

연구논문

진동 규제기준에 따른 인체의 허용 한계거리 예측

송정언* · 홍웅기** · 김승곤*

전북대학교 자원·에너지공학과*, 서남대학교 환경·화학공학과**

(2012년 3월 21일 접수, 2012년 4월 9일 승인)

The Prediction of Allowable Limit Distance about Human Body by Vibration Regulation

Jeong-Un Song* · Woong-Ki Hong** · Seung-Kon Kim*

Department of Mineral Resources & Energy Engineering, Chonbuk National University*

Department of Environmental & Chemical Engineering, Seonam University**

(Manuscript received 21 March 2012; accepted 9 April 2012)

Abstract

The shock vibration such as machine vibration, blasting vibration etc. has effect on nearby structure as well as human body. The purpose of this study is to predict allowable limit distance of vibration about human body. First of all, vibration velocity such as PPV, PVS was measured by shock vibration experiment, and vibration level was calculated by conversion formula of vibration velocity. And then, allowable limit distance was analyzed by converted vibration level. The results are as follows : Firstly, the correlation coefficient of converted vibration level was over $R=0.94$, and vibration level caused by PVS was usually represented to high curve line. Secondly, the cross point of vibration level between ground and concrete condition was represented to 66.68dB(V), and allowable limit distance was represented to difference over three times when vibration regulation was raised from 65dB(V) to 80dB(V).

Keywords : vibration level, vibration regulation, allowable limit distance, conversion formula

I. 서론

최근 재개발로 인해 도심지 내에서의 건설 및 토목공사가 성행하고 있다. 하지만, 공사장에서 발생하는 각종 공해로 주변에서 생활하고 있는 주민들의 민원은 끊이지 않고 있으며, 진동이나 소음, 분진 및 비산과 같은 환경 공해원들은 시공사와 민원인들 간 분쟁의 대상이 되고 있다. 특히, 진동은 주변 구조물에 물리적 피해를 줄 수 있을 뿐만 아니라 인체에 감각적 및 생리적 피해를 줄 수 있다. 진동은 물체가 동적인 외력의 영향을 받아 운동적 평형 위치로부터 시간의 경과와 함께 위치가 반복적으로 변화되는 운동현상(천병식과 오재웅, 1993)을 말하며, 공사장에서 발생하는 진동은 브레이크와 같은 장비진동 및 시공 상 발생하는 발파진동, 향타진동 등의 충격진동으로 볼 수 있다. 이러한 충격진동이 공사장 주변의 주민생활과 인체에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구로서 인체의 감응 정도에 미치는 소음 및 진동의 영향 및 피해 수준 평가(양형식 등, 1997; 김남수, 1999)가 진행되어 왔으며, 각종 공해원에 따른 진동 영향성 평가(김재영 등, 2001; 박준철 등, 2002)도 수행되었다. 소음진동 규제기준도 1990년 환경법에서 소음·진동 규제법이 분리되어 제정된 후로 생활진동 규제기준이 꾸준히 개정(환경부, 1990)되어 왔다. 일반적으로, 공사 현장에서는 충격진동의 허용 기준치를 평가하는 척도로 진동속도 Kine(cm/sec)을 적용하고 있으나 인체의 감각은 대수적으로 대응하므로 진동레벨 dB(V)를 사용해야 한다. 따라서, 공사장에서 측정되는 진동속도를 진동레벨로 환산할 필요가 있으며, 이에 대한 많은 연구(김용국 등, 2000; 김일중 등, 2009; 송하림 등, 2011)가 진행되고 있다. 또한, 진동에 대한 허용 수준의 문제는 진동의 특성과 전파 매질인 지반의 특성 등에 따라 좌우되므로 지반의 매질 특성에 따른 진동 평가(송정언 등, 2011)에 관한 연구도 이루어졌다.

본 연구에서는 도심지에서 시공되고 있는 건설 및 토목공사로 발생하는 충격진동이 주민생활과 인체에 미치는 영향을 평가하기 위하여 인위적인 충

격진동을 유발시켜 지반 상태와 콘크리트 상태의 매질에서 이격거리에 따른 충격진동속도를 측정하고, 그 측정치를 PPV(Peak Particle Velocity)와 PVS(Peak Vector Sum)로 나누어 진동레벨로 환산하여 진동파형의 방향과 지반의 매질 특성에 따른 허용 추정식을 산출하였고, 충격진동에 대한 인체의 영향 범위를 평가하기 위하여 진동레벨 규제기준에 따른 인체의 허용 한계거리를 예측하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 충격진동 실험을 통한 진동속도 측정

충격진동은 1.0m 높이에서 낙하하는 스틸 볼의 충격에너지로 발생되었으며, 각각 0.22, 0.28, 0.44, 0.88kg의 질량을 가진 스틸 볼을 사용하여 동일한 충격지점에 각각 5회씩 낙하하였다. 스틸 볼이 낙하함에 따라 충격진동 발생원으로부터 0.5m, 1.0m, 1.5m 이격된 세 곳의 측정지점에서 각각 20개의 진동속도를 측정하여 총 60개의 진동 데이터를 얻었다. 또한, 충격진동 발생원으로부터 1.0m 이격된 지점에서는 매질을 달리하여 매질 특성이 지반 상태일 때와 콘크리트 상태일 때로 나누어 진동속도를 측정하였다. 진동 측정기는 Canada Instancel사에서 제작한 Blastmate II DS-477 측정기기 2대와 BlastMate III 측정기기 1대를 사용하였다. Figure 1은 매질 특성이 지반 상태일 때와 콘크리트 상태일 때의 이격거리별 진동 측정지점을 나타내고 있으며, Table 1은 충격진동 실험으로 얻어진 진동속도 값들을 나타낸 것이다.

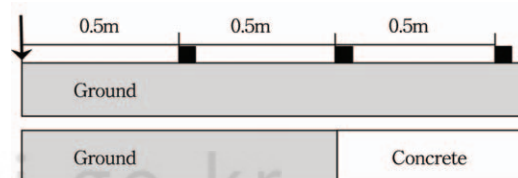


Figure 1. Description of measurement position on each mediums

Table 1. Results of vibration velocity obtained by shock vibration test

Distance (m)	Mass (kg)	Drop Num.	Ground Condition				Concrete Condition			
			Tran. (mm/s)	Vert. (mm/s)	Long. (mm/s)	PVS (mm/s)	Tran. (mm/s)	Vert. (mm/s)	Long. (mm/s)	PVS (mm/s)
0.500	0.22	1	1.020	2.030	2.030	2.740	1.140	2.160	2.290	2.980
		2	1.020	2.410	2.410	3.050	1.140	2.160	2.290	3.020
		3	1.020	2.290	2.410	3.220	1.270	2.290	2.540	3.160
		4	1.020	2.290	2.410	3.220	1.140	2.290	2.290	3.110
		5	1.140	2.290	2.540	3.050	1.270	2.290	2.410	3.040
	0.28	1	1.140	2.670	3.300	3.860	1.270	2.920	2.920	3.880
		2	1.270	2.790	3.170	3.860	1.270	2.790	3.300	3.860
		3	1.270	2.670	3.430	3.740	1.400	2.790	3.050	3.900
		4	1.270	2.670	3.170	3.580	1.400	2.790	3.300	3.740
		5	1.270	2.670	3.430	3.770	1.400	2.670	3.170	3.600
	0.44	1	1.520	3.680	4.440	5.120	1.650	3.940	4.320	5.320
		2	1.650	3.430	4.570	5.170	1.650	3.680	4.440	5.250
		3	1.520	3.680	4.570	5.360	1.780	3.810	4.440	5.320
		4	1.520	3.300	4.320	4.950	1.650	3.810	4.440	5.390
		5	1.780	3.680	4.830	5.640	1.650	4.060	4.190	5.380
	0.88	1	1.900	6.220	7.110	9.490	2.030	6.730	6.980	9.700
		2	2.160	6.220	7.370	9.810	2.160	7.110	6.730	9.790
		3	2.030	6.480	7.620	10.100	2.030	6.600	6.350	9.160
		4	2.160	6.480	7.870	10.300	2.290	6.600	6.350	9.080
		5	2.290	6.860	7.750	10.500	2.290	6.730	6.220	9.170
1.000	0.22	1	0.222	0.730	1.020	1.110	0.270	0.841	0.540	0.953
		2	0.286	0.762	1.080	1.140	0.238	0.826	0.508	0.968
		3	0.317	0.778	1.100	1.170	0.254	0.905	0.572	1.030
		4	0.317	0.794	1.080	1.160	0.270	0.889	0.572	1.020
		5	0.302	0.730	1.060	1.130	0.254	0.873	0.524	1.030
	0.28	1	0.413	0.937	1.300	1.460	0.302	1.100	0.651	1.210
		2	0.397	1.030	1.350	1.510	0.333	1.110	0.683	1.300
		3	0.445	0.984	1.380	1.460	0.286	1.140	0.714	1.250
		4	0.397	0.968	1.250	1.440	0.349	1.140	0.714	1.290
		5	0.445	1.000	1.330	1.520	0.317	1.100	0.699	1.250
	0.44	1	0.572	1.320	1.890	2.050	0.429	1.600	0.889	1.730
		2	0.619	1.290	1.830	1.980	0.508	1.510	0.937	1.680
		3	0.587	1.330	1.890	1.980	0.476	1.510	0.953	1.700
		4	0.556	1.320	1.780	1.950	0.524	1.570	0.968	1.730
		5	0.635	1.400	1.950	2.130	0.572	1.590	0.937	1.700
	0.88	1	0.857	1.910	2.910	3.050	1.190	2.170	1.330	2.620
		2	1.030	1.910	2.870	3.020	1.240	2.220	1.290	2.680
		3	1.020	1.830	3.000	3.110	1.250	2.350	1.320	2.710
		4	1.050	1.750	2.980	3.140	1.170	2.330	1.270	2.640
		5	1.100	1.890	2.970	3.160	1.240	2.400	1.290	2.700

Table 1. Continued

Distance (m)	Mass (kg)	Drop Num.	Ground Condition				Concrete Condition			
			Tran. (mm/s)	Vert. (mm/s)	Long. (mm/s)	PVS (mm/s)	Tran. (mm/s)	Vert. (mm/s)	Long. (mm/s)	PVS (mm/s)
1.500	0.22	1	0.302	0.365	0.810	0.826	0.191	0.603	0.476	0.746
		2	0.333	0.413	0.873	0.889	0.206	0.587	0.460	0.762
		3	0.381	0.445	0.905	0.937	0.206	0.667	0.492	0.826
		4	0.365	0.445	0.889	0.921	0.191	0.635	0.508	0.762
		5	0.365	0.413	0.873	0.905	0.222	0.603	0.492	0.794
	0.28	1	0.476	0.524	1.110	1.160	0.254	0.810	0.572	1.000
		2	0.476	0.540	1.130	1.160	0.302	0.826	0.619	1.000
		3	0.476	0.572	1.080	1.130	0.270	0.794	0.619	0.984
		4	0.460	0.524	1.060	1.100	0.302	0.841	0.603	1.020
		5	0.508	0.556	1.140	1.190	0.254	0.794	0.572	0.984
	0.44	1	0.619	0.778	1.440	1.510	0.397	1.160	0.810	1.370
		2	0.714	0.762	1.490	1.570	0.460	1.140	0.794	1.380
		3	0.699	0.762	1.570	1.640	0.429	1.130	0.794	1.330
		4	0.635	0.699	1.400	1.460	0.460	1.160	0.794	1.370
		5	0.699	0.810	1.590	1.670	0.460	1.140	0.810	1.350
	0.88	1	0.984	1.250	2.400	2.520	0.953	1.910	1.330	2.250
		2	1.110	1.290	2.320	2.480	0.953	1.950	1.370	2.330
		3	1.140	1.300	2.430	2.570	0.984	2.060	1.400	2.460
		4	1.140	1.300	2.400	2.560	0.984	2.000	1.380	2.400
		5	1.140	1.300	2.370	2.540	1.000	2.080	1.400	2.440

2. 진동레벨 환산식

진동속도를 진동레벨로 환산하기 위한 연구가 지속되면서 환산식의 적용이 용이해졌다. 환산식으로 중앙환경분쟁조정위원회의 제안식, Ejima 변환식, Venmarche 식이 주로 이용되고 있는데, 송하림 등(2011)은 실측 진동레벨과 환산식으로 산출된 예측 진동레벨을 비교하여 Venmarche 식에 의한 진동레벨 값이 실측 진동레벨 값과 가장 일치성이 높게 나타나는 것을 확인하였다. Vanmarcke 식은 충격진동을 진동레벨로 환산하는데 적절하게 적용될 수 있으며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$VL = 20 \cdot \log(V_{peak}) + 10 \cdot \log(1 - e^{-Td \cdot 0.63}) + 85 \quad (1)$$

여기서, VL은 진동레벨(dB(V)), V_{peak} 는 최대진동 속도(cm/sec), Td는 진동파형의 지속시간(second)이다. 진동속도 계측치의 진동레벨 환산은 식 (1)에 의해 진동속도의 T성분(Transverse), V성분(Vertical), L성분(Longitudinal) 중 가장 높은 값

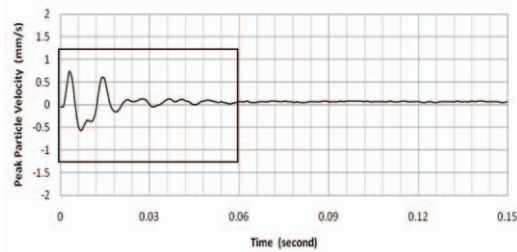


Figure 2. Description of experimental Vibration waveform

을 나타내는 PPV(Peak Particle Velocity)와 세 성분의 실 벡터 합인 PVS(Peak Vector Sum)로 나누어 수행되었으며, 진동파형의 지속시간은 Figure 2에서 나타내는 것과 같이 0.06초의 단일진동 시간으로 간주하였다.

3. 진동레벨의 규제기준

1990년 8월 1일 환경법에서 소음·진동 규제법(환경부, 1990)을 분리하여 제정된 이후 최근 소음·진동 관리법으로 개정되었다. 환경부에서는 소음·진동 관리법 시행규칙 제20조 제3항 관련하여 생활소음·진동의 규제기준을 제시하고 있는데, 공사장에서의 기계진동이나 발파진동은 생활진동 규제기준에 포함되어 있고, 주간에 한해서 규제기준치에 +5dB(V)~+10dB(V)을 보정하게 되어 있다. 즉, 공사장에서 주간에 발생하는 진동의 규제기준 범위는 65dB(V)~80dB(V)로 볼 수 있다. 또한, 진동이 인체에 미치는 영향은 생리적인 요소와 심리적인 요소를 들 수 있다. 심리적인 면에서의 진동은 개인적인 감정이나 분위기에 좌우되며 개인차 또한 크게 나타난다. 생리적인 반응으로 인체가 높은 수준의 진동을 일정시간 이상 전신에 받게 될 때 순환기 및 자율신경계, 내분비계 등에 영향을 줄 수 있으며, 수면 및 업무 등 일상생활에 지장을 끼칠 수 있다(中野有朋, 1992). 하지만, 착암기 작업자 등 건설 기계진동에 직접적으로 노출되어 있는 경우를 제외하면 일반적인 진동이 인체에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. Table 2는 수면 중 인체가 방해를 받는 진동수준을 나타낸 것이다. 65dB(V)의 진동레벨일 때 약간의 수면 방해가 있고, 80dB(V)

Table 2. 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)

에서 불쾌감을 느끼는 정도로 판단하고 있다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. PPV와 PVS에 따른 진동레벨 비교

측정된 진동속도 데이터를 T성분, V성분, L성분 중 가장 높은 값을 나타내는 PPV와 세 성분의 실 벡터 합인 PVS로 구분하여 진동레벨로 환산하였으며, 매질 특성에 따라 지반 상태와 콘크리트 상태일 때의 진동레벨을 비교하였다. 지반 상태일 때의 PPV는 L성분에서 가장 큰 값들을 나타냈으며, 콘크리트 상태일 때의 PPV는 V성분에서 가장 큰 값들을 나타냈다. 따라서, 지반 상태일 때는 L성분의 PPV와 PVS를 비교하였고, 콘크리트 상태일 때는 V성분의 PPV와 PVS를 비교하였다. Figure 3은 지반 상태일 때 환산거리에 따른 진동레벨 관계로부터 산출된 PPV와 PVS 곡선을 나타낸 것이다. 환산거리 값이 작아질수록 PVS의 진동레벨이 높게 나타났고, 환산거리 값이 커질수록 PPV의 진동레벨이 높게 나타났다. 이는 동일한 충격진동이 지반에 작용할 때 근거리에서는 PVS의 진동레벨이 높게 나타나고, 원거리에서는 PPV의 진동레벨이 높게 나타난다는 것을 의미한다. Figure 4는 콘크리트 상태일 때 환산거리에 따른 진동레벨 관계로부터 산출된 PPV와 PVS 곡선을 나타낸 것이다. 매질 특성이 콘크리트 상태일 때는 PPV의 진동레벨보다 PVS의 진동레벨이 환산거리에 관계없이 높게 나타났다. Table 3은 매질 특성에 따라 PPV와 PVS의 진동레벨 추정식을 나타내고 있다. 지반 상태에서 상관계수는 각각 R=0.94, R=0.96이었고, 콘크리트 상태에서 상관계수는 각각 R=0.96, R=0.96으

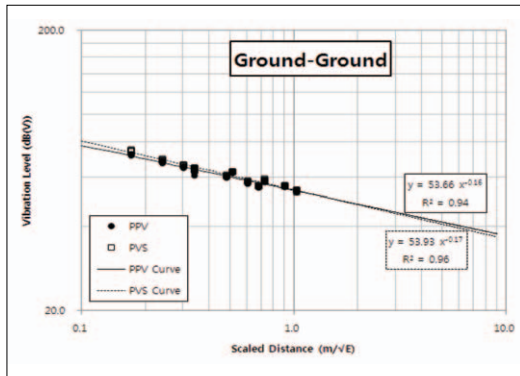


Figure 3. Relation between PPV and PVS on Ground-Ground condition

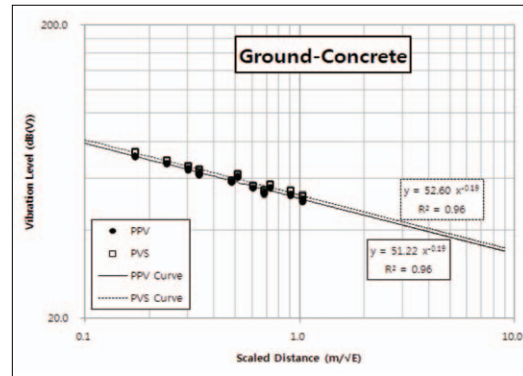


Figure 4. Relation between PPV and PVS on Ground-Concrete condition

Table 3. Conversion formula of Vibration Level

Condition	Vibration Level (dB(V))	
	PPV	PVS
Ground	$V_L = 53.66(SD)^{-0.16}, R^2 = 0.94$	$V_L = 53.93(SD)^{-0.17}, R^2 = 0.96$
Concrete	$V_L = 51.22(SD)^{-0.19}, R^2 = 0.96$	$V_L = 52.60(SD)^{-0.19}, R^2 = 0.96$

Table 4. Results of Vibration Level converted by Vibration Velocity

Condition	Distance (m)	Mass (kg)	Vibration Velocity (cm/s)		Vibration Level (dB(V))		Deviation (dB(V))	Dominant Frequency (Hz)
			PPV	PVS	PPV	PVS		
Ground	1.0	0.22	0.110	0.117	55.41	55.95	0.54	98~137
		0.28	0.138	0.152	57.38	58.22	0.84	
		0.44	0.195	0.213	60.38	61.15	0.77	
		0.88	0.300	0.316	64.13	64.58	0.45	
	1.5	0.22	0.091	0.094	53.72	54.02	0.30	83~126
		0.28	0.114	0.119	55.72	56.09	0.37	
		0.44	0.159	0.167	58.61	59.04	0.43	
Concrete	1.0	0.22	0.091	0.103	53.72	54.84	1.12	75~112
		0.28	0.114	0.130	55.72	56.86	1.14	
		0.44	0.160	0.173	58.67	59.34	0.67	
		0.88	0.240	0.271	62.19	63.24	1.05	
	1.5	0.22	0.067	0.083	51.07	52.92	1.85	72~103
		0.28	0.084	0.102	53.08	54.75	1.67	
		0.44	0.116	0.138	55.87	57.38	1.51	
		0.88	0.208	0.246	60.94	62.40	1.46	

로 나타났다. Table 4는 각 매질에서 이격거리에 따라 PPV와 PVS의 최대값을 환산한 진동레벨을 나타내고 있다. 지반 상태와 콘크리트 상태 모두 PPV보다 PVS의 진동레벨이 높게 나타났고, 콘크

리트 상태일 때 PPV와 PVS의 진동레벨 편차가 전반적으로 크게 나타났다. 또한, 지반 상태일 때의 주주파수대역은 83~137Hz, 콘크리트 상태일 때의 주주파수대역은 72~112Hz 범위를 나타냈다.

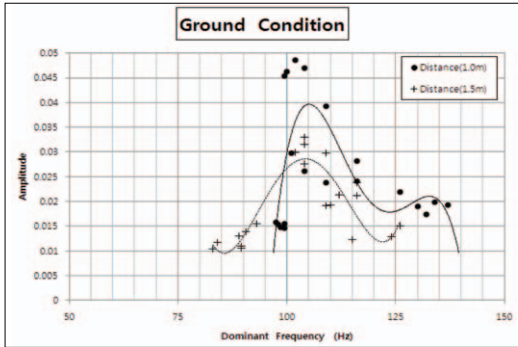


Figure 5. Comparison of Dominant Frequency on Ground condition

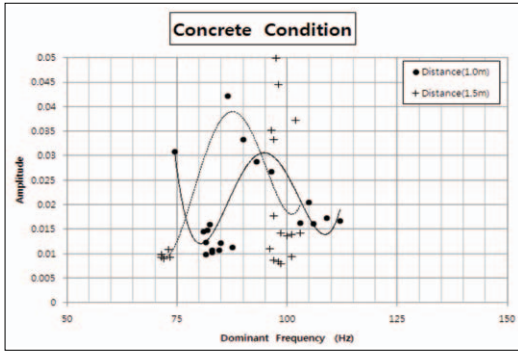


Figure 6. Comparison of Dominant Frequency on Concrete condition

Figure 5와 Figure 6은 매질 특성이 지반 상태일 때와 콘크리트 상태일 때의 주주파수대역을 나타낸 것이다. 모든 매질에서 충격진동 발생원으로부터 멀어질수록 주주파수대역이 낮아지는 경향을 볼 수 있었고, 지반 상태의 주주파수대역이 콘크리트 상태의 주주파수대역보다 고주파대역을 나타냈지만 이격거리에 따른 감쇠는 더욱 크게 나타났다. 이는 진동의 전달 경로가 길어질수록 저주파 진동수가 우세하고, 전달 매질이 토양층일수록 고주파에서 저주파 진동수로의 감쇠가 빠르게 진행된다 (Dowding, 1985)는 것을 뒷받침 해주는 결과이다.

2. 규제기준에 따른 허용 한계거리 예측

진동레벨 환산식에 사용되는 진동속도는 소음·진동 관리법에서 V성분을 측정하도록 하고 있으나 충격진동은 V성분 뿐만 아니라 T성분, L성분으로 더 큰 피해를 발생시키는 경우도 있다. 이러한 이유

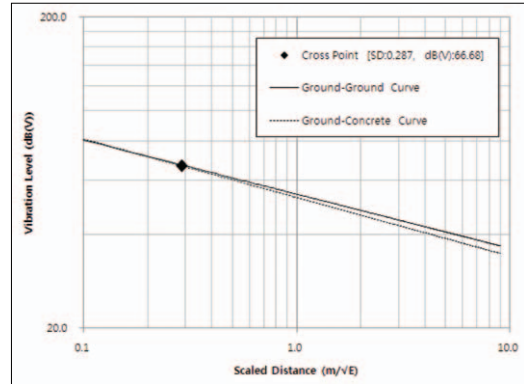


Figure 7. Comparison of Ground-Ground curve and Ground-Concrete curve

로 진동레벨의 환산을 PPV로 할 것인지 PVS로 할 것인지에 대한 구분이 필요하다. 앞 절에서의 비교 결과로서, 허용되는 한계거리를 예측하기 위해 환산 진동레벨이 전반적으로 높게 나타난 PVS의 진동레벨을 선정하였다. 아울러, 인체에 미치는 진동레벨의 규제기준을 65dB(V), 70dB(V), 75dB(V), 80dB(V)로 구분하여 진동에 대한 인체의 허용 한계거리를 예측하였다. Figure 7은 지반 상태와 콘크리트 상태일 때의 환산거리에 따른 진동레벨을 나타내고 있다. 교차점은 환산거리(SD) 0.287, 진동레벨 66.68dB(V)로 산출되었는데, 환산거리가 교차점 이하일 때 콘크리트 상태의 매질에서 더 높은 진동레벨을 보였고 환산거리가 교차점 이상일 때 지반 상태의 매질에서 진동레벨이 더욱 높게 나타났다. Table 5는 진동레벨의 규제기준에 따른 허용 한계거리를 나타내고 있다. 충격진동에 의한 에너지가 일정하게 증가된다고 가정할 때 65dB(V)의 규제기준에서는 콘크리트 상태의 매질에서 허용 한계거리가 짧았고 70dB(V), 75dB(V), 80dB(V)의 규제기준에서는 지반 상태의 매질에서 허용 한계거리가 짧게 나타나는 것을 알 수 있었다. 일반적으로, 향타기계의 타격에너지는 1×10^4 Joules이므로 규제기준 65dB(V)을 적용한다면 허용 한계거리는 콘크리트 상태의 매질에서 최소 32.82m이다. 이는 충격진동 발생원으로부터 32.82m 이후로 떨어져 있다면 충격진동의 피해로부터 벗어날 수 있다는 것을 의미한다. Figure 8과 Figure 9는 매질 특성

Table 5. Results of Allowable Limit Distance by Vibration Level

Energy (Joules)	Allowable Limit Distance (m)											
	65 dB(V) 미만		65 dB(V)		70 dB(V)		75 dB(V)		80 dB(V)		80 dB(V) 초과	
	Ground	Concrete	Ground	Concrete	Ground	Concrete	Ground	Concrete	Ground	Concrete	Ground	Concrete
1×10^0	>0.33	>0.33	0.33	0.33	0.22	0.22	0.14	0.15	0.10	0.11	<0.10	<0.11
1×10^1	>1.05	>1.04	1.05	1.04	0.68	0.70	0.45	0.49	0.31	0.35	<0.31	<0.35
1×10^2	>3.33	>3.28	3.33	3.28	2.16	2.22	1.44	1.55	0.98	1.10	<0.98	<1.10
1×10^3	>10.54	>10.38	10.54	10.38	6.82	7.03	4.54	4.89	3.11	3.48	<3.11	<3.48
1×10^4	>33.35	>32.82	33.35	32.82	21.56	22.22	14.37	15.46	9.83	11.00	<9.83	<11.00
1×10^5	>105.45	>103.79	105.45	103.79	68.19	70.27	45.44	48.87	31.09	34.80	<31.09	<34.80
1×10^6	>333.46	>328.22	333.46	328.22	215.64	222.22	143.70	154.55	98.31	110.04	<98.31	<110.04

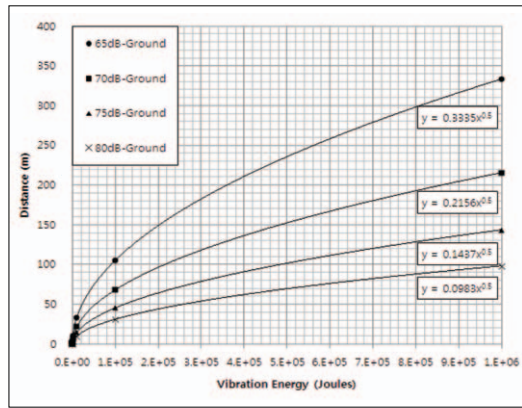


Figure 8. Relation between Distance and Vibration Energy on Ground-Ground condition

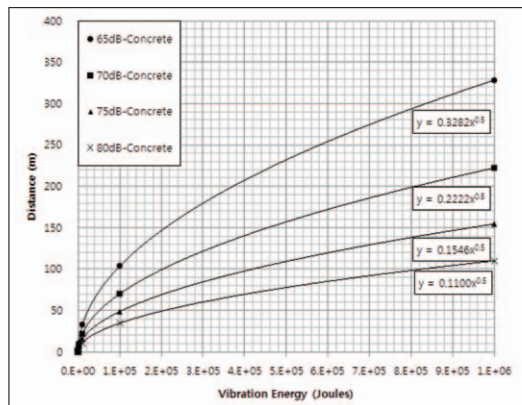


Figure 9. Relation between Distance and Vibration Energy on Ground-Concrete condition

이 지반 상태와 콘크리트 상태일 때 진동 에너지에 따른 한계거리를 나타내고 있다. 진동레벨 규제기준이 65dB(V)에서 80dB(V)로 높아졌을 때 허용 한계거리는 3배 정도 짧아지는 결과를 나타냈다. 이로

서, 각 매질에서 충격진동으로 발생하는 진동 에너지의 크기에 따라 허용 한계거리를 예측할 수 있을 것으로 판단되며, 충격진동에 대한 허용 안전거리 설정 및 충격진동 저감 연구에 유용할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 공사장에서 발생하는 충격진동이 인체에 미치는 영향 범위를 예측하기 위해 수행되었다. 그 일환으로 매질 특성과 이격거리, 충격에너지에 따라 인위적인 충격진동을 발생시켜 측정한 진동속도 데이터를 진동레벨로 환산하였고, 진동 규제기준에 따른 허용 한계거리를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 성분별 최대진동속도(PPV)와 세 성분의 실 벡터 합(PVS)으로 환산한 진동레벨을 비교한 결과, 모든 매질에서 상관계수는 $R=0.94$ 이상이었고 PVS에 의한 환산 진동레벨이 전반적으로 높은 곡선을 나타냈다. PPV와 PVS에 의한 진동레벨 편차는 매질 특성이 콘크리트 상태일 때 크게 나타났고, 지반 상태일 때 주주파수대역과 이격거리별 진동수 감쇠가 비교적 크게 나타났다. 이는 진동 전달 경로가 길어질 때 저주파수가 우세하고 매질이 토양층일수록 주파수 감쇠가 빠르게 진행되기 때문으로 판단된다.

2. 지반 상태와 콘크리트 상태의 매질 특성에 따른 PVS 환산 진동레벨에서의 교차점은 환산거리

(SD) 0.287, 진동레벨 66.68dB(V)로 나타났는데, 이는 환산거리가 교차점 이상일 때 지반 상태의 진동 레벨이 높고 교차점 이하일 때 콘크리트 상태의 진동 레벨이 높다는 것을 의미한다. 진동 규제기준에 따른 허용 한계거리는 충격진동에 의한 에너지가 일정하게 증가된다고 가정할 때 65dB(V)의 규제기준에서는 콘크리트 상태의 매질에서, 70dB(V)~80dB(V)의 규제기준에서는 지반 상태의 매질에서 허용 한계거리가 짧게 나타났으며, 진동 규제기준이 65dB(V)에서 80dB(V)로 높아졌을 때 허용 한계거리는 3배 정도 짧아지는 결과를 나타냈다.

본 연구에서는 도심지 공사장에서 발생하는 향타기, 브레이커, 발파 등의 충격진동이 주민생활과 인체에 미치는 영향 범위를 분석한 것으로 실제 충격진동으로 발생하는 진동 에너지의 크기에 따라 인체의 허용 한계거리를 예측하는데 유용할 것으로 판단되며, 충격진동에 대한 허용 안전거리 설정 및 충격진동 저감 연구에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

김남수, 1999, 건설소음·진동의 예측기법과 그 상용에 관한 연구, 전남대학교 박사학위논문.
 김용국, 김식, 이상은, 양형식, 2000, 디지털필터를 이용한 진동의 변환 연구, 한국암반공학회지, 10(3), 486-491.

김일중, 기경철, 조영동, 2009, 발파진동속도와 진동레벨과의 관계식 연구, 대한화약발파공학회지, 27(1), 79-87.
 김재영, 홍용기, 박홍민, 박영민, 2001, 주민 생활환경에 있어서 진동레벨에 의한 발파진동 평가, 대한환경공학회 논문집, 2(J1), 141-144.
 박준철, 유승도, 김정대, 황경철, 최준규, 2002, 주요 기계류에서 발생하는 환경진동에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 28(2), 1-9.
 송정연, 홍용기, 김승근, 2011, 매질특성에 따른 충격진동평가에 관한 연구, 한국환경영향평가학회지, 20(5), 641-649.
 송하림, 노영배, 강추원, 2011, 진동레벨과 진동속도의 상관성에 관한 비교연구, 대한화약발파공학회지, 29(2), 43-50.
 양형식, 전양수, 이경운, 1997, 인체에 대한 진동의 허용 기준 및 피해 산정에 관한 연구, 한국암반공학회지, 7(4), 310-322.
 천병식, 오재웅, 1993, 지반진동 이론과 실제, 건설연구사, 11-12.
 환경부, 1990, 소음진동 규제법 제정, 법률 제4259호 (제정 1990.08.01, 최신 개정 2010.06.30), 환경부
 Dowding, C.H., 1985, Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 297.
 中野有朋, 1992, 環境振動, 技術書院, 130.