

도심지 공사장에서의 발파진동 특성 및 평가기법에 관한 연구(I)

소음진동팀

이연수 · 이호찬

A Study on the Characteristics of Blasting Vibration and Estimation Method of Blasting Construction Field in Urban(I)

Noise and Vibration Team

Yeon-soo Lee, and Ho-chan Lee

Abstract

As result of measurement of vibration level in blasting construction field where charging volume was 250~375g and safety distance was 40~70m, the vibration level was measured 52.7 dB(V) and measuring range showed 45.4~59.1 dB(V). The PVS(peak vector sum) was measured 0.087 cm/s, measuring range showed 0.046~0.175 cm/s. Ejima prediction method showed 16.5 dB by the numerical difference of actual measurement value and Vanmarcke prediction method showed 2.1 dB. The correlation of vibration level(dBV)) and vibration velocity, Ejima prediction method and vanmarcke prediction method showed mostly high.

Key words : Vibration on level, PVS, Ejima prediction, vanmarcke prediction

서 론

1960년대 후반부터 시작된 산업화로 인하여 많은 인구가 대도시로 집중하게 됨에 따라 필연적으로 좁은 국토에 많은 주택을 보급하기 위하여 다세대 주택인 고층아파트가 많이 신축되고 있다. 특히 우리나라는 지질학적으로 고생대 및 중생대의 견고한 암반이 지면 가까이 위치하고 있는 지역이 많고, 지형학적으로 산지와 구릉지대가 발달

되어 부지 및 택지조성 공사 시에 발파작업이 수반되는 경우가 많다. 최근에는 평탄 부지 확보의 어려움, 도심지 재개발 등으로 인하여 주택 밀집 지역 가까이에서의 발파작업이 점차로 증대¹⁾되고 있으며, 공사규모가 대형화됨에 따라 생산성 향상과 공기 단축 등을 위하여 대형 건설장비와 많은 발파가 실시되고 있다. 또한 건축구조물의 신·중축 및 지하철 공사나 통신선로 등의 지하공간 활용에 따라 타 공법보다 공사의 진행속도가 빠른

발파작업이 크게 증가하고 있으며, 도심지에서 인근 고층 구조물 및 건축물에 발파작업으로 인한 진동 및 폭음 등으로 인한 민원이 발생²⁾하고 있다. 이로 인해 발생하는 소음과 진동은 주변의 구조물과 인체에 영향을 미치고 있으며, 이러한 피해의식은 바로 집단 민원으로 직결되고 있어 건설 현장에서는 민원을 해결하기 위해 많은 비용과 인력을 소모³⁾하고 있는 실정이다.

발파작업에 수반되는 소음과 진동은 환경공학 측면과 함께 구조물의 안정성 영향 측면에서 고려해야 할 중요한 요소^{4,5)}이며, 특히 충격성 진동인 발파진동은 기존 구조물의 안정성을 위해 정밀하게 측정되고 분석⁶⁾되어야 한다. 따라서 발파진동 예측식을 통하여 산출한 진동레벨과 실측한 진동레벨과의 비교 및 국내·외 소음진동규제법의 비교를 통하여 발파진동으로 인한 피해에 대해 민원인과 시공사 사이의 분쟁을 줄이고자 한다.

측정방법

측정지점은 서울시내 S구에 있는 D건설회사의 재개발아파트 신축공사장으로 암반 파쇄 작업 중에 발생하는 발파소음 및 진동을 측정하였다. 측정은 40m, 70m 떨어진 위치의 방음벽 하단부에서 실시했다. 발파공법은 노천발파로서 장약량은 250g 또는 375g, 천공경은 43mm, 천공장은 1.5~1.8m로 단발 또는 2발을 묶어 사용했다.

측정기로는 시간에 따른 변위, 속도 및 가속도 등의 크기를 절대단위로 계측하는 진동계(Vibration meter)와 비교단위인 dB을 계측하는 진동레벨계(Vibration level meter)가 있다. 진동계로는 발파진동소음측정기인 Blastmate Series II DS-677(InstanTel, Canada)을 사용했고, 진동레벨계로는 Vibration level meter VM-52(Rion, Japan)를 사용했다.

결과 및 고찰

비교단위인 진동레벨(dB(V)), 절대단위인 진동

속도(cm/s) 및 소음도를 발파공사장에서 실측한 값과 발파 진동속도 PVS를 진동레벨 예측식인 Ejima 식과 Vanmarcke 식을 이용하여 진동레벨로 변환시킨 값을 Table 1에 나타냈다.

dB(V)는 실측한 진동레벨로서 측정된 진동가속도레벨에 주파수대역별로 상하방향 진동의 상대응답을 보정한 값이다. 평균 52.7 dB(V)가 측정되었으며 측정범위는 45.4~59.1 dB(V)를 나타냈다. PVS는 peak vector sum으로 횡축, 종축 및 연직축 방향의 진동속도의 벡터의 합이다. 평균 0.087 카인으로 측정범위는 0.046~0.175 cm/s 이었다. Verti는 vertical velocity로 3축의 진동속도 중에서 인체에 가장 많은 영향을 주는 상하방향의 진동속도를 말하며 PVS와 비슷한 수준의 속도치를 나타내고 있었다. Ejima는 예측식 (7)에 의해 구한 값으로 평균 69.2 dB이었으며 실측한 진동레벨과는 16.5 dB의 차이가 있었다. 이는 주파수대역별에 따른 상하방향 진동의 상대응답 보정없이 직접 진동레벨로 변환시켰기 때문이다. Vanmarcke는 예측식 (9)에 의해 구한 값으로 주파수대역별 보정은 없지만 진동과형의 계속시간(Td(s))으로부터 진동레벨을 산출하였다. 실측한 진동레벨과는 2.1 dB의 차이를 나타냈으며 비교적 근사한 결과를 가져왔다. Verti-Ejima는 진동속도 성분 중 연직 특성 속도를 Ejima식에 대입하여 구한 값으로 Ejima식에 의해 구한 값보다 0.8 dB 낮게 나타났다. Verti-Vanmarcke 값 또한 마찬가지로 연직 특성 속도를 Vanmarcke식에 대입하여 구한 값으로 실측한 진동레벨과의 차이가 1.3 dB로 가장 가까운 근사치를 보였다. Ejima-freq.는 Ejima식을 이용하여 구한 값에 주파수대역별로 상하방향 진동의 상대응답을 보정한 값으로 실측한 진동레벨과 1.5 dB 낮은 매우 근접한 값을 보였다.

건설회사가 발파진동을 계측하는데 사용하는 진동속도 단위로 Kine을 사용하는데 Kine은 PVS를 말한다. PVS와 PVS 중의 횡축, 종축 및 연직 성분의 진동속도를 Fig. 1에 나타냈다. Tran.은 Transverse velocity로 횡축성분의 진동속도를 말하며 PVS와 비교해서 가장 낮은 수치인 0.035 cm/s를 보였다. Vert.는 vertical velocity로 연

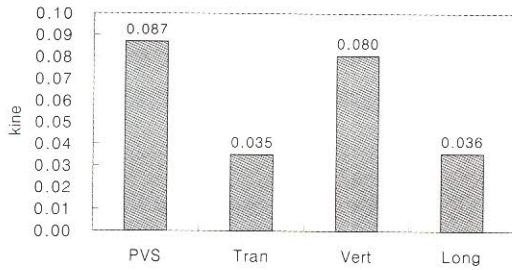


Fig. 1. The comparison of PVS and transverse, vertical and longitudinal velocity.

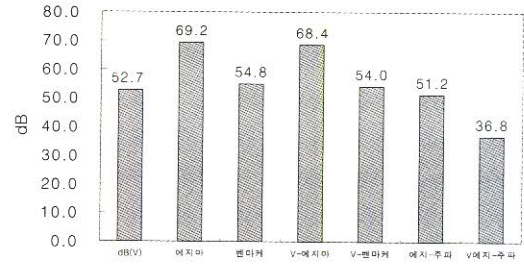


Fig. 2. The comparison of actual measurement and estimation measurement of vibration levels.

Table 1. The data of actual measurement vibration level and vibration velocity and estimation measurement vibration level

No.	dB(V)	PVS	Verti.	Ejima	Vanmarcke	Verti-Ejima	Verti-Vanma.	Ejima-freq.	dB(A)
1	57.9	0.143	0.125	74.1	59.8	72.9	58.6	56.1	75.4
2	59.0	0.103	0.102	71.3	56.9	71.2	56.8	53.3	72.8
3	57.5	0.119	0.114	72.5	58.2	72.1	57.8	54.5	72.4
4	57.0	0.119	0.116	72.5	58.2	72.3	58.0	54.5	73.6
5	59.1	0.175	0.167	75.9	61.5	75.5	61.1	57.9	76.1
6	55.3	0.092	0.091	70.3	55.9	70.1	55.8	52.3	73.8
7	55.2	0.086	0.079	69.7	55.4	69.0	54.7	51.7	73.4
8	53.0	0.076	0.075	68.6	54.3	68.5	54.1	50.6	74.0
9	58.0	0.124	0.122	72.9	58.5	72.7	58.4	54.9	74.0
10	59.1	0.148	0.144	74.4	60.1	74.2	59.8	56.4	74.2
11	50.4	0.089	0.079	70.0	55.7	69.0	54.7	52.0	58.2
12	51.5	0.079	0.064	69.0	54.6	67.1	52.7	51.0	60.6
13	51.4	0.056	0.043	66.0	51.6	63.6	49.3	48.0	59.8
14	50.0	0.068	0.052	67.7	53.3	65.4	51.1	49.7	58.0
15	50.9	0.078	0.064	68.8	54.5	67.1	52.7	50.8	58.0
16	49.1	0.076	0.068	68.6	54.3	67.7	53.4	50.6	58.0
17	50.0	0.059	0.057	66.4	52.1	66.1	51.8	48.4	58.0
18	55.1	0.098	0.097	70.8	56.5	70.7	56.4	52.8	60.0
19	45.4	0.049	0.045	64.8	50.5	64.0	49.6	46.8	58.4
20	54.8	0.098	0.095	70.8	56.5	70.6	56.2	52.8	60.6
21	49.1	0.052	0.045	65.3	51.0	64.0	49.6	47.3	58.4
22	46.3	0.046	0.041	64.3	49.9	63.3	49.0	46.3	56.0
23	49.1	0.054	0.045	65.6	51.3	64.0	49.6	47.6	55.8
24	50.8	0.065	0.062	67.3	52.9	66.8	52.5	49.3	58.4
25	47.3	0.052	0.051	65.3	51.0	65.1	50.8	47.3	56.2
26	48.2	0.052	0.048	65.3	51.0	64.6	50.2	47.3	56.4
Avg.	52.7	0.087	0.080	69.2	54.8	68.4	54.0	51.2	64.3

직 방향의 진동속도를 말하며 인체에 가장 많은 영향을 주는 인자로서 PVS와 비슷한 수준인 0.080cm/s를 나타내고 있었다. long.은 longitudinal velocity로 종축성분의 진동속도를 말하며 Transverse velocity와 비슷한 수치인 0.036 cm/s를 나타냈다. Fig. 2는 실측한 진동레벨과 Ejima식, Vanmarcke식 그리고 이들과 연직 성분의 진동속도 및 주파수를 이용하여 진동수치를 구한 값을 나타낸 것이다. 실측한 진동레벨 평균 값과 가장 근사치는 Verti-Vanmarcke > Ejima-freq. > Vanmarcke > Verti-Ejima > Ejima 순으로 나타났다.

진동 계측은 다음과 같은 물리량에 의해 이루어진다. 소리가 어떤 매질을 통해 전파되는 현상을 알려면 속도 ν 와 주파수 f 및 파장 λ 와의 관계를 알아야 한다. 즉, 1초간에 일어나는 왕복진동수를 주파수라 하며, 진동 변위가 제일 높은 곳과 다음의 제일 높은 곳 또는 제일 낮은 곳과 다음의 제일 낮은 곳의 거리를 파장이라 한다. 공해진동으로서 문제가 되는 주파수는 대개 1Hz부터 90Hz이며 우리나라에서도 이 주파수 대역의 진동레벨을 측정하도록 하고 있다. 파장과 주파수 및 전파속도 사이에는 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

$$\nu = \lambda \cdot f \quad (1)$$

ν : 전파속도, λ : 파장, f : 주파수

변위는 정지상태로부터 진동하는 입자의 어떤 순간에서의 위치와 그것의 평균 위치와의 거리를 말하며 일반적으로 진폭은 편진폭을 의미한다. 단위는 m이지만 실제 진폭은 매우 작아 μm 를 사용하고 있으며 공해진동에서는 대부분 500 μm 이하의 변위를 대상으로 한다. 지반진동을 정현파 진동으로 가정하면 지표면에서의 변위는 (2)와 같은 식이 성립한다.

$$z = A_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

z : 변위진폭

A_0 : 변위진폭의 최대치

ω : 각진동수

속도는 시간에 대한 입자변위의 미분 값이며 단

위 시간당의 변위량이다. 진동속도는 변위진폭을 미분하여 구할 수 있으며 (3)과 같은 식이 성립한다. 아래 식으로부터 진동속도 최대치는 $A_0\omega$ 임을 알 수 있다.

$$v = A_0\omega \cos(\omega t - \varphi) \quad (3)$$

가속도는 단위 시간당 속도 변위량으로 단위는 m/s^2 이며, 진동가속도는 속도변위량을 미분하여 구할 수 있으며 (4)와 같은 식이 성립한다. 아래 식으로부터 진동가속도 최대치는 $A_0\omega^2$ 임을 알 수 있다.

$$a = -\omega^2 A_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

측정대상진동의 가속도 실효치를 $A_r(\text{m/s}^2)$, 기준진동의 가속도 실효치를 $A_0(10^{-5}\text{m/s}^2)$ 라 하면, 진동가속도레벨은 (5)와 같은 식으로 정의된다. 인체가 진동을 느끼는 최소 진동레벨을 진동의 역치라 하는데 진동레벨이 50 dB일 때 약간 감지한다는 사람이 30% 정도이고, 55 dB일 때 잘 감지한다는 사람이 30% 정도인 것으로 알려져 있다. 따라서 진동의 감각역치는 $55 \pm 5\text{dB}$ 이라 할 수 있다⁷⁾.

$$VAL = 20 \log(A_r/A_0) \text{dB} \quad (5)$$

진동가속도레벨은 단순한 물리량이므로 진동 평가 시 이 값에 인체진동감각에 따른 주파수를 보정하여 평가한 것을 진동레벨이라 한다. 진동레벨은 인체로 느끼는 진동의 감각을 나타내는 양으로 공해진동의 크기를 표현하는데 쓰인다. 진동레벨은 (6)과 같은 식으로 정의된다. 여기서 β 는 상하(V) 혹은 수평(H)방향 진동에 대한 상대응답으로 주파수 대역별로 그 양을 보정한다. 그 보정량을 정리하면 Table 2와 같다.

$$VL = VAL + \beta \text{dB}(VL), \text{ 혹은 } \text{dB}(H) \quad (6)$$

발파에 의한 진동영향에 관해서는 기존 구조물의 피해정도를 대상으로 한 속도진폭의 예측과 환

경진동을 대상으로 한 진동레벨의 예측 등 두 가지 모두 검토하여야 할 필요성이 증가되고 있다. 그러나 발파진동에 대한 진동레벨의 예측에 관해서는 현재까지 충분한 자료가 축적되어 있지 않으므로 최대속도진폭을 사용한 진동레벨 예측 방법을 기술하고자 한다. 최대속도진폭 $V_{peak}(cm/s)$ 로부터 진동레벨을 산정하는 경우 연직 진동에 대해서는 식 (7)을 사용한다⁸⁾.

$$Lv = 20 \log(V_{peak}) + 91dB \quad (7)$$

Lv = 진동레벨 dB(V),

V_{peak} = 진동속도최대치(cm/sec)

그러나 이 식은 속도 파형이 주파수 8Hz 이상의 연속 정현파에 대하여 성립하는 이론적인 변환식이다. 그러므로 발파진동과 같이 지속시간이 극히 짧은 충격성 진동에 대해서는 진동레벨이 과대 평가되는 경향이 있다. 따라서 상수항에 관해서는 현장에서의 측정결과로부터 통계적으로 구한 식 (8)이 연구 보고되고 있다⁹⁾.

$$Lv = 20 \log(V_{peak}) + ndB \quad (8)$$

위에서 예측된 상수 n값은 91보다 작은 80 전후의 값이 많음을 알 수 있다. 이러한 관계를 보다 정확하게 구하기 위하여 단발발파의 진동속도 파형의 최대 진폭과 Vanmarcke의 식에 의해 산출되어진 진동파형의 계속시간($T_d(s)$)으로부터 진동레벨을 산출하는 식이 (9)와 같이 제안되었다¹⁰⁾.

$$Lv = 20 \log(V_{peak}) + 10 \log_{10}(1 - e^{-Td/0.63}) + 85 \quad (9)$$

Lv = 진동레벨 dB(V),

V_{peak} = 진동속도최대치(cm/sec),

Td = 진동파형의 연속시간 sec

상수 0.63은 진동레벨의 동특성을 규정하는 시정수(s)이다. 진동파형의 계속시간에 대해서는 Vanmarcke 식으로부터 산출되어진 계속시간이 눈으로 관측되어 판정되어진 계속시간과 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 발파 진동속도를 진동레벨로 변환할 경우 Vanmarcke식을 사용하는데 연속진동인 경우에만 식 (7)에 의한 데이터 호환이 가능하다고 한다¹¹⁾.

Fig. 3은 진동레벨과 진동속도와의 상관성, Fig. 4는 진동레벨과 Ejima 식으로 구한 값과의 상관성, Fig. 5는 진동레벨과 Vanmarcke 식으로 구한 값과의 상관성을 나타낸 것이다. Ejima 식으로 구한 진동치는 실측한 진동레벨과의 차이에서 제일 크게 나타났는데 의외로 상관성은 제일 높게 나타났다.

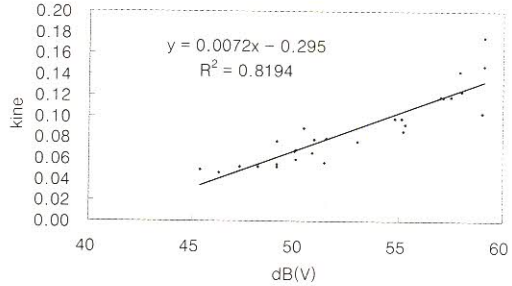


Fig. 3. The Correlation of vibration level and vibration velocity.

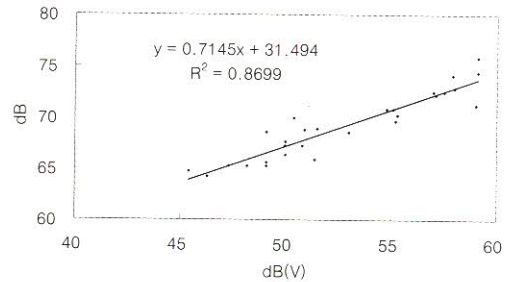


Fig. 4. The Correlation of vibration level and Ejima vibration level.

Table 2. The human response for vertical and horizontal vibration

Center frequency(Hz)		1	2	4	6.3	8	16	31.5	63
Response (dB)	Vertical	-6	-3	0	0	0	-6	-12	-18
	Horizontal	+3	+3	-3	-7	-9	-15	-21	-27

본 논문은 일부 발파공사장에서 측정된 자료이기 때문에 상관성에 대하여 확실하게 속단은 할 수 없으며 더 자세한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 Fig. 6은 진동레벨과 소음도와의 상관성을 나타낸 것으로 상당히 높게 나타났다.

건물에 대한 진동평가에 있어 가진원의 특성, 수진축과의 지반전달특성 및 건물의 응답특성에 따라 피해정도가 다르며 이러한 요인들은 서로 연관되어 많은 변수를 초래하기 때문에 정확한 평가가 어려워진다. 현재 건물진동 피해에 대한 국제 표준화기구(ISO)의 규격이 존재하지 않고 일반적으로 독일규격(DIN-4150)이 널리 통용되고 있다. 이 기준은 건물의 기둥이나 보 등의 변형률에 기인하는 진동속도에 의해 건물 구조별 해당 건물의 기초와 최상층의 주파수 대역별 허용진동속도를

정의하여 정상진동과 충격에 대해 평가한다.

1997. 3. 7일 이전 우리나라의 소음·진동규제법 제24조에는 “건설소음·진동 규제기준”이 명시되어 있었으나, 정부의 행정간소화 정책으로 인하여 “건설소음·진동 규제기준”이 삭제되면서 조항도 개정하여 소음·진동규제법 제23조 “생활소음·진동의 규제”에 통합하여 규제¹²⁾하고 있는 실정이다. Table 3은 생활진동 규제기준을 나타낸 것으로 아직까지 우리나라는 발파진동에 대한 규제를 생활진동규제법외에는 구체적인 법적 규제기준이 없는 상태이다.

Table 4는 현재 우리나라의 아파트 공사장 및 지하철 시공 시 발파현장에서 가장 널리 적용하고 있는 노동부 발파작업 표준안전 작업지침¹³⁾이다. 이것은 건축물에 대한 진동영향을 평가하기 위한

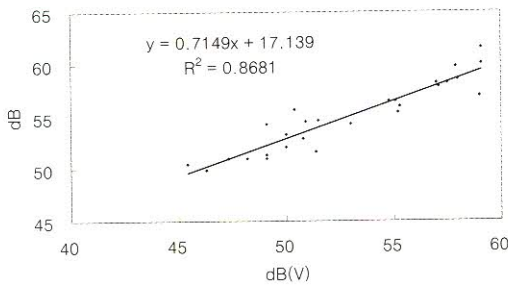


Fig. 5. The Correlation of vibration level and Vanmarcke vibration level.

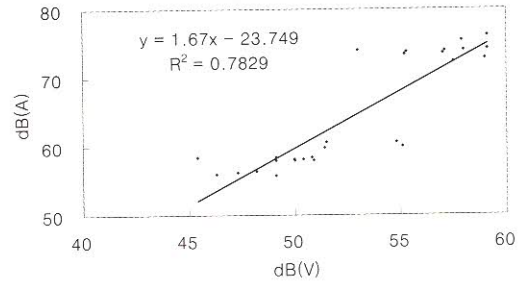


Fig. 6. The Correlation of vibration level and sound level.

Table 3. Environmental regulation for living vibration level (unit : dB(V))

대상지역	시간대	주간 (06:00-22:00)	야간 (22:00-06:00)
	주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지구, 기타 지역안에 소재한 학교·병원·공공도서관 기 타 지 역		65 이하
		70 이하	65 이하

Table 4. The blasting work standard safety order of the Ministry of Labor (unit : cm/sec)

건물구분	문화재	주택, 아파트 (실금이 있음)	상가 (금이 없는 상태)	철근콘크리트 빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

허용치로서 1971년까지 독일에서 적용한 규정을 우리나라의 관공서는 물론이고 발파공사장에서는 지금도 최고의 법으로 잘못 알고 있는 실정이다. 이제 우리도 우리나라 사정에 맞는 발파진동허용치를 각계의 전문가들이 머리를 맞대고, 개인이나 단체의 이익보다는 거국적인 안목을 갖고 허심탄회하게 의견을 교환하여야 할 때이다.

인체의 반응은 구조물보다 훨씬 민감하다. 입자속도 0.05cm/sec이면 많은 사람이 진동을 느끼고 0.5cm/sec이면 인체는 건물이 무너질 듯한 느낌을 받지만 실제 건물에서는 극히 가벼운 피해가 생길 수 있는 정도인 것으로 알려져 있다. 또한 인체의 반응은 주관적이어서 개인차가 크고 다양한 진동의 입력방향에 따라 크게 다르기 때문에 통계적 처리가 필요하다. 최근에 인체에 대한 진동의 허용치로서 정상진동이나 충격진동으로 인한 피해의 인간관계 검토기준 및 피해액 산정방법¹⁴⁾이 Table 5 및 Table 6과 같이 환경부에 의해서 제

안되었다. 그러나 진동속도에 대한 이 제안은 정확한 실험이나 실측 및 경험에 의존하지 않고 제정되지 않았나 생각된다. 식 (7)에 의해 어느바와 마찬가지로 실측한 진동레벨과 진동속도의 관계에서 제일 차이가 많았던 Ejima 식을 그대로 적용한 것은 상당한 문제점이 있는 것 같다.

ISO기준은 상하진동의 주파수범위 1~80Hz에서 권장하고 있는 건물용도별 진동 평가기준은 Table 7과 같다. 연속 혹은 간헐진동에 대해 병원의 수술실 등은 진동레벨이 약 55dB, 주거용 건물은 60~65dB 및 야간 55dB, 사무실은 65dB 정도 이하가 되어야 한다.

독일은 Table 8과 같이 1986년에 개정된 DIN 4150 Teil 3을 기준으로 사용하고 있으며 이것은 구조물을 사용목적별로 구분하고 가진원에서 발생하는 진동형태에 따라 해당 건물의 기초와 최상층 평면에 영향을 줄 수 있는 진동속도에 대한 지침이다. 본 지침값은 공진 주파수대역이나 피로에

Table 5. 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 area	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	66	0.6	76	1.8	82	3.6
	night						
Workshop	Day	72	1.1	82	3.6	88	7.0
	night						

Table 6. Suggested limit of human exposure to short-term 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	86	5.6	91	10
Office	Day	90	9	93	12.5	98	22
Workshop	Day	93	12	97	20.0	101	32

의한 손실이 예상되는 주파수 대역에서는 유효하지 않다.

일본은 각 현마다 기준치가 다르며 인구가 밀집된 지역에서는 발파진동치가 0.2 cm/sec를 규제치

로 하고 있다. 너무 엄격한 규제는 구조물에 대한 피해보다는 인체의 반응에 기초한 규제로 볼 수 있다. Table 9는 신주쿠 지역의 발파진동 허용치이다.

Table 7. Satisfactory level of building vibration with respect to human response

Place	Time	continuous or intermittent		transient vibration	
		acceleration (m/s ²)	vibration level (dB(V))	acceleration (m/s ²)	vibration level (dB(V))
Critical working area(hospital operation etc)	Day	0.005	54	0.005	54
	Night				
Residential	Day	0.01~0.02	60~66	0.15~0.45	83.5~93
	Night	0.007	57	0.007~0.45	57~80
Office	Day	0.02	66	0.3~0.64	89.5~96
	Night				
Workshop	Day	0.04	72	0.45~0.64	93~96
	Night				

Table 8. The permissible criteria of vibration velocity for building types by short-term

건물 종류	허용진동속도(cm/s)			
	건물기초			최상층
	10Hz 이하	10~50Hz	50~100Hz	모든 주파수
상업용, 산업용 건축물 등	2	2~4	4~5	4
주거용 건축물 등	0.5	0.5~1.5	1.5~2	1.5
그 외 기념물, 보호건축물	0.3	0.3~0.8	0.8~1	0.8

Table 9. The permissible criteria of blasting vibration velocity in shinjuku area

지역구분	주간(08~18시)	야간(6~8, 18~23)	심야(23~06)
주거전용	0.03 cm/sec	0 cm/sec	0 cm/sec
주거	0.06 cm/sec	0.03 cm/sec	0 cm/sec
상업, 준공업	0.09 cm/sec	0.06 cm/sec	0 cm/sec
공업	0.12 cm/sec	0.09 cm/sec	0.03 cm/sec
공업전용	0.12 cm/sec	0.12 cm/sec	0.09 cm/sec
기타	0.06 cm/sec	0.03 cm/sec	0 cm/sec

결 론

1. 장약량 250~375g, 보안거리 40~70m 지점의 발파공사장에서 dB(V)는 평균 52.7 dB(V)가 측정되었으며 측정범위는 45.4~59.1 dB(V)를 나타냈다. PVS는 평균 0.087 카인이 측정되었고 측정범위는 0.046~0.175 cm/s이었다. vertical velocity로 3축의 진동 속도 중에서 PVS와 비슷한 수준의 속도치를 나타내고 있었다.
2. Ejima 예측식은 평균 69.2 dB이었으며 실측한 진동레벨과 16.5 dB의 차이를 보였다. Vanmarcke 예측식은 실측한 진동레벨과 2.1 dB의 차이를 나타냈으며 비교적 근사한 결과를 가져왔다. Vertical-Ejima는 Ejima 식보다 0.8 dB 낮게 나타났다. Vertical-Vanmarcke는 실측한 진동레벨과 1.3 dB로 가장 가까운 근사치를 보였으며, Ejima-frequency는 실측한 진동레벨과의 차이가 1.5 dB이었다.
3. 진동레벨과 가장 근사치는 Ejima <Verti-Ejima <Vanmarcke <Ejima-freq. <Verti-Vanmarcke 순으로 높게 나타났다. 진동레벨과 진동속도, Ejima 예측식 및 Vanmarcke 예측식 값과의 상관성은 대체로 높게 나타났다.
4. 환경부의 제안인 정상진동이나 충격진동으로 인한 피해의 인간관계 검토기준 및 피해액 산정방법에서 진동속도와 실측한 진동레벨과의 비교에서 차이가 가장 컸던 Ejima 식을 그대로 적용한 것은 문제점이 있다.
5. 또한 진동레벨은 소음·진동규제법 및 ISO기준이 비슷한 수준이었으나 진동속도에 대한 각국의 기준이 상이해서 이에 대한 정밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 조사되었다.

참고문헌

1. 대한주택공사 주택연구소 : 건설현장의 소음·진동·분진 평가 및 저감대책에 관한 연구, p1(1999)
2. 양국정, 심동수, 이종식, 강대우 : 고층아파트 인근 발파작업시 진동 및 폭음이 층별로 미치는 영향 연구, 화약발파, 20:15(2002)
3. 김남수, 양형식 : 발파소음의 예측기법과 환경규제 기준으로의 변환 연구, 화약발파, 18:14(2000)
4. 류창하 : 암반굴착에 의한 발파진동, 소음 및 비석의 조절, 한국암반공학회지, 2:102(1992)
5. 안명석 : 건설현장에서 안전성 향상을 위한 지반진동·소음·비산먼지 측정자료의 분석에 관한 연구 - 영남지역의 퇴적암·화성암층에서 발파 및 향타작업을 중심으로 - 공학박사 학위논문, 동아대학교, p101(2000)
6. 안명석, 류창하, 박종남, 권중암 : 발파진동이 사면에 미치는 영향과 안전설계에 관한 연구, 화약발파, 19:85(2001)
7. 정일록 : 개정증보 소음·진동학, 신광출판사, p267(2000)
8. 公害防止の技術と法規編輯委員會編, 新訂・公害防止の技術と法規(振動編), (社)産業公害防止協會(1990)
9. 清水 : 建設工學研究所報告, 25:139(1984)
10. Vanmarcke, E.H., and Lai, S.P. : Bulletin of the Seismological Society of America, 70:1293(1980)
11. 양형식 : 암발파에서의 소음진동 규제기준과 저감 방안, 한국소음진동공학회 세미나, (1997)
12. 환경부 : 소음·진동규제법(1999)
13. 노동부 : 노동부 고시 96-26호(1996)
14. 환경부 : 진동으로 인한 피해의 인간관계 검토기준 및 피해액 산정방법에 관한 연구, p212(1996)