

서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제28권 2002년 12월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol. 28, No. 1, December 2002

발파 진동 평가의 문제점과 개선방안

장 서일^{*} · 이 재원^{**} · 김 형곤^{***}

(서울시립대학교 환경공학부, 소음진동실험실)

Comparison of Assessment methods of Blast Vibration

Seo Il Chang, Jae Won Lee, Hyung Kon Kim

ABSTRACT

The blast vibration can give discomfort to residents as well as damage to nearby buildings and the accurate assessment is essential to the estimation of compensation. The purpose of the present study is to establish the standard methods to measure the blast vibration. The standard methods of foreign countries are reviewed and compared each other. Several improved standards are suggested and studied.

1. 서 론

국내의 여러 가지 대소형 공사시 국토의 6 할 이상이 산지이며 암석의 강도가 강하고 암반이 지하평균 15m 에 분포하는 등의 지질학적 여건상 발파작업은 부지조성 공사에 불가피하게 행해지고 있다. 특히 서울시내 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 발파시공자가 무리하게 시공하였던 관행으로 말미암아 발파에 대한 부정적인 선입견이 일반국민들에게 자리잡고 있는 측면도 있지만, 발파 진동과 폭음의 충격성이라는 특성상 적절한 규제 기준을 마련하는데 어려움이 있는 측면도 있음을 지적하지 않을 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 피해와 인과관계 규명이 곤란하여 협상타결이

어려운 형편이라고 한다.

발파에 의해 발생하는 진동의 특성은 충격성 성격이 강하여 지속적인 진동을 주요대상으로 하는 규제기준에 따른 판단이 어렵고 외국에서도 진동의 허용 기준치를 정할 때 충격성 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 기준을 검토하고 현행 소음, 진동 규제법에서의 발파 진동 규제 시 보완 및 고려해야 할 사항 등에 대하여 알아보고 향후 개선방안에 관하여 논의하고자 한다.

2. 국내외 진동 법규

2.1 ISO 2631 (part 2) 허용기준치 특성

ISO2631 은 수평진동에 대해 $3.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (1-2Hz), 수직진동에 대해 $5 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (4-8Hz)의 기준 가속도를 정하고 주파수에 따른 보정을 하여 기준 곡선을 정하고 여기에 횡수에 따른 곱하기인자 (Multiplying factor)를 적용하여 각 지역에 따른 허용기준치를 정하고 있다. 또한 수평, 수직 진동을 따로 계산할 때 생기는 오류를 피하기 위하여 3 축 조합 기준 곡선(Combined Standard)도 함께 제시하였다. 그리고 지속적인 진동을 제외한 즉, 충격성 진동에 대한 평가를 위하여 VDV(Vibration Dose Value)의

서울시립대학교 환경공학부 교수

* E-mail : schang@uos.ac.kr

Tel:(02)2210-2177,Fax:(02)2244-2245

** 서울시립대학교 환경공학부 대학원

*** 서울시립대학교 환경공학부 대학원

개념을 도입하였고, Fourth power time dependency($a^4T = \text{constant}$)를 적용하여 지속시간에 대한 보정도 함께 적용하였다. 그리고 하루 당 발파 횟수를 진동 발생 규모로 나타낼 수 있는 방법이 정립되어 있지 않기 때문에 다음 식을 하루 당 3 회를 초과하는 경우의 조건에 적용시킨다. 보정인자로는 발파 횟수 곱하기 인자 F_n 을 곱하여 나타낸다.

$$F_n = 1.7N^{-0.5} \quad \text{----- (1)}$$

여기서 N은 하루당 발생 횟수이다.

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

$$F_d = T^{-1.22} \quad \text{for concrete floors} \quad \text{-- (2)}$$

$$F_d = T^{-0.323} \quad \text{for wooden floors} \quad \text{-- (3)}$$

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

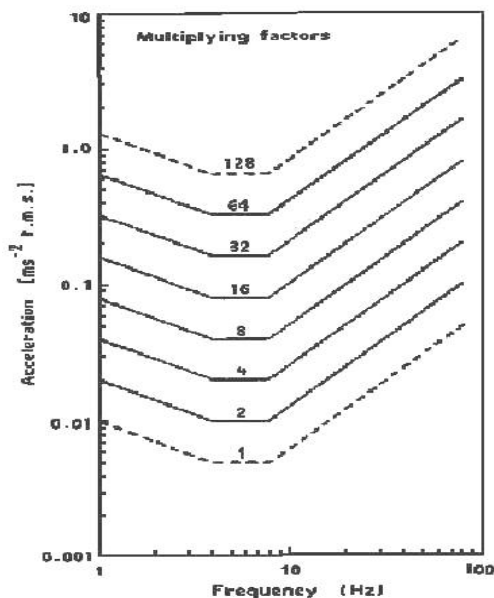


Figure 1. Multiplying factor for assessing building vibration

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

Table1. Recommended range of multiplying factor

- 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 중대한 혼란의 가능성을 고려하지 않고 증가시켜서는 않된다.
3. 작업장에서 높은 진동 레벨을 생성하는 drop forges 또는 crushers 와 같은 공사 진행과정에서 생성되는 진동은 표에서 제시한 작업장과는 분리하여 분류할 수 있다. 그런 다음, ANSI S3.18-1979 에서 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 3 회를 초과하는 경우의 조건에 적용시킨다. 보정 factor 는 발생 횟수 factor F_n 을 곱하여 나타낸다. :

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

여기서 N 은 하루당 발생 횟수이다.

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

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

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

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

초안 ISO 2631/DAD1 과 초안 ANSI 표준 S3.28-198X 모두 연속적, 간헐적으로 생성된 진동원과 충격성 진동원을 개별적으로 구분하는 것이 매우 중요하다. 여기서 충격성 진동은 일반적으로 짧은 지속시간 동안 피크치가 생성되며 1 주기(one-cycle) 또는 그 이상의 주기 내에 감쇠 사인 곡선 형태로 저감되는 것으로 정의된다. 간헐 진동은 반복적인 충격성 진동이 규칙적 (pile 항타기, 금형 압축기), 또는 불규칙적 (차량, 간헐적인 장비, 엘리베이터)으로 발생하는 것들을 포함한다. 이들 표준의 개념은 연속적인 진동과 유사한 방법으로 반복적인 간헐 진동을 취급하는 것이다. 고속 운송 기차와 선로로부터 생성되는 진동은 연속적인 진동과 유사한 방법으로 취급하여 불규칙적인 진동으로 간주하는 것이 옳은 판단이다.

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

ISO2631 과 유사하지만 곱하기인자 (Multiplying factor)가 좀 더 강화되어 적용되었다.

- 연속적, 반복적인 충격성 진동 - 위험한 작업지역 : 0.7-1.0, 거주지 (낮) : 1.4-4.0, (밤): 1.0-1.4,

- 몇번 발생하는 충격성 진동 - 거주지 (낮) : 90, (밤): 1.4

횟수 보정으로 $F_n=2.13N^{-0.688}$ 이 적용되고, 지속시간에 대한 보정은 ISO2631 과 같은 방법으로 적용한다.

2.3 ISO 기준의 적용에 대한 고찰

ISO 2631 에서는 crest factor 라는 인자에 의해 적용 여부가 제한되고 있는데, 그 제한치는 6 으로, crest factor 6 이하인 진동에 대해서는 ISO 2631 기준안을 적용해도 된다고 나와있다.²⁾ 여기서 말하고 있는 crest factor 란 최대가속도치(peak acceleration)를 r.m.s 가속도치(acceleration)로 나눈값으로서 최대 가속도치와 r.m.s 가속도치의 비로 나타내어지는 인자이다.

아래의 <Table 2>는 우리나라의 다양한 종류의 발파공사현장에서 측정한 crest factor 를 보인 것이다. <Table 2>에서 나타나 있듯이, crest factor 가 6 이하이므로 ISO 의 기준을 적용하는 것이 무방할 것으로 생각 되어진다.

	peak acceleration (m/sec ²)	r.m.s acceleration (m/sec ²)	crest factor
1 차	0.5721	0.1607	3.56
2 차	0.016075	0.0054	2.98
3 차	0.020165	0.0054	3.73
4 차	0.021857	0.0054	4.04

Table 2. Measured crest factors for blast vibration
in a construction site.

2.4 국내의 진동법규

구 분		90 ~ 97.10			97.10 ~ 2000.5			2000.5월 이후		
		주 야 간	최 고 보정치	고	주 야 간	최 고 보정치	고	주 야 간	최 고 보정치	고
건설소음 (특정공사) dB(A)	주거지역	70	55	+10	생활소음으로 통합 (공사장소음 포함)			생활소음으로 통합 (발파소음진동 제외)		
	상공업지역	75	55	+10						
생활소음 (공사장소음) dB(A)	주거지역	70	55	+10	70	55	+10	70	55	+10
	상공업지역	75	55	+10	75	55	+10	75	55	+10
건설, 생활 진동 dB(V)	주거지역	65	60	+5	65	60	+10	65	60	0
	상공업지역	70	65	+5	70	65	+10	70	65	0

Table 3. Noise and vibration standard of Korea

‘97.10 월부터 건설소음진동규제기준을 생활소음진동규제기준에 통합 관리된 후 2000 년 5 월의 개정부터 5dB-10dB 정도 강화되었다.

건설공사장의 소음을 보정함에 있어 1 일 작업시간이 4 시간이하인 경우에 한하여 보정치<최고+10dB>를 가산토록 하였으나, 대부분 건설공사장의 작업시간

이 4 시간을 초과함에 따라 보정치를 가산하는 경우가 거의 없었으며, 따라서 발파소음진동에만 보정치를 가산하는 수혜를 받고 있었으나 2000 년 5 월 시행규칙 개정시 규제완화 차원에서 특정장비 (10 종)를 사용하는 작업장에서 시간이 4 시간 이하인 공사장에 한하여 보정치(+10dB)를 가산토록 개정하면서, 발파 소음, 진동에 대한 보정치가 삭제되어 실제적으로 기준이 5~10dB 강화되는 결과를 가져오게 되었다.

환경규제기준이 dB(V)단위를 사용하고 있는것과는 달리 국내의 여러기관에 의해 제시되고 있는 발파진동 허용기준은 kine(cm/sec) 단위를 중심으로 제시되고 있으며, 인체보다는 건물에 미치는 영향을 중심으로 분류되어 있다. 따라서 dB(V)를 기준으로 하는 발파진동에 대한 환경기준의 수립이 필요하다고 하겠다.

3. 국내발파 진동의 공정시험 법상의 문제점

현재의 발파진동은 생활소음진동 내의 공사장 소음진동으로 규제되어 진다. 그리고 제 27 조(폭약의 사용으로 인한 소음진동의 방지) 동시행규칙 제 34 조 (폭약사용 규제요청)에 의하면 “ 시도지사는 폭약의 사용으로 인한 소음진동 피해를 방지하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 지방경찰청장에게 사용의 규제를 위한 필요한 조치를 요청할 수 있고, 제반 방음방진 시설의 설치, 폭약사용량, 사용기간, 사용횟수의 제한 또는 발파공법 등 개선 등에 관한 사항을 요청할 수 있다”고

되어 있다. 이상이 소음진동과 관련된 모든 사항이다. 따라서, 발파진동에 대한 별도의 규제기준이 없기 때문에 일반 공사장 소음진동 규제기준으로 생활진동의 연장선에서 규제하고 있는 실정이다. 그러나 발파진동은 공장이나 교통에 의한 진동과는 달리 한시적이고, 충격성이 우세하므로 다르게 취급되어야 할 것이다.

발파진동의 사용단위와 보정상의 문제도 발생하고 있는데 발파진동에 대한 측정단위의 일관성 결여로 혼란을 빚고 있는 실정이다. 건물의 피해에 대한 $kine$ 단위를 기본으로 한 기준과 일반적인 공해진동에 대한 가속도 진동레벨($dB(V)$)의 혼용으로 많은 민원이 제기되고 있다. 또한, 발파소음진동의 평가방법을 보면 “대상소음진동레벨에 시간대별 평균발파 횟수(N)에 따른 보정량 ($10\log N$) 을 보정하여 기준과 비교한다. 시간대별 발파횟수는 작업일지 또는 폭약사용 신고서 등을 참조하여 7 일간의 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 된다는 주장이 있다.

마지막으로 측정지점이나 측정인자에 대한 것을 말할 수 있는데 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 진동구분등 다양한 인자들을 고려하므로써 측정의 신뢰를 높이고 있다.

4. 개정안

발파진동의 양상을 관찰한 결과(Table 2), crest factor 값이 6 이하를 보이고 있으므로 ISO2631 의 기준을 적용하는 것이 무방하다고 판단된다.

<Table 5>는 ISO 기준을 국내 기준과 같이 $dB(V)$ 로써 계산한 결과이며 <Table 6>은 계산된 결과값을 국내법상에 적용한 개정안이다.

ISO2631 에서 사무실과 작업장의 기준은 $90\sim 96dB(V)$ 와 $93\sim 96dB(V)$ 이다. 이 기준에서 가장 낮은 기준($90dB(V)$)을 정하여 개정안에 적용하고 실제적으로 야간에는 발파작업을 하지 않으므로 야간에 ISO2631 의 충격성 진동기준을 적용하는 것은 옳지 않다고 판단된다. 국내기준의 경우는 병원과 거주지의 구분이 없이 기준을 적용하고 있으므로 ISO2631 의 병원기준을 적용할 수는 없고 거주지의 기준을 따라 적용한다. 거주지의 기준은 현행 기준과 차이가 거의 없으므로 이를 유지하도록 한다.

	시간	연속진동 dB(V)	충격진동 dB(V)
병원 수술실과 위험한 작업지역	낮	54	54
	밤		
거주지 (좋은 환경적인 기준)	낮	60 ~ 66	83 ~ 93
	밤		
사무실	낮	66	90 ~ 96
	밤		
작업장	낮	72	93 ~ 96
	밤		

Table 5. Multiplying factors converted to dB(V)

(단위 : $L_{max}dB(V)$)

시간별 대상지역	주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동,휴양지구, 자연환경 보전지역, 기타지역안에 소재한 학교,병원,공공도서관	상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 중 취락지구 및 운동,휴양지구외의 지역, 미고시지역
주간 (06:00~22:00)	65 이하	90 이하
야간 (22:00~06:00)	60 이하	65 이하

Table 6. Recommended Standard

- 주) 1. 진동의측정방법과 평가단위는 소음진동공정시험
방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 국토이용관리법 (도시지역의
경우에는 도시계획법)에 의한다.

위에서 말한 바와 같이 발파진동의
경우는 발파횟수나 지속시간에 대한
보정이 필요하다. 지속시간의 경우는
대부분의 발파진동이 길어야 1 초를
넘지않으므로 지속시간에 대한 보정은

고려하지 않아도 무방하다고 생각되며
발파횟수보정에 대한 몇 가지 안을
다음에 제시한다.

• 1 안 : 기존 발파횟수 보정값의 사용

기존의 발파횟수 보정식 $10\log N$ 을
사용하여 보정을 한다. 여기서 N 은
7 일간의 평균값을 계산한 각 시간대별
평균 발파횟수이다.

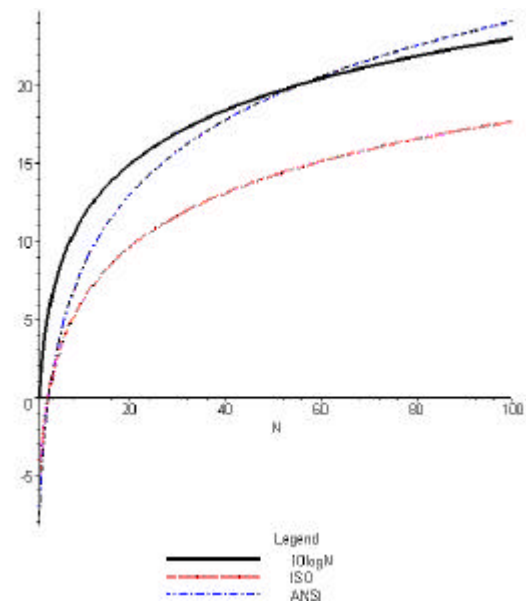


Figure 2. Comparison of multiplying factor by
number of events

<Figure 2>는 ISO 와 ANSI 기준에서의
보정량과 국내기준의 보정량을 비교한
것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 50 회
미만의 발파시에는 국내 기준의 보정이
강하게 적용된다.

그리고 N 의 결정에 있어 7 일간의
시간대별 평균발파 횟수를 취하는데
이는 앞서 문제점에서도 지적했었던

바와 같이 발파진동의 피해가 우려되는 지점에서는 작은 진동으로 여러 번 나누어서 해야하는 과학적 원리에 상충하게 된다는 주장이 있다.

• 2 안 : 3 회를 초과하는 발파시에만 보정

기존 보정방식에 대한 보완으로 ISO2631 에서 규정하고 있는 것과 같이 3 회를 넘지 않는 발파에 대해서는 보정을 하지 않는 방법이다. 보정식은 기존의 보정식 $10\log N$ 을 사용하도록 한다. 이 방법을 사용할 경우 약 5dB(V) 정도의 보정량 감소를 기대할 수 있다.

• 3 안 : 발파횟수별 보정치 적용

발파횟수(N)	보정량(dB(V))
3 회이하	0
4~5	6
6~10	9
11~40	14
41~100	20

Table 7. Compensation by blasting number of events

주)발파횟수가 100 회를 초과하는 발파는 일괄적으로 +20dB(V)를 적용한다.

<Table 7>은 발파횟수별 적용보정치를 나타낸 것이다. 각 보정치는 기존의 횟수 보정량($10\log N$)을 기초로 하였다. 횟수가 증가할수록 상한횟수에 중심을 두어 보정량을 증가시키는 방식을 사용하였다.

각각의 안을 적용함에 있어 회수 N 의 결정에 이견이 있을 수 있다. 발파공의 수에 따라 N 을 결정할 수도 있고 시간의 차이로 N 을 결정할 수도 있을 것이다.

ISO2631 의 3.3 Characterization - human 을 보면 다음과 같은 내용이 있다. “ Single high - magnitude events, such as blasting, which occur only a few times per day are a special case. It is generally recommended that operations of this nature should not take place at night in order to avoid disturbance. During the day-time, they should be limited to a small number of events. An event may comprise a single significant impulse vibration or a group of transient vibrations with individual impulses separated by a short period (with the group lasting no longer than 1 min). ”

간단히 내용을 살펴보면 발파는 하루에 수회 발생하는 특별한 경우의 작업으로 작업시간 또한 짧아 1 분이내의 작업들을 1 회의 작업으로 간주한다는 것이다.

이와 유사한 보정기준으로는 지발발파에 관한 것이 있을 수 있다. 지발발파는 여러 개의 장약공을 각기 다른 시간을 두고 행하는 발파법으로 그 시간차가 매우 짧아서 지발발파의 발파횟수는 1 회로 간주할 수 있다.

위의 내용을 제시된 1,2,3 안의 N 결정시에 적용할 수 있다.

일부에서는 개정이전 (상공업지역의 진동규제기준 70dB(V), 공사장의 진동 규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계장비를 사용하는 작업 (발파작업 포함) 시간이 1 일 2 시간

이하일 때는 +10dB(V)을, 2 시간 초과 4 시간 이하 일때는 +5dB(V)을 규제기준치에 보정한다.)으로 돌아가자는 주장이 제기되고 있다. 개정이전의 기준을 적용하게 될 경우에 문제시 될 부분이 있다.

우선 보호되어야 할 대상에 대해서도 같은 양의 보정치가 적용이 된다. ISO2631 의 기준과 개정이전의 기준에서 병원의 경우를 비교해 볼 때 국내 기준이 주간에는 21dB(V), 야간에는 16dB(V) 높은 기준을 적용하게 된다. 그리고 현재 제시한 개정안에서 공사장, 사업장 규제기준이 90dB(V)로 기존기준에서 보정을 받았을 경우의 80dB(V)에 비하여 완화된 기준이 적용된다.

개정이전의 기준치 보정의 방식을 택하는데 있어서의 또 다른 문제는 발파라는 작업상의 특성을 말할 수 있다. 일반적인 기계, 건설 장비와는 다른 충격적이고 순간적인 특징을 가지고 있는 발파작업을 다른 건설장비와 같은 기준을 적용하여 평가한다는 것은 무리가 있다고 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 국외 기준과의 비교를 바탕으로 문제점을 제시하고 개정안을 보였다.

발파진동의 경우에는 다양한 측정 및 분석을 통한 객관적인 자료의 수집이 필요하며, 발파작업에 대한 좀 더 세부적인 사항에 대한 기준안의 제시가 필요할 것으로 보인다. 대표적으로 주거지와 병원의 구분을 생각할 수 있다. 국내법보다 세분화된 기준을 적용하고

있는 ISO2631 의 경우에도 이 두 부분을 분리하여 기준을 적용하고 있다. 병원은 미진에도 보호되어야 할 건물이나 이 기준을 주거지에까지 적용한다는 것은 무리가 있다. 본 논문에 몇 가지 개정안과 보완방법을 보였지만 공정시험법상의 발파횟수 보정값에 대한 현실적인 대안마련 및 발파진동의 정확한 측정을 위한 측정방법의 제시가 필요할 것으로 보인다. 그리고, 현행생활진동규제기준을 발파진동의 규제에 적용하기에는 부족하므로, 적절한 발파진동의 규제기준의 마련이 수행 되어야 할 것이다.

결과적으로 발파작업에 대한 규제의 완화를 기대할 수는 있지만 대상지역별, 진동의 종류별 구분을 세분화함으로써 그에 적합한 기준을 정하고 상황에 맞게 구분된 기준을 적용하는 것이 필요하다고 생각된다.

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)

