

연구노트

토목 발파가 소음, 진동, 부유 분진에 미치는 영향

정진도·김영국*

호서대학교 환경공학과 · 호서대학교 대학원 환경공학과
(2003년 9월 15일 접수; 2004년 1월 26일 채택)

Effects of Civil Blasting on Noise, Vibration and Total Suspended Particles

Jin Do Chung and Young Kook Kim*

Dept. of Environmental Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea
*Graduate School, Dept. of Environmental Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea
(Manuscript received 15 September, 2003; accepted 26 January, 2004)

This research is to determine the level of environmental pollution at a blasting construction area which is the origin of noise, vibration, and suspended particle, and to compare the results with other domestic and international standard data. This experiment is also to find out the effects resulting from blasting construction and to propose a plan that can decrease environmental pollution. The blasting construction area is a factory site which is about one and half million square meter and sewage disposal plant is about ninety thousand square meter. Both were selected as the areas for the tests to be conducted in determination test. The test to determine the level of noise, vibration, and total suspended particle was conducted thirty times around the blasting construction area by comparing measurement results and numerical analysis. However, as the test was not conducted in the laboratory but in the actual blasting construction area, it was not possible to do the test with the same exact conditions each time. Therefore, the test was not ideal as conditions could change from test to test. For the most part, the level of noise was below the standard level of 70dB. Every vibration test was under the standard limitation. For example, a house, 200m away was tested for noise and vibration and the level was found to be under the 0.2 cm/sec which is the standard for specially designed cultural sites, i.e very low level. Also a buried oil pipeline that was 30m away also marked under 2.0cm/sec which is the norm for an industrial area. However, if there were an oil pipeline under the house, the amount of charging gunpowder per hole should be decreased compared to the amount used in the test. The test result for suspended particles under the standard limitation which is 24hour average $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ at a distance from blasting wavelength, but at detonator, total suspended particle from the blast origin exceeded the standard limitation. If explosion occurs when it detonates in the hole, most of the energy would be absorbed in the crushing of rocks, but some remaining energy would make noises and vibration inevitable. So the important thing is how to minimize the environmental pollution from the blasting. There should be regulations in order that the standard limitation is not exceeded, and to decrease the environmental pollution from the blasting.

Key Words : Civil blasting, Noise, Vibration, Total suspended particle, Explosion

Corresponding Author : Jin Do Chung, Dept. of Environmental Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea
Phone : +82-41-540-5743
E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr

1. 서론

최근 사회간접자본의 확충을 위한 고속철도, 국제공항, 고속도로의 건설 및 기타 지방공단의 조성 등의 많은 대규모 토목공사에서 굴착공사를 위한 발파공

사가 시행되고 있고 이런 발파공사는 소음, 진동, 부유분진 등의 환경오염원이 되고 있어 이로 인한 다수의 민원이 발생되고 있다. 하지만 발파로 인한 환경오염 허용기준은 발생 민원을 객관적이고 명확하게 해결해 주기 위한 기준에는 미흡한 실정으로써 민원의 강도에 따라 피해보상의 기준도 천차만별로 적용되고 있는 실정이다.¹⁾

토목발파의 경우 대부분이 대규모 발파를 하고 있어 소음, 진동, 부유분진을 필연적으로 발생하게 되는데 이에 발파현장에서는 민원의 사전 예방을 위하여 발파작업 전에 주변의 가옥이나 기타 건축물의 위치 파악과 발파진동, 소음의 영향을 받는 가축의 사육상태 등을 세밀하게 조사하여 이를 바탕으로 민원이 발생되지 않도록 발파에 사용되는 화약량의 결정, 발파 방법 등을 결정하게 되며, 이때에는 암반의 종류, 균열의 정도, 화약의 종류, 지형적 특성 등의 발파에 미치는 모든 변수를 고려하여 발파 전 수치해석에 의한 환경오염을 추정하기도 한다.²⁾ 또한 발파시 계측기를 설치하여 화약량, 천공수, 천공간격 등을 변경하면서 반복시험에 의한 환경오염을 측정하여 허용기준치를 준수하는 범위 내에서 최대의 효과를 얻을 수 있는 발파 방법을 선정하게 된다.

이렇게 사전조사 및 계측관리에도 불구하고 실제 발파가 진행되면 대부분의 발파현장에서는 건축물의 균열 문제, 가축의 유산, 생산량감소, 생육감소 등의 민원이 발생한다. 이러한 민원은 발파로 인한 피해 여부를 객관적으로 판단하기가 매우 곤란하여 피해 보상이 원만하게 해결이 되지 않고 법적인 단계로까지 확대되고 경우가 많으며, 특히 최근에는 쾌적한 환경에 대한 욕구 증대로 인한 정서적 보상 민원 및 발파현장의 경우에는 무조건 민원을 만들

면 보상을 받을 수 있다는 심리가 작용하여 발파작업을 한다는 사실만으로도 집단적 민원을 제기하기도 한다.^{2,7,8)}

본 연구에서는 대규모 지방공단조성공사 발파현장과 비교적 소규모의 발파현장인 하수처리장 현장을 선정하여 실제 발파현장에서의 소음, 진동, 부유분진의 측정을 통하여 토목발파가 환경오염에 미치는 영향을 국내의 허용기준치와 비교하고, 또한 수치해석치와 실측치를 비교하여 두 값의 상관관계도 파악하고, 현행 발파 작업에 의한 환경오염 허용기준치의 개선 여부 등도 검토하여 발파 작업에 의한 민원의 객관적 기준 마련책 및 환경오염의 저감방안을 제안하고자 한다.

2. 측정 장치 및 방법

2.1. 측정 장치

Fig. 1은 공사장 발파에 따른 가옥에 미치는 소음과 진동의 영향을 측정하기 위한 장치의 전체 구성도이다. 본 연구에서는 FFT analyzer(Lason Davis 2900社, L&D 2990)를 1채널로 사용하여 진동을 측정하였으며, 소음의 경우 소음계(B&K 2236)를 통하여 측정하였다. 소음과 진동을 동시에 2채널로 사용할 경우 소음을 기준으로 하여 FFT analyzer 범위를 정하면 진동이 미약하기 때문에 주파수 분석기에 나타나지 않는 현상이 발생하고, 진동을 기준으로 하여 범위를 정할 경우는 소음이 너무 크기 때문에 overall이 발생하는 현상이 발생하기 때문이다. 따라서 소음은 소음계를 통해 소음계 화면상에 나타나는 수치를 기록하였고, 진동의 경우 측정하고자 하는 지점에 진동 센서를 부착시킨 후 진동 센서를 통해 전달된 진동을 증폭기를 통해 증폭시켜 주파수 분석기에 나타나도록 하였다.

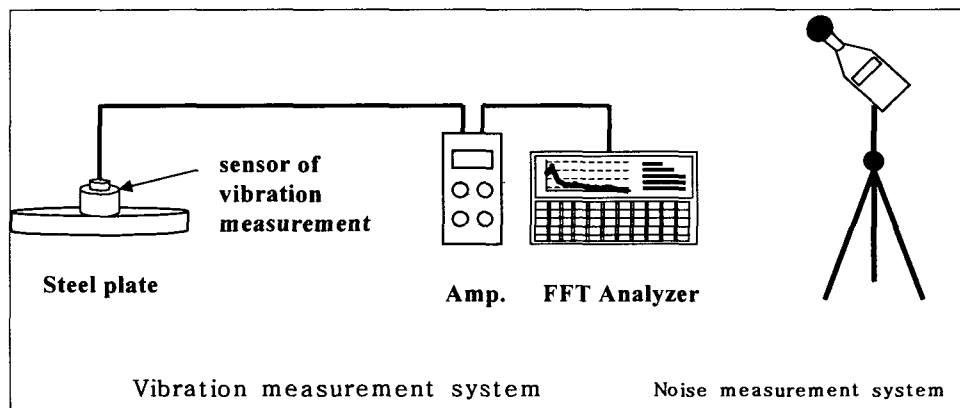


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

부유 분진 측정 장치로는 KIMOTO社의 high volume air sampler를 사용하였으며, 다량의 공기량 (1600~2400m³)을 24시간 동안 유리섬유 여과지를 통해 흡인하여 직경이 100 μ m이하인 금속, 유기입자, 그리고 황산염과 질산염 등의 입자를 여과지에 포집하여, 그것을 측량하여 채취 기간동안의 분진평균 농도를 산출하였다.

2.2. 측정 방법

2.2.1. A 지구

2.2.1.1. 측정 방법

A지구에서는 소음·진동 및 부유분진을 측정하였으며, 소음·진동의 경우 6지점을 선정하여 20회에 걸쳐 측정하였다. 사용된 폭약의 종류는 에유라이트 150S이며, A지구의 경우 발파 현상이 대부분 굴곡이 있는 산악지대로서 진동 감지가 어려웠다. 따라서 처음엔 미세한 신호를 감지 할 수 있는 센서를 사용하여 건물의 벽면과 쇠파이프를 지면에 고정시킨 후 부착시켜 측정하였으나, 여전히 진동 신호가 낮게 감지되어 신호 감지 폭이 더 넓은 진동 센서를 이용하여 각 각 가로, 세로 300mm, 두께 13mm인 철판을 놓고 지면과 밀착시킨 후 그 위에 진동 센서를 고정시켜 측정하였다.

소음의 경우 가능한 발파 10초전 모든 주변 소음들을 제거한 뒤 발파시 소음을 소음계로 측정하여 기록하였다.

부유분진은 일회 측정시 24시간을 기준으로 하여 12회에 걸쳐 측정하였다. 여지는 수분의 영향을 적게 받고 시료 중에 함유된 분진의 양을 측정하기 위한 목적으로 널리 사용되는 유리섬유 여과지(glass microfibre filter)를 사용하였으며, 측정 전 대형 대시계이더에서 24시간 건조시킨 후 측정하였고, 측정

후 다시 24시간 건조시킨 후 부유분진의 질량농도를 측정하였다.

2.2.1.2 측정위치 선정

소음 및 진동은 공사장 발파로 인한 피해를 받을 것으로 예상되는 가옥들에 대해 그 지점에 미치는 영향을 측정하였으며, 그리고, 이와는 별도로 발파 장소로부터 약 200m 떨어진 현장에 측정위치를 선정하였다. 이는 피해예상 가옥에서는 소음과 진동의 영향이 아주 미비했으며, 지형에 대한 흡음성으로 인해 소음과 진동의 영향이 적은 것으로 사료되었기 때문이다.

부유분진의 경우 대상지역의 주위환경과 기상조건을 고려하여 선정하되, 주위에 건물이나 수목 등이 없고, 그 지역의 오염도를 대표할 수 있는 곳이어야 하며, 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 있을 경우에는 채취위치로부터 장애물까지의 거리가 그 장애물 높이의 2배 이상이 되게 하거나 채취점과 장애물 상단을 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도가 30°이하 되는 곳으로 하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 가장 근거리에 위치한 가옥(position c)이 있는 지점에 대하여 위의 조건에 맞게 측정지점을 선정하였다.

소음·진동 및 부유분진 측정위치의 분포는 Fig. 2와 같다.

2.2.2. B 지구

2.2.2.1. 측정 방법

B지구에서는 발파로 인해 피해가 예상되는 지점 두곳을 선정하여 총 10회에 걸쳐 측정하였다. B지구는 A지구와는 달리 넓은 평지로 되어있었으며, 폭약 종류는 뉴마이트 5500이다.

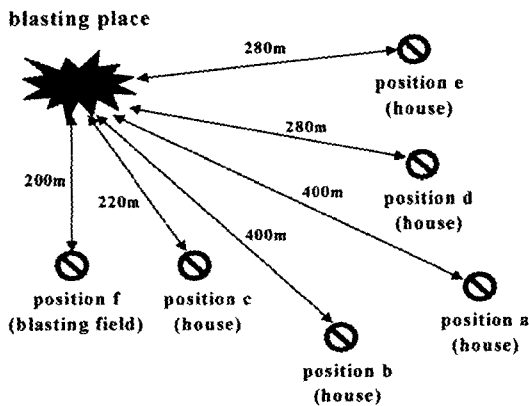


Fig. 2. Measurement position and distance from blasting place (B region).

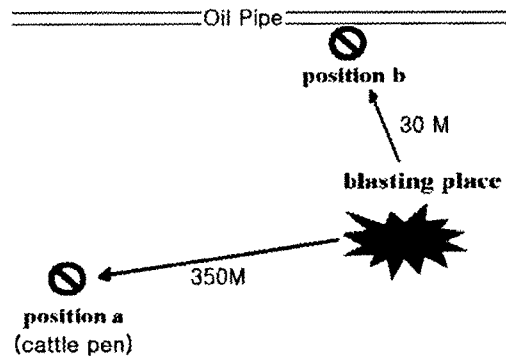


Fig. 3. Measurement position and distance from blasting place (B region).

Table 1. Measurement results of noise level

No.	Measurement position	Determination distance (m)	Detonation Powder			Noise (dB)
			Boring No.	Charging detonation powder per hole(kg)	Total charging detonation powder(kg)	
1	a	400	36	8	288	67.6
2	a		50	4.5	225	65
3	b		37	4.73	175	67.7
4	c	220	39	6.41	250	65.9
5	c		50	5	250	65.7
6	c		45	6.67	300	67.1
7	f	200	20	12.5	250	70.4
8	f		19	7.5	142.5	67.2
9	f		45	7.5	337.5	77.8
10	f		62	5.04	312.5	77.4
11	f		30	6.67	200	69.1
12	d	280	60	13.33	800	69.8
13	f	200	50	7.5	375	72.2
14	d	280	43	8.14	350	65.3
15	e	280	40	8.125	325	62.5
16	f	200	60	2.91	175	68.6
17	e	280	75	13.67	1025	67.9
18	f	200	100	6.25	625	89.6
19	f		38	6.18	235	73.1
20	f		122	3.93	480	80.7

진동은 A지구에서와 같이 가로, 세로 300mm, 두께 13mm인 철판을 지면과 밀착시킨 후 그 위에 진동 센서를 고정시켜 FFT analyzer 화면에 나타난 주파수를 분석하여 측정하였으며, 소음의 경우 역시 발파 10초전 모든 주변 소음들을 제거한 뒤 소음계로 측정하여 기록하였다.

2.2.2.2. 측정위치 선정

B지구의 경우 발파 장소로부터 30m 떨어진 지점에 송유관이 있었으며, 약 350m 떨어진 지점에는 젖소들을 기르고 있는 우사가 있었다. 따라서 B지구에서는 송유관이 있는 지점과 우사가 있는 지점 두 곳을 선정하였다.(Fig. 3)

3. 측정 결과 및 고찰

3.1. A 지구

3.1.1. 소음

일반적으로 소음은 생활환경에서의 허용 소음보다 얼마나 높은 소음에 노출되는지를 조사하여 평가하고 있다. 따라서 소음의 경우 국내 환경보전법을 기초로 하였으며, 발파 시간이 1일 2시간 이내이므로 주거지역 기준 60~65dB(A)에 보정치 10dB(A)을 보정한 70dB(A)을 기준으로 정하였다(28)

Table 1 및 Fig. 4에서 보는바와 같이 총 20회에 걸쳐 측정된 소음 결과를 보면 환경기준을 초과한 경우가 모두 7회 있었으나, 이는 모두 f 지점에서 측정된 결과로서 A 지구의 발파 소음이 주변 환경에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 측정된 소음 결과는 총 장약량과는 무관하게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 지연발파의 효과 및 a, b, c, d, e 지점의 경우 발파지점보다 지형적으로 낮거나 높은 곳에 위치해 있어, 거리와 지형 등에 의한 흡

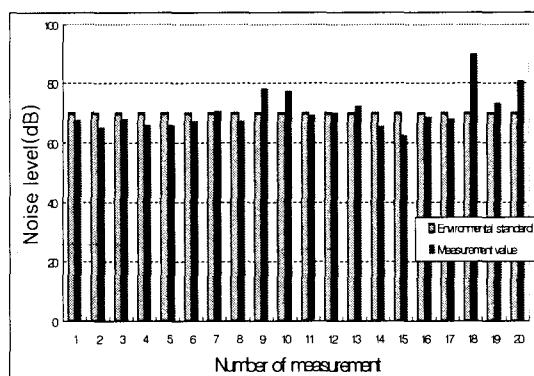


Fig. 4. Comparison of environment standard and measurement noise level.

음성이 복합적으로 작용하여 나타난 결과라고 사료되며 유⁸⁾ 등의 결과와도 동일한 경향을 보여 주었다.

3.1.2. 진동

Table 2는 진동측정치의 결과를 보여주고 있으며 Fig. 5는 문화재에 대한 환경부 진동 기준과 측정된 진동속도를 비교한 것이다. 진동속도는 기준치인 0.2cm/sec에 훨씬 못 미치고 있으며, 컴퓨터 프로그램에 의해 얻은 수치해석 값과 FFT analyzer에 의

해 실제 측정된 값을 비교했을 때 두 값의 차이가 나타났다. 이러한 결과는 수치해석 값의 경우 지발 장약량(kg)과 측정 거리에 의해 계산한 값인데 반해, 실제 측정된 진동값은 천공수와 총 장약량에 의해 측정되었기 때문에 차이가 난 것으로 사료된다. 또한 수치해석값의 경우 단순히 거리 수치만을 입력하여 계산되지만 측정치의 경우 지형 등에 의한 흡음성이 작용하기 때문에 수치해석 값보다 낮게 나타났다고 사료된다.

Table 2. Measurement results of vibration level

No.	Measurement position	Detonation Powder			Vibration			
		Boring No.	Charging detonation powder per hole (kg)	Total charging detonation powder (kg)	VAL (dB)	Frequency (Hz)	Vibration acceleration (m/sec ²)	Vibration velocity (m/sec)
1	a	50	4.5	225	14.2	50	0.0000513	0.00000016
2	b	37	4.73	175	14.2	25	0.0000513	0.00000033
3	c	39	6.41	250	18.1	50	0.00008	0.00000026
4	c	50	5	250	14.5	50	0.00015	0.00000048
5	f	20	12.5	250	45.2	25	0.00182	0.000012
6	f	19	7.5	142.5	50.2	3.125	0.00324	0.000165
7	f	62	5.04	312.5	43.0	25	0.00141	0.000009
8	f	30	6.67	200	75.3	25	0.05821	0.00037
9	d	60	13.33	800	13.9	25	0.00005	0.0000003
10	f	50	7.5	375	80.3	50	0.1035	0.00033
11	d	43	8.14	350	63.9	75	0.0157	0.000033
12	e	40	8.125	325	67.4	25	0.03344	0.00015
13	f	60	2.91	175	78.9	25	0.0881	0.00056
14	e	75	13.67	1025	65.5	25	0.0189	0.00012
15	f	100	6.25	625	83.0	75	0.1413	0.0003
16	f	38	6.18	235	77.7	25	0.0768	0.0005
17	f	122	3.93	480	80.0	25	0.10	0.00064

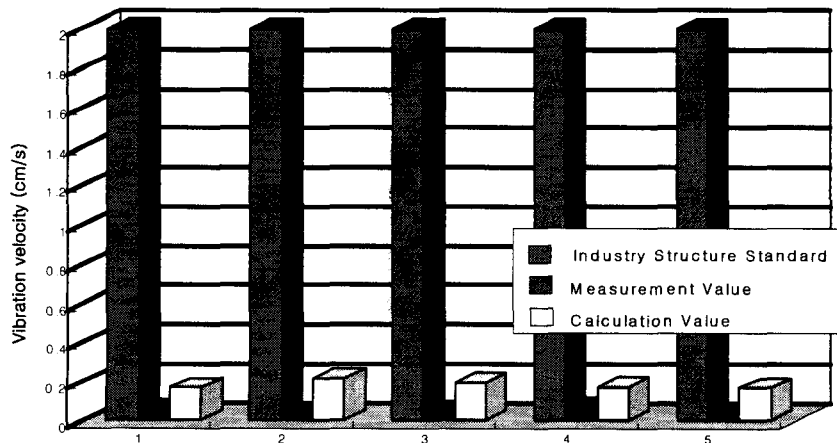


Fig. 5 Comparison of Industry structure standard and measurement vibration velocity at 'f' point.

일반적으로 사람들이 이러한 미세한 진동에도 놀라는 것은 소음과 연관해서 느끼는 경우가 많기 때문이다. 공사장 발파시 발생하는 소음 및 대기 유동이 가옥으로 전달되어 예민한 부분이 흔들릴 경우 사람들은 의례적 발파에 의한 진동 때문에 건물에 피해를 입는다고 생각하는 경우가 많다. 따라서 일반 사람들은 이러한 청각의 영향으로 진동을 측정하기 때문에 진동의 영향이 크게 나타나거나 감각적으로도 크게 느낄 수 있다. 이와 더불어 평소 진동에 거의 노출되지 않은 사람들이 외부에서 미세한 진동이 전해져도 크게 놀라는 경향도 들 수 있다.

측정결과 얻어진 값들은 (1)식을 이용하여 진동속도를 구하였다⁴⁾.

$$VAL = 20 \log\left(\frac{A}{A_0}\right) (dB) \quad (1)$$

여기서,

VAL : 진동 가속도 레벨(Vibration Acceleration Level)로서 진동의 물리량을 dB로 나타낸 값

A : 측정대상 진동의 가속도 실효치(m/s²)

A₀ : 기준진동의 가속도 실효치

(1gal이나 10⁻⁵m/s²이 사용되나 공해진동에서는 후자가 많이 쓰임)

3.1.3. 총 부유 분진

공사장 발파 시 발파에 의해 발생하는 부유분진은 발파장의 분진의 성분 여하에 따라 인체와 생활 환경에 많은 영향을 미치는 것 중 하나이다. 이러한 부유분진의 환경기준치는 연간평균치 150μg/m³, 24

시간 평균치 300μg/m³이며, 본 연구에서는 12회에 걸쳐 측정하였으며, 24시간 평균치를 기준으로 하여 비교하였다.

부유분진은 입경에 따라 비산하는 정도가 다르지만, 본 연구에서는 발파장으로부터 직선상의 거리로 200m인 지점에서 측정하였으며, 여과지의 무게차에 의해 부유분진의 질량농도를 측정하였다.

부유 분진의 농도(C)는 (2)식에 의해 산출하였다^{5,8)} 여기서,

C : 부유 분진의 질량 농도(μg/m³)

W_i : 여과지의 초기 무게(g)

W_f : 여과지의 최종 무게(g)

V : 흡인 공기 체적(m³)

10⁶ : g을 μg으로 환산한 환산계수

3.2. B 지구

3.2.1. 소음

B지구에서도 A지구에서처럼 주거지역을 기준으로 하여 보정치 10dB를 보정한 70dB를 기준으로 하였다. 소음 측정 시 발파 소음 외 다른 소음들의 영향을 최소화하기 위해 발파 10초 전에 소음 측정지점의 무전 교신 및 기타 다른 소음이 발생하지 않도록 주의하였으며, 따라서 모든 소음 데이터는 순수한 발파소음만을 측정된 것이라고 볼 수 있다.

B지구의 경우 a 지점에 송유관이 매설되어 있기 때문에 A지구에 비해 총 장약량이 매우 적었으며, 거리와 지형 등에 의한 흡음성이 낮은 평지로 이루어져 있었다. 소음 측정은 a 지점에서 10회, b 지점에서 4회 측정하였으며, Table 3은 발파 시 사용된

Table 3. Measurement results of noise level

No.	Measurement position	Detonation Powder			Noise (dB)
		Boring No.	Charging detonation powder per hole (kg)	Total charging detonation powder (kg)	
1	a	5	1.67	8.35	86.7
	b				63.4
2	a	10	1.67	16.7	84.6
	b				63.5
3	a	10	2.1	21	84.8
	b				64.8
4	a	10	1.67	33.4	87.1
	b				64.5
5	a	10	2.5	25	77.2
6	a	20	2.915	58.3	82.1
7	a	20	3.33	66.6	79.2
8	a	20	5	100	78
9	a	20	4.58	91.6	78.8
10	a	20	4.16	83.2	76.8

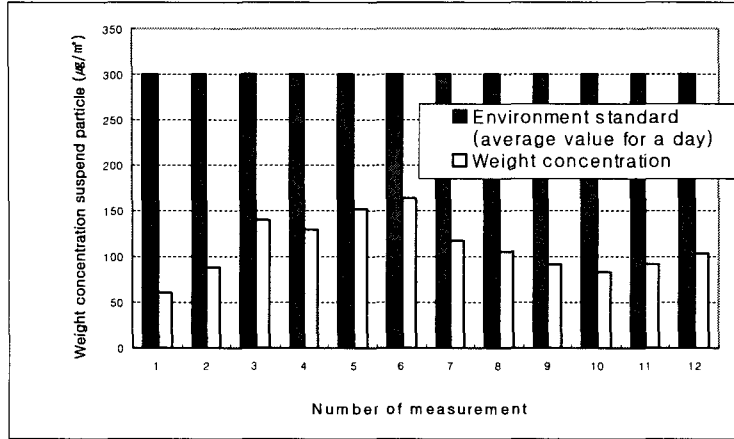


Fig. 6. Comparison of environment standard and measurement weight concentration.

폭약의 양과 측정된 소음 결과를 나타내고 있다.

Fig. 6에 나타난 결과에서 알 수 있듯이 가축을 기르고 있는 b 지점의 경우는 환경소음기준 70dB을 초과한 경우가 없었으며, 측정 소음 대부분이 일상 생활소음이었다. 따라서 공사장 발파시 발생하는 소음이 b 지점으로 전달되어 피해를 주는 사례는 없다.

a 지점에서 측정된 소음의 경우 환경 기준을 전부 초과하였으나, 발파지점으로부터 불과 30m 떨어진 지점에서의 측정 소음이기 때문에 a 지점에서의 측정 결과로 예상할 때 이로 인한 주변환경의 피해는 없을 것으로 사료된다.

3.2.2. 진동

진동은 발파 지점으로부터 30m 떨어진 a 지점에서 6회, 350m 떨어진 b 지점에서 4회에 걸쳐 측정하였으며, b 지점의 경우는 진동에 민감한 반응을 보이는 가축을 기르고 있기 때문에 환경부 건설진

동 규제 기준에서 문화재 기준인 0.2cm/sec를 선정하였으며, a 지점의 경우 송유관에 대한 진동속도 기준이 정확히 나와 있지 않기 때문에 진동기준을 정하기가 어려웠으나, 공업지역 기준의 범위인 2.0cm/sec를 선정하였다. 진동 측정 결과 얻어진 값들은 식(1)을 이용하여 진동 속도를 구하였다.

Table 4는 폭약의 양과 측정된 진동 주파수를 분석한 값들을 나타내고 있으며, Fig. 7은 환경부 건설진동 규제 기준과 지발 장약량(kg), 측정 거리에 의해 컴퓨터 프로그램으로 계산한 계산값과 FFT analyzer에 나타난 주파수를 분석한 진동속도 결과를 비교한 것이다.

Fig. 7에서 수치해석 값과 측정치 값을 비교해 볼 때 가옥에서의 진동속도는 유사하게 나타났으나, 발파 현장에서의 진동 속도는 측정치 값이 더 높게 나타났다. 이러한 이유는 앞서 A지구에서의 결과에서

Table 4. Measurement results of vibration

No.	Measurement position	Detonation Powder			Vibration			
		Boring No.	Charging detonation powder per hole (kg)	Total charging detonation powder (kg)	VAL (dB)	Frequency (Hz)	Vibration acceleration (m/sec ²)	Vibration velocity (m/sec)
1	b	5	1.67	8.35	76	100	0.0631	0.0001
2	b	10	1.67	16.7	77.5	100	0.075	0.000119
3	b	10	2.1	21	79.5	100	0.0944	0.00015
4	b	10	1.67	33.4	84.5	100	0.1679	0.00027
5	a	10	2.5	25	117.3	125	7.3283	0.009331
6	a	20	2.915	58.3	120.8	100	10.9648	0.017451
7	a	20	3.33	66.6	119.5	100	9.4406	0.015025
8	a	20	5	100	114.3	50	5.188	0.0165
9	a	20	4.58	91.6	114.4	50	5.2481	0.01671
10	a	20	4.16	83.2	113.2	50	4.5709	0.01455

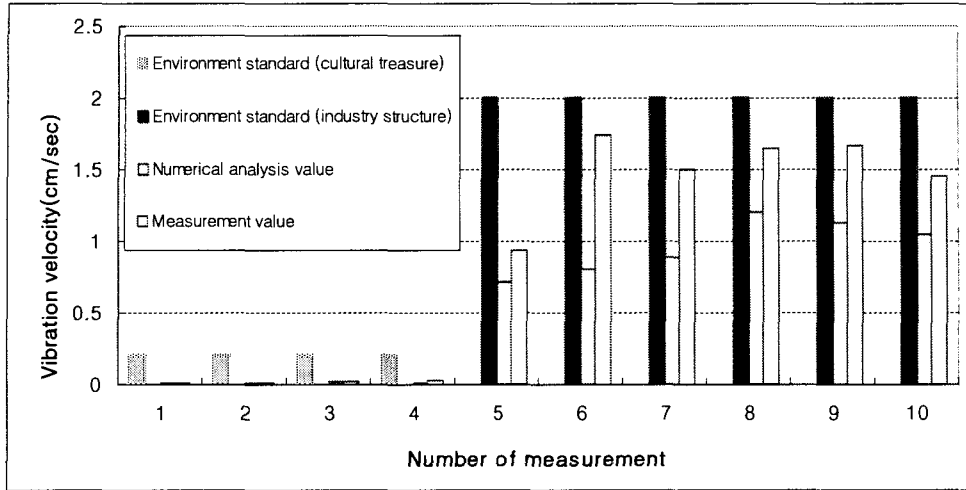


Fig. 7. Comparison of environment standard and measurement vibration level.

처럼 계산값이 지발 장약량과 측정 거리에 의해 계산되었기 때문에 측정된 실제 값보다 낮게 나타난 것이다.

Fig. 7에 나타난 결과에서 알 수 있듯이 진동속도는 a 지점과 b 지점 모두 기준치인 2.0cm/sec와 0.2cm/sec에 못 미치고 있다. 또한 측정된 소음 결과는 총 장약량과는 무관한 것으로 나타났는데 이는 발파시 음파의 증폭작용을 방지하기 위한 지연 발파의 효과로 사료된다.

4. 결 론

A, B 두 지구에 대한 발파장 주위 소음, 진동 및 부유분진을 측정하여 가옥과 인체에 미치는 영향 등에 대하여 환경기준치와 비교 하였으며, 측정값과 계산값을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 소음의 경우 A, B 두 지구에 대해 총 30회에 걸쳐 측정된 결과 발파장과 인접한 곳에서는 발파 순간 기준치인 70dB를 초과하는 경우도 있었으나 이는 단발적이고 순간적인 것이었으며, 가옥이나 가축이 있는 곳에서의 소음 측정치는 기준치인 70dB를 초과하지 않았다.
- 2) 진동속도의 측정 결과는 가축장 및 가옥의 경우 문화재 수준의 기준치인 0.2cm/sec에도 미달하는 것으로 나타났으며, 송유관 매설 위치에서의 진동속도는 공업지역 기준인 2.0cm/sec이하로 나타났다. 이는 발파 민원 중에서 제일 민감한 부분이 진동이므로 발파 수행자가 지연 발파로 충분한 안전율을 지켰기 때문이라고 사료된다. 송유관 매설 위치에 대한 진동 허용기준치가 설정되어 있지 않았으나 2.0cm/sec를 기준으로 발파작업

을 한 결과 송유관에 이상이 없었다.

- 3) 컴퓨터 프로그램에 의해 얻은 계산값과 FFT analyzer에 의해 실제측정 진동 값을 비교 했을 때 두 값은 차이가 나타났다. 이 결과는 계산값의 경우 암반의 종류, 균열의 정도, 화약의 종류 등의 발파조건 적용 시 현장의 복잡한 발파조건을 그대로 적용할 수는 없다는 발파조건상의 차이에서 나타난 것으로 사료된다. 그러나 비교적 먼 거리에서는 측정값과는 차이가 적게 나타나고 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Moore, P. J., 1985, Analysis and Design of Foundations for Vibrations, Balkema, 5-40pp.
- 2) 김영국, 1999, 토목 발파가 환경에 미치는 영향에 관한 연구, 호서대학교 대학원 석사학위논문, 35-51pp.
- 3) Konya, C. J. and E. J. Walter, 1985, Rock Blasting, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 57-80pp.
- 4) Siskind, D. E., M. S. Stagg, J. W. Kopp and C. H. Dowding, 1984, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting, USBM. RI. 8507, 127-150pp.
- 5) Woods, R. D., J. R. Hall and F. E. Richard, 1970, Vibrations of Soils and Foundations, Prentice-Hall, 49-59pp.
- 6) Dowding, C. H., 1992, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, 35-45pp.
- 7) Duvall, W. I. and D. E. Forgelson, 1990, Review of Criteria for Estimating Damage to Residences,

토목 발파가 소음, 진동, 부유 분진에 미치는 영향

- USBM RI. 5968, 78-100pp.
- 8) 유창하, 1992, 암반굴착에 의한 발파 진동, 소음 및 비석의 조절, 한국암반역학회, 터널과 지하공간, 2(1), 102-115pp.
 - 9) 대한 주택 공사, 1992, 토목 공사 표준 시방서, 17-23pp.
 - 10) 대한 주택 공사, 1992, 토목 설계 기준, 5-20pp.
 - 11) 서울특별시 지하철 공사, 1983, 발파 진동식 확립과 제어 발파 지침 결정을 위한 발파 보고서, 40-52pp.
 - 12) 이원제, 1987, 발파에 의한 진동 및 지반 특성이 지반 진동에 미치는 영향에 관한 연구, 고려대학교 대학원 석사학위논문, 27-39pp.