	2.5	0.057	0.113	0.087	0.113	0.133	39	
202	69	2.5	0.044	0.110	0.112	0.112	0.132	21	
203	69	2.5	0.041	0.082	0.111	0.111	0.131	24	
204	69	2.5	0.056	0.110	0.073	0.110	0.129	17	
205	69	2.5	0.077	0.109	0.089	0.109	0.128	31	
206	69	2.5	0.034	0.114	0.091	0.114	0.134	16	
207	69	2.5	0.048	0.095	0.113	0.113	0.133	21	
208	69	2.5	0.042	0.073	0.112	0.112	0.132	25	
209	69	2.5	0.056	0.067	0.112	0.112	0.132	37	
210	69	2.5	0.071	0.114	0.102	0.114	0.134	44	
211	71	2.5	0.059	0.092	0.072	0.092	0.108	17	
212	71	2.5	0.034	0.052	0.089	0.089	0.105	8.5	
213	71	2.5	0.041	0.066	0.079	0.079	0.093	15	
214	71	2.5	0.044	0.070	0.065	0.070	0.082	21	
215	71	2.5	0.048	0.090	0.082	0.090	0.106	7.5	
216	71	2.5	0.037	0.072	0.087	0.087	0.102	15	
217	71	2.5	0.032	0.044	0.086	0.086	0.101	21	
218	71	2.5	0.045	0.083	0.077	0.083	0.098	17	
219	71	2.5	0.035	0.080	0.052	0.080	0.094	35	
220	71	2.5	0.033	0.075	0.064	0.075	0.088	11	
221	73	2.5	0.031	0.054	0.038	0.054	0.064	1.4	
222	73	2.5	0.027	0.051	0.041	0.051	0.060	41	
223	73	2.5	0.029	0.050	0.051	0.051	0.060	4.6	
224	73	2.5	0.030	0.036	0.049	0.049	0.058	6.0	
225	73	2.5	0.022	0.038	0.045	0.045	0.053	25	
226	73	2.5	0.021	0.042	0.048	0.048	0.056	3.0	
227	73	2.5	0.047	0.044	0.035	0.047	0.055	15	
228	73	2.5	0.031	0.043	0.036	0.043	0.051	6.0	
229	73	2.5	0.032	0.049	0.052	0.052	0.061	14	
230	73	2.5	0.033	0.040	0.050	0.050	0.059	27	
231	75	2.5	0.022	0.025	0.023	0.025	0.029	51	
232	75	2.5	0.021	0.022	0.024	0.024	0.028	25	
233	75	2.5	0.021	0.025	0.027	0.027	0.032	5.1	
234	75	2.5	0.018	0.024	0.026	0.026	0.031	38	
235	75	2.5	0.017	0.020	0.025	0.025	0.029	16	

Measurement results of pattern I (6)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
236	75	2.5	0.020	0.025	0.021	0.025	0.029	25	pattern I
237	75	2.5	0.019	0.028	0.024	0.028	0.033	3.4	
238	75	2.5	0.021	0.024	0.023	0.024	0.028	11	
239	75	2.5	0.020	0.018	0.021	0.021	0.025	44	
240	75	2.5	0.018	0.020	0.022	0.022	0.026	21	

Measurement results of pattern II (1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	10	2.5	0.984	1.21	1.58	1.58	1.86	68	pattern II
2	10	2.5	1.16	1.33	1.60	1.60	1.88	73	
3	10	2.5	0.881	1.61	1.46	1.61	1.90	84	
4	10	2.5	0.676	1.25	1.60	1.60	1.88	>100	
5	10	2.5	1.22	1.34	1.63	1.63	1.92	57	
6	10	2.5	1.31	1.28	1.58	1.58	1.86	85	
7	10	2.5	0.673	1.40	1.55	1.55	1.83	67	
8	10	2.5	1.62	1.13	1.34	1.62	1.91	75	
9	10	2.5	0.763	1.61	1.33	1.61	1.90	51	
10	10	2.5	1.15	1.60	1.32	1.60	1.88	58	
11	12	2.5	1.11	1.31	1.40	1.40	1.65	66	
12	12	2.5	0.877	1.42	0.921	1.42	1.67	79	
13	12	2.5	0.524	1.22	1.41	1.41	1.66	81	
14	12	2.5	1.12	1.13	1.42	1.42	1.67	69	
15	12	2.5	0.637	0.982	1.39	1.39	1.64	37	
16	12	2.5	1.04	1.45	1.31	1.45	1.71	57	
17	12	2.5	0.481	1.38	0.684	1.38	1.63	47	
18	12	2.5	0.613	1.41	1.15	1.41	1.66	61	
19	12	2.5	0.815	1.17	1.39	1.39	1.64	>100	
20	12	2.5	1.40	1.22	1.02	1.40	1.65	77	
21	15	2.5	1.00	1.28	1.17	1.28	1.51	64	
22	15	2.5	0.381	1.29	0.908	1.29	1.52	67	
23	15	2.5	0.763	1.29	1.18	1.29	1.52	71	
24	15	2.5	0.673	1.32	1.16	1.32	1.55	45	
25	15	2.5	0.458	1.08	1.26	1.26	1.48	81	
26	15	2.5	0.533	0.778	1.28	1.28	1.51	73	
27	15	2.5	0.595	0.826	1.25	1.25	1.47	55	
28	15	2.5	0.882	1.27	1.11	1.27	1.50	41	
29	15	2.5	0.758	0.945	1.25	1.25	1.47	57	
30	15	2.5	0.652	1.15	1.29	1.29	1.52	57	
31	18	2.5	0.923	1.17	0.881	1.17	1.38	61	
32	18	2.5	0.402	1.21	0.688	1.21	1.43	55	
33	18	2.5	0.524	0.767	1.20	1.20	1.41	49	
34	18	2.5	0.621	0.805	1.17	1.17	1.38	73	
35	18	2.5	0.737	0.747	1.15	1.15	1.35	71	
36	18	2.5	0.825	1.22	1.02	1.22	1.44	71	
37	18	2.5	1.16	1.11	1.01	1.16	1.37	83	
38	18	2.5	0.636	1.05	1.18	1.18	1.39	75	
39	18	2.5	0.791	0.965	1.19	1.19	1.40	61	
40	18	2.5	0.429	1.21	0.563	1.21	1.43	64	
41	25	2.5	0.685	0.878	1.19	1.19	1.40	55	
42	25	2.5	0.911	1.14	0.98	1.14	1.34	51	
43	25	2.5	0.425	1.16	0.825	1.16	1.37	47	
44	25	2.5	0.563	1.01	1.14	1.14	1.34	54	
45	25	2.5	0.795	0.881	1.15	1.15	1.35	49	
46	25	2.5	0.775	0.932	1.19	1.19	1.40	58	
47	25	2.5	0.723	1.18	0.831	1.18	1.39	76	

Measurement results of pattern II (2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	25	2.5	0.825	1.07	1.14	1.14	1.34	57	pattern II
49	25	2.5	0.846	1.17	1.08	1.17	1.38	63	
50	25	2.5	1.18	1.02	0.767	1.18	1.39	74	
51	29	2.5	0.423	0.986	0.824	0.986	1.16	85	
52	29	2.5	0.592	0.858	0.980	0.980	1.15	87	
53	29	2.5	0.617	0.779	0.990	0.990	1.17	>100	
54	29	2.5	0.573	0.945	0.982	0.982	1.16	67	
55	29	2.5	0.285	0.988	0.581	0.988	1.16	75	
56	29	2.5	0.668	0.923	0.987	0.987	1.16	45	
57	29	2.5	0.724	0.986	0.766	0.986	1.16	58	
58	29	2.5	0.369	0.552	0.991	0.991	1.17	76	
59	29	2.5	0.296	0.983	0.529	0.983	1.16	79	
60	29	2.5	0.288	0.985	0.458	0.985	1.16	81	
61	34	2.5	0.462	0.645	0.916	0.916	1.08	65	
62	34	2.5	0.435	0.823	0.903	0.903	1.06	37	
63	34	2.5	0.459	0.882	0.909	0.909	1.07	47	
64	34	2.5	0.524	0.907	0.675	0.907	1.07	67	
65	34	2.5	0.625	0.905	0.823	0.905	1.07	61	
66	34	2.5	0.528	0.717	0.911	0.911	1.07	75	
67	34	2.5	0.717	0.915	0.848	0.915	1.08	57	
68	34	2.5	0.914	0.761	0.862	0.914	1.08	64	
69	34	2.5	0.325	0.555	0.910	0.910	1.07	67	
70	34	2.5	0.582	0.779	0.917	0.917	1.08	61	
71	36	2.5	0.491	0.626	0.813	0.813	0.958	45	
72	36	2.5	0.361	0.589	0.814	0.814	0.959	71	
73	36	2.5	0.473	0.809	0.660	0.809	0.953	53	
74	36	2.5	0.525	0.820	0.715	0.820	0.966	55	
75	36	2.5	0.298	0.813	0.467	0.813	0.958	41	
76	36	2.5	0.326	0.661	0.88	0.880	1.04	57	
77	36	2.5	0.623	0.734	0.818	0.818	0.964	57	
78	36	2.5	0.295	0.527	0.816	0.816	0.961	61	
79	36	2.5	0.468	0.819	0.762	0.819	0.965	55	
80	36	2.5	0.569	0.815	0.432	0.815	0.960	49	
81	38	2.5	0.345	0.564	0.643	0.643	0.757	64	
82	38	2.5	0.326	0.539	0.638	0.638	0.752	41	
83	38	2.5	0.375	0.298	0.641	0.641	0.755	71	
84	38	2.5	0.423	0.358	0.640	0.640	0.754	83	
85	38	2.5	0.272	0.644	0.437	0.644	0.759	75	
86	38	2.5	0.636	0.341	0.527	0.636	0.749	61	
87	38	2.5	0.438	0.642	0.388	0.642	0.756	64	
88	38	2.5	0.259	0.645	0.523	0.645	0.760	55	
89	38	2.5	0.269	0.576	0.641	0.641	0.755	51	
90	38	2.5	0.328	0.521	0.642	0.642	0.756	57	
91	40	2.5	0.526	0.563	0.584	0.584	0.688	64	
92	40	2.5	0.412	0.583	0.492	0.583	0.687	59	
93	40	2.5	0.333	0.492	0.580	0.580	0.683	47	
94	40	2.5	0.254	0.481	0.578	0.578	0.681	42	

Measurement results of pattern II (3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	40	2.5	0.262	0.586	0.375	0.586	0.690	39	pattern II
96	40	2.5	0.314	0.587	0.388	0.587	0.691	53	
97	40	2.5	0.387	0.551	0.579	0.579	0.682	44	
98	40	2.5	0.336	0.581	0.496	0.581	0.684	51	
99	40	2.5	0.411	0.584	0.468	0.584	0.688	57	
100	40	2.5	0.214	0.582	0.431	0.582	0.686	45	
101	46	2.5	0.142	0.414	0.381	0.414	0.488	>100	
102	46	2.5	0.211	0.382	0.411	0.411	0.484	35	
103	46	2.5	0.134	0.312	0.410	0.410	0.483	51	
104	46	2.5	0.412	0.206	0.338	0.412	0.485	58	
105	46	2.5	0.176	0.413	0.402	0.413	0.487	66	
106	46	2.5	0.182	0.414	0.197	0.414	0.488	39	
107	46	2.5	0.192	0.289	0.415	0.415	0.489	51	
108	46	2.5	0.155	0.306	0.416	0.416	0.490	45	
109	46	2.5	0.201	0.315	0.417	0.417	0.491	37	
110	46	2.5	0.163	0.334	0.410	0.410	0.483	47	
111	48	2.5	0.181	0.376	0.273	0.376	0.443	42	
112	48	2.5	0.234	0.374	0.294	0.374	0.441	61	
113	48	2.5	0.249	0.292	0.378	0.378	0.445	44	
114	48	2.5	0.197	0.323	0.380	0.380	0.448	37	
115	48	2.5	0.186	0.351	0.372	0.372	0.438	64	
116	48	2.5	0.241	0.276	0.376	0.376	0.443	47	
117	48	2.5	0.167	0.191	0.375	0.375	0.442	51	
118	48	2.5	0.222	0.338	0.377	0.377	0.444	45	
119	48	2.5	0.371	0.325	0.245	0.371	0.437	38	
120	48	2.5	0.267	0.379	0.319	0.379	0.446	43	
121	52	2.5	0.234	0.325	0.344	0.325	0.383	85	
122	52	2.5	0.198	0.238	0.330	0.330	0.389	41	
123	52	2.5	0.182	0.329	0.307	0.329	0.388	57	
124	52	2.5	0.202	0.331	0.245	0.331	0.390	27	
125	52	2.5	0.275	0.332	0.291	0.332	0.391	31	
126	52	2.5	0.253	0.277	0.326	0.326	0.384	55	
127	52	2.5	0.155	0.256	0.328	0.328	0.386	49	
128	52	2.5	0.249	0.294	0.325	0.325	0.383	23	
129	52	2.5	0.328	0.244	0.296	0.328	0.386	41	
130	52	2.5	0.171	0.275	0.321	0.321	0.378	31	
131	55	2.5	0.152	0.115	0.183	0.183	0.216	43	
132	55	2.5	0.105	0.180	0.123	0.180	0.212	55	
133	55	2.5	0.131	0.101	0.175	0.175	0.206	61	
134	55	2.5	0.117	0.178	0.126	0.178	0.210	64	
135	55	2.5	0.077	0.121	0.181	0.181	0.213	55	
136	55	2.5	0.105	0.163	0.179	0.179	0.211	51	
137	55	2.5	0.124	0.148	0.176	0.176	0.207	47	
138	55	2.5	0.107	0.133	0.177	0.177	0.209	54	
139	55	2.5	0.116	0.128	0.178	0.178	0.210	29	
140	55	2.5	0.112	0.163	0.180	0.180	0.212	25	
141	60	2.5	0.191	0.123	0.307	0.307	0.362	37	

Measurement results of pattern II (4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	60	2.5	0.172	0.183	0.301	0.301	0.355	27	pattern II
143	60	2.5	0.115	0.303	0.183	0.303	0.357	33	
144	60	2.5	0.305	0.102	0.161	0.305	0.359	41	
145	60	2.5	0.166	0.302	0.178	0.302	0.356	26	
146	60	2.5	0.167	0.217	0.306	0.306	0.360	57	
147	60	2.5	0.128	0.192	0.303	0.303	0.357	35	
148	60	2.5	0.153	0.195	0.305	0.305	0.359	47	
149	60	2.5	0.104	0.300	0.169	0.300	0.353	55	
150	60	2.5	0.182	0.304	0.243	0.304	0.358	51	
151	62	2.5	0.119	0.193	0.271	0.271	0.319	60	
152	62	2.5	0.167	0.182	0.270	0.270	0.318	66	
153	62	2.5	0.159	0.235	0.276	0.276	0.325	59	
154	62	2.5	0.158	0.185	0.275	0.275	0.324	21	
155	62	2.5	0.125	0.228	0.277	0.277	0.326	29	
156	62	2.5	0.138	0.171	0.271	0.271	0.319	37	
157	62	2.5	0.127	0.161	0.274	0.274	0.323	57	
158	62	2.5	0.136	0.276	0.158	0.276	0.325	47	
159	62	2.5	0.124	0.146	0.277	0.277	0.326	61	
160	62	2.5	0.142	0.275	0.166	0.275	0.324	34	
161	64	2.5	0.123	0.133	0.190	0.190	0.224	47	
162	64	2.5	0.189	0.115	0.166	0.189	0.223	64	
163	64	2.5	0.152	0.193	0.092	0.193	0.227	37	
164	64	2.5	0.076	0.196	0.137	0.196	0.231	41	
165	64	2.5	0.105	0.195	0.161	0.195	0.230	45	
166	64	2.5	0.119	0.138	0.196	0.196	0.231	81	
167	64	2.5	0.103	0.141	0.197	0.197	0.232	53	
168	64	2.5	0.126	0.163	0.194	0.194	0.229	55	
169	64	2.5	0.109	0.161	0.195	0.195	0.230	41	
170	64	2.5	0.088	0.185	0.197	0.197	0.232	57	
171	68	2.5	0.073	0.176	0.131	0.176	0.207	27	
172	68	2.5	0.045	0.145	0.173	0.173	0.204	11	
173	68	2.5	0.058	0.158	0.174	0.174	0.205	55	
174	68	2.5	0.121	0.176	0.158	0.176	0.207	49	
175	68	2.5	0.097	0.172	0.153	0.172	0.203	23	
176	68	2.5	0.085	0.129	0.177	0.177	0.209	31	
177	68	2.5	0.145	0.132	0.174	0.174	0.205	41	
178	68	2.5	0.116	0.156	0.175	0.175	0.206	25	
179	68	2.5	0.082	0.128	0.173	0.173	0.204	32	
180	68	2.5	0.075	0.171	0.167	0.171	0.201	21	
181	70	2.5	0.066	0.089	0.049	0.089	0.105	34	
182	70	2.5	0.094	0.071	0.078	0.094	0.111	55	
183	70	2.5	0.049	0.093	0.076	0.093	0.110	5.1	
184	70	2.5	0.037	0.087	0.069	0.087	0.102	27	
185	70	2.5	0.084	0.082	0.089	0.089	0.105	54	
186	70	2.5	0.048	0.069	0.092	0.092	0.108	19	
187	70	2.5	0.053	0.053	0.095	0.095	0.112	22	
188	70	2.5	0.052	0.063	0.091	0.091	0.107	31	

Measurement results of pattern II (5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	70	2.5	0.051	0.055	0.090	0.090	0.106	19	pattern II
190	70	2.5	0.056	0.069	0.088	0.088	0.104	23	
191	75	2.5	0.037	0.032	0.057	0.057	0.067	14	
192	75	2.5	0.045	0.041	0.059	0.059	0.070	57	
193	75	2.5	0.041	0.046	0.060	0.060	0.071	13	
194	75	2.5	0.057	0.063	0.043	0.063	0.074	25	
195	75	2.5	0.052	0.062	0.055	0.062	0.073	4.3	
196	75	2.5	0.036	0.054	0.061	0.061	0.072	15	
197	75	2.5	0.034	0.038	0.059	0.059	0.070	31	
198	75	2.5	0.030	0.041	0.055	0.055	0.065	28	
199	75	2.5	0.032	0.058	0.037	0.058	0.068	46	
200	75	2.5	0.029	0.057	0.038	0.057	0.067	29	
201	80	2.5	0.066	0.043	0.032	0.066	0.078	41	
202	80	2.5	0.043	0.068	0.046	0.068	0.080	11	
203	80	2.5	0.032	0.069	0.038	0.069	0.081	37	
204	80	2.5	0.058	0.070	0.060	0.070	0.082	17	
205	80	2.5	0.034	0.054	0.062	0.062	0.073	47	
206	80	2.5	0.065	0.028	0.032	0.065	0.077	31	
207	80	2.5	0.032	0.067	0.041	0.067	0.079	25	
208	80	2.5	0.039	0.047	0.064	0.064	0.075	31	
209	80	2.5	0.028	0.036	0.062	0.062	0.073	12	
210	80	2.5	0.051	0.057	0.066	0.066	0.078	37	
211	82	2.5	0.032	0.039	0.067	0.067	0.079	11	
212	82	2.5	0.037	0.068	0.048	0.068	0.080	4.5	
213	82	2.5	0.031	0.069	0.041	0.069	0.081	11	
214	82	2.5	0.039	0.067	0.037	0.067	0.079	25	
215	82	2.5	0.063	0.036	0.068	0.068	0.080	5.5	
216	82	2.5	0.037	0.066	0.047	0.066	0.078	41	
217	82	2.5	0.047	0.046	0.065	0.065	0.077	50	
218	82	2.5	0.049	0.058	0.068	0.068	0.080	17	
219	82	2.5	0.037	0.042	0.065	0.065	0.077	6.7	
220	82	2.5	0.034	0.048	0.067	0.067	0.079	35	
221	85	2.5	0.021	0.027	0.032	0.032	0.038	4.9	
222	85	2.5	0.029	0.034	0.031	0.034	0.040	34	
223	85	2.5	0.023	0.024	0.028	0.028	0.033	27	
224	85	2.5	0.027	0.028	0.029	0.029	0.034	11	
225	85	2.5	0.031	0.028	0.032	0.032	0.038	31	
226	85	2.5	0.024	0.030	0.025	0.030	0.035	25	
227	85	2.5	0.031	0.035	0.033	0.035	0.041	22	
228	85	2.5	0.021	0.028	0.025	0.028	0.033	14	
229	85	2.5	0.030	0.023	0.025	0.030	0.035	25	
230	85	2.5	0.028	0.023	0.031	0.031	0.037	11	
231	88	2.5	0.024	0.026	0.027	0.027	0.032	4.5	
232	88	2.5	0.020	0.020	0.021	0.021	0.025	27	
233	88	2.5	0.018	0.019	0.020	0.020	0.024	19	
234	88	2.5	0.027	0.022	0.029	0.029	0.034	3.1	
235	88	2.5	0.020	0.021	0.023	0.023	0.027	25	

Measurement results of pattern II (6)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
236	88	2.5	0.022	0.024	0.028	0.028	0.033	45	pattern II
237	88	2.5	0.026	0.030	0.026	0.030	0.035	18	
238	88	2.5	0.021	0.022	0.025	0.025	0.029	5.0	
239	88	2.5	0.021	0.021	0.024	0.024	0.028	32	
240	88	2.5	0.029	0.033	0.030	0.033	0.039	21	

Measurement results of pattern III(1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	12	2.85	1.23	1.76	1.98	1.98	2.34	83	pattern III
2	12	2.85	1.48	1.54	2.00	2.00	2.36	>100	
3	12	2.85	1.31	1.63	2.01	2.01	2.37	65	
4	12	2.85	1.16	1.72	1.97	1.97	2.33	57	
5	12	2.85	1.96	1.41	1.55	1.96	2.31	85	
6	12	2.85	1.43	1.75	1.95	1.95	2.30	>100	
7	12	2.85	1.67	1.98	1.78	1.98	2.34	75	
8	12	2.85	1.71	1.99	1.82	1.99	2.35	51	
9	12	2.85	1.45	1.66	2.00	2.00	2.36	58	
10	12	2.85	1.25	2.01	1.82	2.01	2.37	66	
11	15	2.85	1.11	1.43	1.67	1.67	1.97	>100	
12	15	2.85	1.16	1.35	1.68	1.68	1.98	81	
13	15	2.85	1.21	1.66	1.31	1.66	1.96	78	
14	15	2.85	1.08	1.65	1.25	1.65	1.95	37	
15	15	2.85	1.05	1.69	1.33	1.69	2.00	57	
16	15	2.85	1.23	1.48	1.70	1.70	2.01	43	
17	15	2.85	1.19	1.23	1.67	1.67	1.97	61	
18	15	2.85	0.924	0.991	1.66	1.66	1.96	85	
19	15	2.85	1.43	1.51	1.68	1.68	1.98	77	
20	15	2.85	1.36	1.67	1.14	1.67	1.97	64	
21	20	2.85	1.33	1.48	1.21	1.48	1.75	77	
22	20	2.85	0.964	1.32	1.49	1.49	1.76	61	
23	20	2.85	0.381	1.50	0.916	1.50	1.77	>100	
24	20	2.85	0.673	1.51	1.32	1.51	1.78	81	
25	20	2.85	1.04	1.23	1.47	1.47	1.74	73	
26	20	2.85	1.08	0.992	1.45	1.45	1.71	65	
27	20	2.85	0.851	1.25	1.46	1.46	1.72	41	
28	20	2.85	0.556	1.47	0.858	1.47	1.74	>100	
29	20	2.85	0.755	1.48	1.34	1.48	1.75	77	
30	20	2.85	0.682	1.16	1.45	1.45	1.71	61	
31	22	2.85	0.927	1.28	1.39	1.39	1.64	55	
32	22	2.85	0.743	1.34	1.11	1.34	1.58	49	
33	22	2.85	0.637	1.33	1.16	1.33	1.57	73	
34	22	2.85	0.882	1.38	1.23	1.38	1.63	81	
35	22	2.85	1.39	1.13	1.21	1.39	1.64	71	
36	22	2.85	0.915	1.11	1.37	1.37	1.62	83	
37	22	2.85	1.11	1.36	1.17	1.36	1.61	75	
38	22	2.85	1.23	1.34	1.40	1.40	1.65	61	
39	22	2.85	1.07	1.27	1.41	1.41	1.67	64	
40	22	2.85	0.925	1.19	1.35	1.35	1.59	55	
41	27	2.85	0.418	1.21	0.823	1.21	1.43	>100	
42	27	2.85	0.443	1.20	0.771	1.20	1.42	47	
43	27	2.85	0.775	1.07	1.19	1.19	1.41	54	
44	27	2.85	0.914	0.981	1.18	1.18	1.39	59	
45	27	2.85	0.832	0.865	1.21	1.21	1.43	75	
46	27	2.85	0.528	1.10	1.22	1.22	1.44	67	
47	27	2.85	0.437	1.23	0.915	1.23	1.45	71	

Measurement results of pattern III(2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	27	2.85	0.612	1.20	1.12	1.20	1.42	58	pattern III
49	27	2.85	0.952	1.19	0.658	1.19	1.41	64	
50	27	2.85	0.927	1.04	1.19	1.19	1.41	47	
51	30	2.85	0.821	0.976	1.17	1.17	1.38	67	
52	30	2.85	0.802	0.923	1.14	1.14	1.35	85	
53	30	2.85	0.715	1.13	0.974	1.13	1.33	67	
54	30	2.85	0.532	1.03	1.15	1.15	1.36	75	
55	30	2.85	0.585	0.855	1.16	1.16	1.37	51	
56	30	2.85	0.642	0.912	1.17	1.17	1.38	48	
57	30	2.85	0.673	0.765	1.18	1.18	1.39	66	
58	30	2.85	0.521	1.15	0.753	1.15	1.36	79	
59	30	2.85	0.911	1.16	0.958	1.16	1.37	81	
60	30	2.85	0.873	1.08	1.13	1.13	1.33	>100	
61	34	2.85	0.712	0.882	1.02	1.02	1.20	37	
62	34	2.85	0.623	0.915	0.97	0.970	1.15	57	
63	34	2.85	0.529	1.01	0.882	1.01	1.19	47	
64	34	2.85	0.444	0.767	1.00	1.00	1.18	>100	
65	34	2.85	0.382	0.943	0.990	0.990	1.17	85	
66	34	2.85	0.768	0.825	0.980	0.980	1.16	77	
67	34	2.85	0.950	0.737	0.881	0.950	1.12	64	
68	34	2.85	0.551	0.825	1.02	1.02	1.20	67	
69	34	2.85	0.458	1.03	0.572	1.03	1.22	57	
70	34	2.85	0.584	1.04	0.596	1.04	1.23	45	
71	40	2.85	0.612	0.691	0.978	0.978	1.16	81	
72	40	2.85	0.782	0.921	0.981	0.981	1.16	73	
73	40	2.85	0.381	0.752	0.983	0.983	1.16	55	
74	40	2.85	0.245	0.975	0.533	0.975	1.15	41	
75	40	2.85	0.442	0.665	0.977	0.977	1.15	57	
76	40	2.85	0.529	0.713	0.979	0.979	1.16	57	
77	40	2.85	0.428	0.978	0.481	0.978	1.16	61	
78	40	2.85	0.621	0.827	0.979	0.979	1.16	45	
79	40	2.85	0.738	0.980	0.825	0.980	1.16	49	
80	40	2.85	0.812	0.981	0.546	0.981	1.16	73	
81	43	2.85	0.412	0.556	0.783	0.783	0.925	51	
82	43	2.85	0.623	0.618	0.789	0.789	0.932	71	
83	43	2.85	0.512	0.781	0.662	0.781	0.922	83	
84	43	2.85	0.528	0.788	0.683	0.788	0.931	75	
85	43	2.85	0.611	0.783	0.515	0.783	0.925	51	
86	43	2.85	0.439	0.683	0.786	0.786	0.928	64	
87	43	2.85	0.464	0.617	0.787	0.787	0.929	55	
88	43	2.85	0.342	0.785	0.383	0.785	0.927	51	
89	43	2.85	0.355	0.557	0.784	0.784	0.926	47	
90	43	2.85	0.319	0.618	0.782	0.782	0.924	54	
91	47	2.85	0.257	0.523	0.724	0.724	0.855	39	
92	47	2.85	0.627	0.719	0.692	0.719	0.849	58	
93	47	2.85	0.333	0.712	0.721	0.721	0.852	37	
94	47	2.85	0.381	0.725	0.558	0.725	0.856	48	

Measurement results of pattern III(3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	47	2.85	0.406	0.726	0.440	0.726	0.857	51	pattern III
96	47	2.85	0.724	0.575	0.616	0.724	0.855	44	
97	47	2.85	0.493	0.723	0.668	0.723	0.854	38	
98	47	2.85	0.611	0.672	0.719	0.719	0.849	57	
99	47	2.85	0.582	0.720	0.527	0.720	0.850	45	
100	47	2.85	0.292	0.722	0.548	0.722	0.853	67	
101	50	2.85	0.348	0.529	0.684	0.684	0.808	35	
102	50	2.85	0.292	0.434	0.613	0.613	0.724	51	
103	50	2.85	0.268	0.666	0.426	0.666	0.787	48	
104	50	2.85	0.371	0.418	0.681	0.681	0.804	66	
105	50	2.85	0.423	0.582	0.672	0.672	0.794	73	
106	50	2.85	0.339	0.573	0.677	0.677	0.800	51	
107	50	2.85	0.321	0.568	0.615	0.615	0.726	47	
108	50	2.85	0.286	0.431	0.623	0.623	0.736	37	
109	50	2.85	0.357	0.389	0.634	0.634	0.749	>100	
110	50	2.85	0.308	0.417	0.651	0.651	0.769	34	
111	55	2.85	0.315	0.547	0.428	0.547	0.646	51	
112	55	2.85	0.191	0.316	0.540	0.540	0.638	85	
113	55	2.85	0.282	0.475	0.537	0.537	0.634	77	
114	55	2.85	0.264	0.384	0.522	0.522	0.616	64	
115	55	2.85	0.318	0.321	0.535	0.535	0.632	57	
116	55	2.85	0.325	0.537	0.391	0.537	0.634	71	
117	55	2.85	0.376	0.446	0.530	0.530	0.626	45	
118	55	2.85	0.319	0.528	0.438	0.528	0.624	44	
119	55	2.85	0.295	0.529	0.385	0.529	0.625	53	
120	55	2.85	0.363	0.538	0.404	0.538	0.635	55	
121	58	2.85	0.431	0.505	0.437	0.505	0.596	41	
122	58	2.85	0.398	0.434	0.497	0.497	0.587	57	
123	58	2.85	0.288	0.301	0.501	0.501	0.592	57	
124	58	2.85	0.243	0.383	0.504	0.504	0.595	51	
125	58	2.85	0.261	0.434	0.503	0.503	0.594	55	
126	58	2.85	0.182	0.121	0.499	0.499	0.589	49	
127	58	2.85	0.157	0.419	0.498	0.498	0.588	62	
128	58	2.85	0.162	0.497	0.432	0.497	0.587	71	
129	58	2.85	0.205	0.389	0.496	0.496	0.586	71	
130	58	2.85	0.338	0.500	0.291	0.500	0.591	43	
131	60	2.85	0.122	0.121	0.447	0.447	0.528	35	
132	60	2.85	0.224	0.312	0.427	0.427	0.504	31	
133	60	2.85	0.437	0.337	0.408	0.437	0.516	64	
134	60	2.85	0.219	0.326	0.439	0.439	0.518	34	
135	60	2.85	0.186	0.440	0.438	0.440	0.520	51	
136	60	2.85	0.166	0.294	0.430	0.430	0.508	47	
137	60	2.85	0.175	0.199	0.428	0.428	0.505	54	
138	60	2.85	0.152	0.442	0.337	0.442	0.522	38	
139	60	2.85	0.423	0.382	0.443	0.443	0.523	43	
140	60	2.85	0.312	0.234	0.444	0.444	0.524	47	
141	62	2.85	0.245	0.383	0.291	0.383	0.452	53	

Measurement results of pattern III(4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	62	2.85	0.265	0.302	0.381	0.381	0.450	43	pattern III
143	62	2.85	0.211	0.294	0.382	0.382	0.451	33	
144	62	2.85	0.208	0.275	0.380	0.380	0.449	38	
145	62	2.85	0.164	0.185	0.384	0.384	0.454	57	
146	62	2.85	0.152	0.379	0.236	0.379	0.448	45	
147	62	2.85	0.108	0.383	0.275	0.383	0.452	37	
148	62	2.85	0.177	0.234	0.381	0.381	0.450	35	
149	62	2.85	0.218	0.242	0.382	0.382	0.451	51	
150	62	2.85	0.235	0.380	0.294	0.380	0.449	28	
151	65	2.85	0.337	0.229	0.216	0.337	0.398	36	
152	65	2.85	0.206	0.281	0.329	0.329	0.389	49	
153	65	2.85	0.108	0.284	0.324	0.324	0.383	31	
154	65	2.85	0.111	0.336	0.274	0.336	0.397	39	
155	65	2.85	0.134	0.228	0.333	0.333	0.393	37	
156	65	2.85	0.164	0.146	0.334	0.334	0.394	57	
157	65	2.85	0.172	0.255	0.327	0.327	0.386	47	
158	65	2.85	0.155	0.271	0.328	0.328	0.387	61	
159	65	2.85	0.196	0.305	0.324	0.324	0.383	25	
160	65	2.85	0.108	0.181	0.325	0.325	0.384	37	
161	68	2.85	0.132	0.264	0.231	0.264	0.312	64	
162	68	2.85	0.105	0.261	0.227	0.261	0.308	47	
163	68	2.85	0.152	0.197	0.265	0.265	0.313	41	
164	68	2.85	0.268	0.224	0.168	0.268	0.317	45	
165	68	2.85	0.134	0.183	0.267	0.267	0.315	57	
166	68	2.85	0.182	0.211	0.260	0.260	0.307	43	
167	68	2.85	0.124	0.262	0.193	0.262	0.309	55	
168	68	2.85	0.167	0.241	0.264	0.264	0.312	41	
169	68	2.85	0.151	0.197	0.263	0.263	0.311	57	
170	68	2.85	0.162	0.172	0.261	0.261	0.308	27	
171	70	2.85	0.123	0.157	0.179	0.179	0.211	61	
172	70	2.85	0.085	0.176	0.113	0.176	0.208	25	
173	70	2.85	0.092	0.175	0.157	0.175	0.207	49	
174	70	2.85	0.083	0.173	0.131	0.173	0.204	23	
175	70	2.85	0.180	0.144	0.107	0.180	0.213	71	
176	70	2.85	0.082	0.134	0.181	0.181	0.214	21	
177	70	2.85	0.105	0.112	0.179	0.179	0.211	23	
178	70	2.85	0.104	0.178	0.152	0.178	0.210	25	
179	70	2.85	0.117	0.161	0.177	0.177	0.209	61	
180	70	2.85	0.085	0.145	0.174	0.174	0.205	24	
181	72	2.85	0.078	0.105	0.124	0.124	0.146	55	
182	72	2.85	0.081	0.095	0.123	0.123	0.145	51	
183	72	2.85	0.093	0.123	0.101	0.123	0.145	47	
184	72	2.85	0.122	0.107	0.097	0.122	0.144	24	
185	72	2.85	0.077	0.121	0.113	0.121	0.143	39	
186	72	2.85	0.082	0.120	0.088	0.120	0.142	27	
187	72	2.85	0.085	0.111	0.125	0.125	0.148	31	
188	72	2.85	0.072	0.098	0.124	0.124	0.146	25	

Measurement results of pattern III(5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	72	2.85	0.075	0.082	0.123	0.123	0.145	31	pattern III
190	72	2.85	0.094	0.093	0.122	0.122	0.144	25	
191	74	2.85	0.051	0.079	0.061	0.079	0.093	4.9	
192	74	2.85	0.062	0.072	0.055	0.072	0.085	23	
193	74	2.85	0.056	0.057	0.075	0.075	0.089	31	
194	74	2.85	0.033	0.062	0.077	0.077	0.091	21	
195	74	2.85	0.048	0.052	0.076	0.076	0.090	33	
196	74	2.85	0.052	0.055	0.078	0.078	0.092	25	
197	74	2.85	0.039	0.073	0.062	0.073	0.086	11	
198	74	2.85	0.042	0.067	0.080	0.080	0.094	24	
199	74	2.85	0.052	0.072	0.048	0.072	0.085	5.5	
200	74	2.85	0.044	0.079	0.055	0.079	0.093	11	
201	76	2.85	0.031	0.038	0.051	0.051	0.060	17	
202	76	2.85	0.032	0.039	0.054	0.054	0.064	24	
203	76	2.85	0.053	0.029	0.037	0.053	0.063	1.9	
204	76	2.85	0.029	0.052	0.036	0.052	0.061	27	
205	76	2.85	0.033	0.047	0.051	0.051	0.060	3.1	
206	76	2.85	0.041	0.054	0.033	0.054	0.064	25	
207	76	2.85	0.047	0.033	0.050	0.050	0.059	27	
208	76	2.85	0.039	0.041	0.055	0.055	0.065	7.0	
209	76	2.85	0.035	0.053	0.029	0.053	0.063	12	
210	76	2.85	0.038	0.042	0.052	0.052	0.061	25	
211	78	2.85	0.022	0.033	0.028	0.033	0.039	15	
212	78	2.85	0.026	0.037	0.029	0.037	0.044	31	
213	78	2.85	0.029	0.027	0.035	0.035	0.041	11	
214	78	2.85	0.027	0.030	0.036	0.036	0.043	23	
215	78	2.85	0.025	0.029	0.038	0.038	0.045	5.8	
216	78	2.85	0.033	0.022	0.027	0.033	0.039	13	
217	78	2.85	0.023	0.034	0.030	0.034	0.040	41	
218	78	2.85	0.028	0.026	0.035	0.035	0.041	17	
219	78	2.85	0.030	0.029	0.037	0.037	0.044	2.1	
220	78	2.85	0.029	0.027	0.036	0.036	0.043	35	

Measurement results of pattern IV(1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	11	2.85	1.26	1.66	2.01	2.01	2.37	83	pattern IV
2	11	2.85	1.17	1.51	2.04	2.04	2.41	74	
3	11	2.85	1.33	1.48	2.03	2.03	2.40	>100	
4	11	2.85	1.55	2.07	1.68	2.07	2.44	>100	
5	11	2.85	1.45	1.69	1.99	1.99	2.35	85	
6	11	2.85	1.28	2.05	1.36	2.05	2.42	>100	
7	11	2.85	0.842	2.06	1.67	2.06	2.43	77	
8	11	2.85	1.19	1.43	2.08	2.08	2.45	51	
9	11	2.85	2.04	1.38	1.71	2.04	2.41	58	
10	11	2.85	1.44	1.72	2.01	2.01	2.37	>100	
11	15	2.85	1.13	1.32	1.49	1.49	1.76	79	
12	15	2.85	1.24	1.47	1.07	1.47	1.73	81	
13	15	2.85	1.31	1.48	1.13	1.48	1.75	>100	
14	15	2.85	1.05	1.31	1.50	1.50	1.77	37	
15	15	2.85	0.885	1.51	1.33	1.51	1.78	57	
16	15	2.85	1.13	1.24	1.45	1.45	1.71	47	
17	15	2.85	0.925	1.26	1.47	1.47	1.73	>100	
18	15	2.85	1.31	1.21	1.49	1.49	1.76	85	
19	15	2.85	1.11	1.35	1.48	1.48	1.75	77	
20	15	2.85	0.827	1.50	1.34	1.50	1.77	64	
21	18	2.85	1.08	1.24	1.41	1.41	1.66	>100	
22	18	2.85	0.916	1.42	1.24	1.42	1.68	71	
23	18	2.85	1.43	1.12	1.03	1.43	1.69	45	
24	18	2.85	1.25	1.41	1.21	1.41	1.66	81	
25	18	2.85	1.18	1.40	1.28	1.40	1.65	73	
26	18	2.85	0.925	1.17	1.42	1.42	1.68	55	
27	18	2.85	0.883	1.05	1.41	1.41	1.66	41	
28	18	2.85	1.04	1.32	1.44	1.44	1.70	61	
29	18	2.85	1.23	1.24	1.40	1.40	1.65	57	
30	18	2.85	0.957	1.39	1.26	1.39	1.64	61	
31	22	2.85	0.925	0.88	1.25	1.25	1.48	55	
32	22	2.85	0.937	1.07	1.27	1.27	1.50	>100	
33	22	2.85	0.829	1.29	1.02	1.29	1.52	73	
34	22	2.85	0.614	1.22	0.976	1.22	1.44	71	
35	22	2.85	1.25	0.825	1.16	1.25	1.48	61	
36	22	2.85	0.682	1.28	0.877	1.28	1.51	83	
37	22	2.85	0.721	0.934	1.25	1.25	1.48	41	
38	22	2.85	0.912	1.14	1.26	1.26	1.49	61	
39	22	2.85	0.718	0.923	1.27	1.27	1.50	64	
40	22	2.85	0.958	1.28	1.16	1.28	1.51	55	
41	25	2.85	0.833	1.10	1.20	1.20	1.42	51	
42	25	2.85	0.857	0.976	1.19	1.19	1.40	47	
43	25	2.85	0.968	1.12	1.20	1.20	1.42	54	
44	25	2.85	0.933	1.05	1.20	1.20	1.42	>100	
45	25	2.85	0.701	1.21	0.873	1.21	1.43	38	
46	25	2.85	0.681	1.20	0.976	1.20	1.42	71	
47	25	2.85	0.613	0.994	1.19	1.19	1.40	65	

Measurement results of pattern IV(2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	25	2.85	0.419	1.18	0.672	1.18	1.39	63	pattern IV
49	25	2.85	0.794	0.824	1.17	1.17	1.38	54	
50	25	2.85	0.826	0.937	1.20	1.20	1.42	72	
51	27	2.85	0.664	1.15	1.02	1.15	1.36	57	
52	27	2.85	0.783	1.03	1.17	1.17	1.38	85	
53	27	2.85	0.622	0.916	1.13	1.13	1.33	67	
54	27	2.85	0.938	1.10	1.04	1.10	1.30	75	
55	27	2.85	0.929	1.11	1.01	1.11	1.31	51	
56	27	2.85	0.715	0.852	1.15	1.15	1.36	58	
57	27	2.85	0.744	1.12	0.826	1.12	1.32	57	
58	27	2.85	0.977	1.08	1.11	1.11	1.31	79	
59	27	2.85	0.928	0.767	1.10	1.10	1.30	81	
60	27	2.85	0.866	0.981	1.15	1.15	1.36	>100	
61	30	2.85	0.576	0.767	1.13	1.13	1.33	47	
62	30	2.85	0.539	1.10	0.971	1.10	1.30	38	
63	30	2.85	1.13	0.823	0.745	1.13	1.33	67	
64	30	2.85	0.915	1.15	0.802	1.15	1.36	61	
65	30	2.85	0.952	1.17	0.831	1.17	1.38	55	
66	30	2.85	0.923	0.854	1.10	1.10	1.30	48	
67	30	2.85	0.879	0.967	1.12	1.12	1.32	64	
68	30	2.85	0.614	0.818	1.14	1.14	1.35	67	
69	30	2.85	0.648	0.682	1.16	1.16	1.37	73	
70	30	2.85	0.727	1.15	0.979	1.15	1.36	45	
71	32	2.85	0.761	0.978	0.832	0.978	1.15	67	
72	32	2.85	0.724	0.984	0.823	0.984	1.16	73	
73	32	2.85	0.711	0.876	0.987	0.987	1.16	55	
74	32	2.85	0.627	0.762	0.981	0.981	1.16	41	
75	32	2.85	0.543	0.737	0.980	0.980	1.16	57	
76	32	2.85	0.516	0.722	0.976	0.976	1.15	45	
77	32	2.85	0.672	0.731	0.983	0.983	1.16	61	
78	32	2.85	0.712	0.783	0.978	0.978	1.15	55	
79	32	2.85	0.483	0.979	0.767	0.979	1.16	41	
80	32	2.85	0.643	0.761	0.985	0.985	1.16	73	
81	35	2.85	0.549	0.779	0.884	0.884	1.04	78	
82	35	2.85	0.531	0.675	0.876	0.876	1.03	51	
83	35	2.85	0.488	0.942	0.891	0.891	1.05	63	
84	35	2.85	0.527	0.456	0.873	0.873	1.03	75	
85	35	2.85	0.533	0.672	0.882	0.882	1.04	61	
86	35	2.85	0.465	0.881	0.645	0.881	1.04	64	
87	35	2.85	0.367	0.616	0.879	0.879	1.04	55	
88	35	2.85	0.479	0.548	0.883	0.883	1.04	65	
89	35	2.85	0.443	0.662	0.880	0.880	1.04	47	
90	35	2.85	0.462	0.879	0.681	0.879	1.04	54	
91	38	2.85	0.531	0.646	0.800	0.800	0.944	62	
92	38	2.85	0.484	0.689	0.821	0.821	0.969	71	
93	38	2.85	0.817	0.312	0.614	0.817	0.964	67	
94	38	2.85	0.423	0.645	0.811	0.811	0.957	53	

Measurement results of pattern IV(3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	38	2.85	0.394	0.806	0.681	0.806	0.951	53	pattern IV
96	38	2.85	0.383	0.541	0.803	0.803	0.948	74	
97	38	2.85	0.466	0.613	0.815	0.815	0.962	71	
98	38	2.85	0.771	0.652	0.800	0.800	0.944	57	
99	38	2.85	0.541	0.667	0.812	0.812	0.958	55	
100	38	2.85	0.523	0.808	0.661	0.808	0.953	67	
101	40	2.85	0.394	0.624	0.777	0.777	0.917	45	
102	40	2.85	0.391	0.781	0.495	0.781	0.922	51	
103	40	2.85	0.525	0.621	0.778	0.778	0.918	58	
104	40	2.85	0.411	0.548	0.782	0.782	0.923	66	
105	40	2.85	0.534	0.713	0.779	0.779	0.919	49	
106	40	2.85	0.547	0.667	0.783	0.783	0.924	51	
107	40	2.85	0.476	0.635	0.780	0.780	0.920	37	
108	40	2.85	0.382	0.784	0.537	0.784	0.925	85	
109	40	2.85	0.521	0.785	0.679	0.785	0.926	57	
110	40	2.85	0.338	0.776	0.521	0.776	0.916	47	
111	43	2.85	0.438	0.768	0.663	0.768	0.906	61	
112	43	2.85	0.312	0.513	0.769	0.769	0.907	55	
113	43	2.85	0.305	0.770	0.472	0.770	0.909	57	
114	43	2.85	0.377	0.617	0.771	0.771	0.910	64	
115	43	2.85	0.439	0.623	0.765	0.765	0.903	67	
116	43	2.85	0.424	0.564	0.767	0.767	0.905	51	
117	43	2.85	0.341	0.435	0.768	0.768	0.906	85	
118	43	2.85	0.394	0.464	0.766	0.766	0.904	51	
119	43	2.85	0.376	0.564	0.770	0.770	0.909	63	
120	43	2.85	0.454	0.631	0.769	0.769	0.907	55	
121	45	2.85	0.322	0.364	0.575	0.575	0.679	41	
122	45	2.85	0.381	0.337	0.580	0.580	0.684	57	
123	45	2.85	0.341	0.583	0.483	0.583	0.688	57	
124	45	2.85	0.336	0.412	0.584	0.584	0.689	61	
125	45	2.85	0.376	0.481	0.578	0.578	0.682	55	
126	45	2.85	0.308	0.571	0.413	0.571	0.674	49	
127	45	2.85	0.575	0.465	0.356	0.575	0.679	73	
128	45	2.85	0.501	0.414	0.579	0.579	0.683	61	
129	45	2.85	0.357	0.447	0.581	0.581	0.686	71	
130	45	2.85	0.406	0.464	0.582	0.582	0.687	43	
131	48	2.85	0.373	0.415	0.635	0.635	0.749	35	
132	48	2.85	0.421	0.630	0.529	0.630	0.743	61	
133	48	2.85	0.327	0.572	0.640	0.640	0.755	44	
134	48	2.85	0.343	0.371	0.633	0.633	0.747	55	
135	48	2.85	0.412	0.468	0.631	0.631	0.745	51	
136	48	2.85	0.383	0.635	0.499	0.635	0.749	47	
137	48	2.85	0.371	0.451	0.642	0.642	0.758	54	
138	48	2.85	0.328	0.464	0.644	0.644	0.760	37	
139	48	2.85	0.423	0.634	0.518	0.634	0.748	47	
140	48	2.85	0.419	0.468	0.640	0.640	0.755	51	
141	50	2.85	0.264	0.341	0.460	0.460	0.543	58	

Measurement results of pattern IV(4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	50	2.85	0.321	0.455	0.363	0.455	0.537	37	pattern IV
143	50	2.85	0.294	0.246	0.458	0.458	0.540	44	
144	50	2.85	0.258	0.304	0.457	0.457	0.539	51	
145	50	2.85	0.283	0.368	0.459	0.459	0.542	57	
146	50	2.85	0.212	0.383	0.458	0.458	0.540	47	
147	50	2.85	0.267	0.377	0.457	0.457	0.539	67	
148	50	2.85	0.272	0.369	0.459	0.459	0.542	35	
149	50	2.85	0.321	0.460	0.372	0.460	0.543	51	
150	50	2.85	0.284	0.458	0.409	0.458	0.540	58	
151	53	2.85	0.254	0.265	0.352	0.352	0.415	64	
152	53	2.85	0.231	0.324	0.337	0.337	0.398	29	
153	53	2.85	0.211	0.254	0.348	0.348	0.411	31	
154	53	2.85	0.213	0.246	0.345	0.345	0.407	52	
155	53	2.85	0.239	0.355	0.311	0.355	0.419	37	
156	53	2.85	0.350	0.294	0.243	0.350	0.413	55	
157	53	2.85	0.113	0.268	0.343	0.343	0.405	42	
158	53	2.85	0.191	0.279	0.347	0.347	0.409	61	
159	53	2.85	0.154	0.248	0.349	0.349	0.412	37	
160	53	2.85	0.214	0.261	0.351	0.351	0.414	47	
161	56	2.85	0.128	0.241	0.224	0.241	0.284	64	
162	56	2.85	0.162	0.234	0.180	0.234	0.276	38	
163	56	2.85	0.111	0.123	0.229	0.229	0.270	32	
164	56	2.85	0.121	0.237	0.126	0.237	0.280	45	
165	56	2.85	0.143	0.211	0.240	0.240	0.283	41	
166	56	2.85	0.168	0.136	0.231	0.231	0.273	53	
167	56	2.85	0.128	0.192	0.243	0.243	0.287	55	
168	56	2.85	0.116	0.163	0.238	0.238	0.281	41	
169	56	2.85	0.151	0.189	0.236	0.236	0.278	57	
170	56	2.85	0.134	0.174	0.242	0.242	0.286	37	
171	60	2.85	0.098	0.121	0.190	0.190	0.224	61	
172	60	2.85	0.104	0.188	0.129	0.188	0.222	55	
173	60	2.85	0.111	0.116	0.192	0.192	0.227	49	
174	60	2.85	0.114	0.189	0.148	0.189	0.223	63	
175	60	2.85	0.105	0.188	0.131	0.188	0.222	31	
176	60	2.85	0.133	0.190	0.122	0.190	0.224	21	
177	60	2.85	0.074	0.136	0.193	0.193	0.228	23	
178	60	2.85	0.094	0.191	0.125	0.191	0.225	45	
179	60	2.85	0.081	0.116	0.185	0.185	0.218	51	
180	60	2.85	0.093	0.118	0.195	0.195	0.230	64	
181	65	2.85	0.082	0.830	0.097	0.097	0.114	55	
182	65	2.85	0.064	0.073	0.091	0.091	0.107	51	
183	65	2.85	0.056	0.095	0.063	0.095	0.112	37	
184	65	2.85	0.063	0.081	0.099	0.099	0.117	54	
185	65	2.85	0.082	0.081	0.094	0.094	0.111	29	
186	65	2.85	0.064	0.071	0.096	0.096	0.113	21	
187	65	2.85	0.056	0.097	0.063	0.097	0.114	35	
188	65	2.85	0.072	0.081	0.096	0.096	0.113	17	

Measurement results of pattern IV(5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	65	2.85	0.048	0.071	0.095	0.095	0.112	21	pattern IV
190	65	2.85	0.049	0.071	0.090	0.090	0.106	47	
191	68	2.85	0.046	0.075	0.063	0.075	0.089	55	
192	68	2.85	0.042	0.044	0.073	0.073	0.086	51	
193	68	2.85	0.046	0.063	0.077	0.077	0.091	41	
194	68	2.85	0.056	0.078	0.063	0.078	0.092	3.4	
195	68	2.85	0.043	0.061	0.079	0.079	0.093	29	
196	68	2.85	0.042	0.051	0.080	0.080	0.094	21	
197	68	2.85	0.064	0.071	0.075	0.075	0.089	35	
198	68	2.85	0.036	0.076	0.063	0.076	0.090	17	
199	68	2.85	0.032	0.041	0.077	0.077	0.091	11	
200	68	2.85	0.048	0.071	0.078	0.078	0.092	24	
201	70	2.85	0.039	0.031	0.055	0.055	0.065	3.5	
202	70	2.85	0.026	0.054	0.033	0.054	0.064	11	
203	70	2.85	0.031	0.058	0.038	0.058	0.068	5.3	
204	70	2.85	0.033	0.041	0.055	0.055	0.065	28	
205	70	2.85	0.028	0.032	0.057	0.057	0.067	2.9	
206	70	2.85	0.029	0.060	0.041	0.060	0.071	21	
207	70	2.85	0.041	0.036	0.059	0.059	0.070	6.5	
208	70	2.85	0.035	0.038	0.055	0.055	0.065	17	
209	70	2.85	0.037	0.058	0.039	0.058	0.068	41	
210	70	2.85	0.053	0.039	0.033	0.053	0.063	7.0	

Measurement results of pattern V (1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	13	3.0	1.13	2.41	2.16	2.41	2.85	>100	pattern V
2	13	3.0	1.52	2.34	2.45	2.45	2.90	84	
3	13	3.0	1.79	2.22	2.43	2.43	2.87	>100	
4	13	3.0	1.62	2.31	2.44	2.44	2.88	57	
5	13	3.0	1.88	1.69	2.46	2.46	2.91	73	
6	13	3.0	2.40	1.64	1.76	2.40	2.84	>100	
7	13	3.0	1.66	2.02	2.41	2.41	2.85	>100	
8	13	3.0	2.06	2.42	2.27	2.42	2.86	51	
9	13	3.0	1.48	1.79	2.45	2.45	2.90	58	
10	13	3.0	1.38	2.44	2.23	2.44	2.88	>100	
11	16	3.0	1.72	1.96	2.15	2.15	2.54	79	
12	16	3.0	1.67	1.74	2.14	2.14	2.53	81	
13	16	3.0	1.54	2.12	1.75	2.12	2.51	>100	
14	16	3.0	1.73	1.91	2.11	2.11	2.49	75	
15	16	3.0	0.775	2.13	0.902	2.13	2.52	57	
16	16	3.0	1.28	1.65	2.12	2.12	2.51	47	
17	16	3.0	1.35	1.44	2.14	2.14	2.53	>100	
18	16	3.0	1.82	2.11	1.61	2.11	2.49	85	
19	16	3.0	1.53	1.78	2.10	2.10	2.48	77	
20	16	3.0	1.76	1.95	2.12	2.12	2.51	>100	
21	20	3.0	0.927	0.844	1.46	1.46	1.73	67	
22	20	3.0	1.31	1.20	1.43	1.43	1.69	71	
23	20	3.0	1.05	1.41	1.23	1.41	1.67	45	
24	20	3.0	0.95	1.23	1.48	1.48	1.75	>100	
25	20	3.0	0.566	1.49	1.08	1.49	1.76	73	
26	20	3.0	1.11	1.50	1.32	1.50	1.77	55	
27	20	3.0	1.22	1.15	1.44	1.44	1.70	41	
28	20	3.0	1.16	1.27	1.42	1.42	1.68	57	
29	20	3.0	1.23	1.48	1.33	1.48	1.75	>100	
30	20	3.0	1.07	1.31	1.47	1.47	1.74	61	
31	26	3.0	1.25	1.31	1.05	1.31	1.55	55	
32	26	3.0	0.962	1.33	1.23	1.33	1.57	49	
33	26	3.0	0.827	1.35	0.992	1.35	1.60	73	
34	26	3.0	1.17	1.32	1.17	1.32	1.56	51	
35	26	3.0	1.01	1.30	1.22	1.30	1.54	71	
36	26	3.0	1.21	0.978	1.31	1.31	1.55	83	
37	26	3.0	0.964	1.03	1.34	1.34	1.58	37	
38	26	3.0	0.691	1.35	1.11	1.35	1.60	61	
39	26	3.0	1.12	0.873	1.33	1.33	1.57	64	
40	26	3.0	0.728	1.34	1.19	1.34	1.58	75	
41	26	3.0	1.09	0.955	1.34	1.34	1.58	51	
42	26	3.0	0.854	1.25	1.35	1.35	1.60	47	
43	32	3.0	1.07	0.916	1.25	1.25	1.48	>100	
44	32	3.0	0.612	1.26	0.664	1.26	1.49	49	
45	32	3.0	1.06	1.11	1.27	1.27	1.50	67	
46	32	3.0	0.421	1.28	0.853	1.28	1.51	72	
47	32	3.0	1.24	0.782	1.00	1.24	1.47	51	

Measurement results of pattern V (2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	32	3.0	1.17	0.929	1.25	1.25	1.48	53	pattern V
49	32	3.0	0.767	1.18	1.23	1.23	1.45	64	
50	32	3.0	0.923	1.12	1.24	1.24	1.47	37	
51	32	3.0	0.475	1.22	0.824	1.22	1.44	57	
52	32	3.0	0.824	1.07	1.26	1.26	1.49	85	
53	32	3.0	0.764	0.961	1.25	1.25	1.48	67	
54	32	3.0	1.02	1.26	0.846	1.26	1.49	75	
55	32	3.0	0.934	1.08	1.27	1.27	1.50	61	
56	32	3.0	0.602	0.787	1.28	1.28	1.51	58	
57	35	3.0	0.543	1.18	0.882	1.18	1.39	66	
58	35	3.0	0.846	1.17	0.956	1.17	1.38	79	
59	35	3.0	0.762	1.15	0.878	1.15	1.36	81	
60	35	3.0	0.713	1.14	0.913	1.14	1.35	73	
61	35	3.0	0.891	1.02	1.19	1.19	1.41	37	
62	35	3.0	0.761	0.926	1.18	1.18	1.39	57	
63	35	3.0	0.982	0.873	1.20	1.20	1.42	77	
64	35	3.0	0.564	1.01	1.19	1.19	1.41	61	
65	35	3.0	0.671	1.16	0.867	1.16	1.37	85	
66	35	3.0	0.513	1.17	0.792	1.17	1.38	77	
67	35	3.0	0.764	0.973	1.19	1.19	1.41	64	
68	35	3.0	0.832	1.18	1.05	1.18	1.39	67	
69	35	3.0	0.912	0.813	1.20	1.20	1.42	71	
70	35	3.0	0.813	0.725	1.19	1.19	1.41	45	
71	38	3.0	0.481	1.04	0.887	1.04	1.23	81	
72	38	3.0	0.684	0.856	1.03	1.03	1.22	73	
73	38	3.0	0.231	0.92	1.05	1.05	1.24	65	
74	38	3.0	0.713	1.06	0.669	1.06	1.25	41	
75	38	3.0	0.854	0.931	1.07	1.07	1.26	57	
76	38	3.0	0.912	0.684	1.04	1.04	1.23	57	
77	38	3.0	0.823	0.793	1.06	1.06	1.25	>100	
78	38	3.0	0.645	0.927	1.05	1.05	1.24	55	
79	38	3.0	0.725	1.07	0.864	1.07	1.26	49	
80	38	3.0	0.913	1.08	0.72	1.08	1.28	73	
81	38	3.0	0.754	0.979	1.07	1.07	1.26	31	
82	38	3.0	0.388	1.04	0.882	1.04	1.23	71	
83	38	3.0	0.352	0.581	1.06	1.06	1.25	83	
84	38	3.0	0.573	0.886	1.05	1.05	1.24	75	
85	40	3.0	0.548	1.02	0.693	1.02	1.21	61	
86	40	3.0	1.01	0.618	0.953	1.01	1.19	64	
87	40	3.0	0.671	0.798	1.00	1.00	1.18	47	
88	40	3.0	0.913	0.683	0.990	0.990	1.17	51	
89	40	3.0	0.654	0.748	1.03	1.03	1.22	47	
90	40	3.0	0.572	0.688	1.02	1.02	1.21	34	
91	40	3.0	0.645	0.980	0.878	0.980	1.16	65	
92	40	3.0	0.756	1.00	0.922	1.00	1.18	71	
93	40	3.0	0.729	0.932	1.01	1.01	1.19	37	
94	40	3.0	0.823	0.791	1.02	1.02	1.21	69	

Measurement results of pattern V (3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	40	3.0	0.915	1.02	0.762	1.02	1.21	43	pattern V
96	40	3.0	0.438	0.848	1.01	1.01	1.19	67	
97	40	3.0	0.567	0.769	1.00	1.00	1.18	69	
98	45	3.0	0.538	0.623	0.928	0.928	1.10	57	
99	45	3.0	0.531	0.789	0.940	0.940	1.11	85	
100	45	3.0	0.843	0.721	0.930	0.930	1.10	67	
101	45	3.0	0.584	0.933	0.662	0.933	1.10	45	
102	45	3.0	0.612	0.934	0.729	0.934	1.10	51	
103	45	3.0	0.567	0.765	0.937	0.937	1.11	47	
104	45	3.0	0.468	0.682	0.928	0.928	1.10	66	
105	45	3.0	0.612	0.848	0.935	0.935	1.11	53	
106	45	3.0	0.681	0.811	0.936	0.936	1.11	61	
107	45	3.0	0.594	0.929	0.724	0.929	1.10	73	
108	48	3.0	0.428	0.738	0.826	0.826	0.976	37	
109	48	3.0	0.632	0.833	0.729	0.833	0.985	>100	
110	48	3.0	0.613	0.693	0.831	0.831	0.982	66	
111	48	3.0	0.548	0.723	0.826	0.826	0.976	61	
112	48	3.0	0.830	0.391	0.564	0.830	0.981	45	
113	48	3.0	0.286	0.824	0.517	0.824	0.974	77	
114	48	3.0	0.682	0.767	0.828	0.828	0.979	64	
115	48	3.0	0.384	0.561	0.829	0.829	0.980	67	
116	48	3.0	0.396	0.628	0.833	0.833	0.985	71	
117	48	3.0	0.438	0.639	0.832	0.832	0.983	45	
118	50	3.0	0.553	0.787	0.681	0.787	0.930	53	
119	50	3.0	0.492	0.790	0.575	0.790	0.934	73	
120	50	3.0	0.414	0.788	0.438	0.788	0.931	55	
121	50	3.0	0.387	0.482	0.785	0.785	0.928	41	
122	50	3.0	0.623	0.784	0.747	0.784	0.927	57	
123	50	3.0	0.536	0.787	0.611	0.787	0.930	37	
124	50	3.0	0.498	0.527	0.791	0.791	0.935	61	
125	50	3.0	0.523	0.593	0.792	0.792	0.936	55	
126	50	3.0	0.384	0.597	0.786	0.786	0.929	49	
127	50	3.0	0.379	0.611	0.788	0.788	0.931	73	
128	58	3.0	0.429	0.624	0.381	0.624	0.738	71	
129	58	3.0	0.234	0.538	0.630	0.630	0.745	47	
130	58	3.0	0.349	0.516	0.620	0.620	0.733	55	
131	58	3.0	0.491	0.626	0.537	0.626	0.740	37	
132	58	3.0	0.431	0.437	0.621	0.621	0.734	61	
133	58	3.0	0.393	0.631	0.588	0.631	0.746	64	
134	58	3.0	0.318	0.482	0.627	0.627	0.741	55	
135	58	3.0	0.532	0.491	0.625	0.625	0.739	51	
136	58	3.0	0.402	0.598	0.628	0.628	0.742	58	
137	58	3.0	0.318	0.432	0.623	0.623	0.736	54	
138	63	3.0	0.384	0.571	0.409	0.571	0.675	85	
139	63	3.0	0.404	0.546	0.513	0.546	0.645	47	
140	63	3.0	0.371	0.564	0.488	0.564	0.667	51	
141	63	3.0	0.264	0.418	0.558	0.558	0.660	41	

Measurement results of pattern V (4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	63	3.0	0.287	0.461	0.552	0.552	0.652	39	pattern V
143	63	3.0	0.239	0.487	0.549	0.549	0.649	45	
144	63	3.0	0.386	0.312	0.570	0.570	0.674	51	
145	63	3.0	0.338	0.562	0.412	0.562	0.664	57	
146	63	3.0	0.387	0.566	0.492	0.566	0.669	45	
147	63	3.0	0.376	0.421	0.548	0.548	0.648	37	
148	68	3.0	0.252	0.237	0.319	0.319	0.377	75	
149	68	3.0	0.231	0.169	0.302	0.302	0.357	51	
150	68	3.0	0.194	0.211	0.318	0.318	0.376	58	
151	68	3.0	0.203	0.302	0.316	0.316	0.374	57	
152	68	3.0	0.183	0.308	0.264	0.308	0.364	41	
153	68	3.0	0.167	0.267	0.304	0.304	0.359	55	
154	68	3.0	0.307	0.151	0.198	0.307	0.363	47	
155	68	3.0	0.098	0.152	0.317	0.317	0.375	37	
156	68	3.0	0.162	0.251	0.314	0.314	0.371	51	
157	68	3.0	0.187	0.315	0.287	0.315	0.372	47	
158	70	3.0	0.116	0.167	0.254	0.254	0.300	61	
159	70	3.0	0.187	0.155	0.243	0.243	0.287	43	
160	70	3.0	0.167	0.189	0.256	0.256	0.303	57	
161	70	3.0	0.202	0.164	0.251	0.251	0.297	64	
162	70	3.0	0.162	0.242	0.178	0.242	0.286	64	
163	70	3.0	0.187	0.212	0.250	0.250	0.296	71	
164	70	3.0	0.202	0.233	0.246	0.246	0.291	45	
165	70	3.0	0.168	0.208	0.248	0.248	0.293	81	
166	70	3.0	0.139	0.193	0.253	0.253	0.299	23	
167	70	3.0	0.123	0.192	0.254	0.254	0.300	55	
168	74	3.0	0.065	0.176	0.159	0.176	0.208	41	
169	74	3.0	0.112	0.173	0.151	0.173	0.204	17	
170	74	3.0	0.178	0.128	0.134	0.178	0.210	57	
171	74	3.0	0.117	0.132	0.180	0.180	0.213	21	
172	74	3.0	0.098	0.157	0.179	0.179	0.212	35	
173	74	3.0	0.164	0.174	0.117	0.174	0.206	29	
174	74	3.0	0.134	0.142	0.182	0.182	0.215	73	
175	74	3.0	0.087	0.138	0.181	0.181	0.214	31	
176	74	3.0	0.144	0.179	0.162	0.179	0.212	41	
177	74	3.0	0.162	0.127	0.180	0.180	0.213	33	
178	76	3.0	0.110	0.105	0.124	0.124	0.147	25	
179	76	3.0	0.106	0.098	0.129	0.129	0.152	31	
180	76	3.0	0.082	0.118	0.130	0.130	0.154	44	
181	76	3.0	0.067	0.133	0.097	0.133	0.157	25	
182	76	3.0	0.091	0.103	0.127	0.127	0.150	51	
183	76	3.0	0.092	0.121	0.126	0.126	0.149	47	
184	76	3.0	0.079	0.132	0.113	0.132	0.156	54	
185	76	3.0	0.056	0.098	0.131	0.131	0.155	29	
186	76	3.0	0.067	0.080	0.128	0.128	0.151	18	
187	76	3.0	0.069	0.088	0.125	0.125	0.148	25	
188	78	3.0	0.061	0.094	0.077	0.094	0.111	21	

Measurement results of pattern V (5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	78	3.0	0.045	0.072	0.090	0.090	0.106	33	pattern V
190	78	3.0	0.052	0.076	0.098	0.098	0.116	25	
191	78	3.0	0.046	0.063	0.092	0.092	0.109	31	
192	78	3.0	0.053	0.076	0.097	0.097	0.115	44	
193	78	3.0	0.043	0.095	0.066	0.095	0.112	57	
194	78	3.0	0.058	0.099	0.069	0.099	0.117	5.1	
195	78	3.0	0.096	0.058	0.072	0.096	0.113	47	
196	78	3.0	0.039	0.093	0.053	0.093	0.110	54	
197	78	3.0	0.056	0.094	0.064	0.094	0.111	2.9	
198	80	3.0	0.029	0.034	0.051	0.051	0.060	32	
199	80	3.0	0.034	0.033	0.054	0.054	0.064	15	
200	80	3.0	0.031	0.038	0.055	0.055	0.065	5.3	
201	80	3.0	0.049	0.042	0.050	0.050	0.059	11	
202	80	3.0	0.045	0.037	0.053	0.053	0.063	8.2	
203	80	3.0	0.038	0.041	0.052	0.052	0.061	4.0	
204	80	3.0	0.028	0.055	0.029	0.055	0.065	23	
205	80	3.0	0.029	0.054	0.034	0.054	0.064	17	
206	80	3.0	0.031	0.038	0.051	0.051	0.060	5.7	
207	80	3.0	0.052	0.037	0.042	0.052	0.061	11	

Measurement results of pattern VI(1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	12	3.0	1.46	2.35	2.20	2.35	2.77	73	pattern VI
2	12	3.0	1.37	2.11	2.37	2.37	2.80	>100	
3	12	3.0	1.64	2.21	2.38	2.38	2.81	>100	
4	12	3.0	1.52	2.36	2.16	2.36	2.78	32	
5	12	3.0	0.966	1.61	2.37	2.37	2.80	>100	
6	12	3.0	1.82	2.16	2.38	2.38	2.81	77	
7	12	3.0	1.73	2.38	2.12	2.38	2.81	75	
8	12	3.0	2.39	1.38	1.57	2.39	2.82	51	
9	12	3.0	1.66	1.59	2.39	2.39	2.82	>100	
10	12	3.0	1.55	1.76	2.40	2.40	2.83	66	
11	15	3.0	1.61	2.14	1.35	2.14	2.53	79	
12	15	3.0	1.82	2.15	2.07	2.15	2.54	>100	
13	15	3.0	1.78	1.93	2.16	2.16	2.55	87	
14	15	3.0	1.19	1.77	2.15	2.15	2.54	>100	
15	15	3.0	1.88	2.17	1.92	2.17	2.56	85	
16	15	3.0	1.63	2.14	1.48	2.14	2.53	47	
17	15	3.0	1.25	1.54	2.15	2.15	2.54	61	
18	15	3.0	1.37	1.72	2.16	2.16	2.55	85	
19	15	3.0	2.18	1.26	1.76	2.18	2.57	>100	
20	15	3.0	0.757	2.14	0.920	2.14	2.53	64	
21	20	3.0	1.22	1.74	1.51	1.74	2.05	67	
22	20	3.0	1.05	1.34	1.73	1.73	2.04	71	
23	20	3.0	1.37	1.48	1.76	1.76	2.08	45	
24	20	3.0	1.33	1.45	1.78	1.78	2.10	77	
25	20	3.0	1.26	1.56	1.75	1.75	2.07	73	
26	20	3.0	1.19	1.76	1.43	1.76	2.08	>100	
27	20	3.0	1.33	1.74	1.55	1.74	2.05	41	
28	20	3.0	1.44	1.12	1.78	1.78	2.10	37	
29	20	3.0	1.32	1.54	1.76	1.76	2.08	57	
30	20	3.0	1.29	1.38	1.75	1.75	2.07	51	
31	22	3.0	1.14	1.26	1.41	1.41	1.66	85	
32	22	3.0	1.05	1.22	1.42	1.42	1.68	49	
33	22	3.0	0.975	1.43	1.27	1.43	1.69	73	
34	22	3.0	0.966	1.05	1.40	1.40	1.65	61	
35	22	3.0	1.11	1.44	1.26	1.44	1.70	71	
36	22	3.0	1.09	1.24	1.41	1.41	1.66	85	
37	22	3.0	0.912	1.12	1.42	1.42	1.68	75	
38	22	3.0	0.783	1.43	1.15	1.43	1.69	61	
39	22	3.0	0.885	1.07	1.40	1.40	1.65	64	
40	22	3.0	0.923	1.16	1.44	1.44	1.70	55	
41	28	3.0	0.795	1.31	1.13	1.31	1.55	51	
42	28	3.0	0.972	1.30	0.988	1.30	1.53	47	
43	28	3.0	1.15	1.01	1.35	1.35	1.59	54	
44	28	3.0	0.911	1.17	1.32	1.32	1.56	>100	
45	28	3.0	0.602	1.34	0.945	1.34	1.58	73	
46	28	3.0	0.639	1.33	1.07	1.33	1.57	59	
47	28	3.0	0.867	1.12	1.32	1.32	1.56	>100	

Measurement results of pattern VI(2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	28	3.0	0.822	1.21	1.34	1.34	1.58	61	pattern VI
49	28	3.0	0.954	1.10	1.33	1.33	1.57	64	
50	28	3.0	0.799	1.31	0.955	1.31	1.55	37	
51	30	3.0	0.767	0.987	1.26	1.26	1.49	57	
52	30	3.0	0.943	1.11	1.25	1.25	1.48	85	
53	30	3.0	0.863	0.841	1.28	1.28	1.51	67	
54	30	3.0	0.897	0.925	1.27	1.27	1.50	75	
55	30	3.0	0.765	1.15	1.26	1.26	1.49	61	
56	30	3.0	0.574	1.02	1.28	1.28	1.51	58	
57	30	3.0	0.548	1.26	0.564	1.26	1.49	66	
58	30	3.0	0.845	1.17	1.25	1.25	1.48	79	
59	30	3.0	1.26	0.782	1.04	1.26	1.49	81	
60	30	3.0	0.923	1.24	1.11	1.24	1.46	47	
61	32	3.0	0.452	1.21	0.527	1.21	1.43	37	
62	32	3.0	1.06	0.883	1.22	1.22	1.44	57	
63	32	3.0	1.10	0.945	1.23	1.23	1.45	77	
64	32	3.0	0.845	1.08	1.20	1.20	1.42	61	
65	32	3.0	0.726	1.02	1.19	1.19	1.40	85	
66	32	3.0	0.813	1.21	0.981	1.21	1.43	>100	
67	32	3.0	0.482	1.22	0.867	1.22	1.44	64	
68	32	3.0	0.948	1.11	1.23	1.23	1.45	67	
69	32	3.0	0.879	1.04	1.19	1.19	1.40	61	
70	32	3.0	0.746	1.20	0.925	1.20	1.42	45	
71	34	3.0	0.898	0.964	1.17	1.17	1.38	81	
72	34	3.0	0.679	0.872	1.15	1.15	1.36	73	
73	34	3.0	0.673	0.971	1.16	1.16	1.37	65	
74	34	3.0	0.748	1.03	1.18	1.18	1.39	71	
75	34	3.0	0.764	1.15	0.845	1.15	1.36	57	
76	34	3.0	0.813	0.976	1.17	1.17	1.38	57	
77	34	3.0	0.946	1.18	1.03	1.18	1.39	61	
78	34	3.0	0.898	1.16	0.772	1.16	1.37	55	
79	34	3.0	0.997	1.04	1.15	1.15	1.36	49	
80	34	3.0	0.715	1.17	0.923	1.17	1.38	>100	
81	36	3.0	0.943	0.715	1.05	1.05	1.24	31	
82	36	3.0	0.486	1.04	0.564	1.04	1.23	71	
83	36	3.0	0.476	1.03	0.608	1.03	1.22	83	
84	36	3.0	0.588	0.678	1.06	1.06	1.25	75	
85	36	3.0	0.413	0.892	1.05	1.05	1.24	51	
86	36	3.0	0.689	1.04	0.827	1.04	1.23	64	
87	36	3.0	1.03	0.782	0.931	1.03	1.22	71	
88	36	3.0	0.856	0.923	1.06	1.06	1.25	51	
89	36	3.0	0.751	0.848	1.05	1.05	1.24	47	
90	36	3.0	0.746	0.952	1.03	1.03	1.22	34	
91	38	3.0	0.688	0.735	1.00	1.00	1.18	65	
92	38	3.0	0.581	0.815	1.01	1.01	1.19	71	
93	38	3.0	0.754	1.02	0.951	1.02	1.20	57	
94	38	3.0	0.723	0.832	0.990	0.990	1.17	38	

Measurement results of pattern VI(3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	38	3.0	0.913	1.00	0.752	1.00	1.18	53	pattern VI
96	38	3.0	0.758	0.852	1.01	1.01	1.19	57	
97	38	3.0	0.654	0.891	1.02	1.02	1.20	47	
98	38	3.0	0.585	1.03	0.739	1.03	1.22	61	
99	38	3.0	0.551	0.980	0.822	0.980	1.16	45	
100	38	3.0	0.613	0.787	0.990	0.990	1.17	67	
101	40	3.0	0.723	0.915	0.940	0.940	1.11	45	
102	40	3.0	0.684	0.832	0.930	0.930	1.10	51	
103	40	3.0	0.911	0.714	0.920	0.920	1.09	47	
104	40	3.0	0.648	0.950	0.814	0.950	1.12	66	
105	40	3.0	0.526	0.833	0.960	0.960	1.13	53	
106	40	3.0	0.468	0.899	0.940	0.940	1.11	53	
107	40	3.0	0.681	0.930	0.768	0.930	1.10	73	
108	40	3.0	0.385	0.920	0.771	0.920	1.09	37	
109	40	3.0	0.654	0.782	0.950	0.950	1.12	57	
110	40	3.0	0.960	0.655	0.823	0.960	1.13	66	
111	43	3.0	0.455	0.891	0.981	0.981	1.16	61	
112	43	3.0	0.423	0.564	0.980	0.980	1.16	45	
113	43	3.0	0.391	0.654	0.982	0.982	1.16	77	
114	43	3.0	0.627	0.756	0.983	0.983	1.16	64	
115	43	3.0	0.678	0.979	0.762	0.979	1.16	67	
116	43	3.0	0.538	0.976	0.772	0.976	1.15	71	
117	43	3.0	0.756	0.551	0.977	0.977	1.15	45	
118	43	3.0	0.814	0.654	0.983	0.983	1.16	53	
119	43	3.0	0.557	0.981	0.907	0.981	1.16	53	
120	43	3.0	0.648	0.892	0.980	0.980	1.16	55	
121	45	3.0	0.722	0.811	0.834	0.834	0.984	>100	
122	45	3.0	0.332	0.828	0.544	0.828	0.977	57	
123	45	3.0	0.465	0.615	0.829	0.829	0.978	37	
124	45	3.0	0.437	0.723	0.831	0.831	0.981	61	
125	45	3.0	0.631	0.837	0.515	0.837	0.988	55	
126	45	3.0	0.512	0.589	0.835	0.835	0.985	49	
127	45	3.0	0.229	0.834	0.511	0.834	0.984	41	
128	45	3.0	0.564	0.624	0.829	0.829	0.978	71	
129	45	3.0	0.411	0.583	0.830	0.830	0.979	47	
130	45	3.0	0.513	0.672	0.832	0.832	0.982	55	
131	48	3.0	0.462	0.729	0.638	0.729	0.860	75	
132	48	3.0	0.388	0.565	0.728	0.728	0.859	61	
133	48	3.0	0.412	0.731	0.443	0.731	0.863	64	
134	48	3.0	0.310	0.730	0.594	0.730	0.861	55	
135	48	3.0	0.305	0.484	0.727	0.727	0.858	51	
136	48	3.0	0.413	0.563	0.725	0.725	0.856	58	
137	48	3.0	0.482	0.734	0.629	0.734	0.866	54	
138	48	3.0	0.394	0.521	0.730	0.730	0.861	37	
139	48	3.0	0.521	0.581	0.733	0.733	0.865	43	
140	48	3.0	0.482	0.729	0.568	0.729	0.860	55	
141	52	3.0	0.675	0.512	0.432	0.675	0.797	67	

Measurement results of pattern VI(4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	52	3.0	0.364	0.451	0.670	0.670	0.791	63	pattern VI
143	52	3.0	0.294	0.354	0.672	0.672	0.793	44	
144	52	3.0	0.288	0.673	0.381	0.673	0.794	51	
145	52	3.0	0.264	0.365	0.677	0.677	0.799	57	
146	52	3.0	0.238	0.679	0.591	0.679	0.801	55	
147	52	3.0	0.315	0.484	0.675	0.675	0.797	67	
148	52	3.0	0.385	0.678	0.527	0.678	0.800	45	
149	52	3.0	0.439	0.676	0.613	0.676	0.798	51	
150	52	3.0	0.339	0.674	0.631	0.674	0.795	58	
151	55	3.0	0.365	0.395	0.635	0.635	0.749	66	
152	55	3.0	0.358	0.452	0.636	0.636	0.750	49	
153	55	3.0	0.294	0.433	0.634	0.634	0.748	51	
154	55	3.0	0.513	0.582	0.638	0.638	0.753	37	
155	55	3.0	0.463	0.513	0.631	0.631	0.745	37	
156	55	3.0	0.451	0.630	0.384	0.630	0.743	45	
157	55	3.0	0.384	0.584	0.629	0.629	0.742	47	
158	55	3.0	0.377	0.637	0.612	0.637	0.752	61	
159	55	3.0	0.348	0.635	0.429	0.635	0.749	55	
160	55	3.0	0.284	0.365	0.632	0.632	0.746	73	
161	58	3.0	0.148	0.448	0.401	0.448	0.529	64	
162	58	3.0	0.248	0.361	0.440	0.440	0.519	67	
163	58	3.0	0.264	0.382	0.441	0.441	0.520	51	
164	58	3.0	0.442	0.413	0.307	0.442	0.522	45	
165	58	3.0	0.221	0.446	0.417	0.446	0.526	51	
166	58	3.0	0.184	0.445	0.329	0.445	0.525	43	
167	58	3.0	0.268	0.450	0.335	0.450	0.531	55	
168	58	3.0	0.246	0.318	0.447	0.447	0.527	41	
169	58	3.0	0.149	0.249	0.449	0.449	0.530	57	
170	58	3.0	0.193	0.448	0.294	0.448	0.529	57	
171	60	3.0	0.234	0.213	0.432	0.432	0.510	61	
172	60	3.0	0.278	0.346	0.430	0.430	0.507	55	
173	60	3.0	0.340	0.348	0.428	0.428	0.505	49	
174	60	3.0	0.236	0.361	0.435	0.435	0.513	53	
175	60	3.0	0.245	0.329	0.433	0.433	0.511	61	
176	60	3.0	0.281	0.337	0.427	0.427	0.504	31	
177	60	3.0	0.198	0.321	0.431	0.431	0.509	43	
178	60	3.0	0.264	0.429	0.307	0.429	0.506	35	
179	60	3.0	0.212	0.221	0.432	0.432	0.510	61	
180	60	3.0	0.144	0.431	0.325	0.431	0.509	44	
181	63	3.0	0.213	0.403	0.293	0.403	0.476	85	
182	63	3.0	0.189	0.400	0.317	0.400	0.472	51	
183	63	3.0	0.405	0.123	0.264	0.405	0.478	47	
184	63	3.0	0.188	0.296	0.406	0.406	0.479	54	
185	63	3.0	0.204	0.284	0.403	0.403	0.476	37	
186	63	3.0	0.165	0.401	0.275	0.401	0.473	47	
187	63	3.0	0.181	0.264	0.402	0.402	0.474	51	
188	63	3.0	0.253	0.349	0.404	0.404	0.477	37	

Measurement results of pattern VI(5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	63	3.0	0.135	0.400	0.263	0.400	0.472	33	pattern VI
190	63	3.0	0.146	0.259	0.405	0.405	0.478	35	
191	65	3.0	0.176	0.272	0.367	0.367	0.433	47	
192	65	3.0	0.164	0.264	0.356	0.356	0.420	57	
193	65	3.0	0.152	0.248	0.347	0.347	0.409	55	
194	65	3.0	0.177	0.358	0.269	0.358	0.422	27	
195	65	3.0	0.151	0.361	0.182	0.361	0.426	65	
196	65	3.0	0.212	0.213	0.349	0.349	0.412	51	
197	65	3.0	0.206	0.350	0.211	0.350	0.413	58	
198	65	3.0	0.288	0.295	0.360	0.360	0.425	66	
199	65	3.0	0.197	0.254	0.354	0.354	0.418	37	
200	65	3.0	0.147	0.264	0.362	0.362	0.427	51	
201	68	3.0	0.168	0.295	0.231	0.295	0.348	45	
202	68	3.0	0.165	0.284	0.29	0.290	0.342	37	
203	68	3.0	0.095	0.164	0.297	0.297	0.350	57	
204	68	3.0	0.111	0.296	0.197	0.296	0.349	28	
205	68	3.0	0.123	0.188	0.295	0.295	0.348	61	
206	68	3.0	0.164	0.294	0.135	0.294	0.347	37	
207	68	3.0	0.153	0.169	0.293	0.293	0.346	47	
208	68	3.0	0.175	0.291	0.234	0.291	0.343	64	
209	68	3.0	0.166	0.231	0.298	0.298	0.352	67	
210	68	3.0	0.148	0.243	0.295	0.295	0.348	31	
211	70	3.0	0.131	0.211	0.165	0.211	0.249	45	
212	70	3.0	0.210	0.193	0.152	0.210	0.248	21	
213	70	3.0	0.154	0.208	0.138	0.208	0.245	73	
214	70	3.0	0.203	0.213	0.164	0.213	0.251	55	
215	70	3.0	0.137	0.215	0.192	0.215	0.254	41	
216	70	3.0	0.152	0.182	0.214	0.214	0.253	57	
217	70	3.0	0.143	0.167	0.211	0.211	0.249	27	
218	70	3.0	0.115	0.156	0.212	0.212	0.250	61	
219	70	3.0	0.181	0.209	0.157	0.209	0.247	55	
220	70	3.0	0.131	0.123	0.214	0.214	0.253	49	
221	72	3.0	0.118	0.105	0.145	0.145	0.171	23	
222	72	3.0	0.132	0.084	0.144	0.144	0.170	41	
223	72	3.0	0.097	0.094	0.142	0.142	0.168	73	
224	72	3.0	0.075	0.141	0.118	0.141	0.166	53	
225	72	3.0	0.083	0.148	0.131	0.148	0.175	25	
226	72	3.0	0.102	0.081	0.140	0.140	0.165	61	
227	72	3.0	0.098	0.126	0.150	0.150	0.177	64	
228	72	3.0	0.109	0.124	0.143	0.143	0.169	55	
229	72	3.0	0.076	0.147	0.097	0.147	0.173	51	
230	72	3.0	0.092	0.146	0.127	0.146	0.172	47	
231	74	3.0	0.068	0.098	0.087	0.098	0.116	54	
232	74	3.0	0.072	0.082	0.092	0.092	0.109	35	
233	74	3.0	0.064	0.080	0.094	0.094	0.111	41	
234	74	3.0	0.051	0.077	0.095	0.095	0.112	37	
235	74	3.0	0.099	0.065	0.081	0.099	0.117	41	

Measurement results of pattern VI(6)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
236	74	3.0	0.048	0.093	0.077	0.093	0.110	44	pattern VI
237	74	3.0	0.044	0.520	0.098	0.098	0.116	25	
238	74	3.0	0.061	0.096	0.067	0.096	0.113	11	
239	74	3.0	0.057	0.097	0.064	0.097	0.114	17	
240	74	3.0	0.047	0.068	0.095	0.095	0.112	57	
241	77	3.0	0.031	0.034	0.051	0.051	0.060	15	
242	77	3.0	0.042	0.035	0.050	0.050	0.059	21	
243	77	3.0	0.028	0.054	0.038	0.054	0.064	17	
244	77	3.0	0.033	0.041	0.053	0.053	0.063	31	
245	77	3.0	0.031	0.044	0.052	0.052	0.061	5.1	
246	77	3.0	0.032	0.055	0.041	0.055	0.065	14	
247	77	3.0	0.029	0.051	0.038	0.051	0.060	16	
248	77	3.0	0.033	0.047	0.052	0.052	0.061	3.0	
249	77	3.0	0.031	0.042	0.053	0.053	0.063	11	
250	77	3.0	0.027	0.055	0.031	0.055	0.065	17	
251	80	3.0	0.029	0.022	0.031	0.031	0.037	20	
252	80	3.0	0.024	0.027	0.033	0.033	0.039	7.5	
253	80	3.0	0.031	0.035	0.036	0.036	0.042	13	
254	80	3.0	0.022	0.032	0.026	0.032	0.038	5.3	

Measurement results of pattern VII(1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	15	3.6	2.08	2.32	2.66	2.66	3.13	>100	pattern VII
2	15	3.6	1.02	2.00	2.65	2.65	3.12	85	
3	15	3.6	1.34	2.67	2.12	2.67	3.14	>100	
4	15	3.6	1.66	2.05	2.64	2.64	3.11	57	
5	15	3.6	1.51	2.63	2.23	2.63	3.10	85	
6	15	3.6	1.26	1.65	2.68	2.68	3.15	>100	
7	15	3.6	1.36	2.21	2.62	2.62	3.08	85	
8	15	3.6	2.15	2.34	2.66	2.66	3.13	51	
9	15	3.6	2.30	2.45	2.65	2.65	3.12	58	
10	15	3.6	2.23	2.67	2.45	2.67	3.14	66	
11	18	3.6	1.58	2.25	2.07	2.25	2.65	32	
12	18	3.6	1.35	2.24	2.12	2.24	2.64	>100	
13	18	3.6	1.62	2.03	2.27	2.27	2.67	79	
14	18	3.6	1.16	1.41	2.20	2.23	2.62	37	
15	18	3.6	1.57	2.26	1.90	2.26	2.66	57	
16	18	3.6	1.05	1.78	2.28	2.28	2.68	47	
17	18	3.6	1.34	1.67	2.22	2.22	2.61	>100	
18	18	3.6	1.51	1.48	2.25	2.25	2.65	37	
19	18	3.6	1.31	1.79	2.21	2.21	2.60	85	
20	18	3.6	1.28	1.51	224.00	2.24	2.64	64	
21	22	3.6	1.37	2.09	1.84	2.09	2.46	67	
22	22	3.6	1.08	1.82	2.10	2.10	2.47	71	
23	22	3.6	1.44	2.11	1.88	2.11	2.48	>100	
24	22	3.6	1.52	1.76	2.12	2.12	2.50	81	
25	22	3.6	1.27	1.63	2.08	2.08	2.45	66	
26	22	3.6	1.63	1.47	2.10	2.10	2.47	55	
27	22	3.6	1.33	1.82	2.09	2.09	2.46	71	
28	22	3.6	1.16	2.12	1.82	2.12	2.50	57	
29	22	3.6	1.29	1.57	2.13	2.13	2.51	57	
30	22	3.6	1.06	1.86	2.09	2.09	2.46	>100	
31	25	3.6	1.12	1.48	1.98	1.98	2.33	55	
32	25	3.6	1.49	1.69	1.97	1.97	2.32	49	
33	25	3.6	1.38	1.71	1.95	1.95	2.30	73	
34	25	3.6	1.57	1.99	1.72	1.99	2.34	71	
35	25	3.6	1.31	2.00	1.65	2.00	2.35	>100	
36	25	3.6	1.52	1.96	1.67	1.96	2.31	83	
37	25	3.6	1.25	1.43	1.98	1.98	2.33	75	
38	25	3.6	1.37	2.00	1.78	2.00	2.35	61	
39	25	3.6	1.29	1.74	1.99	1.99	2.34	64	
40	25	3.6	1.15	1.69	1.97	1.97	2.32	55	
41	28	3.6	1.57	1.74	1.32	1.74	2.05	51	
42	28	3.6	1.22	1.72	1.50	1.72	2.02	47	
43	28	3.6	1.08	1.74	1.48	1.74	2.05	>100	
44	28	3.6	1.27	1.41	1.73	1.73	2.04	59	
45	28	3.6	1.76	1.54	1.33	1.76	2.07	67	
46	28	3.6	0.981	1.35	1.72	1.72	2.02	79	
47	28	3.6	1.37	1.42	1.71	1.71	2.01	83	

Measurement results of pattern VII(2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	28	3.6	0.846	1.75	1.12	1.75	2.06	83	pattern VII
49	28	3.6	1.34	1.51	1.76	1.76	2.07	>100	
50	28	3.6	1.27	1.45	1.74	1.74	2.05	65	
51	30	3.6	0.926	1.65	1.28	1.65	1.94	57	
52	30	3.6	1.16	1.45	1.64	1.64	1.93	85	
53	30	3.6	1.31	1.66	1.07	1.66	1.95	>100	
54	30	3.6	0.945	1.42	1.67	1.67	1.97	75	
55	30	3.6	0.884	1.36	1.63	1.63	1.92	51	
56	30	3.6	0.928	1.23	1.65	1.65	1.94	58	
57	30	3.6	1.49	1.38	1.68	1.68	1.98	66	
58	30	3.6	1.22	1.63	1.37	1.63	1.92	37	
59	30	3.6	1.36	1.62	1.01	1.62	1.91	81	
60	30	3.6	1.18	1.37	1.65	1.65	1.94	78	
61	33	3.6	0.634	1.36	1.21	1.36	1.60	37	
62	33	3.6	0.661	1.37	0.813	1.37	1.61	57	
63	33	3.6	1.08	1.39	1.22	1.39	1.64	75	
64	33	3.6	1.06	1.16	1.35	1.35	1.59	61	
65	33	3.6	0.859	1.34	0.964	1.34	1.58	85	
66	33	3.6	1.02	1.24	1.38	1.38	1.62	77	
67	33	3.6	0.957	1.36	1.03	1.36	1.60	64	
68	33	3.6	0.784	1.16	1.39	1.39	1.64	77	
69	33	3.6	1.37	1.08	0.847	1.37	1.61	61	
70	33	3.6	0.897	1.36	1.28	1.36	1.60	73	
71	38	3.6	0.822	1.05	1.23	1.23	1.45	81	
72	38	3.6	0.971	0.758	1.25	1.25	1.47	73	
73	38	3.6	0.884	0.946	1.22	1.22	1.44	65	
74	38	3.6	0.756	0.858	1.21	1.21	1.42	41	
75	38	3.6	0.813	1.01	1.20	1.20	1.41	65	
76	38	3.6	0.756	1.24	0.992	1.24	1.46	77	
77	38	3.6	0.668	1.18	1.26	1.26	1.48	61	
78	38	3.6	0.646	1.24	1.15	1.24	1.46	55	
79	38	3.6	0.976	1.22	0.764	1.22	1.44	49	
80	38	3.6	0.582	1.22	0.752	1.22	1.44	73	
81	40	3.6	0.458	0.955	1.14	1.14	1.34	81	
82	40	3.6	0.816	0.913	1.11	1.11	1.31	71	
83	40	3.6	0.913	1.10	0.716	1.10	1.29	83	
84	40	3.6	0.745	0.848	1.12	1.12	1.32	75	
85	40	3.6	0.842	0.752	1.13	1.13	1.33	61	
86	40	3.6	0.768	1.15	0.823	1.15	1.35	>100	
87	40	3.6	0.723	1.12	0.948	1.12	1.32	55	
88	40	3.6	0.914	0.783	1.14	1.14	1.34	66	
89	40	3.6	0.831	0.956	1.10	1.10	1.29	47	
90	40	3.6	0.813	0.682	1.11	1.11	1.31	54	
91	43	3.6	0.756	0.914	1.06	1.06	1.25	59	
92	43	3.6	0.574	1.04	0.843	1.04	1.22	75	
93	43	3.6	0.684	0.856	1.05	1.05	1.24	67	
94	43	3.6	0.438	1.03	0.579	1.03	1.21	71	

Measurement results of pattern VII(3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	43	3.6	1.07	0.848	0.827	1.07	1.26	53	pattern VII
96	43	3.6	0.684	0.959	1.08	1.08	1.27	64	
97	43	3.6	0.522	0.881	1.06	1.06	1.25	57	
98	43	3.6	0.567	0.841	1.05	1.05	1.24	57	
99	43	3.6	0.547	1.04	0.648	1.04	1.22	85	
100	43	3.6	0.678	0.768	1.01	1.01	1.19	67	
101	45	3.6	0.823	0.946	1.28	1.28	1.51	75	
102	45	3.6	0.856	0.938	1.25	1.25	1.47	51	
103	45	3.6	0.911	1.29	1.08	1.29	1.52	58	
104	45	3.6	1.27	0.984	1.15	1.27	1.49	66	
105	45	3.6	0.746	1.29	1.06	1.29	1.52	79	
106	45	3.6	0.761	0.864	1.30	1.30	1.53	81	
107	45	3.6	0.524	1.26	0.925	1.26	1.48	75	
108	45	3.6	0.612	0.798	1.28	1.28	1.51	37	
109	45	3.6	0.579	1.13	1.27	1.27	1.49	57	
110	45	3.6	0.697	1.26	0.948	1.26	1.48	47	
111	48	3.6	1.02	0.781	0.882	1.02	1.20	>100	
112	48	3.6	0.522	0.762	1.03	1.03	1.21	85	
113	48	3.6	0.315	1.00	0.668	1.00	1.18	77	
114	48	3.6	0.488	0.694	1.01	1.01	1.19	64	
115	48	3.6	0.462	0.813	1.00	1.00	1.18	67	
116	48	3.6	0.423	1.02	0.841	1.02	1.20	71	
117	48	3.6	0.597	1.00	0.793	1.00	1.18	45	
118	48	3.6	0.684	0.765	1.03	1.03	1.21	81	
119	48	3.6	0.421	0.723	1.04	1.04	1.22	73	
120	48	3.6	0.576	0.618	1.01	1.01	1.19	55	
121	50	3.6	0.519	0.723	0.970	0.970	1.14	41	
122	50	3.6	0.537	0.950	0.824	0.950	1.12	71	
123	50	3.6	0.684	0.948	0.738	0.948	1.12	57	
124	50	3.6	0.491	0.953	0.749	0.953	1.12	61	
125	50	3.6	0.516	0.784	0.957	0.957	1.13	55	
126	50	3.6	0.338	0.956	0.724	0.956	1.13	49	
127	50	3.6	0.679	0.792	0.955	0.955	1.12	73	
128	50	3.6	0.676	0.845	0.954	0.954	1.12	65	
129	50	3.6	0.585	0.765	0.953	0.953	1.12	71	
130	50	3.6	0.576	0.951	0.792	0.951	1.12	83	
131	55	3.6	0.737	0.501	0.564	0.737	0.867	75	
132	55	3.6	0.549	0.730	0.681	0.731	0.860	61	
133	55	3.6	0.449	0.565	0.732	0.732	0.862	64	
134	55	3.6	0.418	0.481	0.740	0.741	0.872	55	
135	55	3.6	0.384	0.733	0.594	0.733	0.863	51	
136	55	3.6	0.573	0.537	0.738	0.738	0.869	47	
137	55	3.6	0.381	0.499	0.739	0.739	0.870	44	
138	55	3.6	0.451	0.618	0.741	0.714	0.840	37	
139	55	3.6	0.319	0.494	0.736	0.736	0.866	58	
140	55	3.6	0.611	0.735	0.682	0.735	0.865	51	
141	57	3.6	0.416	0.675	0.483	0.675	0.794	63	

Measurement results of pattern VII(4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	57	3.6	0.313	0.678	0.437	0.678	0.798	53	pattern VII
143	57	3.6	0.582	0.672	0.375	0.672	0.791	57	
144	57	3.6	0.302	0.671	0.432	0.671	0.790	47	
145	57	3.6	0.292	0.676	0.523	0.676	0.796	57	
146	57	3.6	0.423	0.525	0.673	0.673	0.792	35	
147	57	3.6	0.327	0.675	0.412	0.675	0.794	67	
148	57	3.6	0.387	0.498	0.677	0.677	0.797	45	
149	57	3.6	0.466	0.522	0.678	0.680	0.800	51	
150	57	3.6	0.397	0.482	0.674	0.674	0.793	58	
151	60	3.6	0.349	0.561	0.603	0.603	0.710	66	
152	60	3.6	0.413	0.606	0.528	0.606	0.713	29	
153	60	3.6	0.248	0.384	0.597	0.597	0.703	51	
154	60	3.6	0.601	0.365	0.448	0.601	0.707	67	
155	60	3.6	0.290	0.315	0.603	0.603	0.710	37	
156	60	3.6	0.276	0.412	0.598	0.598	0.704	57	
157	60	3.6	0.349	0.438	0.585	0.585	0.689	>100	
158	60	3.6	0.368	0.581	0.469	0.581	0.684	61	
159	60	3.6	0.295	0.394	0.589	0.589	0.693	45	
160	60	3.6	0.277	0.591	0.438	0.591	0.696	57	
161	65	3.6	0.345	0.384	0.714	0.714	0.840	64	
162	65	3.6	0.394	0.468	0.708	0.708	0.833	67	
163	65	3.6	0.246	0.388	0.702	0.702	0.826	61	
164	65	3.6	0.367	0.449	0.711	0.711	0.837	45	
165	65	3.6	0.419	0.548	0.706	0.706	0.831	51	
166	65	3.6	0.528	0.713	0.643	0.713	0.839	73	
167	65	3.6	0.467	0.705	0.553	0.705	0.830	55	
168	65	3.6	0.384	0.569	0.707	0.707	0.832	41	
169	65	3.6	0.315	0.432	0.708	0.708	0.833	57	
170	65	3.6	0.481	0.715	0.684	0.715	0.842	57	
171	68	3.6	0.315	0.349	0.459	0.459	0.540	73	
172	68	3.6	0.167	0.446	0.424	0.446	0.525	55	
173	68	3.6	0.294	0.365	0.439	0.439	0.517	49	
174	68	3.6	0.249	0.298	0.452	0.452	0.532	73	
175	68	3.6	0.263	0.278	0.441	0.441	0.519	45	
176	68	3.6	0.218	0.448	0.351	0.448	0.527	71	
177	68	3.6	0.179	0.454	0.327	0.454	0.534	83	
178	68	3.6	0.318	0.341	0.457	0.457	0.538	75	
179	68	3.6	0.267	0.248	0.444	0.444	0.523	61	
180	68	3.6	0.254	0.297	0.442	0.442	0.520	64	
181	72	3.6	0.269	0.302	0.376	0.376	0.443	73	
182	72	3.6	0.301	0.249	0.339	0.339	0.399	64	
183	72	3.6	0.189	0.294	0.358	0.358	0.421	47	
184	72	3.6	0.362	0.165	0.288	0.362	0.426	54	
185	72	3.6	0.178	0.373	0.294	0.373	0.439	37	
186	72	3.6	0.116	0.248	0.347	0.347	0.408	49	
187	72	3.6	0.156	0.274	0.351	0.351	0.413	51	
188	72	3.6	0.221	0.184	0.364	0.364	0.428	47	

Measurement results of pattern VII(5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	72	3.6	0.263	0.367	0.167	0.367	0.432	41	pattern VII
190	72	3.6	0.248	0.359	0.304	0.359	0.423	25	
191	76	3.6	0.115	0.165	0.200	0.200	0.235	31	
192	76	3.6	0.134	0.156	0.210	0.210	0.247	64	
193	76	3.6	0.094	0.182	0.211	0.211	0.248	35	
194	76	3.6	0.121	0.208	0.176	0.208	0.245	85	
195	76	3.6	0.107	0.204	0.118	0.204	0.240	25	
196	76	3.6	0.128	0.201	0.213	0.213	0.251	21	
197	76	3.6	0.113	0.132	0.201	0.201	0.237	38	
198	76	3.6	0.148	0.184	0.203	0.203	0.239	26	
199	76	3.6	0.089	0.172	0.205	0.205	0.241	39	
200	76	3.6	0.154	0.166	0.209	0.209	0.246	41	
201	78	3.6	0.078	0.161	0.137	0.161	0.189	11	
202	78	3.6	0.088	0.158	0.124	0.158	0.186	27	
203	78	3.6	0.065	0.164	0.095	0.164	0.193	47	
204	78	3.6	0.162	0.132	0.108	0.162	0.191	17	
205	78	3.6	0.125	0.105	0.160	0.160	0.188	21	
206	78	3.6	0.121	0.108	0.165	0.165	0.194	15	
207	78	3.6	0.096	0.163	0.133	0.163	0.192	37	
208	78	3.6	0.083	0.117	0.159	0.159	0.187	14	
209	78	3.6	0.072	0.160	0.139	0.160	0.188	57	
210	78	3.6	0.066	0.087	0.161	0.161	0.189	11	
211	80	3.6	0.068	0.125	0.139	0.139	0.164	25	
212	80	3.6	0.081	0.131	0.135	0.135	0.159	41	
213	80	3.6	0.084	0.123	0.144	0.144	0.169	23	
214	80	3.6	0.132	0.148	0.088	0.148	0.174	15	
215	80	3.6	0.118	0.121	0.132	0.132	0.155	31	
216	80	3.6	0.094	0.109	0.133	0.133	0.157	57	
217	80	3.6	0.071	0.098	0.137	0.137	0.161	47	
218	80	3.6	0.104	0.140	0.111	0.140	0.165	31	
219	80	3.6	0.092	0.143	0.122	0.143	0.168	25	
220	80	3.6	0.078	0.087	0.141	0.141	0.166	49	
221	83	3.6	0.051	0.053	0.087	0.087	0.102	33	
222	83	3.6	0.055	0.048	0.085	0.085	0.100	41	
223	83	3.6	0.080	0.071	0.065	0.080	0.094	17	
224	83	3.6	0.046	0.063	0.091	0.091	0.107	9.0	
225	83	3.6	0.062	0.051	0.082	0.082	0.097	13	
226	83	3.6	0.042	0.088	0.071	0.088	0.104	31	
227	83	3.6	0.043	0.086	0.056	0.086	0.101	7.5	
228	83	3.6	0.048	0.076	0.084	0.084	0.099	16	
229	83	3.6	0.050	0.047	0.090	0.090	0.106	31	
230	83	3.6	0.051	0.065	0.083	0.083	0.098	17	

Measurement results of pattern VIII(1)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
1	14	3.6	1.22	2.14	2.81	2.81	3.31	>100	pattern VIII
2	14	3.6	1.46	2.88	2.52	2.88	3.40	74	
3	14	3.6	1.33	2.05	2.85	2.85	3.36	85	
4	14	3.6	1.67	2.24	2.87	2.87	3.38	>100	
5	14	3.6	2.03	2.81	2.41	2.81	3.31	79	
6	14	3.6	1.75	1.61	2.83	2.83	3.34	37	
7	14	3.6	2.14	2.84	2.33	2.84	3.35	>100	
8	14	3.6	1.82	2.56	2.85	2.85	3.36	71	
9	14	3.6	2.86	2.35	1.58	2.86	3.37	58	
10	14	3.6	1.79	2.83	2.41	2.83	3.34	41	
11	18	3.6	1.13	2.34	2.06	2.34	2.76	79	
12	18	3.6	1.52	1.84	2.33	2.33	2.75	81	
13	18	3.6	1.79	1.92	2.30	2.30	2.71	52	
14	18	3.6	1.62	1.81	2.31	2.31	2.72	>100	
15	18	3.6	1.88	1.69	2.34	2.34	2.76	77	
16	18	3.6	2.32	1.64	1.76	2.32	2.74	73	
17	18	3.6	1.66	2.02	2.36	2.36	2.78	>100	
18	18	3.6	1.57	2.35	1.89	2.35	2.77	85	
19	18	3.6	1.48	1.79	2.33	2.33	2.75	77	
20	18	3.6	1.38	2.30	1.83	2.30	2.71	>100	
21	20	3.6	1.52	1.96	2.16	2.16	2.55	37	
22	20	3.6	1.67	1.74	2.15	2.15	2.53	61	
23	20	3.6	1.54	2.13	1.75	2.13	2.51	75	
24	20	3.6	1.73	1.91	2.11	2.11	2.49	>100	
25	20	3.6	1.57	2.12	1.79	2.12	2.50	73	
26	20	3.6	1.28	1.65	2.14	2.14	2.52	55	
27	20	3.6	1.35	1.44	2.16	2.16	2.55	81	
28	20	3.6	1.82	2.17	1.61	2.17	2.56	57	
29	20	3.6	1.53	1.78	2.15	2.15	2.53	75	
30	20	3.6	1.76	1.95	2.14	2.14	2.52	61	
31	22	3.6	1.92	1.84	2.07	2.07	2.44	55	
32	22	3.6	1.31	1.20	2.10	2.10	2.48	>100	
33	22	3.6	1.05	2.05	1.23	2.05	2.42	73	
34	22	3.6	1.36	1.73	2.06	2.06	2.43	51	
35	22	3.6	1.06	2.04	1.38	2.04	2.41	71	
36	22	3.6	1.31	2.08	1.42	2.08	2.45	83	
37	22	3.6	1.22	1.15	2.01	2.01	2.37	57	
38	22	3.6	1.16	1.27	2.09	2.09	2.46	61	
39	22	3.6	1.23	2.07	1.33	2.07	2.44	31	
40	22	3.6	1.07	1.31	2.08	2.08	2.45	>100	
41	24	3.6	1.25	1.94	1.05	1.94	2.29	51	
42	24	3.6	1.26	1.93	1.43	1.93	2.28	57	
43	24	3.6	1.27	1.92	1.29	1.92	2.26	66	
44	24	3.6	1.17	1.91	1.27	1.91	2.25	49	
45	24	3.6	1.01	1.92	1.32	1.92	2.26	67	
46	24	3.6	1.48	1.21	1.95	1.95	2.30	52	
47	24	3.6	1.04	1.46	1.94	1.94	2.29	>100	

Measurement results of pattern VIII(2)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
48	24	3.6	1.19	1.93	1.61	1.93	2.28	67	pattern VIII
49	24	3.6	1.63	1.37	1.92	1.92	2.26	31	
50	24	3.6	1.28	1.94	1.69	1.94	2.29	>100	
51	28	3.6	1.39	1.05	1.73	1.73	2.04	57	
52	28	3.6	0.854	1.25	1.72	1.72	2.03	45	
53	28	3.6	1.27	0.916	1.75	1.75	2.06	67	
54	28	3.6	1.12	1.74	1.46	1.74	2.05	57	
55	28	3.6	1.06	1.21	1.71	1.71	2.02	51	
56	28	3.6	1.21	1.75	1.35	1.75	2.06	58	
57	28	3.6	1.73	1.28	1.59	1.73	2.04	66	
58	28	3.6	1.17	1.29	1.72	1.72	2.03	79	
59	28	3.6	1.18	1.37	1.71	1.71	2.02	47	
60	28	3.6	1.23	1.12	1.73	1.73	2.04	>100	
61	30	3.6	1.05	1.51	1.24	1.51	1.78	37	
62	30	3.6	0.824	1.50	1.36	1.50	1.77	57	
63	30	3.6	0.927	0.844	1.48	1.48	1.74	47	
64	30	3.6	1.31	1.20	1.49	1.49	1.76	61	
65	30	3.6	1.05	1.53	1.23	1.53	1.80	>100	
66	30	3.6	0.946	1.23	1.52	1.52	1.79	77	
67	30	3.6	0.566	1.51	1.08	1.51	1.78	64	
68	30	3.6	1.31	1.58	1.42	1.58	1.86	67	
69	30	3.6	1.22	1.15	1.49	1.49	1.76	71	
70	30	3.6	1.16	1.27	1.51	1.51	1.78	45	
71	33	3.6	1.02	1.31	1.13	1.31	1.54	51	
72	33	3.6	1.07	1.21	1.30	1.30	1.53	73	
73	33	3.6	1.16	1.28	1.05	1.28	1.51	55	
74	33	3.6	0.962	1.29	1.07	1.29	1.52	41	
75	33	3.6	0.827	1.32	0.992	1.32	1.56	57	
76	33	3.6	1.17	1.33	1.05	1.33	1.57	57	
77	33	3.6	1.01	1.34	1.31	1.34	1.58	61	
78	33	3.6	1.21	0.978	1.31	1.31	1.54	55	
79	33	3.6	0.964	1.03	1.30	1.30	1.53	49	
80	33	3.6	0.691	1.32	1.11	1.32	1.56	73	
81	38	3.6	1.06	0.873	1.23	1.23	1.45	47	
82	38	3.6	0.728	1.23	1.14	1.23	1.45	71	
83	38	3.6	1.09	0.955	1.24	1.24	1.46	63	
84	38	3.6	0.854	1.08	1.25	1.25	1.47	55	
85	38	3.6	1.05	0.916	1.22	1.22	1.44	61	
86	38	3.6	0.612	1.21	0.664	1.21	1.43	64	
87	38	3.6	1.06	1.11	1.20	1.20	1.41	55	
88	38	3.6	0.421	1.23	0.853	1.23	1.45	51	
89	38	3.6	1.22	0.782	0.995	1.22	1.44	>100	
90	38	3.6	1.17	0.929	1.24	1.24	1.46	54	
91	40	3.6	0.767	0.984	1.05	1.05	1.24	51	
92	40	3.6	0.923	0.912	1.05	1.05	1.24	65	
93	40	3.6	0.475	1.06	0.824	1.06	1.25	57	
94	40	3.6	0.824	0.977	1.07	1.07	1.26	47	

Measurement results of pattern VIII(3)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
95	40	3.6	0.764	0.961	1.08	1.08	1.27	37	pattern VIII
96	40	3.6	0.921	1.04	0.846	1.04	1.23	57	
97	40	3.6	0.934	0.822	1.03	1.03	1.21	55	
98	40	3.6	0.602	0.787	1.02	1.02	1.20	57	
99	40	3.6	0.543	1.04	0.882	1.04	1.23	35	
100	40	3.6	0.846	1.06	0.956	1.06	1.25	67	
101	40	3.6	0.762	1.05	0.878	1.05	1.24	75	
102	40	3.6	0.713	1.06	0.913	1.06	1.25	>100	
103	40	3.6	0.891	1.07	0.929	1.07	1.26	48	
104	40	3.6	0.761	0.926	1.08	1.08	1.27	66	
105	43	3.6	0.982	0.873	0.980	0.980	1.16	79	
106	43	3.6	0.564	0.801	0.950	0.950	1.12	51	
107	43	3.6	0.671	0.960	0.867	0.960	1.13	39	
108	43	3.6	0.513	0.990	0.792	0.990	1.17	37	
109	43	3.6	0.764	0.973	1.00	1.00	1.18	57	
110	43	3.6	0.832	0.970	0.915	0.970	1.14	47	
111	45	3.6	1.12	0.813	1.23	1.23	1.45	61	
112	45	3.6	0.813	1.05	1.25	1.25	1.47	65	
113	45	3.6	0.481	1.14	1.27	1.27	1.50	77	
114	45	3.6	0.684	1.16	1.24	1.24	1.46	64	
115	45	3.6	0.231	1.02	1.23	1.23	1.45	67	
116	45	3.6	1.03	1.22	0.669	1.22	1.44	71	
117	45	3.6	0.854	1.13	1.31	1.31	1.54	45	
118	45	3.6	1.12	0.684	1.23	1.23	1.45	53	
119	45	3.6	0.823	0.993	1.28	1.28	1.51	73	
120	45	3.6	0.884	0.927	1.27	1.27	1.50	55	
121	48	3.6	0.625	0.969	0.764	0.969	1.14	41	
122	48	3.6	0.713	0.960	0.715	0.960	1.13	57	
123	48	3.6	0.554	0.797	0.970	0.970	1.14	63	
124	48	3.6	0.388	0.962	0.782	0.962	1.13	61	
125	48	3.6	0.352	0.581	0.964	0.964	1.14	34	
126	48	3.6	0.573	0.786	0.963	0.963	1.14	49	
127	48	3.6	0.548	0.965	0.693	0.965	1.14	73	
128	48	3.6	0.968	0.618	0.753	0.968	1.14	61	
129	48	3.6	0.671	0.798	0.971	0.971	1.14	71	
130	48	3.6	0.713	0.683	0.965	0.965	1.14	83	
131	50	3.6	0.654	0.748	1.10	1.10	1.30	75	
132	50	3.6	0.572	0.688	1.11	1.11	1.31	61	
133	50	3.6	0.645	1.12	0.878	1.12	1.32	64	
134	50	3.6	0.756	1.13	0.922	1.13	1.33	55	
135	50	3.6	0.729	0.932	1.15	1.15	1.36	51	
136	50	3.6	0.823	0.791	1.17	1.17	1.38	47	
137	50	3.6	0.915	1.19	0.762	1.19	1.40	54	
138	50	3.6	0.538	0.848	1.16	1.16	1.37	59	
139	50	3.6	0.667	0.869	1.15	1.15	1.36	37	
140	50	3.6	0.638	0.823	1.18	1.18	1.39	51	
141	53	3.6	0.331	0.589	0.790	0.790	0.931	51	

Measurement results of pattern VIII(4)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
142	53	3.6	0.443	0.521	0.758	0.758	0.894	45	pattern VIII
143	53	3.6	0.584	0.780	0.662	0.780	0.920	51	
144	53	3.6	0.412	0.770	0.629	0.770	0.908	65	
145	53	3.6	0.467	0.565	0.760	0.760	0.896	57	
146	53	3.6	0.468	0.582	0.784	0.784	0.924	53	
147	53	3.6	0.412	0.648	0.776	0.776	0.915	67	
148	53	3.6	0.381	0.611	0.768	0.768	0.905	55	
149	53	3.6	0.494	0.787	0.624	0.787	0.928	51	
150	53	3.6	0.428	0.528	0.771	0.771	0.909	58	
151	55	3.6	0.632	0.700	0.528	0.700	0.825	66	
152	55	3.6	0.413	0.593	0.708	0.708	0.835	49	
153	55	3.6	0.548	0.623	0.713	0.713	0.841	51	
154	55	3.6	0.715	0.391	0.564	0.715	0.843	67	
155	55	3.6	0.286	0.704	0.517	0.704	0.830	37	
156	55	3.6	0.382	0.567	0.706	0.706	0.832	41	
157	55	3.6	0.384	0.561	0.711	0.711	0.838	47	
158	55	3.6	0.396	0.528	0.709	0.709	0.836	61	
159	55	3.6	0.438	0.539	0.710	0.710	0.837	85	
160	55	3.6	0.453	0.707	0.581	0.707	0.834	51	
161	58	3.6	0.392	0.650	0.475	0.650	0.766	57	
162	58	3.6	0.414	0.648	0.438	0.648	0.764	67	
163	58	3.6	0.387	0.482	0.644	0.644	0.759	45	
164	58	3.6	0.323	0.448	0.658	0.658	0.776	45	
165	58	3.6	0.536	0.653	0.411	0.653	0.770	51	
166	58	3.6	0.498	0.527	0.655	0.655	0.772	63	
167	58	3.6	0.423	0.593	0.646	0.646	0.762	55	
168	58	3.6	0.384	0.497	0.649	0.649	0.765	51	
169	58	3.6	0.379	0.511	0.651	0.651	0.768	57	
170	58	3.6	0.429	0.652	0.381	0.652	0.769	57	
171	60	3.6	0.234	0.438	0.550	0.550	0.648	61	
172	60	3.6	0.349	0.416	0.520	0.520	0.613	55	
173	60	3.6	0.291	0.533	0.437	0.533	0.628	49	
174	60	3.6	0.231	0.437	0.541	0.541	0.638	57	
175	60	3.6	0.293	0.526	0.388	0.526	0.620	71	
176	60	3.6	0.318	0.482	0.536	0.536	0.632	51	
177	60	3.6	0.332	0.491	0.527	0.527	0.621	43	
178	60	3.6	0.302	0.398	0.539	0.539	0.635	57	
179	60	3.6	0.318	0.432	0.544	0.544	0.641	61	
180	60	3.6	0.384	0.546	0.409	0.546	0.644	64	
181	65	3.6	0.304	0.470	0.413	0.470	0.554	55	
182	65	3.6	0.271	0.468	0.388	0.468	0.552	51	
183	65	3.6	0.264	0.318	0.475	0.475	0.560	47	
184	65	3.6	0.287	0.361	0.477	0.477	0.562	54	
185	65	3.6	0.239	0.387	0.473	0.473	0.558	59	
186	65	3.6	0.286	0.312	0.462	0.462	0.545	61	
187	65	3.6	0.338	0.469	0.412	0.469	0.553	55	
188	65	3.6	0.287	0.467	0.392	0.467	0.551	41	

Measurement results of pattern VIII(5)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
189	65	3.6	0.276	0.321	0.471	0.471	0.555	64	pattern VIII
190	65	3.6	0.252	0.237	0.469	0.469	0.553	51	
191	70	3.6	0.231	0.169	0.371	0.371	0.437	55	
192	70	3.6	0.194	0.211	0.359	0.359	0.423	57	
193	70	3.6	0.203	0.302	0.370	0.370	0.436	35	
194	70	3.6	0.183	0.360	0.264	0.360	0.424	67	
195	70	3.6	0.167	0.267	0.364	0.364	0.429	37	
196	70	3.6	0.373	0.151	0.198	0.373	0.440	51	
197	70	3.6	0.098	0.152	0.362	0.362	0.427	58	
198	70	3.6	0.162	0.251	0.375	0.375	0.442	66	
199	70	3.6	0.187	0.315	0.368	0.368	0.434	51	
200	70	3.6	0.116	0.167	0.369	0.369	0.435	51	
201	73	3.6	0.187	0.155	0.294	0.294	0.347	63	
202	73	3.6	0.167	0.189	0.284	0.284	0.335	37	
203	73	3.6	0.202	0.164	0.291	0.291	0.343	55	
204	73	3.6	0.162	0.286	0.178	0.286	0.337	47	
205	73	3.6	0.187	0.212	0.293	0.293	0.345	61	
206	73	3.6	0.202	0.233	0.287	0.287	0.338	55	
207	73	3.6	0.168	0.208	0.285	0.285	0.336	47	
208	73	3.6	0.139	0.193	0.292	0.292	0.344	64	
209	73	3.6	0.123	0.192	0.288	0.288	0.340	67	
210	73	3.6	0.065	0.176	0.289	0.289	0.341	71	
211	75	3.6	0.112	0.260	0.151	0.260	0.307	45	
212	75	3.6	0.244	0.128	0.134	0.244	0.288	45	
213	75	3.6	0.117	0.132	0.240	0.240	0.283	51	
214	75	3.6	0.098	0.157	0.257	0.257	0.303	55	
215	75	3.6	0.164	0.248	0.117	0.248	0.292	41	
216	75	3.6	0.134	0.142	0.250	0.250	0.295	27	
217	75	3.6	0.087	0.138	0.253	0.253	0.298	57	
218	75	3.6	0.144	0.247	0.162	0.247	0.291	31	
219	75	3.6	0.162	0.127	0.246	0.246	0.290	55	
220	75	3.6	0.110	0.105	0.256	0.256	0.302	49	
221	78	3.6	0.106	0.098	0.180	0.180	0.212	23	
222	78	3.6	0.082	0.118	0.160	0.160	0.189	21	
223	78	3.6	0.067	0.170	0.097	0.170	0.200	41	
224	78	3.6	0.091	0.103	0.181	0.181	0.213	33	
225	78	3.6	0.092	0.121	0.168	0.168	0.198	25	
226	78	3.6	0.079	0.132	0.173	0.173	0.204	41	
227	78	3.6	0.056	0.098	0.175	0.175	0.206	64	
228	78	3.6	0.067	0.164	0.128	0.164	0.193	55	
229	78	3.6	0.069	0.169	0.125	0.169	0.199	51	
230	78	3.6	0.061	0.094	0.172	0.172	0.203	47	
231	80	3.6	0.045	0.072	0.085	0.085	0.100	54	
232	80	3.6	0.052	0.076	0.081	0.081	0.095	49	
233	80	3.6	0.046	0.063	0.083	0.083	0.098	21	
234	80	3.6	0.053	0.076	0.090	0.090	0.106	17	
235	80	3.6	0.043	0.080	0.066	0.080	0.094	35	

Measurement results of pattern VIII(6)

No.	Distance (m)	Weight (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)					ZC Freq (Hz)	Blasting condition
			T	V	L	PPV	PVS		
236	80	3.6	0.058	0.088	0.069	0.088	0.104	16	pattern VIII
237	80	3.6	0.087	0.058	0.072	0.087	0.103	19	
238	80	3.6	0.039	0.086	0.053	0.086	0.101	51	
239	80	3.6	0.056	0.084	0.064	0.084	0.099	27	
240	80	3.6	0.029	0.034	0.082	0.082	0.097	8.7	
241	83	3.6	0.034	0.033	0.052	0.052	0.061	17	
242	83	3.6	0.031	0.038	0.054	0.054	0.064	41	
243	83	3.6	0.049	0.042	0.055	0.055	0.065	13	
244	83	3.6	0.045	0.037	0.056	0.056	0.066	23	
245	83	3.6	0.038	0.041	0.050	0.050	0.059	35	
246	83	3.6	0.028	0.051	0.029	0.051	0.060	4.1	

감사의 글

본 논문을 마감하면서 마지막으로 이 글을 작성하려니 저의 대학 및 대학원의 10여 년의 시간이 머릿속에 그려지며, 미안한 마음, 감사한 마음을 전하고 싶은 분들이 많으나 직접 찾아뵙지 못하고 이렇게 글로서 전하는 마음을 너그럽게 용서를 바랍니다.

먼저 오랜 시간 저에게 가르침 뿐만 아니라 살아가는 전반적인 지표를 제시해주시고 지식 이상으로 아껴주시며, 사랑을 베풀어 주신 강추원 지도교수님께 깊은 감사와 존경과 사랑하는 마음을 드립니다. 그리고, 개인적인 업무도 많으신 와중에도 저의 미진한 논문의 심사를 위해 세세한 검토와 고견을 제시해 주신 한국지질자원연구소 류창하 박사님, 군산대학교 이연규 교수님, SK건설의 이 효 박사님, 학부생활부터 지금까지 아낌없는 관심과 사랑을 베풀어 주신 고진석 교수님께 깊은 감사의 마음을 드립니다. 그리고 학부 및 학위과정 동안 따뜻한 관심과 애정으로 이끌어주신 이창신교수님, 양해승 교수님, 서동우 교수님, 박영석 교수님, 한오형 교수님, 박천영 교수님, 강성승 교수님께도 진심으로 감사 인사 드립니다.

대학원 생활 동안 마음을 나누었던 선후배님들의 사랑으로 지금의 제가 있는 것으로 생각합니다. 고 원연호 박사님, 조영동 박사님, 노영배 선배님, 문창일 선배님, 위장복 선배님, 박기동 선배님, 강석곤 선배님, 이 섭 선배님, 김연수 선배님, 이창원 선배님, 이창훈 선배님, 이수연 선배님의 아낌없는 사랑에 진심으로 감사드리며, 실험실 생활동안 또 지금까지도 친동생 이상으로 아껴주시는 김종인 박사님, 최태홍 선배님, 김재웅 박사님, 박현식 박사님, 박윤석 선배님, 김수로 선배님, 정순오 선배님, 김영석 선배님께 존경과 사랑의 마음을 드립니다. 같이 고생한 동기 김윤택, 최강일, 대학원 생활을 끝낸 후 여러 분야에서 본인의 꿈을 위해 열심히 생활하고 있는 실험실 후배들인 김승현, 양훈재, 조규용, 박지우, 이청신, 김동조, 문태철, 김홍표, 이상곤, 김도형, 김장원 김승은, 손석범, 박정일 후배들에게도 감사의 마음으로 표현합니다.

또 학위과정 내내 제 옆에서 눈빛하나로도 통할만큼 제 곁을 지킨 든든한 류복현. 후배이자 사랑하는 동생으로 지금까지도 앞으로 사랑한다. 선배로서 형으로 아끼는 정두성, 송하림, 암석역학실험실 홍성민, 김지수, 최양호 김태준에게도 같은 마음을 보

냅니다.

마지막으로 내 인생의 가장 중요한 부분을 차지하고 있으면서도 미안하고 고맙고 사랑한다는 말도 잘 못했던 사랑하는 나의 가족들.

이 긴 시간동안 사고뭉치 막내아들을 항상 걱정하시며, 성실한 사람이 되라는 말씀으로 큰 사랑과 격려로 이끌어주신 아버지, 본인 몸도 안좋으시면서 혹여 막내아들 내외가 아프거나 힘들까봐 먼저 전화하시고 걱정해주시는 어머님께 이 논문을 바칩니다. 나이 많은 사위 받아들이시고 항상 조심하라는 말씀을 해 주시는 장인어른과 어여쁜 딸을 주셔서 감사한 마음에 더욱 살갑게 다가서고 싶지만 딸 주변 없는 사위라 서운해하실 장모님께도 죄송한 마음을 가지고 있는 사위가 고개 숙여 감사를 드리웁고, 긴 시간동안 제 곁에서 사랑과 믿음으로 내조를 하며 사랑해 준 내 삶의 이유. 사랑하는 아내 박지유, 항상 동생에게 치여 큰소리 한번 못내보고 저를 아끼고 사랑해주는 동생 바라기 나의 형, 그리고 우리집 장손 조카 정호, 손위 처남댁 내외와 조카 주한, 주윤 이와도 이 기쁨을 함께 하고자 합니다.

저작물 이용 허용서

학과	에너지 자원공학과	학번	20067322	과정	박사
성명	한글 : 장 호 민 한문 : 張 虎 玟 영문 : Chang, Ho Min				
주소	광주광역시 서구 금호동 도시공사아파트 201동 1305호				
연락처	E-MAIL : swessil@hanmail.net				
논문제목	한글 : 석영반암 지역을 대상으로 한 발파진동 제어공법에 관한 연구 영어 : A study on the vibration - controlled blasting in quartz porphyry rock mass				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2014년 2월

저작자 : 장 호 민 (인)

조선대학교 총장 귀하