

노천시험발파의 진동평가와 개선방안

김응록
송원대학교 공학계열

A Vibration Evaluation and Improvement Scheme for Open Test Blasting

Eung-Rok Kim

Division of Engineering, Songwon University

요약 대규모 건설공사 현장에서는 발파공사에 대한 표준발파패턴과 시험발파패턴의 발파진동추정식의 상이에 따른 설계 변경의 반영 문제로 시공사, 건설사업관리자, 발주처간의 갈등요인을 해소하기 위한 체계적인 자료의 수집 및 분석 과정을 통하여 효율적인 대책수립이 필요한 실정이다.

발파진동에 의한 인접 구조물에 미치는 영향을 여러 각도로 평가하려는 연구들은 계속 되어 왔으나, 노천발파를 수행하면서 현장계측의 진동파형을 분석하여 인접 건축물의 안전성을 확보하고 현장여건에 적합한 발파공법을 연구한 사례는 미미한 실정이다. 따라서 현장여건에 적합하고 경제적이며 효율적인 발파작업을 수행할 수 있도록 시험발파를 통하여 발파패턴 선정의 개선방안을 제시하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 실제 도로확장공사 현장에서 시험발파를 통한 표준발파공법 및 진동규제기준별로 적용되는 이격 거리를 기준으로 노천 발파작업을 수행하여 발파진동 값을 계측하고 이를 통한 발파공법별 진동예측식을 회귀분석 전산프로그램을 이용하여 신뢰수준 95%의 K, n, R등을 산출하였다. 시험발파 대상지역의 발파허용진동기준을 0.3cm/sec로 설정하고 노천발파 지침의 발파진동추정식과 시험발파의 발파진동추정식에 따른 이격 거리별 장약량과 발파공법을 비교분석한 결과 사업비가 증가하는 요인을 도출할 수 있었다.

또한, 노천발파 작업 중 인접 구조물에 대한 계측 및 분석을 수행하고 노천발파지점과 가장 인접한 구조물을 선정하여 발파 진동 계측 및 평가를 시행하여 노천발파공사를 완료하는 과정에서 나타난 노천발파 설계·시공 지침에서의 시험발파 절차 및 해석방법에 대한 문제점을 분석하여 개선방안을 제시하였다.

Abstract Although studies evaluating the effects of the blasting vibration on the adjacent structures from various angles have continued, cases of securing the safety of the adjacent buildings and researching the proper blasting method for the field condition by analyzing the vibration waveform of the measuring field while performing the open pit blasting are poor. Therefore, it is necessary to present a remedy for blasting pattern selection through test blasting that is appropriate for field conditions, and is economical and efficient.

In this study, open pit blasting work was conducted based on the separation distance applied according to the standard blasting method by test blasting and the vibration regulation standard in the road expansion construction site to measure the blasting vibration value, and the vibration prediction equation by blasting methods was examined using a regression analysis computer program to calculate K, N, and R of the confidence level 95%. By setting the blasting allowed vibration standard of the test blasting target area to 0.3cm/sec, and the charring weight and blasting method by the separation distances according to the blasting vibration estimation equation of the open pit blasting guideline and the blasting vibration estimation equation of the test blasting were compared/analyzed, it was possible to identify the factors that increased the working expenses.

In addition, the measurement and analysis of the adjacent structures during open pit blasting and the blasting vibration were performed after selecting the most adjacent structure to the open pit blasting spot to analyze the problems on the test blasting procedure and analysis method in the open pit blasting design/construction guidelines, which appeared in the process of completing open pit blasting construction, and a remedy is presented.

Keywords : Blasting vibration, Charge weight, Estimation formula of blasting vibration, Regression analysis, Test blasting

이 논문은 2016년도 송원대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Eung-Rok Kim(Songwon Univ.)

Tel: +82-62-360-5910 email: erok@songwon.ac.kr

Received November 17, 2016

Revised (1st December 13, 2016, 2nd December 16, 2016)

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

1. 서론

대규모 건설공사 현장에서는 발파작업으로 인해 발생될 수 있는 제반 문제를 해결하기 위한 체계적인 자료의 수집 및 분석 과정을 통하여 대책수립이 절실히 필요한 실정이다[1]. 이에 대한 연구의 일환으로 박연수 외 2인(1989)은 건설 진동의 영향평가 및 대책에 관한 연구(I, II)[2]에서 지반별 건설 진동 추정식과 진동규준치의 관계를 토대로 거리에 따른 진동치의 분포를 계산하여 사전에 공사가 진행될 지역의 구조물 유형과 건설시기 그리고 지반특성 등을 고려하여 공사 중의 진동문제를 최소화 할 수 있도록 종합적인 진동대책을 소개하였다.

또한 손성완외 4인(2001)은 준 경험적 방법에 의한 발파진동원의 특성과 구조물 동적 해석에 관한 연구[3]를 통하여 신뢰성 있는 진동 예측 모델을 제시하였다. 그의 장선중(2003)은 발파진동에 의한 구조물의 주진동수와 응답스펙트럼 예측연구[4]에서 응답스펙트럼을 작도하고 주 진동수를 예측하였다.

이처럼 발파진동에 대한 영향을 여러 각도로 평가하려는 연구들은 계속 되어 왔으나, 노천발파를 수행하면서 현장계측의 진동파형을 분석하여 인접 건축물의 안전성을 확보하면서 현장여건에 적합한 발파공법을 연구한 사례는 미미한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현장여건에 적합하고 경제적이며 효율적인 발파작업이 수행할 수 있도록 시험발파를 통하여 발파패턴 선정의 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 시험발파의 조건과 발파진동 측정결과

2.1 시험발파의 조건

본 연구에서는 ○○도로확장공사 현장에서의 시험발파를 통하여 표준발파공법 및 진동규제기준별 적용되는 이격 거리를 기준으로 노천 발파작업을 수행하였으며, 연구에 사용한 시험발파의 발파 방법은 계단식 수직천공 발파, 천공 장비는 유압식 Crawler Drill, 사용 너관은 MS 지발 전기너관, 사용 폭약 은 에멀전계 폭약, 계측 기기로는 InstanTel Blastmate II, III를 사용하였다.

2.2 발파진동 측정

발파진동의 계측은 발파지점에서 인접한 구조물에 파의 진행방향과 일직선상에 놓이도록 계측기를 설치하고 계측지점과의 이격 거리는 광파측정기를 이용하여 직접 실측하였다. 진동측정은 수직방향(V, Vertical)과 상호간 직교하는 수평의 2방향 즉 진행방향(L, Longitudinal)과 접선방향(T, Transverse)에 대한 3성분을 동시에 계측하고[5]그 중에서 진동 최댓값(PPV, Peak Particle Velocity)을 선정하였다. 시험발파에 대한 측정결과 최대 지반진동속도는 1.16 cm/sec까지 계측되었다. Table 1.은 발파진동 측정결과이다.

Table 1. Measurements of Blast vibration at Safety thing

Blasting Sequence	Max. Charge weight per Delay (kg)	Measurements			PPV (cm/s)	Distance to Measured target (m)
		Particle velocity (cm/s)		Frequency (Hz)		
1'st	0.375	T	0.0794	30	0.116	52
		V	0.0556	27		
		L	0.116	27		
2'nd	0.375	T	0.0508	30	0.100	54
		V	0.0667	32		
		L	0.100	26		
3'rd	1.0	T	0.162	37	0.262	52
		V	0.110	51		
		L	0.262	28		
4'th	1.0	T	0.157	18	0.225	53
		V	0.149	39		
		L	0.225	21		
5'th	3.2	T	0.349	17	0.454	45
		V	0.362	19		
		L	0.454	22		
6'th	3.2	T	0.303	32	0.505	51
		V	0.298	39		
		L	0.505	30		
7'th	6.4	T	0.583	27	1.16	50
		V	0.657	37		
		L	1.16	27		
8'th	6.4	T	0.392	21	0.714	60
		V	0.597	28		
		L	0.714	27		

3. 발파진동 예측 및 분석

3.1 발파진동 추정식 선정

일반적으로 발파공법은 공사기간 중에 변경될 수 있으므로 시험발파 구간에서 발파패턴에 따라 유발될 수 있는 영향을 예측하고 사전에 대책을 수립하기 위해서

발파공법에 따라 지반진동을 예측할 수 있는 식을 산정하였다.

발파진동을 예측할 수 있는 식은 진동의 속도성분으로 표시할 때 장약량 및 폭원거리를 주요 변수로 하여 다음과 같이 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$PPV = K(SD)^n \quad \text{식(1)}$$

여기서,

- PPV: 최대진동속도(cm/sec=kine),
- K : 화약, 발파, 암반특성 등에 결정되는 상수
- SD : 환산거리($D/W^{1/2}$ 또는 $D/W^{1/3}$)
- n : 감쇠지수
- W : 지발당 최대장약량(kg)

측정된 발파 진동치는 최소자승법에 의한 회귀분석을 실시하여 상수 K, n을 구하기 위하여 최대진동속도와 환산거리의 log-log 1차 상관관계를 이용하여 전산처리 하였으며 이때 최대진동속도는 접선, 진행 및 수직방향의 성분 중에서 최대입자속도 값을 적용하였다.

상관계수(R)는 회귀분석에서 측정 자료가 회귀선에 적합한 정도를 나타내며 상관계수가 0에 가까울수록 추정된 회귀직선은 신뢰성이 낮고 1에 가까울수록 신뢰성이 높은 회귀직선이 되며 상관계수가 0.7에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 하여야 한다[5].

3.2 진동제어 및 일반 발파공법

진동제어 및 일반 발파공법의 시험발파 진동 계측치를 이용한 회귀분석 결과, 자승근 및 삼승근 환산거리에 따른 최대진동속도와의 관계는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

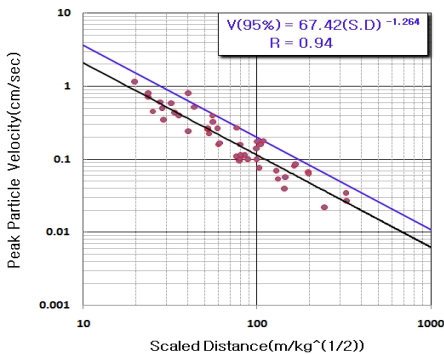


Fig. 1. Relation of Peak Particle Velocity to Square root Scaled Distance

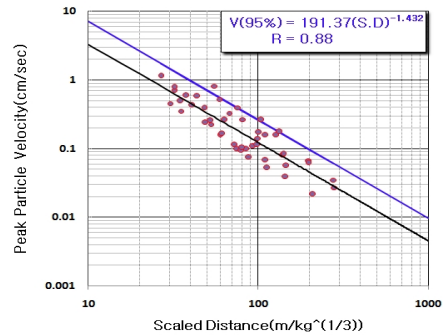


Fig. 2. Relation of Peak Particle Velocity to Square root Scaled Distance

노천발파설계시공 지침에 의거하여 안전성과 신뢰도를 높이기 위한 발파진동 추정식은 모든 측정자료를 포함할 수 있는 95% 신뢰도를 갖는 식을 선정하였다[6].

$$V(95\%)(cm/s) = 67.42 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.264} \quad R = 0.94 \quad \text{식(2)}$$

$$V(95\%)(cm/s) = 191.37 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1.432} \quad R = 0.88 \quad \text{식(3)}$$

상기와 같은 식으로 도출하기 위하여 계측자료의 진동속도 V와 환산거리 SD를 log값으로 취하면 $\log V = \log K + n \cdot \log(SD)$ 의 형태를 취한다.

그 결과 $y = a + nx$ 형태의 직선식이 되어 a와 n값이 산출되는데 일반적으로 $a > 0, n < 0$ 이 된다. 여기서 SD가 1일 때 V는 K이다.

한편 입자상수의 결정법은 Log-Log Scale로 좌표상에 도시하였을 때 기울기(n)와 절편(logK)으로 부터 결정한다[7].

상기에서 제시한 두 개의 식은 95%의 신뢰수준으로 식(2)는 자승근의 환산거리를 적용한 발파진동 추정식으로 K값은 67.42이고, n값은 -1.264와 상관계수(R)는 0.94 이다. 식(3)은 삼승근의 환산거리를 적용한 발파진동 추정식으로 K값은 191.37이고, n값은 -1.432와 상관계수(R)는 0.88이다.

4. 시험발파의 진동 관리기준 설정과 분석방법의 개선방안

4.1 거리별 지발당 허용장약량 산출

시험발파 대상지역의 보안물건에 대한 발파 진동 및

소음 관리기준은 노천발파 지침 및 소음진동 규제법, 설계도서의 기준 값 등을 고려하여 발파진동 허용기준은 주택으로 0.3cm/sec 로 설정하였다.

발파 영향권 내의 보안물건인 인근마을 구조물에 대하여 발파진동 관리기준을 0.3cm/sec로 설정하였을 때 Fig. 3의 진동제어 및 일반 발파공법의 자승근, 삼승근 환산거리를 적용한 발파진동 추정식을 이용하여 보안물건으로부터 거리에 따른 지발당 허용장약량을 산출한 것이 Table. 2이다.

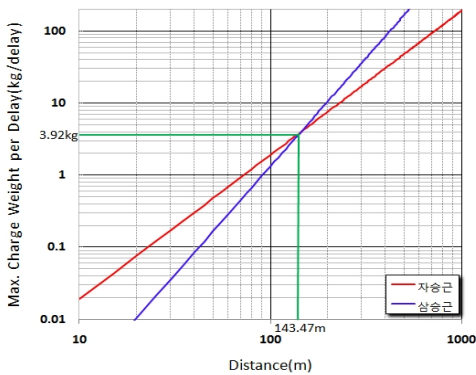


Fig. 3. Relation of Max. Allowable Charge weight per delay to Distance

4.2 시험발파 결과에 따른 발파공법 선정

노천발파 지침과 시험발파 결과에 따른 이격 거리별 장약량을 비교한 것이 Table. 3이고 노천발파 지침의 발파진동추정식과 시험발파의 발파진동 추정식에 따른 거리별 발파공법을 비교한 것이 Table. 4이다. 미진동 발파는 당초 21m에서 26m로, 정밀진동제어 발파는 당초 21~42m에서 26~52m로 변경되었으며, 소규모 진동제어 발파는 42~74m에서 52~92m로, 중규모 진동제어 발파는 74~131m에서 92~162m로, 일반발파는 131~226m에서 162~281m로, 대규모 발파는 226m에서 281m로 변경되는 사업비 증가요인이 도출되었다.

4.3 시험발파의 문제점과 개선방안

노천발파 작업 중 인접 구조물에 대한 계측 및 분석을 수행하고 노천발파지점과 가장 인접한 구조물을 선정하여 발파진동 해석 및 평가를 시행하여 노천발파공을 완료하는 과정에서 나타난 시험발파의 절차 및 분석에 대한 개선방안은 다음과 같다.

Table 2. Allowable Charge weight per delay to Distance

Vibration Standard Distance (m)	House Blasting Vibration Standard (0.3cm/s)		Vibration Standard Distance (m)	House Blasting Vibration Standard (0.3cm/s)	
	Square root(kg)	Cube root(kg)		Square root(kg)	Cube root(kg)
5	0.005	0.000	155	4.579	4.947
10	0.019	0.001	160	4.879	5.441
15	0.043	0.004	165	5.189	5.967
20	0.076	0.011	170	5.508	6.526
25	0.119	0.021	175	5.837	7.119
30	0.172	0.036	180	6.175	7.747
35	0.233	0.057	185	6.523	8.411
40	0.305	0.085	190	6.880	9.111
45	0.386	0.121	195	7.247	9.850
50	0.476	0.166	200	7.623	10.627
55	0.577	0.221	205	8.009	11.444
60	0.686	0.287	210	8.405	12.302
65	0.805	0.365	215	8.810	13.202
70	0.934	0.456	220	9.224	14.145
75	1.072	0.560	225	9.648	15.131
80	1.220	0.680	230	10.082	16.162
85	1.377	0.816	235	10.525	17.240
90	1.544	0.968	240	10.977	18.364
95	1.720	1.139	245	11.440	19.535
100	1.906	1.328	250	11.911	20.756
105	2.101	1.538	255	12.393	22.026
110	2.306	1.768	260	12.883	23.348
115	2.520	2.020	265	13.384	24.721
120	2.744	2.295	270	13.893	26.147
125	2.978	2.594	275	14.413	27.626
130	3.221	2.918	280	14.942	29.161
135	3.473	3.268	285	15.480	30.751
140	3.735	3.645	290	16.028	32.398
145	4.007	4.050	295	16.585	34.103
150	4.288	4.483	300	17.152	35.866

4.3.1 시험발파 수행업체 선정

시험발파 수행업체 선정에 있어서는 시공사가 시험발파업체를 선정함에 따라 발파진동 계측 값의 선별 또는 주관적인 해석으로 현장에 유리한 발파진동 추정식 선정이 우려된다. 또한 시공사의 저가 수주로 인한 낮은 단가의 시험발파비로 시험발파 업체의 결과분석 업무의 범위가 축소될 수 있으며 발주처의 승인요청에 따른 승인기간 지연 및 시험발파업체 변경의 문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 개선 방안으로 시험발파업체가 시공사로부터 독립적인 위치에서 계측하고 해석할 수 있도록 발주처나 건설사업관리자가 직접 시행하는 제도적인 개선이 필요하며, 시험발파비용을 실적단가나 PS(잠정금액/Previsional Sums) 단가로 선정하여 시공사가 저가로 수주할 경우에도 시험발파비용이 삭감되지 않은 조건에

서 시험발파를 철저히 수행할 수 있도록 개선해야 한다. 또한, 노천발파의 효율적인 작업추진을 위하여 노천발파 지침서의 발주처 승인사항 개선이 필요하다.

Table 3. Charge weight per delay to Distance

Guides on the design and construction of Open Blasting			Result of Test Blasting			
$V_{84\%} = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$			$V_{95\%} = 67.42 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.264}$			
Distance (m)	Charge Weight(kg)	Separation Distance	Distance (m)	Charge Weight(kg)	Separation Distance	
10	0.0295	0 ~ 20m	10	0.019	0 ~ 26m	
15	0.0664		20	0.076		
20	0.1181		25	0.119		
25	0.1920		26	0.129		
30	0.2657	20m ~ 40m	30	0.172	26m ~ 52m	
35	0.3616		35	0.233		
40	0.4723		40	0.305		
45	0.5978	40m ~ 70m	45	0.386		
50	0.7380		52	0.515		
55	0.893	40m ~ 70m	60	0.686		52m ~ 92m
60	1.063		65	0.805		
65	1.266		70	0.934		
70	1.446		75	1.072		
75	1.660	70m ~ 130m	80	1.220	92m ~ 162m	
80	1.889		90	1.544		
90	2.391		92	1.613		
100	2.952		100	1.906		
110	3.572	130m ~ 220m	110	2.744		162m ~ 281m
120	4.251		120	2.744		
130	4.989		130	3.221		
140	5.786		150	4.288		
160	7.557	130m ~ 220m	162	5.002	162m ~ 281m	
180	9.564		180	6.175		
200	11.808		200	7.623		
220	14.288		240	10.977		
230	15.616	220m 이상	281	15.048		281m 이상
260	19.955		300	17.152		
300	26.568		320	19.515		

4.3.2 시험발파의 계단높이 및 자유면 확보

노천발파 설계 시공지침의 표준단면도에 명시된 계단 높이 및 최소저항선을 준수하지 않으며 주로 계단발파를 시행함에 따라 노천발파 지침의 자유면을 충분히 확보하지 않고 시험발파 시행으로 발파 진동 및 소음이 크게 발생하는 문제점에 대하여 개선 방안으로 시험발파를 시행하기 전에 노천발파 지침의 발파패턴별 표준단면도를 기준으로 화약전문기술자가 확인하고 단계별 검측을 시행한 후 시험발파를 시행하여야 하며 발파공법별 별도의 자유면을 충분히 확보하고 시험발파 시행으로 현장여건에 적합한 발파진동 추정식을 산정하여야 한다.

Table 4. Charge Weight per delay to Distance in accordance with Estimation formular Blasting vibration

TYPE	Range of Charge weight per delay(kg)	Estimation formular Blasting vibration at Design stage ($V_{84\%}$)	Estimation formular Blasting vibration of Test Blasting ($V_{95\%}$)
		K= 200, n= -1.6	K= 67.42, n= -1.264
I	below 0.125	on 21m	on 26m
II	0.125 ~0.5	21 ~ 42m	26 ~ 52m
III	0.5 ~ 1.6	42 ~ 74m	52 ~ 92m
IV	1.6 ~ 5.0	74 ~ 131m	92 ~ 162m
V	5.0 ~ 15	131 ~ 226m	162 ~ 281m
VI	15 and/or above	226m and/or above	281m and/or above

4.3.3 시험발파 분석 방법

시험발파 분석 방법은 노천발파 지점과 인접한 구조물에 대한 별도의 발파진동 구조해석 및 평가를 시행하지 않고 일반적인 관리기준치 적용으로 발파패턴 변경에 따른 사업비가 증가되며 사전조사비(구조물 외관 및 균열 등) 미반영으로 인한 시공사의 원가부담이 발생한다. 그리고 시험발파비의 과소책정으로 발파진동으로 인한 주변 구조물에 대한 발파진동해석 및 평가의 어려움에 따른 문제점에 대한 개선 방안으로는 시험발파 시 노천발파 지점과 인접한 구조물에 대한 발파진동 구조해석 및 평가를 수행하도록 노천발파지침을 개정하여야 하고 실시설계 시 발파영향권의 주변 마을에 대한 사전조사비의 표준화 작업 및 조사비용에 대한 반영이 필요하다. 또한, 발파영향권의 주변 구조물에 대한 발파진동 구조해석 및 평가를 수행할 수 있도록 시험발파 비용에 별도의 용역비 추가가 필요하다.

4.3.4 발파시 계측 관리비 반영

발파영향권의 보안물건에 대한 계측치의 분석 및 효율적인 계측관리의 미 시행으로 민원 제기시 근거자료 확보가 어려우며 실시설계 시 사업비 증가로 인한 계측 관리비 반영이 누락되는 문제점에 대하여 개선 방안으로는 실시설계 시 계측관리비가 필히 반영될 수 있도록 설계용역 관리감독을 철저히 수행하고 누락되었을 경우에는 설계변경 시 반영이 필요하다.

5. 결론

실제 도로확장공사 현장에서 시험발파를 통한 표준발파공법 및 진동규제기준별로 적용되는 이격 거리를 기준으로 노천 발파작업을 수행하여 발파진동 값을 계측 분석하고, 노천발파 지침의 발파진동추정식과 시험발파의 발파진동추정식에 따른 이격 거리별 장약량과 발파공법을 비교분석한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구의 시험발파에서는 발파진동 계측자료를 회귀분석 하여 자승근 환산거리와 삼승근 환산거리를 적용한 신뢰도 95%의 발파진동 추정식을 산출하였다. 노천발파 지침에 의거한 안전성과 신뢰도가 높은 진동속도 추정식을 다음 식과 같이 제시하였다.

$$V(95\%)(cm/s) = 67.42 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.264},$$

$$V(95\%)(cm/s) = 191.37 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1.432}$$

- (2) 발파 영향권 내의 보안물건인 인근마을 구조물에 대하여 발파진동 관리기준을 0.3cm/sec로 설정하였을 때 진동제어 및 일반 발파공법의 자승근, 삼승근 환산거리를 적용한 발파진동 추정식을 이용하여 보안물건으로부터 거리에 따른 지발당 허용 장약량을 산출하였다.
- (3) 발파진동 추정식 산출 시 공사비가 저렴한 자승근의 발파진동추정식을 선정하였으나, 노천발파 지침의 발파진동추정식과 시험발파의 발파진동추정식에 따른 거리별 발파공법을 비교한 결과 미진동 발파는 당초 21m에서 26m로, 정밀진동제어 발파는 당초 21~42m에서 26~52m로 변경되었으며, 소규모 진동제어 발파는 42~74m에서 52~92m로, 중규모 진동제어 발파는 74~131m에서 92~162m로, 일반발파는 131~226m에서 162~281m로, 대규모 발파는 226m에서 281m로 변경되는 사업비 증가요인이 도출되었다.
- (4) 노천발파 작업 중에 인접 구조물에 대한 계측 및 분석을 수행하고 노천발파지점과 가장 인접한 구조물을 선정하여 발파진동 계측 및 평가를 시행하

여 노천 발파공사를 완료하는 과정에서 나타난 시험발파의 절차 및 해석방법에 대한 개선방안을 제시하였다.

References

- [1] Korea Structural Analysis & Diagnosis Eng. All Right Reserved, "A Study on the evaluation of Building Damage Assessment by Vibration", Ministry of Environment National Environmental Dispute Resolution Commission, 2002.
- [2] Yeon-Soo Park, Doo-Young Lee, Jun-Soo Jun, "Study on Estimation and Control of Construction Vibrations", Deawoo engineering institute of technology, 1989.
- [3] Sun-Jong Jang, "Prediction of Principal Frequency and Response Spectra of Structures induced by the Blasting Vibration: Chonnam National University Graduate school, 2003.
- [4] Sung-Wan Son, Joon-Ho Kim, Sek-Young Jeong, Seong-Kyeong Hong, Dong-Yong Kim, "A Study on Dynamic Structural Analysis for Blast Vibration by using Semi-Empirical Method: Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 271-276, 2001.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Guidelines on the Designing and Building in Open Blasting of Road Construction", 2006.
- [6] Yeon-Soo Park, Sun-Joon Park and Sung-Hoo Kang, "An Efficient Blast Design using Reliability Index", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering journal, vol. 8, no. 5, pp. 821-831, 1998.
- [7] Chu-won Kang. "Blasting Engineering A to Z", 420, Gumiseokwan, 2014.

김 응 록(Eung-Rok Kim)

[정회원]



- 1996년 8월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 전남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1990년 2월 ~ 1992년 8월 : 철도 기술연구소 제도연구과 연구원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 송원대학교 방재안전토목학과 교수

<관심분야>

토목구조, 철도