터널과 지하공간, 한국암반공학회
Vol. 7, 1997, pp. 310~322

TUNNEL & UNDERGROUND Vol. 7, 1997, pp. 310-322
J. of Korean Society for Rock Mech.

인체에 대한 진동의 허용 기준 및 피해 산정에 관한 연구*

양형식[1] · 전양수[2] · 이경운[3]

Vibration Regulations and Damages Evaluation Method for Human

Hyung-Sik Yang, Yang-Soo Jeon and Kyung-Won Lee

ABSTRACT New limits of comfort boundary, psychological damage boundary and exposure limit for building residents by continuous and shock vibration are suggested. These limits are derived from the ISO 2631 and DIN 4150 regulations. A reasonable method to evaluate damages by vibrations is also suggested using the "total over-exposure of vibration" concept.

1. 서 론

현재 우리 나라에는 다양한 사회간접자본의 건설이 이루어지고 있는데 이로 인한 진동과 소음 문제로 민원이 끊이지 않고 있는 형편이다. 이 과정에서 진정한 민원피해의 발생여부를 가릴 수 있는 기준이 필요하게 되었다.

진동, 소음은 비상시성 공해원으로서 발생원이 사라지면 그 즉시 소멸되는 것이므로 여타 오염과는 달리 지속성이 없다. 반면 진동, 소음은 감각으로 직접 느낄 수 있다는 점에서 민원의 가능성은 훨씬 많다. 또 진동과 소음은 동시에 발생하고 먼지 등과 함께 복합민원을 일으키는 경향도 있다. 우리나라에서 지난 수년간 발생한 민원문제 중 절반 가량이 진동, 소음으로 인한 것이었다. 95년 12월 26일 현재 자료에 의하면 환경분쟁조정위원회가 91년 출범한 이래로 접수 분쟁 건수는 총 91건이며 그중 조정 건수가 78건이고 심사중인 건수가 13건이다. 78건 중 소음, 진동 관련 건수가 39건으로 전체의 50%를 차지한다. 92년에서 95년까지의 사례집에 수록된 내용 중에서 소음진동 관련은 30건이며 이중 채석장 관련이 3건, 공장진동 소음이 3건이고 나머지 24건은 모두 건설관련이며 주택이나 건물 건축, 도로, 교량, 공단, 저장시설 등의 건설, 매립 및 골프장 건설 등이다. 건설진동문제에서는 절반에 해당하는 14건이 발파와 관련되어 있는 점도 특기할만하다. 피해 내역별로는 구조물이 18건, 인체의 정신적 피해 10건, 양돈 4건, 양계, 양어 각 3건, 젖소, 양봉, 우렁이 자라 등이 각 1건이었다.

실제에 있어서는 진동이나 소음 문제는 피해의 정의가 모호할 뿐만 아니라 법령과 시행법규도 미비한 형편이어서 전문가들의 판정에 의존하고 있다. 법규의 뒷받침이 되어 있지 않기 때문에 불합리한 판정이 계속되고 있다.

본 연구에서는 각종 기준에 대하여 새롭게 정의하고, 선진 외국과 국내의 여러 판례와 기준들을 검토하여 인체에 미치는 진동의 허용기준과 피해인정 기준을 제시하였고 기존의 피해산정 방법이 정량적이지 못한 점에 착안하여 새로운 피해 산정 방법을 제시하였다.

2. 진동의 기본이론

2.1 진동량과 인체의 감응

진동의 강도 또는 크기를 나타내는 진동량으로는 변위, 속도, 가속도 등이 주로 쓰이고 그 단위는 cm, cm/s(kine), cm/s^2(gal) 등이 주로 쓰이는데 이들은 선형적 척도이다. 구조물에 대해서는 이러한 척도가 잘 적용될 수 있으나 인체의 감각은 선형적으로 비례하지 않고 Weber · Fechner의 법칙에 따라 대수척도로 대응하므로 대수척도인 dB을 사용하며 건물의 진동피해에 대해 최대 진동속도치로 규제하는 방법이 널리 사용되었으

*1997년 11월 22일 접수
1) 정회원, 전남대학교 자원공학과 교수
2) 학생회원, 전남대학교 대학원 석사과정
3) 정회원, 한국자원연구소 소장

나 인체의 감응을 중요시하는 최근의 추세에 따라 dB을 적용하고 있는 사례도 많다. 가속도 레벨은 진동 가속도를 dB 단위로 나타낸 것이며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{가속도레벨 } L = 20 \log \frac{A}{A_0} \quad (\text{dB}) \tag{1}$$

A : 측정치의 가속도 실효치(m/s^2)
A_0 : 기준치($10^{-5} m/s^2$)

진동의 인체 또는 건물 등에 미치는 영향은 진폭과 진동수에 의존하며, 또 수직진동과 수평진동에서는 감지방법이 다르다. 가속도레벨을 주파수에 의한 인체 진동감각으로 보정한 것이 진동레벨(보정 가속도레벨)이다.

수직방향의 주파수보정은 (1)식의 A_0를 다음 식과 같이 주파수별로 보정한 것이다.

$$\begin{aligned} &1 \le f \le 4 \quad A_0 = 2 \times 10^{-5} f^{-1/2} \quad m/s^2 \\ &4 \le f \le 8 \quad A_0 = 10^{-5} \quad m/s^2 \\ &8 \le f \le 90 \quad A_0 = 0.125 \times 10^{-5} f \quad m/s^2 \end{aligned} \tag{2}$$

한편 진동속도의 peak치와 진동레벨의 관계는 진동수 8 Hz 이상의 조화진동이면 다음과 같다.

$$dB(V) = 20 \log v + 71 \tag{3}$$

여기서 v는 최대 진동속도치(mm/s), dB(V)는 수직 보정한 진동레벨이다.

2.2 발생원별 특성

공장진동은 공장에 설치되어 가동되는 기계나 설비류에서 배출되는 것으로 기계나 시설의 종류와 운전조건에 따라 진동의 세기가 정해져 있다. 대체적으로 진동수가 높고 진동의 크기가 작으며 환경피해 보다는 종업원 보호가 더 의미 있고 진동보다는 소음이 문제가 되는 경우가 많다. 따라서 진동원 중에서 가장 변동이 적고 기술적으로 제어 가능한 부문이 바로 공장진동이다. 소음 · 진동규제법의 시행규칙에는 규제대상이 되는 기계나 설비의 명세와 함께 이들이 배출할 수 있는 허용 기준이 정해져 있어 규제의 대상과 책임소재가 분명하다.

교통진동은 진동보다는 소음이 훨씬 더 문제가 되는 분야이다. 도로의 경우 소음, 진동원의 종류는 많지 않지만 주야, 시간대에 따라서 교통량의 변화가 많으므로 상시적이면서도 크게 변동하는 성격을 가지고 있다. 또 소음, 진동원이 불특정 다수이므로 개개 소음, 진동원에 대한 규제가 쉽지 않다. 뿐만 아니라 일정 시점에서 규제기준 이하의 소음, 진동 환경이 확보되었다고 하더라도 교통량의 증대나 운행상태의 변화에 따라 규제기준 이상으로 되는 경우가 있다.

건설 부문에서 진동이나 소음의 발생원은 건설장비나 발파 또는 항타와 같은 시공상의 충격원 들이다. 이들 진동과 소음은 단속성이거나 하루 중 지속되는 시간이 짧은 경우가 많고 전체 건설이 계속되는 기간도 한정적이므로 상시적인 공장이나 교통부문과는 성격이 크게 다르다. 또 건설사업 자체가 공익성을 띄고 있는 경우가 많기 때문에 수인한계가 높은 점 등에 대한 고려가 절실하다. 그러나 실제 법규면에서 이러한 뒷받침이 미비한 형편이다. 또 시공의 필요성은 불가피한데 기술적인 면에서는 기존의 규제기준을 만족시킬 수 없는 경우도 없지 않다. 대표적인 불가피 사례는 시가지에 재개발지구에 있어서의 기초작업을 들 수 있다. 기초 토공 작업에 사용되는 여러 가지 장비들은 일정한 정도의 진동과 소음을 배출하는데 근접한 거리에서의 진동과 소음수준은 현행법규의 기준보다 높을 수밖에 없다. 따라서 건설로 인한 소음과 진동 기준은 ISO 기준이나 DIN과 같은 별도의 가중치 부여 방안이 마련되어야 할 것이다.

현재 발파에 대해서는 건설부문의 진동, 소음에 포함시켜서 규제하려는 경향이 있다. 진동이나 소음의 공정시험법에는 발파진동의 계측 방법이 다른 배출기준이나 규제기준 측정과는 별도로 규정되어 있다(Table 1). 이는 발파진동의 특성이 어느 진동원과도 다른 특수한 것이기 때문이다. 그러나 법규에서는 발파진동을 따로 분리하지 않고 있기 때문에 속성상 건설진동 규제기준의 적용을 받고 있어 불합리하다.

발파는 암반이나 노후 구조물과 같이 통상의 방법으로 굴착이나 파괴가 되지 않을 경우에 경제적이면서도 효율적으로 시공할 수 있는 방법이다. 최근에 기계굴착이나 미진동 혹은 무진동 파괴공법이 연구, 개발되고 있으나 대체비용이 비싸기 때문에 사실상 적용범위가 극히 제한되어 있다. 따라서 앞으로도 발파에 의한 시공은 불가피하게 계속될 것이다. 발파의 경우, 진동수준은 어느 정도 제어가 가능하나 근거리에서는 도저히 현행기준을 만족할 수 없다. 극히 짧은 시간동안 일어나는 이러한 진동은 적절한 고지와 사전 경고만 이루어

Table 1. Measuring methods for different vibration sources

	Manufacturing plant	Traffic	Construction	Blasting
Characteristic	continuous semi-permanent	continuous variable semi-permanent	intermittent ceased after work	shock transient
Measurement of Background vibration	required but not always	not required	required	required
Level meter	general type	general type	general type	max. hold type
Dynamic char.	slow	slow	slow	fast
Measuring time	adequate time	typical time, > 4 hrs interval	adequate time	max. predictable time, day/night
Measuring site	≥3	≥2	≥2	≥1
Sampling rate	<5 s	<5 s	<5 s	<0.1 s
Measuring duration	≥5 min.	≥5 min	≥5 min	<5 s
Measuring item	L_{10}	L_{10}	L_{10}	Max. L_1

*환경처(1993) 자료. 저자 재구성

지면 인체에 대한 피해를 방지할 수 있으므로 발파진동을 포함한 충격진동의 수준을 현실적으로 제시할 필요가 있다고 판단된다.

3. 진동 규제기준

우리 나라에서는 1963년에 공해방지법이 처음 제정되었으나 선언적인 의미만 있었고 1977년에 이르러서야 환경보전법으로 되었으며 1991년에 소음, 진동을 분리시켜 제정하게 된 것이다. 이는 소음과 진동 문제가 우리 나라에서도 중요한 공해문제로 대두되었음을 의미한다.

시행규칙의 건설부문 진동 규제기준은 Table 2와 같다.

표에 의하면 발파진동에 건설진동의 기준을 적용한다고 할 때, 최대허용수준은 공업지역 등에서 주간에 발파할 때의 최대값 75 dB(V)이며 이를 진동속도로 환산하면 1.6 mm/s로 지나치게 낮은 수치여서 사실상 발파시공이 어려운 수준이다.

우리 나라 소음진동규제법에서 제시하고 있는 기준은 규제기준으로서 환경개선 목표로서의 환경기준과 같이 이상적인 기준이다. 환언하면 지나치게 낮은 수준을 제시하여 현재의 기술로는 준수 불가능한 기준도 있다. 특히 건설진동이 그러한데 일반적으로 건설진동은 중장비의 사용이 불가피하며 인구밀도가 높은 기존 도심지에서의 작업이 불가피할 때가 많다. 또 건설공사

Table 2. Environmental regulation for vibration caused by construction (unit : Leq dB(V))

대상지역 \ 시간대	주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동 · 휴양지구, 자연환경보전지역, 학교 · 병원 · 공공도서관의 부지 경계선으로부터 50 m 이내 지역	65 이하	60 이하
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역중 취락지구 및 운동 · 휴양지구 외의 지역, 미고시지역	70 이하	65 이하

비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다. 2. 본 규제기준은 주간에 한해 진동 발생시간이 1일 4시간 이하일 때는 +5 dB을 보정한 값으로 한다.
source : 소음진동규제법 시행규칙 [별표 15] <개정 94. 11. 21> 건설 및 생활소음 · 진동규제기준 (제 32조, 제 57조 관련) 3. 건설진동규제기준

자체가 공익적인 성격이어서 사회 통념상 수인되는 수준이 높을 수 있음에도 불구하고 지나치게 낮은 기준을 제시하여 건설자체가 항시적으로 환경오염원이 되는 사례가 빈번하게 된 것이다. 또 소음, 진동에 대한 규제기준은 환경기준을 만족하기 위하여 강제성을 띄고 준수케 하는 기준이나 이 기준을 초과하는 것이 곧 환경피해를 유발하는 것이라 말할 수는 없다. 따라서 규제기준의 법규위반으로서 처벌의 대상은 될 수 있으나 환경피해에 대한 인과관계가 인정되는 것은 아니다.

4. 인체의 진동 감응도 및 외국 기준

4.1 진동의 인체에 대한 영향

진동이 인체에 미치는 피해는 생리적인 피해와 심리적인 피해를 들 수 있다. 심리적인 면에서의 진동 영향은 개인이 갖고 있는 감정이나 분위기에 의해 크게 좌우되며 개인차가 크다. 생리적인 반응은 객관적인 심리현상, 호흡, 맥박, 신진대사 등의 변화를 의미하며 심리적인 면에 비하여 개인적 차이가 극단적이지 않다.

높은 수준의 진동을 일정시간 이상 전신에 받게되면 순환기계, 자율신경계, 내분비계 등에 생리적 영향을 미치며 성가심, 불쾌감 등의 심리적 영향 및 수면, 업무 등 일상생활에 영향을 줄 수 있다. 그러나 보통의 낮은 진동이 생리적인 피해를 직접적으로 야기하는 경우는 드물다. 직업병적인 수준의 신체 피해는 착암기 등의 작업자가 국부진동에 오랫동안 노출되어서 발생하는 경우를 제외하면 거의 없다고 할 수 있다.

우리는 실제 생활에서도 상당한 수준의 진동에 노출되고 있다. 차량 이용자에게 가해지는 진동 수준은 10 kine이 넘는 경우가 많다.(Konya, 1995) 하지만 이러한 진동에 대하여 특별한 신체적 장애가 발생한다고는 알려져 있지 않다. 비록 '원하지 않는' 진동이라고 하더라도 이토록 높은 수준에서의 진동에 대해서 특별한 신체적 증상이 없으므로 대개의 진동 피해는 정신적인 것으로 볼 수 있다.

그러나 심리적인 불안감이나 불쾌감을 야기할 수 있고 정신적인 압박감에 의한 이차적인 생리적 피해를 초래할 수는 있을 것이다. 이런 점에서 원하지 않는 진동으로 인한 정신적 피해를 불러일으키는 수준은 신체적 피해를 불러오는 진동수준에 비하여 낮게 마련이다.

진동에 대한 인간의 반응 특징을 요약하면 다음과 같다.

Table 3. Effects of vibration on human health

Vibration level dB(V)	Effects on human health
65	some difficulty in sleep
75	hard difficulty in sleep
80	unpleasant feeling
90	harmful physiological defect

Source : Data for parliamentary inspection (Japan, 1993)

1) 진동은 인간에게 위험을 알리는 신호로 해석하는 본능적인 감각 대상으로 특히 사전에 경고가 없으면서 발생원을 파악하기 어려운 진동에 대해서는 매우 불쾌하게 감지된다.

2) 진동이 소음과 같은 다른 저해요소와 병행해서 발생될 때는 더 크게 부각된다. 또 학습에 따른 영향이 있어서 밝혀지지 않은 발생원에 대한 불안이 크다. 또 원하지 않는 진동이 반복되면 불평이 가중된다.

3) 반대로 진동원이 불가피하거나, 이익을 주는 수단이면 인내 수준이 높아진다.

4) 수면에도 학습효과가 있다. 수면 중의 사람이 방해를 받는 수준은 대개 Table 3과 같다.

결론적으로 인체 허용진동수준을 어느 선에 두어야 불평이 없게 되는가를 정하기는 매우 어려운 일이다. 낮은 수준에서도 몇 퍼센트의 사람은 불평을 하게된다. 확실한 점은 진동 노출시간이 짧으면 짧을수록, 또 사전에 진동에 노출되는 이유와 주는 영향 및 확실한 시간을 알려 줌으로써 참을 수 있는 수준은 높아진다는 사실이다.

4.2 ISO의 전신진동에 대한 평가

국제표준기구(ISO)에서는 1974년에 전신진동 노출의 평가지침(ISO 2631)을 정하였고 1989년에 재개정되어 오늘에 이르고 있다.

ISO 2631-1 지침은 고체의 표면으로부터 전신에 전달되는 1~80 Hz의 진동에 대한 수치적 노출기준을 다루고 있다. 주기적 및 비주기적 진동과 연속 충격형의 진동에 대해서도 진동수 대역이 이 범위 내이면 적용할 수 있다.

기준은 쾌적함 유지, 능률 그리고 안전 즉 건강을 위한 기준으로 정의하였으며 그 한계를 쾌적성 감퇴한계(쾌적기준), 피로-능률 감퇴 한계(피로기준) 그리고 노출한계의 세 가지 기준선으로 나타낸다.

진동이 인체에 미치는 영향을 결정하는 물리적 요소

로서 진동의 강도, 진동주파수, 진동방향, 노출시간을 들 수 있으며 진동 방향은 신체에 대한 방향으로 표시한다. 심장위치를 원점으로 하여 머리방향을 z, 전방을 x, 측방을 y로 하는 직교좌표계로 정의한다. 이 지침은 정상 건강의 인체에 대해서만 적용할 수 있고 평균적인 응답이므로 상황의 변화에 따른 응답이 다르게 평가될 수도 있다. 진동의 세기는 실효치 가속도(m/s^2)로 표시한다.

Fig. 1, 2는 수직 및 수평진동에 대한 인체의 피로기준을 보인 것이다. 수직 방향의 진동은 서거나 앉은 사람에게 적용될 수 있다. 피로기준에 비해서 노출한계가 더 높고 반대로 쾌적기준은 더 낮다.

1) 피로기준

피로기준을 진동주파수와 노출시간의 함수로써 그림에 표시하였다. 매일의 기준으로 1분에서 24시간에 이르는 노출시간에 대하여 수직과 수평방향의 진동에 대한 진동주파수별 응답기준을 제시하였는데 이 기준은 이 선 이상으로 진동에 노출되면 노동능률의 상당한 손실을 입게될 위험이 있을 수 있는 것으로 볼 수 있다.

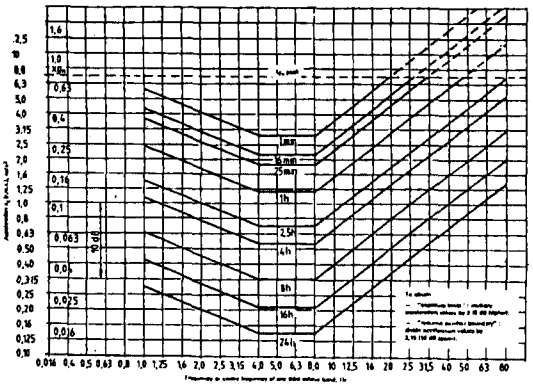

Fig. 1. Longitudinal acceleration limits of fatique-decreased proficiency boundary

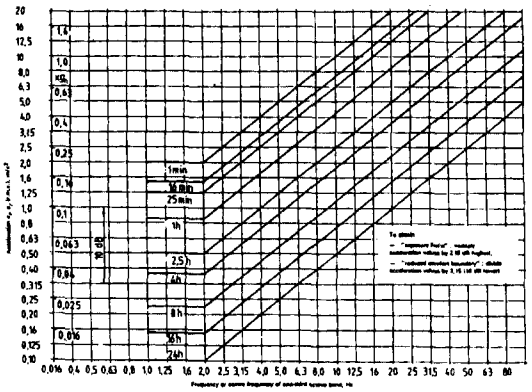

Fig. 2. Transverse acceleration limits of fatique-decreased proficiency boundary

실제에 있어서는 일의 특성과 난이도뿐만 아니라 개인의 성품 등과 같이 기능저하에 영향을 미치는 요인이 여러 가지이다. 그러나 이 표는 진동주파수 의존성이나 노출시간의 영향을 잘 보여주고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 인체에 가장 민감한 진동주파수 대역은 수직진동에 대하여 4~8 Hz, 수평진동에 대하여 2 Hz 이하이며 노출시간이 길수록 진동에 대한 내성이 떨어지는 것을 알 수 있다.

또 매우 낮은 진동수에 대해서는 수평진동에 대한 내성이 수직진동에 대한 내성보다 낮으며 대략 2.8 Hz 이상의 높은 진동수에 대해서는 반대이다.

2) 노출한계

건강과 안전을 목적으로 하는 노출한계는 피로기준과 같은 진동수, 노출시간에 대하여 수준만 두 배 즉 6 dB 높아진다. 따라서 피로기준이 주어지면 어떠한 진동수나 진동방향 및 노출시간에 대해서도 기준값을 두 배로 하면 노출한계가 결정된다.

어떠한 작업을 하지 않더라도 인체가 노출한계를 초과한 진동에 노출되는 것은 바람직하지 않다. 한편 노출한계는 진동에 노출됨에 따라 통증을 느끼게 되는 수준 즉 자의적 인내한계치의 절반으로 책정되었다.

3) 쾌적기준

쾌적함을 위한 쾌적기준은 피로기준의 대략 1/3 정도 수준이며 더욱이 노출시간과 진동주파수에서 같은 경향을 보인다. 그러므로 피로기준과 마찬가지 모양이나 10 dB 만큼 낮은 수준이 된다. 수송산업 분야에서 쾌적기준이라 함은 식사, 독서 및 필기의 어려움과 관련된 것이다.

이 기준들은 수송산업이나 관련 산업기계류의 진동에는 바로 적용할 수 있다. 구조물 내에서의 진동 등에 대해서는 상황의 변화가 많고 개인차도 커서 이 기준들의 적용이 쉽지 않을 것이며 더 엄격한 기준이 요구될 것이다. 그러나 진동주파수 특성이나 노출시간에 대한 경향은 마찬가지일 것이다. 인체의 진동인지한계는 가장 민감한 진동주파수 대역에서 대략 0.01 m/s^2 (약 0.001 g) 정도이며 진동주파수가 달라지면 지각 하한치는 높아진다. 민감한 사람들은 이 기준보다 더 낮은 수준도 인지할 수 있을 것이다.

4.3 ISO의 건물진동에 대한 인체의 노출 평가

ISO에서는 1989년에 건물내의 지속적 및 충격적 전신 진동에 대한 인체의 노출 평가를 위한 기준 ISO 2631-2를 제정하였다. 기존의 ISO 2631-1은 직업적으로 진동을 받는 사람들에 대한 것이었기 때문에 일반인들에 대한 진동노출도 평가의 기준으로는 다소 무리가 있었다. 이런 점에서 ISO 2631-2는 건물 내에 있는 인체의 반응과 불편을 느끼는 진동수준의 주파수별 특징과 함께 진동을 계측하는 방법을 설명하고 있다. 그러나 허용기준 자체는 제시되지 않았는데 이는 기준을 엄밀하게 명시할 수 없을 뿐만 아니라 상황에 따라 다르기 때문이다. 이 기준은 촉각만을 대상으로 하였다.

건물을 통한 진동의 전달은 사람이 서 있거나 앉아 있거나 누워있거나 간에 건물의 수직 진동은 인체의 각 방향 성분으로 들어온다. 진동은 관련된 축방향으로 계측하여야 하고 방향을 모를 때에는 합성곡선을 이용하는 것이 편리하다. 진동수가 다른 진동들이 중첩되는 경우에는 총보정진동값을 취하는 것이 낫다.

과도(충격)진동은 급격히 최대치에 도달하고 지연감쇠하는 진동 혹은 같은 크기의 몇 개 진동이라도 2초 이내의 짧은 경과시간을 갖는 진동으로 정의된다. 하루에 수회에 불과한 발파와 같이 단일의 큰 진동은 특별한 경우로 본다. 이런 류의 작업은 야간작업이 금지되어야 하고 낮에도 회수(event)가 제한되어야 한다. 회수라 함은 짧은 시간동안 분리된, 1분 이상 지속되지 않는 진동을 말한다. 충격진동은 교통진동, 일반진동에

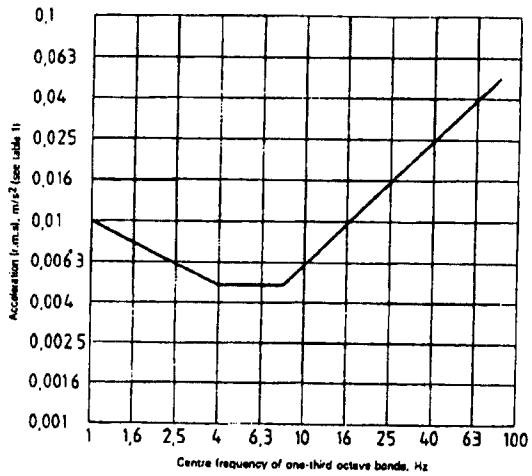

Fig. 3. Building vibration z-axis base curve for acceleration

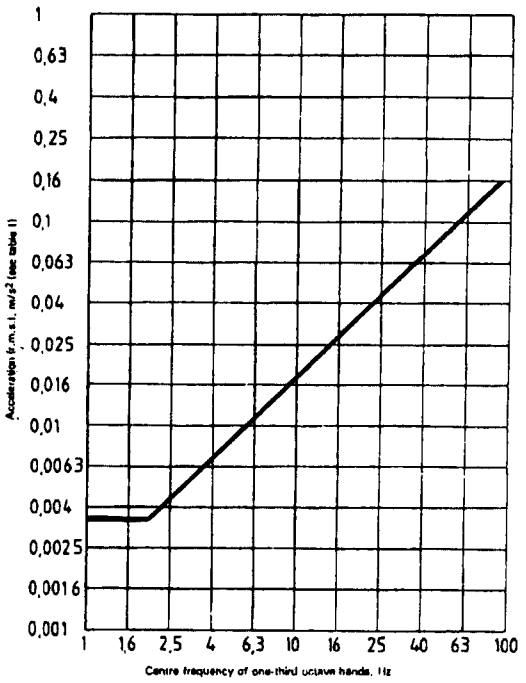

Fig. 4. Building vibration x, y-axis base curve for acceleration

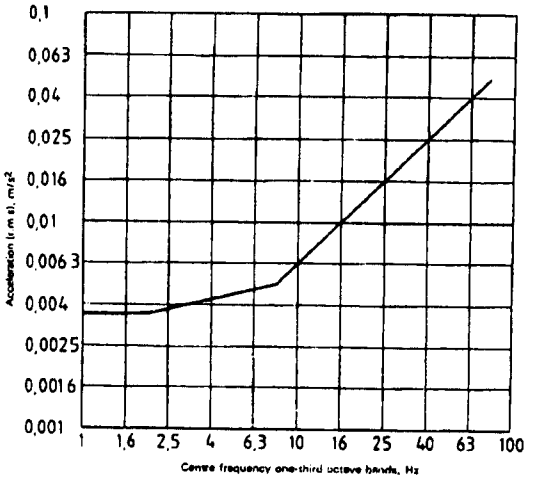

Fig. 5. Building vibration combined direction acceleration base curve

비해 10배 까지도 무방할 수 있다.

기본곡선은 성가심이나 인체활동에 대한 장애와 관련한 인체응답이 대략 같은 크기를 나타낸다. Fig. 3, 4는 방향별 가속도에 대한 기초곡선으로 방안 또는 건물 내에서 만족할 진동수준은 이 기초곡선에 적절한 값

Table 4. Guideline values for evaluating the effects of blasting vibration on human body in buildings

	Vornorm (1975)		DIN 4150, part 2, (1992) several continuous blasting can be considered as 1 event (until 15 blasting events/wk)									
	3 blasting events/day w/o caution 6:00~22:00		2 blasting events/wk w/caution 7:00~13:00 15:00~19:00		several events w/o caution 6:00~22:00			1 blasting event/wk w/caution 7:00~13:00 15:00~19:00			several blasting events/yr w/caution 7:00~13:00 15:00~19:00	
Place	KB	V_{Zmax}	KB	V_{Zmax}	Ao	KB	V_{Zmax}	Ao	KB	V_{Zmax}	Ao	KB	V_{Zmax}
Industrial	12	17.1	12	17.1	6	10	14.3	6	10	14.3	8	13.3	19
Commercial	12	17.1	12	17.1	6	10	14.3	6	10	14.3	8	13.3	19
Mixed	8	11.4	12	17.1	5	8.3	11.9	6	10	14.3	8	13.3	19
Residential	4	5.7	12	17.1	3	5	7.1	6	10	14.3	8	13.3	19

$A_o = KB \times 0.6$ where, f=20 Hz, no resonance. V_{Zmax}=vertical vibration on roof (mm/s)

을 곱하여 구해진다. 이 선 아래에서는 어떠한 불만도 보고된 바가 없다. 그렇다고 이보다 높으면 불만이 발생하는 것을 의미하지도 않는다. 속도에 대한 기초곡선도 있으나 여기서는 생략한다.

z 방향의 진동에 대한 기초곡선이 Fig. 3에 제시되어 있다. 표는 1/3 옥타브 밴드의 중심진동주파수에 대한 가속도 값이다. x, y에 대한 기초곡선이 Fig. 4에 있는데 1-2 Hz 주파수에서 가속도 크기는 3.6×10^{-3} m/s^{2}이다. 진동의 방향이 변하거나 알지 못하는 경우 z와 x, y 축에 대한 곡선 중 나쁜 경우들로 조합된 합성 곡선을 취할 수 있다. 8~80 Hz에서는 z축 응답을 1~2 Hz에서는 x, y 응답을 2~8 Hz 사이에서는 두 곡선의 보간치를 택한다.(Fig. 5)

4.4 독일기준 DIN 4150의 건물 내 인체에 대한 평가 기준

DIN 4150은 구조물의 진동에 대한 기준으로서 진동원리, 예측 및 측정(1975), 건물 내 사람에 대한 영향(1992), 구조물에 대한 영향(1986) 등 세 개의 항목으로 되어 있다.

이 중 사람에 대한 영향은 1975년 제정되었다가 재개정된 것으로 ISO의 기준 설정에 많은 영향을 미친 것으로 알려져 있다. 이렇다 할 통계적 연구가 이루어지지 못하고 있는 우리 나라의 형편에 비추어 독일의 경험은 추후 기준 설정에 큰 도움이 될 것이다. 1992년의 개정은 종래의 KB 값을 좀 더 보편적인 A 기준으로 종합한 것이며 충격진동의 경우 KB에 0.6을 곱하면 A로 환산된다.

$$KB = a\frac{\alpha}{\sqrt{1+(f/f_0)^2}} \quad a\text{는 가속도}(m/s^2) \tag{4}$$

$$KB = v\frac{\beta f}{\sqrt{1+(f/f_0)^2}} \quad v\text{는 진동속도}(mm/s) \tag{5}$$

$$KB = x\frac{\gamma f^2}{\sqrt{1+(f/f_0)^2}} \quad x\text{는 진동폭}(mm) \tag{6}$$

여기서 f_0는 5.6 Hz의 기준 진동주파수이고 α, β, γ는 진동을 최대치로 측정했을 경우에는 20.2, 0.13, 0.80이며 사인파 파동에 대한 실효치의 경우에는 각각의 값에 $\sqrt{2}$를 곱하면 된다.

단속, 충격 진동인 경우에는 최대치에 근거하여 평가한다.

독일기준에서 건물 내 인체에 미치는 발파진동의 허용기준은 Table 4와 같다.

독일기준의 특징을 우리 기준과 비교하여 간단히 요약하면 다음과 같다.

1) 연속진동과 충격진동을 구분하여 낮 시간의 충격진동 허용 수준을 연속진동의 10~20배 정도로 완화하였다.

2) KB 또는 A 개념을 도입하여 진동주파수를 고려하고 있다.

3) 인체에 대한 발파허용기준이 진동속도(수직성분) 7~19 mm/s로 높다.

5. 진동 피해 인과관계 인정 기준의 설정

5.1 각종기준의 비교

ISO가 제시하는 전신진동에 대한 세 한계는 피로기준을 적절히 위치 이동하여 얻어진다. 쾌적기준은 피로기준에서 10 dB을 빼고 노출한계는 피로기준에 6 dB을 더한 수준이 된다.

ISO의 지침에 따라 진동레벨로 인체의 감응을 표시하면 쾌감-불쾌감의 경계는 75 dB (지표기준, 가옥 내에서의 기준 = +5 dB) 이며 생리적 영향이 인체에 영향이 나타나는 기준은 85 dB (지표기준, 가옥 내에서의 기준 = +5 dB)로 된다. 이 값은 산업현장에 있어서 대상 진동에 대하여 8시간 노출을 기준으로 한 것이다.

진동의 피해 대상이 되는 사람들은 진동원 부근에서 상주하는 사람들로 생각할 수 있고 이들에 대한 기준은 건물 내 인체의 반응이 더 적합한 기준이 될 수 있다고 본다. 건물내의 인체 감응을 나타낸 ISO의 기준을 8~80 Hz의 진동에 대해서는 수직 보정한 54 dB이나 진동속도 0.1 mm/s를 기준으로 하고 장소와 시간대 및 진동의 성격에 따라서 만족기준을 다시 설정하면 Table 5와 같이 된다.

국내 진동의 규제 기준치는 55~75 dB로 ISO 연속진동에 맞추어 설정되어 있다. 그러나 충격진동에 대해서는 주로 작업 계속 시간 면에서 5~10 dB을 더한 수준으로만 반영되어 있다. 따라서 충격진동부분에 대한 고려가 미흡하다. 독일기준에서도 ISO와 비슷한 방법으로 충격진동에 대한 보정이 이루어지고 있음을 볼 때 충격진동에 대한 만족기준의 상향조정은 합리적이라고 생각된다.

한편 ISO에 의하면 쾌적기준은 피로기준보다 10 dB 낮고, 노출한계는 6 dB 더 높은 기준이다. 이러한 관점에서 Table 5는 쾌적기준으로 판단할 수 있고 이에 따라 연속진동의 경우 피로기준은 10 dB, 노출한계는 16 dB을 각각 더한 값으로 생각할 수 있다.

Table 5와 Table 3을 비교하면, 거주지역의 야간 진동 만족기준이 57 dB(V)이며 이를 피로기준으로 조정하면 67 dB(V)이 되어 약간의 수면장애 수준과 비슷한 정도가 됨을 알 수 있다. 진동이 비교적 큰 사무실과 공장에서의 진동도 만족기준 66, 72 dB(V)에 대해 피로기준은 76, 82 dB(V)가 되어 불쾌한 느낌이 드는 80 dB과 비슷한 조건이 된다. 또 노출한계의 경우도 사무실에 대해 82, 88 dB(V)로서 인체에 유해한 생리현상이 발생하는 90 dB(V)와 유사한 값임을 확인할 수 있다.

따라서 ISO의 건물진동에 대한 인체의 응답특성을 고려한 기준을 이용하여 도출한 판정기준의 적용은 타당한 방안이 될 수 있다고 본다.

5.2 인과관계 인정 기준 제안

인체에 대한 소음과 진동의 피해는 생리적인 피해를 포함하여 정신적인 피해로 총괄하고 있으며 초기에는 정신적 피해가 물적 피해의 보상으로 상계 된다고 하여 인정하지 않았으나 93년 11월 이후 주로 소음피해에 대하여 인정하고 있는 경향으로 되었다. 이때 판정은

Table 5. Satisfactory level of building vibration with respect to human response[1)]

Place	Time	continuous or intermittent		transient vibration	
		vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s	vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s
Critical working areas (hospital operation etc.)	Day Night	54	0.1	54	0.1
Residential	Day	60~66	0.2~0.4	83~93	3.0~9.0
	Night	57	0.14	57~80	0.14~2.0
Office	Day Night	66	0.4	90~96	6.0~12.8
Workshop	Day Night	72	0.8	93~96	9.0~12.8[2)]

1) Table leads to magnitudes of vibration below which the probability of reaction is low(Any acoustic noise caused by vibrating walls is not considered) 2) Doubling the suggested vibration magnitudes for continuous or intermittent vibration and repeated transient vibration may result in adverse comment and this may increase significantly if the levels are quadroupled.

주로 소음진동규제법의 시행규칙이 정하고 있는 배출허용기준이나 규제기준을 준용하였다.

그런데 여기서 고려하여야 할 부분은 환경오염의 위법성과 수인의 한도에 관한 판례이다. 88 가합 2897 (89년 1월 12일)의 판례로 제시된 바, 위법성은 사회공동생활에는 어느 정도의 이익을 제한 당하는 사태를 수인하지 않으면 안되는 범위가 있고 환경오염이 있다해도 다 위법한 것은 아니고 수인 하여야 할 범위, 한도를 넘었을 때에 비로소 위법성을 띄게 되는 것이라 하였다.

이 때 수인의 한도를 판정할 때 고려해야 할 사항으로는 1) 피침해이익의 종류 및 정도, 2) 침해행위의 사회적 유용성(공공성), 3) 당해지구의 현실적인 토지 이용상황(지역성), 4) 토지이용의 선후관계, 5) 가해자의 방지시설 설치 여부, 6) 손해의 회피 가능성, 7) 공법적 규제 및 인 · 허가와의 관계, 8) 환경영향평가 및 민주적 절차의 이행 여부 등을 들 수 있다는 것이다. 이는 환경기준이 행정적으로 구현하여야 할 이상적인 상태임을 전제하고 그 기준을 초과하더라도 적절한 주의와 조처를 취하며 공익성이 있고 불가피한 상황이었음을 나타낸 경우에는 위법성을 인정하지 않을 수 있음을 보이는 판례이어서 주목된다. 하물며 민사적인 문제는 더욱 그렇다고 할 수 있을 것이다. 이러한 법정신하에서 생각한다면, 환경기준이 인과관계 판정의 기준이 될 수는 없다. 규제기준은 환경기준의 성취를 위하여 법적 강제성을 띄도록 만든 기준이고 이러한 기준의 적용은 개개 소음진동원의 배출을 단속하여 총체적인 환경기준을 확보하는데 의의가 있다. 그러므로 규제기준을 준수하는 것은 곧 환경책임의 면제를 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 피해의 판정을 위한 기준은 규제기준과 일정한 관계를 가지고 있지만 규제기준이 아닌 별도의 기준이 되어야 할 것이다.

진동으로 인한 인체 피해에 대해서는 먼저 인체피해 발생의 근거를 어디에 두는가 하는 문제가 선결되어야 한다. 사람마다 진동에 대한 감수성이 다르며 이는 아마도 인종, 성별, 연령별로도 차이가 다를 것이다. 뿐만 아니라 건강상태나 심지어는 그 사람의 정서적인 상태에 따라서도 달라질 것이므로 이러한 다양한 인자를 모두 포함하는 한계는 사실상 설정이 불가능하다. 그러므로 이들 모두의 감수성을 비교하여 그중 가장 예민한 사람의 불만을 반영하여 피해 발생 여부를 판정하는 것을 고려하게 되는데 이것은 인간이 쾌적함을 누릴 수 있는 자유를 극대화 한다는 점에서 수긍할 만하나, 지나치게 예민한 한 두 사람의 특성에 따라 기준이 결정된다면 사실상 어떠한 진동원도 부정되어야 할 것이다. 반면 평균치 개념의 진동 허용 기준도 문제가 많다. 따라서 구미 각국은 일찍이 불만을 표시하는 주민의 비율에 따라 다양한 기준을 제시하였으며 이러한 통계적 접근법은 가장 타당한 방법으로 인식되고 있다. 물론 불만을 말하는 비율은 그 구성원의 성분이나 배경, 사회적 성숙도 및 그들이 누리는 삶의 질에 따라 현저히 달라질 수 있으므로 건설의 공익성 등을 감안하여 수인할 수 있는 한계를 결정하는 것이 타당할 것이다. 대부분의 국가에서는 90~95%의 사람들을 보호하는데 목표를 두고 있다.(환경처 소음진동과, 1992)

외국의 경우 이러한 연구가 일부 이루어져서 기준 설정에 활용되고 있다. 우리 나라의 경우에는 직업병의 판정이나 기준 설정을 위하여 일부 연구가 발표된 바 있으나 환경문제를 감안한 본격적인 조사는 없다. 향후 수년~수십 년에 걸친 조직적 연구가 필요하다고 본다.

이 연구에서는 국제적으로 공인되는 ISO의 기준 가운데서도 정신적 피해 부분에 있어서는 쾌적기준을 초과하는 수준의 진동에 대해서는 극히 민감한 사람의 경우 외에는 정신적 피해 발생의 가능성이 없는 것으로 판정(A, 만족기준)하고 피로기준을 초과하면 일반적으로 정신적 피해 발생이 가능한 것으로 판정(B, 피해인정 기준)하며 노출한계를 초과한 경우에는 정신적 피해가 심각한 것으로 판정(C, 노출한계)하는 것으로 하였다. 따라서 인과관계의 인정은 B 기준으로 생각할 수 있을 것이며 A 기준은 시공목표 즉 설계기준이 될 것이다.

신체적 피해에 대해서는 국소진동에 의한 찰과상의 가능성이 있을 수 있으나 노출한계 이상 높은 진동수준에서의 일이고 멀미 등의 증세는 정신적인 고통으로 간주한다.

이러한 전제와 앞 항에서의 고찰을 정리 요약하면 Table 6과 같다.

표에서 병원수술실 등 특수지역에서의 만족기준은 우선적으로 충족되어야 할 사안이므로 기준 B와 기준 C를 제시하지 않았다. 진동수준은 ISO의 기준에 따라 유도하였지만 진동주파수는 8 Hz 이상으로 되어 있고 그 이하의 진동이나 소음에 대해서는 주파수별 보정이 필요하다. 따라서 이런 경우에는 표에 의거하여 별도 계산이 필요하다.

여기서는 모든 근거가 피해판정의 용이성을 위하여 비교적 간단한 기기로 계측이 가능하여야 하고 측정 시

Table 6. Suggested limit of human exposure to continuous vibration in buildings

Place	Time	Comfort boundary A		Psychological damage boundary B		Exposure limit C	
		vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s	vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s	vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s
Critical working areas (hospital operation etc.)	day/ night	54	0.1	-	-	-	-
Residential	day	63	0.4	73	1.3	79	2.5
	night	57	0.2	67	0.6	73	1.3
Office	day/ night	66	0.6	76	1.8	82	3.6
Workshop	day/ night	72	1.1	82	3.6	88	7.0

Table 7. Suggested limit of human exposure to shock-induced vibration in buildings

Place	Time	Comfort boundary A		Psychological damage boundary B		Exposure limit C	
		vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s	vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s	vibration level dB(V)	vibration velocity mm/s
Residential	day*	83	4	88	7	91	10
Offic	day*	90	9	95	16	98	22
Workshop	day*	93	12	98	22	101	32

*Construction works during night should be not allwed

점, 측정치 등의 기록 보존성이 있어야 하며 인체의 감수성을 잘 반영하는 메커니즘으로 되어 있어야 한다는 전제하에 기존의 진동레벨계를 사용하는 것으로 하였고 진동속도를 같이 병기하였다.

한편 충격진동은 진동의 계속시간이 짧고 미리 인지하고 있을 때는 상당히 높은 수준까지 수인할 수 있는 것으로 되어 있으나 야간의 경우에는 미리 고지하기도 쉽지 않고 숙면에 대한 방해의 우려가 있으므로 사실상 보호하기 힘들 것으로 판단된다. 따라서 야간의 충격진동에 대한 기준은 연속진동에 준해서 엄격히 적용하여야 할 것이다.

충격진동에 대해서는 피로기준이나 노출한계의 개념이 확립된 것이 아니어서 위와 같은 방법으로 적용하기에는 논란의 여지가 많다고 생각된다. 이 연구에서는 연속진동의 경우 피로기준과 노출한계로 보정하는 10 dB과 16 dB 대신 안전을 감안 그 절반인 5 dB과 8 dB을 더한 수준으로 제안한다. 여기서 5 dB은 만족수준의 두 배를 뜻하는 6 dB 보다 적은 값이다.(Table 5의 주석 2. 참조) 이런 방식으로 산정하고 단순화한 충격진동의 피해인정 기준은 Table 7과 같다.

6. 배상액 산정 방법

지금까지의 분쟁조정 사례를 보면 인체의 경우 소음노출정도와 배상판정이 비례하지 않고 진동소음원과의 상대적 거리에 의해서만 배상액이 결정되었다.

진동이나 소음은 일정정도 수준 이내이라면 익숙해져서 내성이 생기는 것으로 여겨지지만 정신적 신체적 손상이 발생하는 기준에서는 그러한 점이 알려져 있지 않다.

다음의 전제에 의해서 기준을 제시하기로 하였다.

1) 피해를 입은 기간이 길수록 많은 보상이 이루어져야 한다.

2) 기준을 넘은 정도에 비례해서 피해가 증가한다.

Table 8. Cases of claims on vibration and noise problems.

Site ID		A	B	C	D	E	F
Working period		2y10 m	6 m	5 m	8 m	54 d	7 m
Distance, m		4~40	4~17.7	3.3	30~350	18~50	7~60
Vibraton level, cm/s		>0.3	0.22~0.63	0.25~0.73	>0.5	0.696~3.3	max. 1.67
Noise level, dB(A)		98	96-106	89.1~102.3	68~82	77	78~97
Dust damage		○	×	○	○	○	×
Blasting damage		○	○	○	○	○	○
Working time		day	day	day	day/night	day/night	day
Damages 10,000₩/home	max.	300	200	300	350	200	150
	min.	100	100	-	80	100	50

Site ID		G	H	I	J	K
Working period		20 y	6 m	12 m	4 m	3 m
Distance, m		75~360	30~50	10.4	4~	1
Vibration level, cm/s			max. 3	>0.5	max. 0.45	-
Noise level, dB(A)		50~54	66~98.2	106.5	76~103	65~80
Dust damage		○	○	×	○	○
Blasting damage		○	○	○	○	×
Working time		day	day/night	day	day	day
Damages 10,000₩/home	max.	30	120, add 20% for old	200	40 50 for child	30
	min.			-		50

이러한 전제하에서 앞에 제시한 기준을 이용하여 방사선 노출의 경우와 같이 진동 초과노출 총량을 계산하고 이에 비례하여 배상하는 방안을 제안하였다.

여기서 진동 초과노출 총량이라 함은

$$E_{vt} = \sum \left\{ (v_e - v_l) \times T \right\} \quad (7)$$

E_{vt} : 진동 초과노출 총량 (Total over exposure of vibration, dB · 일)

v_e : 계측, 추정노출량 (Evaluated vibration level, dB(V))

v_l : 판정기준 (Threshold vibration level, dB(V))

T : 노출기간 (Exposure time, 일)

으로 하되 판정기준은 Table 7에서 제시한 B 기준값으로 하며 장소나 주야 시간대 등은 판정기준에서 이미 반영되었으므로 노출기간은 주 · 야 구분 없이 판정기준을 초과한 진동에 노출된 총시간으로 한다. 실질적으로는 매 시간대마다 진동의 값과 시간대를 일일이 구할 수 없을 것이므로 주야를 0.5일씩으로 하여 누적한다.

원래 진동 노출초과 총량은 인체에 대한 방사선 피폭도의 개념에서 원용한 것이다. 그러나 진동기준은 영향을 미치기 시작하는 수준이 명확하지 않고 이 분야의 조사연구실적도 미비하여 여기서는 상대적인 피해도가 누적노출량에 비례하는 것으로 가정하여 이를 기준으로 피해산정을 하도록 하였다. 이는 막연히 진동원으로부터의 거리에 따라 임의 배상액을 산정하던 방식에 비하여 진일보한 개념으로 생각된다.

일단 진동 노출초과 총량이 구해지면 배상액은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$D = E_{vt} \times p \quad (8)$$

D : 배상액 (damages, 원)

p : 배상단가, 단위 노출량당 배상금액 (원/dB · 일).

단위 노출량당 배상금액은 지금까지의 사례로부터 평균치를 택하여 구하였다. Table 8는 국내 주요 진동 · 소음 분쟁사건에 있어서 배상 자료이다.

초기에는 진동이나 소음에 의한 정신적 피해가 물질적 보상으로 원상 회복된다는 전제에 따라 인정하지 않은 추세였지만 93년 이후 주로 소음에 의한 정신적 피해를 인정하기 시작하였고 세대별 일정액을 보상하게 하였다가 최근에는 개인별로 보상하고 있다.

환경처 중앙분쟁조정위원회의 배상사례를 상기 방식에 따라 재정리하고 환산한 1인당 1 dB · 일 당 단위

Table 9. Calaulation of unit damages per 1 dB · day/man

Site ID		A	B	C	D	E	F
Max. vibration level	kine	0.3>	0.63	0.24	0.5	0.7	1.7
	dB(V)	81>	87	79	85	88	96
Limit level, dB(kine)		81(0.3)	75(0.16)	75(0.17)	81(0.3)	81(0.3)	81(0.3)
Excess level		unknown	1 shock	4	4	1 shock	15
Max. noise level, dB(A)		98	106	89	74, 68	77	97
Limit level		50	70	70	55, 45	70	70
Excess level		48	46	19	19, 23	7	27
Working period, month		27	6	5	8	16	7
Workdays		338	75	62.5	200	400	88
Total Exposure, day · dB		16224+a	3450+a	1438	5000	2800	3696
Damages 10,000₩/home	max.	300	200	300	350	200	150
	min.	100	100	–	80	100	50
Unit price, ₩/day · dB		46	145	521	700	700	102
Working time		day	day	day	day, night	day, night	day
Site ID		G	H	I	J	K	
Max. vibration level	kine	–	3	>0.5	0.45	–	
	dB(V)	–	98, 66	–	84	–	
Limit level, dB(kine)		–	65	(0.5)	81(0.33)	–	
Excess level		–	1	14	3	–	
Max. noise level, dB(A)		50~54	90	107	103	80	
Limit level		55	50	85	70	75	
Excess level		none	40	22	33	5	
Working period, month		20 y	6	12	4	3	
Workingdays		–	150	150	50	38	
Total Exposure, day · dB		0	6150	3300+a	1800+a	190	
Damages 10,000₩/home	max.	30	120	200/home	40	50	
	min.						
Unit price, ₩/day · dB		impossible	200	150	220	2,630	
Working time		long time	day, night	day	day	day	

보상액은 350원이다.

1인당 배상금액은 대개 월 10만원에서 20만원 정도의 수준이며 세대당으로 계산된 것은 1세대당 4인으로 하였다. 주야에 걸쳐 작업이 이루어진 경우에는 하루로, 주간만 작업이 이루어진 경우는 0.5일로 하였다. 소음과 진동 공히 기준초과치로 계산하였다. Table 9에서 최대 2600원/인/dB일까지 산정되었으나 최고치와 최소치를 빼고 계산한 단가는 340여원으로 여기서는 1995년 불변가격으로 350원을 제안하였다.

7. 결 론

진동의 인체에 대한 피해여부를 판정하는 기준을 검토하기 위하여 국제 기준인 ISO 2631(1989)을 중심으로 주로 건물 내 인체에 대한 전신진동에 대해 고찰하고 이로부터 피해판정기준을 제시하였다.

1) 연속진동과 충격진동의 인체에 대한 피해 판정기준으로서 ISO의 쾌적기준, 피로기준 및 노출한계에 대응하는 안전기준(A), 정신적 피해인정 기준(B)과 심각

한 정신적 피해인정기준(C)을 제안하였다.

2) 진동 초과노출 총량을 계산하고 이에 비례하여 배상하는 방안을 제안하였다.

진동 초과노출 총량 = Σ {(진동수준-판정기준)×노출기간}으로 하되 판정기준은 표에서 제시한 B 기준값으로 하였다. 노출기간은 주야를 0.5일씩으로 하여 누적한다.

3) 배상액은 노출 총량에 단위 노출량당 배상금액(원/dB · 일)을 곱하여 구한다.

배상액 = 진동 초과노출 총량×배상단가

4) 기존 배상 사례로부터 계산한 배상단가는 약 350(원/dB · 일)이다.

참 고 문 헌

1. DIN 4150 Teil 2, 1992, Erschütterungen im Bauwesen-Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
2. ISO 2631-1, 1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1 : General requirements
3. ISO 2631-2, 1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 2 : Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 8 Hz)
4. Konya, C., 1995, Psychological effects of vibration, E & MJ, 50-51.
5. 소음진동규제법 시행규칙(95. 12. 30) 환경부령 제15호
6. 소음진동규제법 시행령(94. 7. 26) 대통령령 제14347호
7. 소음진동규제법(95. 12. 29) 법률 제 5096호
8. 환경부 분쟁조정위원회, 1992-1995, 환경오염분쟁조정사례집
9. 환경오염의 위법성과 수인의 한도에 관한 판례, 88가합 2897 (89년 1월 12일)
10. 환경처, 1993, 소음 · 진동공정시험방법, 환경처 고시 제 1993-43호('93. 5. 24)