

구조물에 대한 국외 발파진동 허용 규제기준 분석

류창하¹⁾

Review of National Standards for Allowable Limit of Blast Vibration on Structures

Chang-Ha Ryu

Abstract : Blast-induced ground vibration may cause an environmental impact such as neighbour's complaints or damage on adjacent structures and facilities. Complaints associated with blasting have often become a target of public grievances. One of the difficulties to solve the problem is that we do not have a national standard for the acceptance level of blast-induced ground vibration. A peak particle velocity criterion, which was suggested for urbane underground construction, has often been widely used. Efforts have been made to establish more rational criteria. It seems that differing cultures have often differing thresholds of the toleration of vibration, and that technical data or rational grounds for establishing the limits are hardly provided. In this paper, national standards for allowable limit of blast vibration were presented and discussed.

Key words : blast-induced ground vibration, peak particle velocity criterion

초 록 : 구조물의 발파진동에 대한 허용 수준 설정은 구조물의 반응 특성이 발파 진동의 특성과 전파 매질인 지반의 특성, 대상 구조물의 특성, 구조물의 기초 특성 등 여러 인자에 따라 달리 나타나므로 표준화된 기준을 적용하기는 쉽지 않은 일이다. 국외의 경우 영국, 독일, 스위스, 스웨덴과 같이 국가별로 허용수준에 대한 표준을 마련한 나라들도 있으며 아직 별도로 기준을 마련하지 않은 국가들도 많다. 우리나라는 통상 적용되고 있는 기준이 있으나 아직 국가 표준화는 되어 있지 않은 상황이며 민원 해결의 근거를 위한 합리적인 기준 마련의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 국가적으로 기준을 갖고 있는 미국, 영국, 독일, 스위스, 스웨덴 등의 사례와 개정 작업을 하고 있는 호주 및 브라질의 사례 분석을 통하여 다양한 형태의 기준들에 대한 특징을 파악하고 현재 사용되고 있는 국내 기준의 문제점을 고찰하였다.

핵심어 : 구조물의 발파진동, 허용수준

1. 서 론

국내의 경우 발파진동으로 인한 피해 민원은 끊이지 않고 있으나 해결을 위한 법적 근거가 미흡하여 합리적이고 국가적 차원의 표준화된 규제 기준 마련의 필요성이 오래 전부터 대두되어 왔다. 발파 진동에 대한 허용 수준의 문제는 발파 진동의 특성과 전파 매질인 지반의 특성, 구조물 또는 시설물이나 인체, 가축 등 진동에 노출되어 있는 대상물의 반응 특성 등에 따라 좌우되므로 표준화된 기준을 만든다는 것은 쉽지 않은 일이다. 외국

의 경우 광범위한 자료의 수집 및 분석 과정과 오랜 기간의 준비 과정을 통해 기준을 만들고 또 정기적으로 보완하는 작업을 해 오고 있으나 우리나라는 아직 그렇지 못한 실정이다. 현재 통상 적용되고 있는 기준들에 대한 문제점들이 지적되고 있으며 또한 발파진동 허용기준은 발파공법의 규모를 제한하여 원가에 미치는 영향에도 크므로 합리적인 기준의 설정이 요구되고 있다. 본 원고에서는 국가적으로 기준을 갖고 있는 미국, 영국, 독일, 스위스, 스웨덴 등의 사례와 개정 작업을 하고 있는 호주 및 브라질의 사례를 통해 각 기준들의 특징을 분석하고 현재 사용되고 있는 국내 기준의 문제점을 고찰함으로써 합리적인 기준 마련을 위한 지침과 참고 자료를 제공하고자 한다.

1) 한국지질자원연구원
접수일 : 2005년 9월 16일

2. 건축물의 발파진동 허용 수준에 대한 국외 기준들

2.1 미국의 기준과 특징

미국의 경우 일찍부터 발파진동문제에 관하여 미광무국(US. Bureau of Mines)을 중심으로 광범위하고 체계적인 연구를 수행하여 오고 있으며 수차례에 걸쳐 연구결과들을 종합 발표한 바 있다. 그 결과들은 미국의 각 주에서 정하고 있는 허용기준의 기초가 되고 있다. 미광무국의 1940년대 발파진동에 관한 1차 연구결과를 보면 중력가속도인 g의 단위를 사용하여 허용기준을 설정한 바 있으며, 1941년 1차 종합결과 발표 후 USBM 자료, 캐나다의 자료 및 Langefors 등의 자료를 통계적인 방법을 도입하여 연구한 결과가 1971년 USBM bulletin 656에 발표되었다(Theonen & Windes, 1941; Langefors et al, 1958; Nicholls et al, 1971). 그 결과를 요약하면 구조물에 미치는 피해는 진동의 크기를 변위로 측정하였을 때 주파수와 밀접한 관련을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 진동속도에 대해 나타낼 경우 구조물의 피해와 그 정도는 주파수의 영향을 거의 받지 않고 속도의 일정값으로 표시할 수 있는 것으로 보고되었다. 결론적으로 진동속도 약 5 cm/s를 일반 구조물에 대해 피해를 일으키지 않는 안전한계로 제시하였고 이 손상기준은 현장에서 일반적으로 적용되어 왔고 많은 기관에서 법적인 규제 기준으로 받아들여졌다. 그

러나 이 기준의 적용에 대해서도 계속 피해 시비가 끊이지 않아 1974년 발파진동해석에 대한 재해석이 시도되었다. 주파수에 대한 구조물의 반응특성 및 손상에 초점을 두어 추가로 측정을 실시하고 그동안의 자료를 확률적인 해석기법을 적용하여 분석한 결과를 1980년에 Report of Investigation 8507에 발표하였다(Siskind et al, 1980). 결과에 의하면 주파수 40 Hz를 중심으로 40 Hz 이상의 진동주파수를 갖는 발파진동에 대해서는 5 cm/s가 그대로 안전기준치로서 적용될 수 있으나 40 Hz 이하의 낮은 진동주파수를 갖는 발파진동에는 손상 받을 확률이 높아 안전기준을 1.2 cm/s로 낮추어야 할 것이 보고되었다.

미국의 노천채광청(OSM, Office of Surface Mining)은 노천 석탄채광작업에 대한 안전기준으로 Table 2와 같이 좀 더 간단하고 실용적인 기준을 제시하고 있다.

미국은 주마다 적용 기준이 다르나 대부분 주거가옥에 대하여 OSM과 USBM의 제안 기준을 기초로 각 주별로 허용 수준을 마련하고 있다. USBM 기준을 채택하고 있는 주는 Alabama, Massachusetts, New Jersey 주 등이며 OSM 기준을 채택하고 있는 주는 Illinois, Indiana, Iowa, Louisiana, Maryland, Montana, New Mexico, Ohio, Pennsylvania, Utah 주 등이다.

Arkansas 주와 South Carolina 주는 1.0 in/s의 허용수준을 설정하고 있으며, Kentucky 주는 채석

Table 1. Allowable limit of blast vibration suggested by USBM (1980)

Type of structure	Safety level, in/s	
	f < 40 Hz	f > 40 Hz
Modern homes-drywall interiors	0.75	2
Older homes-plaster on wood lath for interior walls	0.5	2

Table 2. Regulation of OSM (30 CFR Parts 715, 780, 816, and 817)

Distance from blast source, ft	Peak particle velocity (in/s)	scaled-distance factor (without measurements)
0 ~ 300	1.25	50
301 ~ 5000	1.0	55
5001 이상	0.75	65

및 건설작업에 2.0 in/s를, 노천 석탄광산에 OSM 기준을 적용하고 있다.

Alaska, Arizona, California, Colorado, Florida, Idaho, Nevada 주 등은 규제 기준을 갖고 있지 않는 것으로 조사되었다.

2.2 캐나다의 기준과 특징

캐나다의 발파진동 허용 수준은 연방, 주 및 지방 자치단체에 따라 규제를 받고 있다. British Columbia(BC) 및 Alberta 주는 명시된 규제 기준은 없으나 광산 감독자가 상황을 판단하여 허용 수준을 설정할 수 있다. 대부분 미국 광무국 및 노천채광청의 지침을 따르는 것이 일반적이다 (Grogan & McAnuff, 2005).

Manitoba 주는 Manitoba Regulation 65/92와 Mines & Mineral Act에 따라 규제를 받고 있다. 채석장 발파의 경우 주거용 건물에 대해서는 최대 진동속도 1.2 cm/s, 기타 용도의 건물에 대해서는 5.0 cm/s를 허용 수준으로 하고 있다.

Table 3. Allowable limit of blast vibration (Halifax Regional Municipality Bylaw B-600, Canada)

Frequency	Peak particle velocity (cm/s)
15 Hz or less	1.25
16 ~ 20 Hz	1.9
21 ~ 25 Hz	2.3
26 ~ 30 Hz	3.05
31 ~ 35 Hz	3.3
36 ~ 40 Hz	3.8
40 Hz or greater	5.0

Ontario 주의 경우 NPC 119를 비롯해서 여러 종류의 규제 기준이 있으며 광산 및 채석장 발파 시 일상적인 계획작업이 이루어지지 않는 경우에는 1.0 cm/s를, 계획작업이 실시되고 있는 경우에는 1.25 cm/s를 허용 수준으로 설정하고 있다. 파이프라인과 관련 구조물 건설을 위한 노천 굴착시의 발파진동 허용 수준은 Ontario Provincial Standard Specification (OPSS 515)에 따라 건물이나 구조물 인접 지반에서의 최대진동속도가 5.0

cm/s를 초과하지 않도록 하고, 콘크리트나 그라우팅 인접해서는 타설 후 60시간 이내에는 1.0 cm/s를 초과하지 않도록 규제하고 있다.

Table 4. Allowable limit of blast vibration (City of Hamilton and district of Muskoka, Ontario, Canada)

Frequency	Peak particle velocity (cm/s)
> 40 Hz	5.0
30 ~ 40 Hz	4.0
20 ~ 30 Hz	2.5
< 20 Hz	1.2

Nova Scotia 주의 Halifax는 Halifax Regional Municipality Bylaw B-600 Respecting Blasting에 Table 3과 같은 허용 수준을 설정하고 있다.

Ontario의 Hamilton 시와 Muskoka는 지상 구조물에 대해서 Table 4와 같은 기준을 설정하고 있으며 매설물 상부에서는 5.0 cm/s를, 콘크리트의 경우 타설 후 80시간 이내에는 1.0 cm/s를 초과하지 않도록 규제하고 있다.

2.3 독일의 기준과 특징

독일은 1970년대 German Standard인 DIN 4150 Part 3(1971)에서 발파와 같은 충격진동에 대한 건축물의 허용 수준을 설정하였고, 1986년 기존의 규격을 보완하여 주파수 특성을 고려한 수정안을 마련하였다(Table 5 참조).

- ① vi : 건물기초 3방향 진동 속도 중 최대치, 3 to 8 Hz 등의 진동속도는 비례적으로 변화하는 값.
- ② 측정방법 : 진동원과 직면한 건물의 가장 낮은 층의 기초내벽 또는 외벽, 지하실이 없는 경우는 지반 상부의 0.5m 이하 구조의 3방향에 대하여 동시 측정, 건물 최상층 슬래브의 중앙 z-방향.
- ③ 100 Hz 이상의 주파수에 대해서는 50 to 100 Hz의 주파수 범위의 규제치를 적용.
- ④ 동적 허용용력이 정적 허용용력의 10% 미만일 경우는 fatigue factor 3을 곱하지 않음.
- ⑤ 슬래브(floor) 진동허용 규제치는 수직방향 최대 진동속도 20 mm/s 이하.

Table 5. German Standard DIN 4150 for short-term vibration (Part 3, 1986)

Type of structure	Vibration velocity, V_i , mm/s			
	Measuring point : Foundation			m.p.: Plane of floor of uppermost full story
	At a frequency of			
	< 10 Hz	10-50 Hz	50-100Hz	Frequency mixture
1. Building used for commercial purposes industrial building & building of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2. Dwelling and building of simulation and/or use	5	5 to 15	15 to 20	15
3. Structure that, because of their particular sensitivity to vibration, do not correspond to those listed in item 1 & 2 and are of great intrinsic value	3	3 to 8	8 to 10	8

이 규정은 규제치 내로 준수될 때는 건물의 가치 하락을 가져오는 손상을 야기하지 않는 기준으로 볼 수 있으며 Table 5의 2항 및 3항에 해당되는 건축물에서 손상의 형태는 벽체 회벽에 균열이 형성되거나, 이미 존재하던 균열의 확대 또는 내력벽이나 천장에 금이 가는 정도로 정의하고 있다.

Table 5의 기준 값은 피로 파괴를 고려하지 않은 수준의 충격 진동에 대한 것이며 높은 빈도로 발생하는 진동으로서 피로 현상을 일으킬 수 있거나 또는 연속적인 충격진동 및 구조물의 공진을 야기하는 진동은 정상 진동으로 취급하여 별도의 기준을 정하고 있다. Table에 제시된 기준 값을 지켰을 경우 진동에 의한 원인으로 가치를 감소시키는 피해는 발생하지 않으며, 그래도 피해가 관찰되었다면 이 피해의 결정적인 원인은 다른데 있는 것으로 간주한다. 변경된 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 구조물을 4가지 형태에서 3가지 형태로 분류하였다.
- 2) 모두 최대 입자 속도를 척도로 하였으나 벡터 합 진동의 최대값에서 건물기초 3방향 진동 속도 중 최대치로 변경하였다.
- 3) 주파수 대역을 새로이 고려하였으며 경계 주파수는 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz로 하였다.

4) 계측 지점은 건물 기초 또는 건축물 최상부층 바닥으로 하였다.

5) 주파수 대역에 따라 허용 수준을 0.2 cm/s ~ 4.0 cm/s로부터 0.3 cm/s ~ 5 cm/s로 설정하였고 건물 최상부층 바닥에서의 측정값은 주파수에 관계없이 8 mm/s ~ 40 mm/s의 허용수준으로 설정하였다.

2.4 스위스의 기준과 특징

스위스는 1978년 제정된 기준에 이미 주파수 대역이 고려되어 있었으나 1987년부터 도로교통위원회 산하 “기초 및 기초 지층(VSS)”전문위원회가 개정을 위한 작업을 시작하여 1992년 4월 Norm 640 312a를 승인 받았다.

Table 6 및 7에서 보는 바와 같이 새 규정에서의 특징은 고층 및 지하층에서의 “민감도 분류”이며 “빈도 분류” 및 진동 속도의 주파수에 대한 고려가 포함된 것이다. 이 규정의 적용 분야는 발파에 의한 진동, 기계 진동, 모든 건설 장비 진동 및 도로와 철도 교통 진동들이 건물에 미치는 사항이며 진동 영향이 인간, 기초, 건물 안에 있는 기계 등에 미치는 것을 포함한다. 주파수가 8 Hz 이하일 때는 보다 더 낮은 기준치를 적용하고 있다.

Table 6. Classification of structure, Swiss standard

민감도 등급	고층 건축물	지하 건축물
(I) 극히 민감도가 낮음		- 철근 콘크리트 혹은 철제교량 - 철근 콘크리트, 콘크리트, 축벽으로 된 지지벽 - 견고한 암석 혹은 잘 다져진 연암 내에 개착된 갱도, 터널, 지하공동, 수갱
(II) 조금 민감함	- 철근 콘크리트의 상용 및 생산업체 건물, 대개의 경우 외벽에 몰탈 칠이 없음 - massive하게 지어진 사일로, 탑, 높은 굴뚝, 대개의 경우 몰탈칠, 철제 구조, 철책 기둥이 없음	- 연약암반 내에 지하 공동, 터널, 수갱, 관로 - 지하 주차 시설 - 지표 가까이 설치된 각종 관로 (가스, 수도, 하수, 케이블) - 건식 축벽
(III) 보통 민감함	- 콘크리트, 철근 콘크리트, 인조 건축벽돌로 조적된 주거건물 - 조적 혹은 인공적 건축자재에 몰탈칠로 된 사무실, 학교, 병원, 교회 건물	- 저장소 - 주철 배관 - 지하 동굴, 터널의 중간천장 및 차도용 포장 - 민감한 케이블
(IV) 대단히 민감함	- 회벽집 - 볼트식 구조물 - (III) 등급의 건물이 개축 혹은 새로이 단장된 건축물 - 역사적 보호 건물	- 오래된 납 케이블 - 오래된 주철배관

Table 7. Allowable limit of impact vibration level

민감도 등급	빈도 등급	최대 진동 속도 벡터 (VR) mm/s 주파수 대역		
		< 30 Hz*	30-60 Hz	> 60 Hz**
(2) 작게 민감	가끔씩 자주 계속적	기준치: 민감도 등급(3)의 2배까지에 해당하는 값		
(3) 보통으로 민감	가끔씩 자주 계속적	15 6 3	20 8 4	30 12 6
(4) 극히 민감	가끔씩 자주 계속적	기준치: 민감도 등급(3)의 값과 1/2수준 사이의 값		

*) 8 Hz 이하의 주파수에서는 최저 기준치를 적용

**) 150 Hz 이상의 주파수일 경우는 더 큰 값의 기준치를 적용할 수 있다.

이 규정에서는 민감도로 네 등급을 설정했고 고층과 지하층을 구분하였다. 분류에서 결정적인 기준이 되는 점은 구조물 각 부재의 민감도로써 건축 구조 양식 및 기타 요소, 예를 들어 건축 자재, 건물 상태, 외벽 처리, 회칠 등으로부터 정해지는 것

이다. 또한 진동의 빈도수에 따른 진동 영향을 세 등급으로 나누어 가끔씩, 즉 조사하는 평가 시간 간격에서 영향수가 1,000 보다 훨씬 작을 때와 자주, 계속적, 즉 영향수가 100,000 보다 훨씬 많을 때로 구분하고 있다. 주요 변경 내용은 다음과 같다.

Table 8. British Standard (BS7385: Part 2 Guide to Damage Levels from Ground-borne Vibration)

Line on Graph	Type of Building	Peak component particle velocity in frequency of predominant pulse	
		4 to 15 Hz	15 Hz and above
Line 1	Reinforced or framed structures Industrial and heavy commercial buildings	50 mm/s at 4 Hz and above	
Line 2	Unreinforced or light-framed structures Residential or light commercial type buildings	15 mm/s at 4 Hz increasing to 20 mm/s at 15 Hz	20 mm/s at 15 Hz increasing to 50 mm/s at 40Hz and above

NOTE 1. Values referred to are at base of the building.

NOTE 2. For line 2, at frequencies below 4 Hz, a maximum displacement of 0.6mm (zero to peak) should not be exceeded

1) 변경 전 4가지 등급으로 구분한 구조물의 형태는 변경 후에도 그대로 유지하였으나 민감도 등급을 부여하고 등급별 건축물을 지상 및 지하 구조물로 구분하였다.

2) 교량, 터널, 지하 갱도, 수갱, 지하 저장소, 배관, 케이블 등의 구조물 및 시설물을 고려하였다.

3) 진동의 빈도수에 따른 진동 영향을 세 등급으로 구분하는 빈도 등급을 부여하였다.

4) 주파수 대역은 개정 전 10, 60, 90 Hz 경계에서 개정 후 8, 30, 60, 150 Hz 로 변경하였다.

5) 주파수 대역 및 빈도수에 따라 허용 수준을 개정 전 0.8 cm/s ~ 4.0 cm/s로부터 개정 후 0.15 cm/s ~ 9 cm/s 범위로 하였다.

2.5 영국의 기준과 특징

영국은 British Standard인 BS7385 Part 2(1993)에 발파를 포함한 다양한 진동원에 의한 건물의 손상 발생 가능성을 평가하는 지침을 제공하고 있다. 이 기준은 미광무국 등 국외 사례와 영국 내의 광범위한 사례를 분석하여 작성하였다고 기술되어 있으며 지침서를 요약하면 Table 8 및 Fig. 1과 같다(Farnfield, 2005). 이 Table에 설정된 수준은 건물 벽에 실금이 발생하는 정도의 손상(cosmetic damage)에 대한 것이며 minor 손상은 이 수준의 2배 이상, 건물의 구조적 손상이 발생하는 major damage는 4배 이상의 수준으로 평가하고 있다.

영국 기준의 특징은 다음과 같다.

1) 건물 형태를 2 등급으로 하였으며 건물 기초에서 측정된 진동의 세 성분 중 가장 큰 성분의 속도로 수준을 설정하였다.

2) 주파수 대역을 4, 15, 40 Hz를 경계로 하여 cosmetic damage에 대한 허용 수준으로 1.5 cm/s에서 5 cm/s의 범위를 설정하였다.

3) Minor damage는 이 수준의 2배 이상, major damage는 4배 이상으로 평가하고 있다.

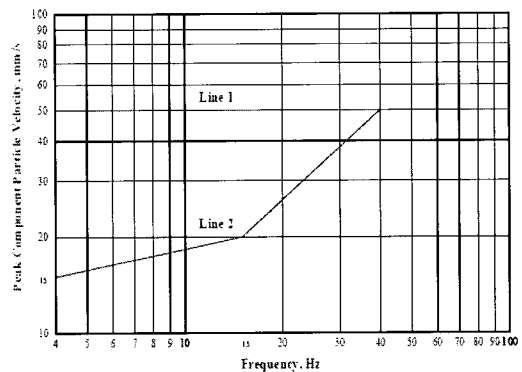


Fig. 1. British Standard, BS7385.

2.6 스웨덴의 기준과 특징

스웨덴 표준 SS 460 48 66(Vibration and shock - guidance levels for blasting induced vibration limits)은 1989년에 승인되어 1991년 개정되었으며, 건축물 및 터널에 인접한 발파 작업에 대해 50여 년의 경험적 결과에 기초하고 있다고 기술하고 있다. 건축물에 영향을 주는 발파진동 수준을 결정하는데 큰 도움이 되며 인체 혹은 진동에 예민한 장비 시설은 고려하지 않고 있다. 세 성분의 진동속도 값을 예측하여야 하며 건물의 기초지반에서 예측하도록 규정한다. 허용 수준의 기준이 되는 값 v 는 다음 식과 같이 규정한다.

$$v = v_0 F_k F_d F_t$$

여기서 v_0 : 보정되지 않은 최대 진동속도 (mm/s)

F_k : 건축물의 품질 계수로

$F_k = F_b F_m$ 즉 건물 계수와 건축재료 계수의 곱으로 표시

F_d : 거리 계수

F_t : 발파작업의 작업 기간을 표현하는 계수

허용수준을 결정하는 인자들의 값은 Table 9 ~ Table 12에 의해 계산하여 결정된다.

스웨덴 기준의 주요 특징으로서 다른 기준들과 차이점은 다음과 같다.

Table 9. Uncorrected vertical peak particle velocity, v_0

Type of ground	v_0 (mm/s)
Loose moraine, sand, gravel, clay	18
Firm moraine, shale stone, soft limestone	35
Granite, gneiss, firm limestone, quartzite, sandstone, diabase	70

Table 10. Building factor, F_b

Class	Type of structure	F_b
1	Heavy structures, bridges, quay, civil defence structures	1.70
2	Industrial and office buildings	1.20
3	Residential buildings	1.00
4	Sensitive buildings with high arches or large span, churches and museums	0.65
5	Historical buildings in poor condition	0.50

Table 11. Construction material factor, F_m

Class	Type of structure	F_m
1	Reinforced concrete, steel	1.20
2	Non-reinforced concrete, brick	1.00
3	Aerated concrete	0.75
4	Mexi-brick (artificial limestone brick)	0.65

Table 12. Project time factor, Ft

Type of blasting activity	Ft
Construction works such as tunnels caverns, surface blasting	1.0
Stationary works, quarries and mines	0.75-1.0

- 1) 건축물의 기초 지반의 형태를 3종류로 구분하여 고려하고 있다.
- 2) 건축물의 부재 종류를 4종류로 구분하여 고려하고 있다.
- 3) 지반에 따라 감소하는 특성을 거리계수를 이용하여 반영하고 있다.
- 4) 공사기간을 고려하고 있다.

2.7 호주 및 브라질의 기준과 특징

(1) 호주

호주는 관련 기관 및 작업 형태에 따라 다양한 기준들이 적용되고 있지만 가장 표준화된 기준으로서 Australian Standard AS 2187.2 (1993)에 각종 건설 작업 시에 표준이 되는 허용 수준이 설정되어 있다.(Table 13 참조) 이 기준은 건물 형태를 3 등급으로 하여 주파수에 관계없이 0.2 cm/s에서 2.5 cm/s의 범위를 허용 수준으로 설정하고 있으나 현재 주파수를 고려한 기준으로 개정 중에 있다(Spathis & Brodbeck, 2005).

Queensland의 경우에는 주파수 특성을 고려하여 35 Hz 이상의 경우 최대 진동 속도 2.5 cm/s, 35 Hz 이하의 진동에 대해서는 1.0 cm/s의 허용

수준을 적용하고 있다.

(2) 브라질

브라질의 규제 기준 NBR 9653은 도심지에서의 광산 및 채석 발파에 의한 영향을 평가하기 위한 지침이다. 1986년 Committee of the Brazilian Associate of Technical Norms에 의해 작성되었고 2005년 2월 현재 개정 작업 중에 있다(Bacci, 2005). 현재 설정되어 있는 CE 18.205.02의 허용 수준은 주파수와 건물의 형태에 관계없이 최대 진동 속도 1.5 cm/s를 허용 수준으로 하고 있다. 현 기준의 개정판은 영국의 BS 7385와 유사한 형태가 될 것으로 알려져 있다.

3. 국내 현황

국내에서는 1980년대 초 서울시에서 지하철 공사 시 발파 작업에 적용하기 위해 마련하였던 기준이 있으며 이 기준이 기초가 되어 지하철 터널 굴착 공사 등에 통상 적용되고 있다. 이 기준은 1970년대 제정된 독일의 DIN 4150을 기초로 하여 제정되었기 때문에 개정 전 독일 기준과 매우 유사한 형태를 갖고 있다. 대상 건축물을 네 종류로 분류하여 진동 주파수에 관계없이 0.2 cm/s ~ 4.0 cm/s 의 진동도를 허용하고 있다. 과거 건설교통

Table 13. Australian Standard AS 2187.2 (Part 2: Use of Explosives)

Type of structure	Particle velocity, Vp(cm/s)
1. Historical building and monument, and buildings of special value or significance	0.2
2. Houses and low-rise residential buildings; commercial buildings not included in item 3 below	1.0
3. Commercial and industry buildings or structures of reinforced concrete or steel construction	2.5

비고 : 2005년 2월 현재 개정 작업 중

부 터널 발파 작업 기준 및 노동부의 발파 작업 안전 작업 지침, 서울·부산·대구·광주·대전·인천 등 지하철 건설 기준에서는 0.5 cm/s를 설정하였으며 중앙환경분쟁조정위원회의 분쟁조정 피해 인정 기준은 지반 및 건축물의 구조가 취약한 구조물이 많은 현실을 감안하여 0.3 cm/s가 통상적인 평가 기준으로 적용되고 있다.

향후 국내 허용 기준의 마련에 고려해야 할 주요 사항들을 열거하면 다음과 같다.

1) 주파수 특성

주파수 대역을 고려한 허용 수준의 설정은 공학적 측면에서 합리적이며 또한 국외의 개정된 사례나 호주 및 브라질의 개정 작업에서 보는 바와 같이 국제적인 추세이다. 주파수 대역의 경계는 국가별로 다양하게 나타나고 있으며 적절한 경계의 설정을 위해서는 국내 건축물의 특성과 지반 특성을 고려한 응답특성의 분석이 필요할 것이다.

2) 허용수준

현재 적용되고 있는 진동 수준은 실제 적용상에 있어서 너무 보수적이라는 지적이 지배적이며, 주파수 대역의 고려와 함께 작업 특성과 대상 구조물에 따라서 합리적인 수준으로 설정할 필요가 있다.

3) 국내 소음진동 규제기준

충격 진동으로서 발파진동이 갖는 진동 특성이 반영되어야 하며, 이와 관련하여 현재 국내 환경법상의 소음 진동 규제 기준에서 발파 작업에 관련된 기준의 문제점도 보완되어야 할 필요가 있다.

4) 기타 고려할 사항

사용 계측기류의 규격, 측정방법, 해석방법 등의 절차, 계측 위치, 평가 인자 등의 구체적인 사항들이 명시되어야 한다.

4. 기 타

시설물의 허용 기준은 워낙 다양하고, 특성이 다르므로 일반화하기는 어려우며 진동에 대해 예민한 시설물일 경우 대부분 시설물의 사양서(specification)에 설정되어 있으므로 이를 설계 및 평가에 적용할 수 있다.

5. 결 론

발파진동과 같은 충격진동에 대한 평가에는 다양한 인자들이 관련되어 있으며 또한 민원의 해결을 위한 판단 근거와 건설공사의 경쟁력에 미치는 영향 등의 측면을 고려할 때 매우 신중히 접근하여야 한다. 현재 통상 적용되고 있는 기준의 문제점들을 시정하기 위해서는 빠른 시일 내에 보완 작업이 수반되어야 할 필요가 있다. 기준의 틀에 대해서 공학적 측면에서 보면 대상 건축물 형태뿐만 아니라 부재 종류, 건축물 기초 지반과 진동이 전파되는 매질의 특성까지도 반영한 스웨덴의 기준이 가장 합리적인 것처럼 보이나 미국의 각 주에서 많이 채택하고 있는 OSM 기준과 같이 현실적으로 매우 실용적인 형태의 기준이 바람직할 수도 있다. 주파수 대역을 어떻게 설정한 것인가, 허용진동의 수준을 얼마로 할 것인가를 결정하기 위해서도 국외 사례들에 대한 분석과 함께 실험적, 계측을 통한 정량적인 자료의 확보 수치해석적 고찰 등의 연구도 체계적으로 수행되어야 할 것이다. 한편으로는 아직 국가 표준이 마련되지 않은 상황이므로 조건에 따라 국내의 사례를 참조하여 허용 수준을 설정할 필요가 있으며 이 경우 정해진 틀에서 벗어나 유연하게 대처할 수 있다는 이점도 있다.

참고문헌

1. 김웅수, 이경운 외, 1983, 발파진동식 확립과 제어발파 지침결정을 위한 연구보고서, 강원대학교, 서울시 지하철공사 용역보고서, 168p.
2. 터널시방서, 1999, 건설교통부.
3. Bacci, D., 2005, Guidelines for Mining and Quarry Blasting Urban Areas, pp. 277-281.
4. DIN 4150 Teil 3, 1986, Erchterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Bauliche Anlagen.
5. Farnfield, R., 2005, Regulatory Control of Blast Vibration Levels in the UK, 31st ISEE Symp., Orlando, pp. 283-289.
6. Grogan, A., and P. McAnuff, 2005, Canadian Vibration and Airblast Regulations, 31st ISEE Symp., Orlando, pp. 307-310.
7. Holmberg R. and D. Jonson, 2005, Swedish

- Standards for Ground Vibrations and Airblast, 31st ISEE Symp., Orlando, pp. 289-306.
8. Langefors, U., B. Kihlstrom and H. Weterberg, 1958, Ground Vibrations in Blasting, Water Power, Vol. 10, pp. 335-338, 390-395, 421-424.
 9. Nicholls, H.R., C. F. Johnson and W. I. Duvall, 1971, Blasting Vibrations and Their Effects on Structures, USBM. Bulletin 656, 105p.
 10. Siskind, D.E., M. S. Stagg, J. W. Kopp and C. H. Dowding, 1980, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, USBM RI 8507, 74p.
 11. Spathis, A. and A. Brodbeck, 2005, Future Directions in Vibrations and Airblast Control Within an Australian Regulatory Context, 31st ISEE Symp., Orlando, pp. 263-275.
 12. Theonen, J.R. and S. L. Windes, 1942, Seismic Effects of Quarry Blasting, USBM Bulletin 442, 83p.



류 창 하

한국지질자원연구원 지반안전연구부 실장

E-mail : cryu@rock25t.kigam.re.kr
