

발파 진동 평가의 문제점과 개선방안

Comparison of Assessment method of Blast Vibration

장 서일* · 이 재원** · 김 형곤***

* 서울시립대학교 환경공학부 교수, **서울시립대 환경공학부 대학원
Seo Il Chang, Jae Won Lee, Hyung Kon Kim

Key Words : "Blasting Vibration(발파진동)", "Shock Vibration(충격성 진동)", "Vibration Assessment(진동평가)", "ISO 2631(국제표준화기구)", "DIN 4150 regulations(독일발파진동기준)"

ABSTRACT

The blast vibration can generate occupants dissatisfy as well as damage of physics nearby building. Then blast vibration estimation issue important problems. But, now blast vibration prediction inside-outside country not established objective method to express magnitude of vibration according to blast number.

In this study, Our propose show our country problem of blast vibration about blast vibration measurement and this problems be able to find improve method.

1. 서 론

국내의 여러 가지 대소형 공사 시 국토의 6할 이상이 산지이며 암석의 강도가 강하고 암반이 지하평균 15m에 분포하는 등의 지질학적 여건상 발파작업은 부지조성 공사에 불가피하게 행해지고 있다. 특히 서울 시내 재개발 공사를 포함한 도심지 내 아파트, 고층건물신축 등의 공사에서 충분한 양의 지하공간을 조성하기 위한 근거리 발파작업으로 인해 발생하는 진동 및 소음의 문제는 환경상의 공해로 인식되어 피해보상을 요구하는 인근 주민들의 민원과 저항에 부딪히는 사례가 많이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 민원 발생의 원인으로 60-70 년대에 발파시 공자가 무리하게 시공하였던 관행으로 말미암아 발파에 대한 부정적인 선입견이 일반국민들에게 자리잡고 있는 측면도 있지만, 발파 진동과 폭음의 특성상 적절한 규제 기준을 마련하는데 어려움이 있는 측면도 있음을 지적할 수 없다. 일부의 주장에 의하면 국내에서의 발파 공해 기준이나 성문화된 법률, 조례가 체계적이지 못하고

비현실적이기 때문에 민원 발생 시 피해 판정기준이 모호하여 건설업자와 민원인들 당사자간에 피해 인과관계 규명이 곤란하여 협상타결이 어려운 형편이다. 그 결과 민원인 또는 피해자 측의 측정이 어렵도록 발파작업을 불시에 행하거나 단시간에 완료하도록 하는 일부 발파업자들의 바람직하지 못한 경향을 유도하기도 했다.

발파에 의해 발생하는 진동의 특성은 충격성, 간헐적 성격이 강하여 지속적인 진동을 주요대상으로 하는 규제 기준에 따른 판단이 어렵고 외국에서도 진동의 허용기준치를 정할 때 충격성, 간헐적 진동에 대한 영향을 횡수 보정과 지속시간에 대한 보정으로 대체하지만 발파에 의한 진동 및 소음의 영향을 판단하기 위한 적합한 기준을 찾기 어려운 실정이다. 이에 본 논문에서는 발파 시 발생하는 진동의 영향에 대한 적절한 측정 및 평가 방안을 수립하기 위한 노력의 일환으로 먼저 외국의 기준 등을 검토하고 또한 현행의 소음, 진동 규제법에서의 발파 진동 규제 시 보완 및 고려해야 할 사항 등에 대하여 알아보고 향후 개선방안에 관하여 논의하고자 한다.

2. 국외 진동법규

2.1 국외의 진동법규

(1) ISO2631(part2) 허용기준치 특성

ISO2631은 수평진동에 대해 3.610-3m/s²(1-2Hz), 수직진동에 대해 510-3m/s²(4-8Hz)의 기준 가속도를 정하고 주파수에 따른 보정을 하여 기준 곡선을 정하고 여기에 횡수에 따른 곱하기인자(Multiplying factor)를 적용하

* 서울시립대학교 환경공학부 교수
E-mail : schang@uos.ac.kr
Tel : (02) 2210-2177, Fax : (02) 2244-2245

** 서울시립대학교 환경공학부 대학원
*** 서울시립대학교 환경공학부 대학원

여 각 지역에 따른 허용기준치를 정하고 있다. 또한 수평, 수직 진동을 따로 계산할 때 생기는 오류를 피하기 위하여 3축 조합 기준 곡선(Combined Standard)도 함께 제시하였다. 그리고 지속적인 진동을 제외한 즉, 충격성 진동이나 간헐적인 진동에 대한 평가를 위하여 VDV(Vibration Dose Value)의 개념을 도입하였고, Fourth power time dependency(a4T= constant)를 적용하여 지속시간에 대한 보정도 함께 적용하였다. 즉, 하루 당 발생 횟수를 진동 발생 규모로 나타낼 수 있는 방법이 정립되어 있지 않기 때문에 다음 식을 하루 당 3회 이상의 경우의 조건에 따라 적용시킨다. 보정인자로는 발생 횟수 곱하기 인자Fn을 곱하여 나타낸다.

$$F_n = 1.7N^{-0.5}$$

여기서 N은 하루당 발생 횟수이다. 1초를 초과하는 지속시간(T)을 가지는 개별적인 진동에 대한 보정 인자는 지속 시간 곱하기인자 Fd를 곱하여 적절히 나타낼 수 있다.

$$F_d = T^{-1.22} \quad \text{for concrete floors}$$

$$F_d = T^{-0.323} \quad \text{for wooden floors}$$

(T)초의 진동 지속 시간은 운동-time history의 10%(-20dB) 지점으로부터 판단할 수 있다.

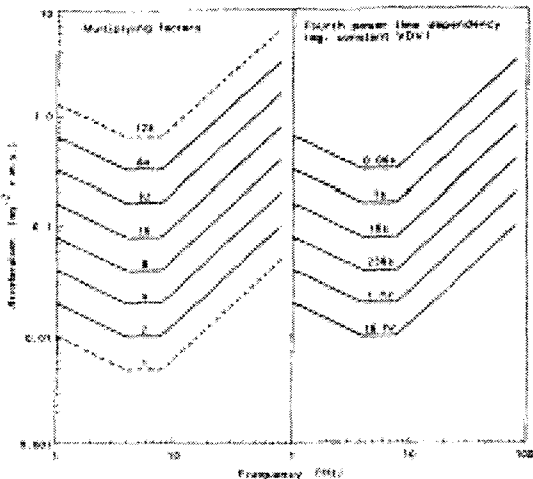


그림 1 주파수별 가속도의 평가 곡선 (ISO)

* 서울시립대학교 환경공학부 교수
E-mail : schang@uos.ac.kr
Tel : (02) 2210-2177, Fax : (02)2244-2245

** 서울시립대학교 환경공학부 대학원
*** 서울시립대학교 환경공학부 대학원

장 소	시 간	연속적 또는 간헐적인 진동과 반복적인 충격성 진동	하루에 몇번 발생하는 자극적인 충격성 진동
병원 수술실과 위험한 작업 지역	낮	1	1
	밤	1	1 주석 1
거주지(좋은 환경적인 기준)	낮	2	90
	밤	1.4	1.4
사무실	낮	4	128
	밤	4 주석 2	128
작업장	낮	8 주석 2,3	128 주석 2,3
	밤	8	128

표 1 진동에 대한 평가 기준(ISO 2631)

- 주석 : 1. 병원 수술실과 위험한 작업 공간에 대한 충격성 진동의 규모는 수술이 진행 중이거나 위험한 작업이 실행 중 일때의 지속 시간에 대한 기준치이다. 주거지역에 대해서는 정당한 협약이나 통보에 의해 보다 높은 레벨을 적용시킬 수 있다.
2. 사무실이나 공장 지역에서 자극적인 충격성 진동에 대한 레벨은 작업활동에 증대한 혼란의 가능성을 고려하지 않고 증가시켜서는 않된다.
3. 작업장에서 높은 진동 레벨을 생성하는 drop forges 또는 crushers와 같은 공사 진행과정에서 생성되는 진동은 표에서 제시한 작업장과는 분리하여 분류할 수 있다. 그런 다음, ANSI S3.18-1979에서 분류한 진동을 적용시킬 수 있다.
4. 하루 당 발생 횟수를 진동 발생 규모로 나타낼 수 있는 방법이 정립되어 있지 않기 때문에 다음 식을 하루 당 3회 이상의 경우의 조건에 따라 적용시킨다. 보정 factor는 발생 횟수 factor F_n 을 곱하여 나타낸다. :

$$F_n = 2.13N^{-0.688}$$

여기서 N은 하루당 발생 횟수이다.

5. 1초를 초과하는 지속시간(T)을 가지는 개별적인 진동에 대한 보정 factor는 지속 시간 factor F_d 를 곱하여 적절히 나타낼 수 있다.

$$F_b = T^{-1.22} \quad \text{for concrete floors}$$

$$F_b = T^{-0.323} \quad \text{for wooden floors}$$

(T)초의 진동 지속 시간은 운동-time history의 10%(-20dB) 지점으로부터 판단 할 수 있다.

(2) American National Standard Institute(ANSI S3.29)허용기준치

ISO2631과 유사하지만 곱하기인자(Multiplying factor)가 좀 더 강화되어 적용되었다. (critical working: 0.7-1.0, residential (day): 1.4-4.0, (night): 1.0-1.4, impulsive vibration-residential (day): 90, (night): 1.4). 횟수 보정으로 $F_n = 2.13N^{-0.668}$ 적용되고, 지속시간에 대한 보정은 ISO와 같은 방법으로 적용된다.

(3) 독일 DIN 기준

일본 및 미국과는 다르게 dB 단위의 진동 레벨을 사용하지 않고 진동의 주파수와 지속시간을 고려한 “사실인식 강도”개념인 KB치라고 불리는 척도를 사용하여 국가기준(DIN 4150 ; part2)으로서 공해진동을 규제하고 있다.

<표 2>에서는 KB치 계산식을 나타내고 있는데, 진동의 평가치는 유효치(rms)가 아니라 최대치(peak)를 기준하고 있음에 특별히 유의할 필요가 있다. 한편 <표 3>에서는 지역 및 시간대별 KB 허용치를 나타내었다. 지하철 진동은 '연속진동'에 대한 기준치를 적용하고 있다. <표 4>에는 건물 형식에 대한 최대 진동 속도(mm/sec) 허용치를 나타내었다.

구 분	KB 치
가 속 도	$KB = a \cdot [a / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]$ a : 진동 가속도, m/sec ² a : 보정상수, 20.2, 1/(m/sec ²)
속 도	$KB = v \cdot [\beta f / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]$ v : 진동 속도, mm/sec β : 보정상수, 0.13, 1/(mm/sec ²)
변 위	$KB = w \cdot [\gamma f^2 / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]$ w : 진동 변위, mm γ : 보정상수, 0.80, 1/(mm/sec ²)

표 2 독일의 KB치 산정식 (DIN 4150 ; part2, 1975)

f : 진동 주파수 (Hz)

진동의 주기성에 관계없이 최대치(peak)를 기준으로 사용한다. 정현 진동에 한하여 유효치(rms)를 측정할 경우는 보정상수 a,β,γ에 √2를 곱한값을 적용한다.

구 분	지 역 적 용	시 간 대	KB 허용치	
			연속진동 ^{*1}	충격진동 ^{*2,*4}
1	깨끗한 주택가 보통 주택가 주말 별장지 도시 변두리	낮	0.2 (0.15) ^{*3}	4 ^{*3}
		밤	0.15 (0.1) ^{*3}	0.15
2	대단위 마을 혼합지역 중심지역	낮	0.3 (0.2) ^{*3}	8 ^{*3}
		밤	0.2	0.02
3	상업지역 (사무실 지역 포함)	낮	0.4	12 ^{*3}
		밤	0.3	0.3
4	산업지역	낮	0.6	12
		밤	0.4	0.4
5	특별지역	낮	0.1~0.6	4~12
		밤	0.01~0.4	0.15~0.4

표 3 건물 내 공해진동 KB 허용치(DIN 4150 ; part2, 1975)

- 주) *1 : 정상 진동(steady-state-vibration) 및 중간의 단속 시간에 무관하게 2시간 이상에 걸쳐 간헐적으로 반복되는 진동
*2 : 하루 3회 이내의 발파진동
*3 : 일주일에 2회 이내의 발파진동의 경우, 낮 시간에 한해 발파가 오전 6~7시 및 오후 1~3시의 시간대를 피하고 사전 경고와 함께 시행된다면 제 1,2지역에 대하여 3지역의 허용치 적용가능
*4 : 파일 함타, 건물 폭파 해체 진동 등 짧은 시간에 한정되어 주간에 영향을 미치는 진동에 대해서는 충격 진동에 대한 구조물 손상 기준 허용치(DIN 4150 ; part3 참조)의 2배를 초과할 수 없다.

동 급	I	II	III	IV
건물 형식	문화재 (역사적으로 오래된 건물)	주택, 아파트, 상가(작은 균열이 있는 건물)	주택, 아파트, 상가(균열이 없는 양호한 건물)	산업시설용 공장 (철근콘크리트로 보강된 건물)
최대진동속도 (mm/sec)	2.0	5.0	10.0	10.0~40.0

표 4 건물에 대한 독일 DIN 4150의 진동 허용 기준

폭발 진동과 같은 비주기성 진동에 대한 KB치 산정은 측정된 진동 신호의 시간 기록(time record)상에서 최대 진폭을 주는 신호성분을 찾아낸 다음, 진폭의 크기 및 주파수 성분을 찾아내어 <표 3>의 계산식에 적용시키면 된다. 독일의 진동에 대한 법적 기준치는 최대치(peak)를 기준으로 한다.

또한 독일 기준에서 보면 Dieckmann에 의해 발표된 수치로써 K-value를 기준으로 한 것도 있다. 그 내용을 보면 다음과 같다.

1931년 Reicher와 Meister에 의해 보고된 수치진동의 인체에 대한 감지정도를 나타낸 것이 <그림 2>과 같다. 오래 전에 보고된 결과임에도 불구하고 지속적으로 계속되는 진동에 대한 기준으로는 여전히 적용되는 그 가치를 인정받고 있는 수치로써 그래프의 개념은 소리의 등청감곡선과 같다고 생각하면 이해가 용이하다.

Dieckmann이 제시한 K-value의 값을 산출해내는 방법은 <표 5>와 같다. 그 수치의 영역은 0.5 Hz에 이르는 낮은 주파수대까지 넓혀져 있으며, 뒤에 Dieckmann과 Miwa에 의해 중간대역의 주파수 영역에까지 범위를 넓힌 기준수치가 보고되었다. <그림 2>을 보면 Reicher와 Meister의 그래프를 서로 비교하는 것이 가능하며 그래프를 살펴보면 두 기준이 거의 비슷하게 일치함을 알 수 있다.

수직 진동		수평 진동	
주파수(Hz)	K-값	주파수(Hz)	K-값
5 Hz이하	$K = Af^2$	2 Hz이하	$K = 2 Af^2$
5~40 Hz	$K = 5 Af$	2~25 Hz	$K = 4 Af$
40 Hz이상	$K = 200 A$	25 Hz이상	$K = 100 A$

표 5 DIECKMANN의 K-값

A = 진폭(mm), f = 주파수(Hz)

진동의 민감도에 대한 영역의 정의는 다음과 같다:

K = 0.1, 감지할 수 있는 하한계

K = 1, 일정 시간 동안 허용될 수 있는 한계

K = 10, 짧은 시간 동안 허용될 수 있는 한계

K = 100, 보통 사람에 대하여 긴장시킬 수 있는 상한계

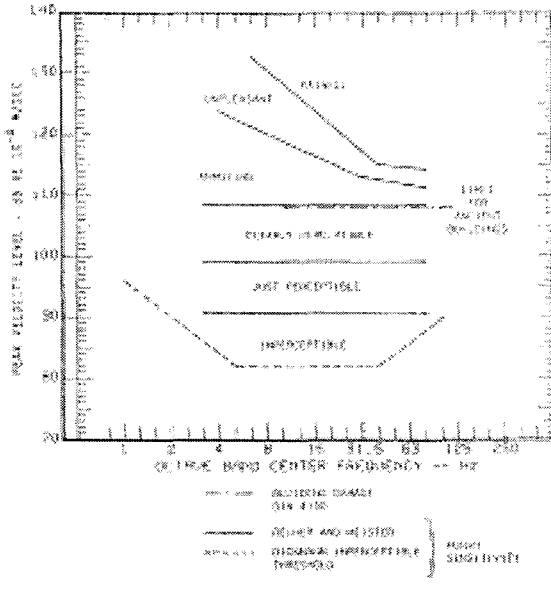


그림 2 인간의 민감도: 수직 진동의 영향

Dieckmann의 작업과 결부하여 가장 처음으로 발표된 국가 기준은 독일의 표준 DIN 4025로써 진동이 작업에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이것은 진동의 감지를 다음과 같이 분류했는데 “참을만한” 것이 아니라 “한시간 이상 지속될 경우 불쾌감을 일으키는 수준”이라고 나타냈다. 또한, DIN 4025는 수직, 수평 진동 모두를 포함한 기준이다. DIN4025는 <표 6>에 나타내었다.

K-value	분류	작업에 미치는 영향
0.1	진동이 감지되기 시작.	영향 없음
0.1-0.3	진동이 감지. 견디기 쉽고 불쾌감은 없다.	영향 없음
0.3-1	쉽게 감지. 견딜수 있지만 한시간 이상 지속되면 불쾌감.	여전히 영향없음
1-3	강하게 감지. 여전히 견딜수 있지만, 한시간 이상 지속되면 아주 불쾌함.	영향이 있을 가능성 있음
3-10	불쾌함. 1시간까지는 견딜수 있지만 그 이상은 불가.	심하게 영향있을 가능성 있음
10-30	아주 불쾌함. 심분이상 참을 수 없음.	영향을 미칠가능성이 높음
30-100	극도로 불쾌함. 일분 이상 참을 수 없음.	작업이 불가능
100이상	참을 수 없음.	작업이 불가능

표 6 K-value의 분류(D.I.N 4025)

Steffen은 독일 표준화 기구(DIN)의 개정판 DIN 4150

에 대해서 더 자세히 기록했다. 이 기준에 적용되는 K-value는 아래와 같은 계산식에 의해 얻어진다.

$$K = \frac{0.0054 f^2}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.8 V_f}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.125 a}{\sqrt{100 + f^2}} \quad (1)$$

이것은 <표 5>에서 얻어진 값과 근사하다. 이렇게 얻어진 K-value의 평가는 <표 7>에 의해 내려질 수 있다.

K-value	감지 정도
0.1 이하	느끼지 못함
0.1	감지의 시작
0.25	약하게 감지
0.63	감지
1.6	쉽게 감지
4	강하게 피해
10	아주 강하게 피해

표 7 세기(K-value)와 주체의 영향

(25와 63의 K-value 또한 주어지지만, 인간에 미치는 영향을 구별하는 것은 불가능하다고 설명하고 있다.)

독일 표준치인 DIN 4150은 <표 8>에 요약되어 있는

건물 지역	시간	K-value 세기의 허용치		
		지속적인 진동	반복적으로 발생하는 진동	가끔 발생하는 진동
요양지	주간			2.5
병원	주간	최저치 이하	최저치 이하	
휴양지	야간			최저치 이하
작은 빌딩 사유지				
순수 주거지역	주간		0.2(0.1)	4
일반 주거지역	주간	최저치 이하		
주말 거주지역	야간		최저치 이하	최저치 이하
대학가				
시골	주간	0.3(0.15)	0.63(0.3)	8
변두리				
중심가	야간	최저치 이하	최저치 이하	최저치 이하
상업지역	주간	0.63(0.3)	0.8(0.4)	12
산업지역				
항구지역	야간	0.4	0.4	0.4

* 최저치 이하 : Threshold of perception으로 진동을 느낄수 있는 최저 레벨 이하를 말함. 즉, 최저 제한 레벨이하 이므로 진동을 느낄수 없을 정도를 말함.

표 8 발생 진동에 따른 지역별 K-value 허용치

바와 같이, 주택이나 사무실, 병원같은 건물에 대한 진동

의 영향정도를 나타내고 있다.

2.2 국내의 진동법규

(1) 국내소음·진동 규제기준의 변천과정

구 분		90~97.10			97.10~2000.5			2000.5월 이후		
		주간	야간	최고보정치	주간	야간	최고보정치	주간	야간	최고보정치
건설소음 (특정공사)	주거지역	70	55	+10	생활소음으로 통합 (공사장소음 포함)			생활소음으로 통합 (발파소음·진동 제외)		
	상·공업지역	75	55	+10						
생활소음 (공사장소음)	주거지역	70	55	+10	70	55	+10	70	55	+10
	상·공업지역	75	55	+10	75	55	+10	75	55	+10
건설·생활 진동	주거지역	65	60	+5	65	60	+10	65	60	0
	상·공업지역	70	65	+5	70	65	+10	70	65	0

표 9 소음·진동 규제법

- '97.10월부터 건설소음진동규제기준을 생활소음진동규제기준에 통합 관리되면서 진동규제기준은 완화된 후 2000년 5월부터 5dB-10dB 정도 강화됨

- 건설공사장의 소음을 보정함에 있어 1일 작업시간이 4시간이 하인 경우에 한하여 보정치<최고+10dB>를 가산토록 하였으나, 대부분 건설공사장의 작업시간이 4시간을 초과함에 따라 보정치를 가산하는 경우가 거의 없었으며, 따라서 발파소음진동에만 보정치를 가산하는 수혜를 받음(2000.5월까지)

- 이에 따라 규제완화 차원에서 2000.5월 시행규칙 개정 시 특정장비(10종)를 사용하는 시간이 4시간 이하인 공사장에 한하여 보정치(+10dB)를 가산토록 개정하면서, 발파 소음, 진동에 대한 보정치가 삭제됨(실질적인 규제기준 강화)

(2) 국내 공공기관의 발파진동 허용기준

국내의 여러기관에 의해 제시되고 있는 발파진동 허용기준은 kine단위를 중심으로 제시되고 있으며, 인체보다는 건물에 미치는 영향을 중심으로 분류되어 있다.

구 분	진동 속도에 따른 규제 기준	
	건물 종류	진동치 (kine)
서울시 지하철 시방기준	문화재, 정밀기기 설치건물	0.5
	주택, 아파트	0.5
	상가, 사무실, 공공건물	1.0
	RC, 철골조 공장	4.0
노동부 (노동부고시 94~26호)	문화재, 컴퓨터 등 정밀기기	0.2
	결합 또는 균열이 있는 건물	0.5
	균열이 있고 결합없는 빌딩	1.0
	회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0
한국토지공사 시방기준	가축(소, 닭, 돼지 등)	0.09
	문화재, 진동예민 시설물	0.2
	주택, 아파트	0.5
	상가건물	1.0
	철근 콘크리트 건물	1.0~4.0
건교부 터널설계기준 (1999)	진동 예민 구조물(문화재 등)	0.3
	조적식 벽체와 목재 천장구조물(재래가옥등)	1.0
	조적식 중소형건축물(저층양옥, 연립주택등)	2.0
	철근콘크리트 중소형건축물(중, 저층 아파트 등)	3.0
	철근콘크리트 대형건축물(고층 아파트 등)	5.0

표 10 공공기관의 발파진동 허용기준

3. 국내 발파 진동의 평가시 문제점

3.1 법규의 미비

현재의 발파진동은 생활소음·진동 내의 공사장 소음·진동으로 규제되어 진다. 그리고 제27조(폭약의 사용으로 인한 소음·진동의 방지)동시행규칙 제34조(폭약사용 규제요청)에 의하면 “시·도지사는 폭약의 사용으로 인한 소음·진동 피해를 방지하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 지방경찰청장에게 사용의 규제를 위한 필요한 조치를 요청할 수 있고, 제반 방음·방진시설의 설치, 폭약사용량, 사용기간, 사용횟수의 제한 또는 발파공법 등 개선 등에 관한 사항을 요청할 수 있다”고 되어 있다. 이 상이 소음·진동과 관련된 모든 사항이다. 따라서, 발파진동에 대한 별도의 규제기준이 없기 때문에 일반 공사장 소음·진동 규제기준으로 생활진동의 연장선에서 규제하고 있는 실정이다. 그러나 발파등의 건설진동은 공장이나 교통에 의한 진동과는 달리 한시적이고, 충격성이 우세하므로 다리 취급되어야 한다.

3.2 발파진동의 사용단위와 보정상의 문제

발파진동에 대한 측정단위에 대한 일관성의결여로 혼란을 빚고 있다. 건물의 피해에 대한 kine단위를 기본으로 한 기준과 일반적인 공해진동에 대한 가속도 진동레벨의 혼용으로 많은 민원이 제기되고

있다. 또한, 발파소음·진동의 평가방법을 보면 “대상소음·진동레벨에 시간대별 평균발파횟수(N)에 따른 보정량($10\log N$)을 보정하여 기준과 비교한다. 시간대별 발파횟수는 작업일지 또는 폭약사용 신고서 등을 참조하여 7일간의 평균값을 계산한 각 시간대별 평균 발파횟수로 같음한다”로 되어 있다. 이러한 경우 발파진동의 피해가 우려되는 지점에서는 작은 진동으로 여러 번 나누어서 해야하는 과학적 원리에 상충하게 된다.

3.3 발파진동의 측정 지점·인자에 대한 문제

국내의 경우 피해가 예상되는 곳의 부지경계선 중 진동레벨이 높을 것으로 예상되는 지점에서 측정하는 반면 국외의 경우는 대부분 피해가 예상되는 건물의 내부의 지점에서 측정을 한다. 또한, 국내의 경우는 측정인자로서 최고진동레벨과 발파횟수만을 고려하고 있지만, 국외의 경우는 주파수별 분석, 발파횟수, 지속시간, 연속성, 충격성 진동구분 등 다양한 인자들을 고려하므로써 측정의 신뢰를 높이고 있다.

4. 결론

발파진동의 경우에는 다양한 측정 및 분석을 통한 객관적인 자료의 수집이 필요하며, 발파작업에 대한 좀 더 세부적인 사항에 대한 기준안의 제시가 필요할 것으로 보인다. 또한 현행 공정시험법 상의 발파횟수 보정값에 대한 대안마련 및 발파진동의 정확한 측정을 위한 현실적인 측정방법의 제시가 필요할 것으로 보인다. 그리고, 현행 진동 규제기준으로는 발파진동의 규제에 적용하기에는 부족하므로, 적절한 발파진동의 규제기준의 마련이 수행 되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) C. H. Dowding, 1996, Construction Vibrations, Inc., Prentice Hall.
- (2) 양형식 역, 1992, “발파진동학”, 구미서관.
- (3) 건설교통부, 2002, “발파소음·진동허용기준검토(안)”,
- (4) M. J. Griffin, 1990, Handbook of Human Vibration, Inc. Academic Press.
- (5) ISO 2631-2, 1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration in buildings(1 to 80Hz)