

< 논 문 >

철도주변에 위치한 주거지역의 진동에 관한 연구

A Study of Vibration on Residential Area Near by Railroad

정 선 호* · 최 형 일**

Sun-Ho Jeung and Hyeong-II Choi

(1996년 10월 14일 접수 ; 1997년 1월 18일 심사완료)

ABSTRACT

The aim of this research is to measure the damage caused by the vibrations of passing trains. In order to determine the vibration levels of the trains, twelve points along the Honam, Cholla and Kyungjun lines were chosen. There are two goals to be achieved from the data gathered. The first is to determine whether or not the trains are operating under governmentally determined levels. The second goal is to establish countermeasure in order to minimize the effects of the vibrations on the people who live near the train lines. A vibration level meter was used to measure the vibration levels at all twelve points at times when no trains were travelling and at times when trains were travelling. As a result, it was found that Saemaaulho and Mugunghwaho, had a higher vibration level of 2~3 dB than Pidulgiho and freight trains. There were no relationship between speed and vibration level. The vibration levels did change according to capacity and size of the engine. In such cases there was a difference of 2~7 dB. Where vibration proof ditches were in place, the vibration level were decreased by 3~6 dB. The practical decreases in vibration levels was similar to the theoretical decreases.

1. 서 론

인구의 도시집중과 교통량의 증대, 산업의 발달 등 생활양식의 변화로 여러가지 환경오염 문제가 초래되고 있다. 또한 국민들의 생활에 대한 가치관도 다양해지면서 물질적 풍요 뿐만 아니라 정신적인 안정을 추구하는 가운데 감각적인 공해로서 소음과 진동 문제가 대두됨에 따라 이를 개선하기 위해 우리나라 철도청에서는 철도차량 자체의 진동에 대한 연구를 수행하여 왔다^(1~3). 그러나 열차주행시 철도소음과 진동이 주변 주민들에게 생활환경 측면에서 어떠한 피해를 주고 있는가에 대한 연구나 자료는 불충분한 실정이다. 특히 소음진동규제법 제29조에 의거하여 서기 2000년 부터는 철도진동도 규제대상에 포함됨에 따라 철도주변에 거주하고 있는 주민들에

대한 진동 영향을 최소화하고 허용기준을 초과 하는 지 여부를 파악하기 위한 연구 및 자료 확보가 시급한 상황이다. 아울러 열차운행에 따른 주변의 진동 레벨을 정확히 측정하여 데이터 베이스를 구축함으로써 주민 생활의 피해 경감은 물론 방진대책 수립의 기초 자료로 활용하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 호남선, 전라선, 경전선 철로에서 각각 4지점을 선정하여 열차의 주행에 의해 발생하는 철도진동을 측정함으로써 열차속도, 노선 및 열차종류의 변화에 따른 진동레벨의 추이를 분석하였다. 또한 선로변으로 부터의 거리 이격에 따른 진동 레벨의 변화와 방진구 등과 같은 철도 구조물 설치에 의한 진동 감소효과를 측정 평가함으로써 환경개선을 위한 진동 저감 대책의 기초 자료로 활용하고자 한다.

*정회원, 조선대학교 대학원 환경공학과

**조선대학교 환경공학과

2. 진동이론 고찰

2.1 국내의 진동기준

환경부에서 개정 공포한 우리나라 소음·진동규제법 시행규칙 제37조의 철도소음, 진동 규제기준⁽⁴⁾과 관련된 내용은 Table 1과 같다.

2.1 진동의 거리 감쇠

진동이 지반을 전파하는 경우 파와 지반의 종류에 따라서 다르나 일반적으로 진동원으로 부터 거리가 멀어짐에 따라 진동은 감쇠하는데 이것을 거리감쇠라 한다.

따라서 진동원과 어느 정도 거리를 유지하게 되면 진동을 감쇠시키는 것이 가능하므로 전파경로 대책 중 하나이다. 또한 진동이 지반을 전달하는 과정에서 지층의 경계면이나 구조물과의 경계부에서 반사, 굴절, 간섭 등이 일어나 파형이 복잡하게 된다. 이 현상을 이용하여 흙 속에 도랑이나 지중벽 등의 차단층을 설치하여 진동을 감소시키는 방법도 있다⁽⁵⁾.

일반적으로 진동원에서 발생한 진동이 傳播될때 波動에너지의 분포는 R波가 약 2/3, S波가 약 4/15, P波가 약 1/15 정도이므로 人體가 주로 느끼는것은 R波가 된다. 일반적으로 사용되는 진동가속도레벨 및 진동레벨의 거리감쇠식은 다음과 같다^(6~7).

$$VL_r = VL_o - 8.7\lambda(r - r_o) - 20 \cdot n \cdot \log(r/r_o) \text{ dB}$$

VL_o : 진동원에서 r_o (m) 떨어진 지점의 진동레벨 (dB)

VL_r : 진동원에서 r ($r > r_o$) 떨어진 지점의 진동레벨 (dB)

λ : 지반전파의 감쇠정수

n : 표면파(0.5)

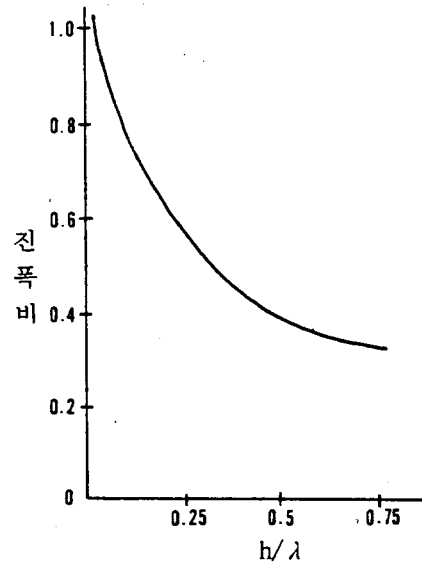


Fig. 1 Effect of vibration-proof ditch

Table 1 Regulation criteria of railroad noise vibration

대 상 지 역	구 분	한 도			
		2000년 1월 1일~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일	
		주간 06 : 00 ~22 : 00	야간 22 : 00 ~06 : 00	주간 06 : 00 ~22 : 00	야간 22 : 00 ~06 : 00
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동, 휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로부터 50m 이내지역	소음 LeqdB(A)	70	65	70	60
	진동 dB(V)	65	60	65	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미도시지역	소음 LeqdB(A)	75	70	75	65
	진동 dB(V)	70	65	70	65

비고: 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.

2. 정거장은 적용하지 아니하며, 철교는 2010년 1월 1일 부터 적용한다.

3. 이 규칙 공포일 이후 준공되는 철도는 이규칙 시행일 부터 2010년 1월 1일 부터의 한도를 적용한다.

2.3 방진구의 저감 효과

방진구는 인공적인 저감방법으로는 차단층에 의한 대책으로서 가장 단순한 것이다. 이 효과를 위해서는 구 깊이가 최소한 파의 파장 정도가 되어야 하는데, 이론적으로 이 문제를 정확히 계산하기가 어렵지만, 모형실험의 결과는 Fig. 1 및 2와 같이 나타났다. 이에 따르면 진동폭을 1/2로 하기 위해서는 도랑의 깊이는 파장의 3할을 필요로 한다. 지금 표면 파속도를 120 m/sec로 하고 차단하고자 하는 진동의 진동수를 4 Hz로 하면 파장은 30m가 되고 도랑의 깊이는 9m가 된다. 이 때문에 실제로 방진구의 설치는 어렵다⁽⁶⁾.

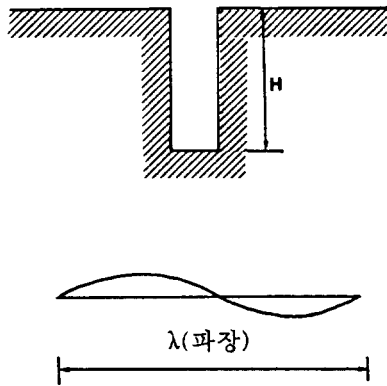


Fig. 2 Model of vibration-proof ditch

3. 진동레벨 측정

3.1 측정개요

전남지역을 通過하는 호남선, 전라선, 경전선의 鐵路周邊에 근접한 주거지역으로서 진동의 영향을 많이 받고 일반 차량통행이 빈번하지 않은 곳을 택하여 路線別로 각각 4개 지점을 1995. 3. 15~1995. 12. 15(9개월) 측정하였다(Table 2).

측정방법은 각 지점별로 道床이 끝난 지점과 주거지에 인접한 위치에 pick up(Japan, RION PV-83 A) 및 기기를 설치하고 열차가 측정지점을 通過 할 때마다 列車種別, 列車速度, 列車을 확인하고 수직 방향(Z)축의 진동레벨을 측정하였고, 지형조건에 따른 분류를 크게 3가지 형태로 하여 Fig. 3~5에 나타내었다.

3.2 측정결과 분석

(1) 열차종류의 영향

(가) 호남선

호남선은 새마을, 통일, 비둘기 그리고 화물열차가 주행하는데 화물열차보다는 객차가 더 많이 다니는 노선으로서 열차종별 평균 진동레벨은 새마을호 67 dB(V), 무궁화호 68 dB(V), 통일호 67 dB(V), 비둘기호 66 dB(V), 화물 65 dB(V)로 무궁화호가 다른 열차에 비하여 약간 높은 레벨을 나타냈으며,

Table 2 Railroad vibration level of the classes site

노 선	구 분	지 역	거 리 (m)	속 도 (km/h)	진동레벨 dB(V)	측정회수
호 남 선	A	목포	7.3	42~94	57	87
	B	명산	9.6	41~81	70	73
	C	나주	5.7	39~109	69	55
	D	장성	6.6	52~122	71	36
전 라 선	E	울촌	3.6	35~72	70	22
	F	순천·용당	5.7	46~86	75	23
	G	황전	2.4	32~72	70	33
	H	압록	10.0	21~86	61	33
경 전 선	I	순천·오천	5.7	44~85	71	30
	J	별교	5.5	28~60	66	38
	K	보성	3.2	36~79	70	37
	L	이양	2.6	36~78	69	42

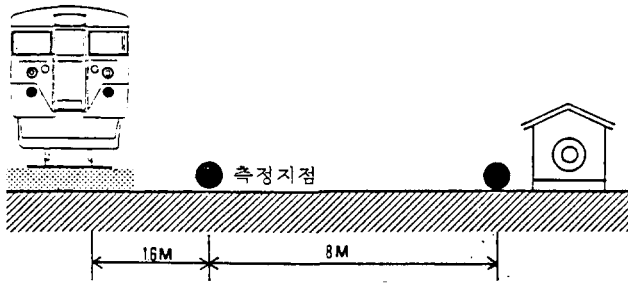


Fig. 3 Measuring site of plain spot (B site)

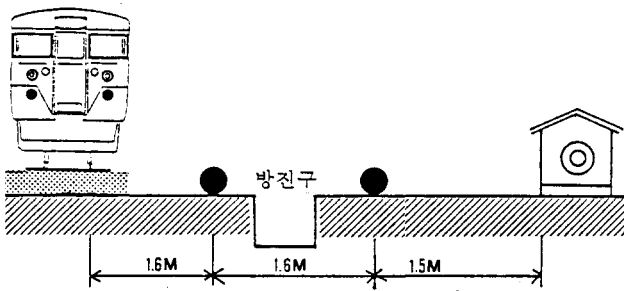


Fig. 4 Measuring site of vibration-proof ditch set-up (K site)

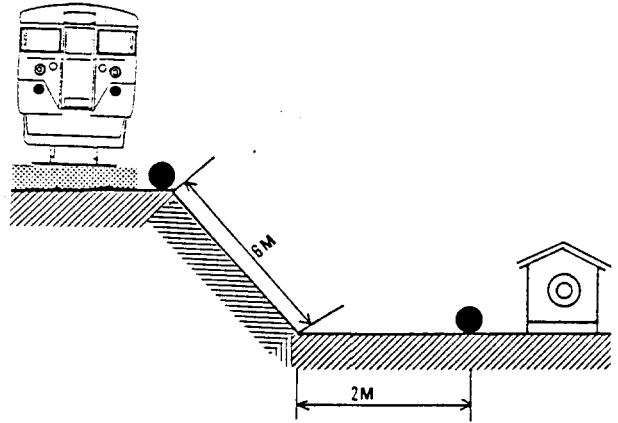


Fig. 5 Measuring site of railroad on the bank (H site)

최저 진동레벨은 비둘기로 53 dB(V), 최고 진동레벨은 무궁화호가 75 dB(V)로 Table 3에 나타냈다.

(나) 전라선

전라선은 새마을, 무궁화, 통일, 화물 열차가 주행하는 노선으로 여천공단의 산업물량 수송때문에 객차보다는 주로 화물열차가 더 많이 다녔으며, 열차종별 평균 진동레벨은 새마을호 70 dB(V), 무궁

Table 3 Vibration level of the classes of train of the Honam Line

지 역	거 리 (m)	지 형	암진동 dB(V)	속 도 km/h	회 수	열차종별	진 동 레 벨 : dB(V)			
							50	60	70	80
목 포	7.3	콘크리트도로	23	80~94	11	새마을	-----	-----	-----	-----
				62~92	20	무궁화				
				65~86	28	통일호				
				46~86	23	비둘기				
				42~59	5	화 물				
명 산	9.6	비포장 도로	33	58~81	10	새마을	-----	-----	-----	-----
				57~72	17	무궁화				
				57~63	21	통일호				
				41~47	16	비둘기				
				61~64	9	화 물				
나 주	5.7	비포장 도로	23	74~109	6	새마을	-----	-----	-----	-----
				65~85	16	무궁화				
				68~80	18	통일호				
				45~83	11	비둘기				
				39~54	4	화 물				
장 성	6.6	비포장 도로	38	110~122	7	새마을	-----	-----	-----	-----
				95~114	11	무궁화				
				68~107	9	통일호				
				90~91	7	비둘기				
				52~54	5	화 물				

화호 70 dB(V), 통일호 69 dB(V), 화물 68 dB(V)로 새마을. 무궁화호가 다른 열차에 비하여 1~2 dB(V) 정도 높았고, 최저 진동레벨은 화물열차로서 52 dB(V), 최고 진동레벨은 77 dB(V)로 Table 4에 나타냈다.

(다) 경전선

경전선은 새마을호는 주행하지 않고 무궁화, 통일, 비둘기, 화물열차가 다니고 있는데 전라선과 같이 대부분 화물이 주행하는 노선이며, 열차종별 평균 진동레벨은 무궁화호가 70 dB(V), 통일, 화물열

차가 69 dB(V), 비둘기호가 68 dB(V)로 측정되었고, 최저 진동레벨은 62 dB(V)이고 최고진동레벨은 73 dB(V)로 Table 5에 나타냈다.

(2) 열차속도의 영향

열차속도는 노선별 주변환경이나 하중 그리고 장애물에 따라 달라 대표치라고는 할 수 없으나 측정되어진 속도는 Table 2와 같이 최고 122 km/h였으며, 沈木과 防振板의 종류가 다른 경우에 대해 線路邊으로 부터 1.5m 떨어진 지점의 열차속도와 진동레벨을 측정하였다. Fig. 6은 沈木에 따른 결과를 나

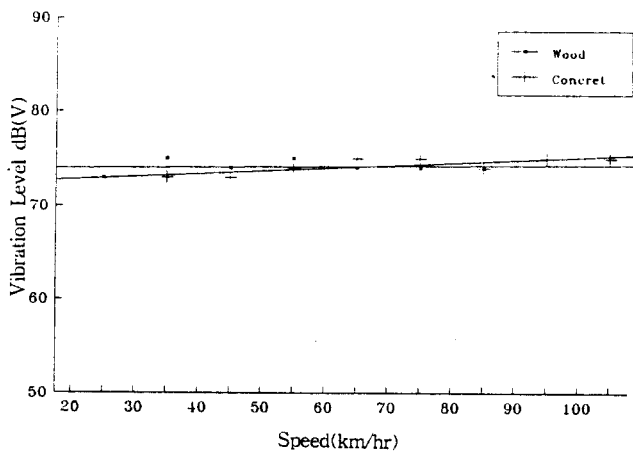


Fig. 6 Speed and vibration level by railroad tie

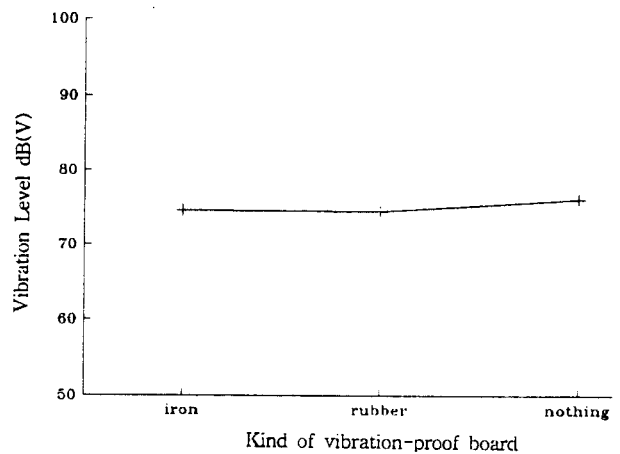


Fig. 7 Vibration level by the kind of vibration-proof board

Table 4 Vibration level of the classes of train of the Cholla Line

지역	거리 (m)	지형	암진동 dB(V)	속도 km/h	회수	열차종별	진동레벨 : dB(V)			
							50	60	70	80
울촌	3.6	· 비포장 도로 · 방진구	18	62	3	새마을				
				65~71	5	무궁화				
				44~72	3	통일호				
				35~68	9	화물				
순천 (용당)	5.7	비포장 도로	37	67~86	3	새마을				
				64~69	6	무궁화				
				60~81	3	통일호				
				46~67	10	화물				
황전	2.4	· 비포장 도로 · 방진구	18	66	4	새마을				
				35~72	9	무궁화				
				40~68	5	통일호				
				32~66	14	화물				
압록	10.0	선로변 6m낮은 지점	25	79~86	5	새마을				
				71~81	8	무궁화				
				50~73	5	통일호				
				21~45	15	화물				

Table 5 Vibration level of the classes of train of the Kyungjun Line

지 역	거 리 (m)	지 형	암진동 dB(V)	속 도 km/h	회 수	열차종별	진 동 레 벨 : dB(V)			
							50	60	70	80
순 천 (오천)	5.7	콘크리트 도로	38	80~85	3	무궁화				
				70~82	8	통일호				
				69~85	7	비둘기				
				44~71	12	화 물				
별 교	5.5	선로변 1.8m 낮은지점	35	30~32	3	무궁화				
				29~60	11	통일호				
				29~32	6	비둘기				
				28~56	18	화 물				
보 성	3.2	· 비포장 도로 · 방진구	37	79	2	무궁화				
				44~80	9	통일호				
				40~69	10	비둘기				
				36~54	16	화 물				
이 양	2.6	· 콘크리트 도로 · 방진구	23	70~78	2	무궁화				
				60~71	13	통일호				
				40~65	6	비둘기				
				36~60	21	화 물				

타내며 Fig. 7은 防振板의 종류에 따른 결과를 보여 준다.

(3) 열량의 영향

列車의 車輛에 따른 진동레벨의 변화를 주지한 호남선의 B, 전라선의 순천 F, 경전선의 I를 選定하여 열량별 측정 진동레벨을 평균하여 비교 분석한 결과는 Fig. 8과 같다. 호남선의 B지점은 열차의 열량이 4~15량 까지로 열량별 진동레벨은 68~73 dB(V)이었으며, 전라선의 F지점은 주로 화물열차 走行이 많은 곳으로 8~22輛 까지로 열량별 진동레벨은 73~77 dB(V)로 4 dB(V) 정도의 차이가 있었다.

경전선의 I지점은 F지점과 같이 화물열차 주행이 많은 곳으로 21량 까지 화물열차가 다니는 노선으로 열량별 진동레벨은 68~75 dB(V)로 7 dB(V) 정도의 변화폭이 크게 있었으며, 3지점을 통하여 발생한 열량별 진동레벨은 열량이 적어 낮게 나타나거나 열량이 많아 진동레벨이 높게 나타나는 것이 아니라 荷重에 따라 다를 수도 있음을 알 수 있었다.

(4) 방진구의 영향

선로변의 진동원과 피해지점 사이에 도랑을 파서 진동의 傳播를 방지하는 방법으로 인공적인 防振溝가 설치되어 있는 E, G, K, L지역의 防振溝 模型은 Table 6에 나타냈다.

각각 다른 형태의 防振溝로 E와 G지역은 콘크리

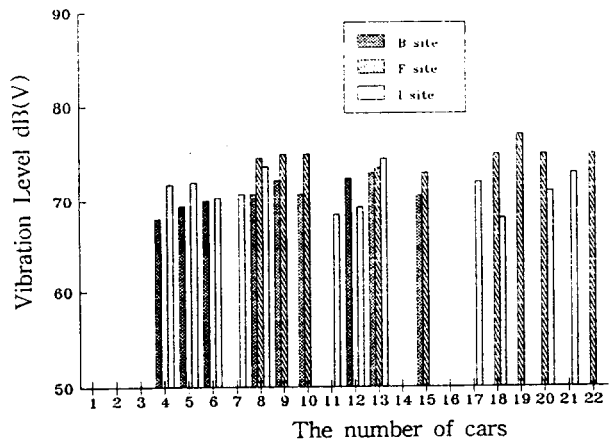


Fig. 8 Vibration level by the number of cars of the train

트형으로서 결과를 비교해 보면 線路보다 낮은지점에 위치한 G나 약간 높은지점에 위치한 E는 3 dB(V)정도 減衰 되었음을 알 수 있었다. 방진구가 흙으로된 K지점은 5 dB(V)정도 감쇠 되어 콘크리트 방진구 보다 2 dB(V)정도 減衰效果가 더 있었으며, L지점은 線路邊이 흙이고 人道邊 쪽은 콘크리트로 포장된 지점인데 6 dB(V)정도 減衰效果를 보인것은 콘크리트나 흙으로된 방진구였던 탓으로 사료된다.

Table 6 The various forms of vibration-proof ditch

지역	방진구 형태	비고
울촌		A : 선로변 2.3m B : 0.3m C : 0.5m D : 0.4m E : 0.8m F : 0.4m G : 비포장 도로 B,C,D,E,F : 콘크리트 방진구 ● 측정지점
황전		A : 선로변 1.1m B : 0.4m C : 1.9m D : 0.9m E : 1.2m F : 비포장도로 B,C,D,E : 콘크리트 방진구 ● : 측정지점
보성		A : 선로변 1.6m B : 0.5m C : 0.8m D : 0.4m E : 0.7m F : 0.3m G : 비포장도로 C,D,E : 흙 방진구 ● 측정지점
이양		A : 선로변 1.5m B : 0.5m C : 0.3m D : 0.6m E : 0.6m F : 콘크리트 도로 B,C,D,E : 흙+콘크리트 방진구 ● 측정지점

4. 측정치와 이론치의 비교

4.1 기준치와의 비교

2000년 부터 시행되는 철도진동규제기준 65dB(V)를 측정지점 12곳중 10곳이 초과하여 [Table 2 참조] 철도주변에 생활하고 있는 주거지역의 주민들은 높은 진동레벨에 폭로돼 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

4.2 거리감쇠 효과

진동의 거리감쇠 공식에 의한 지점별 진동의 距離感衰를 구하기 위해 豫側한 지반전파의 감쇠정수(λ)는 목포지점이 0.2이고, 다른지점은 모래나 침적토로서 0.009이다. 거리감쇠 결과는 Table 7과 같으며, 여기에 나타낸 측정진동레벨은 道床 밀부분과 주거지역에 근접한 지점을 각각 설정 A. B. C지역은 통일호, D지역은 무궁화호, 순천 F.I지역은 화물을

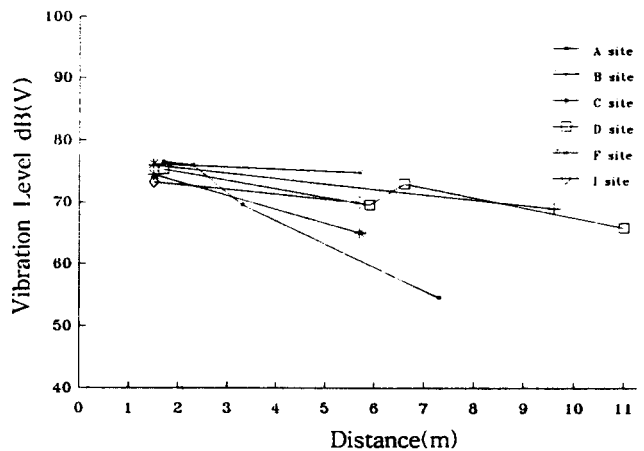


Fig. 9 Attenuation of vibration by distance

대상으로 진동을 측정하여 거리에 따른 감쇠를 Fig. 9에 나타내었다.

진동의 거리감쇠에 있어서 이론적진동과 실제진동레벨과의 차이는 2~5 dB(V) 정도로 측정지점의 지

Table 7 Attenuation of surface wave by distance

지역	구분	거리 r_0 (m)	거리 r (m)	감쇠정수 λ	r 지점이론진동 레벨 : dB(V)	측정진동레벨 : dB(V)	
						r_0	r
A		3.3	7.3	0.200	60	77	55
B		1.6	9.6	0.009	67	76	69
C		1.5	5.7	0.009	68	75	65
D		1.7	6.6	0.009	69	75	73
F		1.5	5.7	0.009	70	76	75
I		1.5	5.7	0.009	67	73	70

형에 따라 傳播가 遮斷된 것으로 생각하면 類似한 진동레벨을 나타냈다.

A지역의 경우 線路邊에서 1.7 m, 2.3 m, 3.3 m, 7.3 m 떨어진 4지점에서의 진동레벨은 77 dB(V), 76 dB(V), 70 dB(V), 55 dB(V)로서 7.3m 지점에서는 1.7 m 지점 보다 22 dB 정도 감쇠되었다. 이는 선로변에 폭 4m의 콘크리트포장이 되어있고 아랫부분에 폭 1.5m, 높이 1m의 하수구가 설치되어있어 방진구 역할을 한 것으로 판단된다. 실측한 결과 측정치가 이론치보다 5 dB이 낮은 값을 나타내고 있다.

B지역 1.5, 9.6 m에서의 진동레벨은 76 dB, 69 dB(V)로서 7 dB 감쇠되어 이론적 거리감쇠와 근사한 진동레벨을 나타냈다.

C지역의 진동은 1.5 m, 5.7 m 두 지점에서의 75 dB(V), 65 dB(V)로 10 dB이 감쇠되었는데 이는 4 m 부근에 Block두께의 방진시설이 설치되어 짧은 거리에서도 상당히 減衰되었을 뿐만 아니라 이론적 진동레벨보다 3 dB(V)이 더 감쇠되었다.

D지역은 複線 線路로서 상행선 선로에서 1.7 m, 6.6 m 떨어진 지점에서 진동은 75 dB(V), 73 dB(V) 이고 하행선 선로에서 6.0 m, 11 m 떨어진 지점에서의 진동은 70 dB(V), 66 dB(V)이다. Fig. 9에 나타낸바와 같이 6.0 m지점이 6.6 m지점보다 減衰 현상이 뚜렷하게 나타난 것은 상행선이 線路 무게의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

전라선에 위치한 F지역의 경우, 線路에서 1.5 m, 5.7 m 떨어진 지점에서 측정된 결과 76 dB(V), 75 dB(V)로 1 dB 정도 減衰했으며, 표면파의 진동 거리감쇠를 분석한 결과 5 dB이 더 높게 나타났는데 이는 沙土形이기 때문에 地盤에 傳播가 잘 된 것으로 판단된다.

경전선 區間의 I지역의 경우 1.5 m, 5.7 m 떨어진

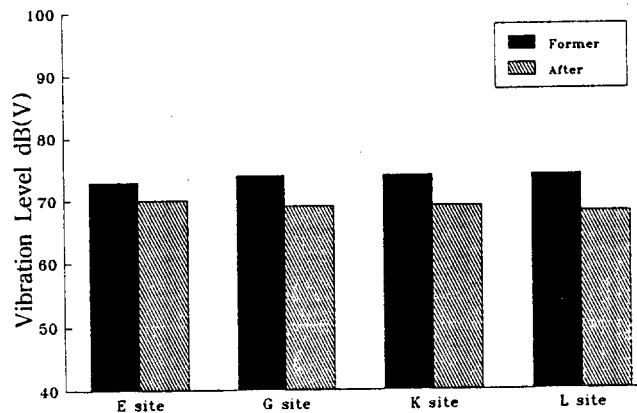


Fig. 10 Attenuation of vibration level by vibration-proof ditch

지점에서 측정된 진동은 73 dB(V), 70 dB(V)로 3 dB 정도 감쇠하여 이론치보다 실제치가 3 dB 정도 높게 나타났는데 이는 콘크리트포장 상태나 두께에 따라 傳播 程度가 다를 수 있어 沙土와 같은 傳播를 가져올 수 있었다고 사료된다.

4.3 방진구의 저감효과

지점별 방진구에 의한 감쇠는 Fig. 10에 나타냈으며, 방진구의 깊이에 따른 이론적인 감쇠는 도랑의 깊이가 4.5 m일 때 6 dB, 9 m의 도랑에서는 12 dB 이고^(8,9) 실제 감쇠는 3~6 dB이므로 이론치 보다 더 높은 감쇠 효과를 가져왔다.

5. 결 론

(1) 열차종류별 측정진동레벨은 새마을, 무궁화호가 다른 열차에 비하여 2~3 dB(V) 정도 높아 67~70 dB(V), 비둘기, 화물열차는 66~69 dB(V)를 나타냈으며, 열차속도는 21~122 km/h로 큰 차이가 있었

으나 진동레벨 과는 무관 하였다

(2) 열차의 열량은 4~22량 까지로 변화가 심하여 그에 따라 진동레벨은 2~7dB(V)의 차이를 보였고, 철도주변에 설치된 방진구의 진동레벨 감쇠량은 3~6dB(V)였다.

(3) 철도진동의 거리감쇠를 파악하기 위하여 6개 지점을 선정 측정된 결과 이론적인 감쇠치와 비슷하였으나 측정지점의 지형과 구조에 따라서는 2~5dB(V) 정도의 차이가 있었다.

(4) 호남선, 전라선, 경전선을 대상으로 총12지점에 대하여 진동레벨을 측정된 결과 A와 H지점을 제외한 10개 지점 모두 2000년 부터 시행되어지는 철도소음, 진동규제 기준을 초과 하는데 이에 대한 주거이전 등 종합적인 대책이 확립되고 추진 되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 鐵道廳, 1994, 鐵道車輛의 振動防止에 關한 研究.
- (2) 鐵道廳, 1995, 鐵道車輛의 振動防止에 關한 研究.
- (3) 曹錫鎭, 洪容基, 鐵道車輛의 振動防止 研究.
- (4) 環境部, 1995, 騒音·振動 公定試驗方法.
- (5) 張東一, 1991, 鐵道構造物의 振動特性에 關한 研究, 漢陽大學校 産業大學院, 碩士學位論文.
- (6) 鄭一錄, 1984, 騒音·振動理論과 實務, 錄苑圖書出版, pp. 167~172.
- (7) 金起東, 1984, 鐵道騒音·振動的 距離減衰에 關한 研究, 漢陽大學校 環境科學 大學院, 碩士學位論文.
- (8) 錢병식, 오재응, 1986, 地盤自動理論과 實際, pp. 171~173.
- (9) 宣炳澤, 1983, 騒音·振動對策 핸드북, 集文社, pp. 453~454.