

<논 문>

경부선 철도진동의 특성과 영향범위

Characteristic and Propagation of Railroad Vibration in Kyoungbu Line

유승도* · 신동석** · 설증민* · 강대준** · 박준철** · 이재인**

S. D. YU, D. S. SHIN, J. M. SUL, D. J. KANG, J. C. PARK and J. I. LEE

(1997년 2월 1일 접수 ; 1997년 6월 10일 심사완료)

Key Words : Railroad vibration(철도진동), Vibration attenuation(진동감쇠), Vibration frequency(진동주파수), Vibration prediction(진동예측)

ABSTRACT

Ground vibrations induced from railroad were measured to get the basic data that can be used to prepare countermeasures for solving environmental vibration problems. Vibration levels were measured simultaneously at three points in double distances from railroad. These data were analyzed with the kinds of trains, media to understand the magnitudes and characteristics of distance attenuation of railroad vibrations.

1. 서 론

철도교통량의 지속적인 증가는 철도변 지역의 주민들에게 소음·진동에 폭로되는 기회를 증가시킴으로써 많은 민원을 야기시켜왔고, 앞으로도 철도는 계속 신설, 연장, 확장될 것으로 예상되고 있기 때문에 철도에 의한 소음·진동 문제들도 계속 발생될 전망이다.

국내에서는 아직까지 철도소음·진동에 대한 특별한 자료수집이나 대책에 큰 관심을 기울이지 못한 실정이었고, 최근에 들어서 철도변 지역 주민의 민원에 대한 대책으로서 일부구간에서 방음벽을 설치하고 있는 실정이다⁽¹⁾.

그러나 소음·진동대책의 거의 다수가 소음대책에

국한되어 있고, 아직 진동대책은 극히 일부에서 밖에 실시되고 있지 않은 실정이다. 철도진동은 소음에 비하여 철도변의 매우 국한된 범위에만 영향을 주지만, 소음이 주로 사람에게만 영향을 주는 것과는 달리 건축구조물 등을 파괴시킬 수도 있다⁽²⁾. 또한 소음대책이 필요한 지역은 더욱 국한된 범위이지만 진동대책도 필요한 경우가 많다.

최근에는 각종 교통수단에 의하여 진동에 노출되는 정도와 시간이 증가하는 추세에 있기 때문에⁽³⁾ 진동의 영향에 대하여 점차 관심이 고조되고 있고, 진동에 대한 환경기준을 마련하여야 한다는 의견들이 계속 제기되고 있다.

이와 같은 철도진동에 대한 대책을 수립하기 위하여는 진동의 크기, 주파수 구성, 지속시간, 발생횟수, 거리감쇠 등의 기본적인 진동특성이 파악되어야 하고, 추가적으로 진동이 주변지역으로 얼마나 전파되어가는가를 파악하는 것이 중요하다.

진동은 소음에 비하여 발생·전파기구가 매우 복

*정회원, 국립환경연구원

**국립환경연구원

잡하기 때문에 진동을 예측하는 것은 매우 어렵다. 철도진동의 예측을 위하여는 해석적인 기법과 실무적인 기법이 몇 개 정도 제안되어 있으나 도로소음의 예측기법과 같은 통일된 기법은 없고, 아직 예측치와 실측치의 관계가 그다지 좋지 못한 것이 현실이다⁽⁴⁾. 이러한 철도진동의 예측방법들은 철도를 신설할 때 철도진동의 영향을 예측하기 위하여는 유용할 것이다. 그러나 기존의 철도에 대하여는 예측기법들을 이용하여 진동을 예측하기보다는 여러지점에서 진동을 실측하여 통계처리함으로써 전체적인 영향범위를 예측하는 것이 보다 현실적이라 생각된다.

따라서 철도진동의 특성, 거리감쇠, 영향범위를 파악하기 위해 우리나라 철도중 대표적이라 할 수

있는 경부선 철도를 대상으로 연구를 실시하였다.

2. 측정개요

2.1 측정방법

열차통과시에 진동레벨계(RION VM-52 2대, VM-51 2대)와 기록기(RION SV-73)를 이용하여 철도로부터 배거리로 3개 지점(5, 10, 20m)에서 지표면의 수직진동진동레벨(VL) Lmax를 동시에 측정하였고, 녹음기(SONY 4CH PC-204)를 이용하여 진동신호를 녹취하였으며, Speed Gun(CMI)을 이용하여 열차의 주행속도를 측정하였다. 녹취한 진동신호는 주파수분석기(B&K 2131, RION SA-27) 및 레벨프린터(B&K 2312, RION LR-04)에 의해 진동 주파수 특성으로 분석되었다. 측정·분석 체계를 보면 Fig 1과 같다.

측정 조건 및 측정기기의 사용·조작방법은 소음·진동공정시험방법을 준용하였다.

2.2 측정개요

측정장소는 조사요원이 12만분의 1 정밀지도를 보고 철도 또는 철도변 도로를 따라가면서 열차 진행방향과 직각으로 철도로부터 20m까지 비교적 평탄하고, 외관상 매질의 변화가 심하지 않으며, 건물, 시설, 식생 등 진동의 전달에 영향을 미치는 장애물이 많지 않아 측정결과의 해석이 용이하다고 판단한

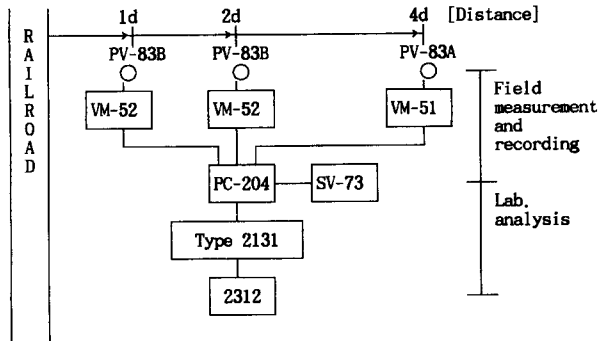


Fig. 1 Schematic diagram of the measurement and analysis for railroad vibration

Table 1 Summary of railroad vibration measurement

Site No.	Measuring site,	Ground surface*	Section, Location**	No. of sample	Trains** (S/M/T/F)	Date
1	오산시 외삼미동	A	병접-오산, 52	19	5/ 9/ 3/ 2	96.7.29
2	천안시 성환읍 어룡리	C	평택-성환, 82	9	3/ 2/ 4/ 0	96.5.30
3	천안시 성안읍 매주리	C	성환-직산, 87	10	3/ 4/ 3/ 0	96.7.30
4	천안시 두정동	S	직산-천안, 91.0	24	7/11/ 3/ 3	96.5. 6
5	천안시 두정동	S	직산-천안, 91.9	18	5/ 7/ 4/ 2	96.5. 7
6	천안시 구룡동	S	천안-소정리, 102	9	4/ 2/ 2/ 1	96.7.31
7	연기군 소정면 운당리	A	소정리-전의, 109	7	2/ 0/ 2/ 3	96.7.31
8	연기군 소정면 운당리	C	천안-소정리, 110	10	3/ 5/ 1/ 1	96.8. 1
9	연기군 전동면 청남리	C	전의-전동, 119	11	3/ 3/ 5/ 0	96.8. 1
10	옥천군 군북면 이백리	S	서천-옥천, 184.6	20	8/ 9/ 2/ 1	96.5. 8
11	옥천군 군북면 이백리	S	서천-옥천, 184.7	10	3/ 4/ 1/ 2	96.5. 9
12	옥천군 군북면 이백리	S	서천-옥천, 185.2	22	8/ 9/ 3/ 2	96.5.10
Total				169	54/65/33/17	

* As a surface of ground, A ; Asphalt, C ; Concrete, S ; Soil.

** Distance from Seoul (km).

*** S ; Saemaoul, M ; Mugunghwa, T ; Tongil, F ; Freight.

선로구간이 직선인 장소로 하였다(Table 1). 측정장소는 주로 철도전널목을 통과하는 도로였다. 매질은 표면상태로만 구분한 것이다. 경부선의 12개 구간에서 총 338대 열차의 진동레벨을 측정하였으나 철로의 한쪽 방향에서 상하행 열차 모두에 대하여 측정하였기 때문에 정확히 철로로부터의 배거리인 5, 10, 20m에서 측정된 169개의 편도통행차량의 자료만을 분석에 사용하였다.

3. 진동전파

3.1 진동레벨

열차가 통과할 때 철도로부터 5, 10, 20m 거리에서 측정된 진동레벨 L_{max} 를 철도별로 매질에 따라 정리하여 Table 2에 나타내었다. 측정 및 해석이 용이한 장소를 찾지 못하였거나 매질에 따른 진동측정계획 및 실행이 제대로 이행되지 못하여 관측횟수가 작은 경우 통계적 대표성을 부여할 수 없으나 Table 2에서는 측정자료의 평균 등을 그대로 나타내었다.

철도로부터 5, 10, 20m 거리의 진동레벨은 새마을이 통과할 때 각각 76.0, 69.8, 65.2dB(V), 무궁화

호가 76.7, 69.5, 63.4dB(V), 통일호가 75.9, 68.7, 63.2dB(V), 화물열차가 70.0, 63.2, 59.0dB(V)로 나타났다. 철로로부터 5m지점에서는 진동레벨이 인체로 크게 느끼거나 건물이 흔들릴 정도인 70dB(V), 75dB(V)를 초과하고 있고, 10m지점까지는 인체로 약간 느끼거나 크게 느끼는 정도인 60~70dB(V)정도이며, 철로로부터 20m거리까지 평균진동레벨이 2000년부터 주거지역 야간의 철도진동 한도로 적용되는 인체로 약간 느낄 수 있는 진동레벨 60dB(V)을 초과하고 있거나 근접하고 있다. 따라서 이 20m거리내에 거주하는 주민들의 다수가 심한 철도진동의 영향을 받으리라고 생각된다. 일반적으로 진동레벨 60dB(V)수준은 건물에는 전혀 영향을 미칠 수 없고, 인체에 대하여도 어떤 병리적인 현상이 나타날 수 없는 정도이며, 통계적으로 약 5%의 주민만이 불쾌감을 호소하는 정도로 알려져 있다⁹⁾.

통과차종별 진동레벨을 비교해 보면 5m와 10m지점에서 여객열차(새마을, 무궁화, 통일호)가 비슷한 진동레벨을 나타내고 있으나 20m지점에서는 약간의 차이를 나타냈다. 화물열차가 통과할 때는 새마을, 무궁화, 통일호가 통과할 때보다 진동레벨이 약 5dB

Table 2 Vibration level by kinds of trains

Kinds of train	Surface of ground*	Vibration level** (dB(V))			No. of sample***	Speed of train (km/hr)	Number of locomotive and train
		5m	10m	20m			
Saemaoul	Asphalt	76.9±0.84	71.2±1.40	68.1±0.35	7(5)	110± 4.7	11± 4.7
	Concrete	77.7±4.58	73.0±2.55	67.3±1.23	12(3)	118±11.9	11± 3.9
	Soil	73.3±2.64	65.1±3.60	60.2±3.18	35	115± 9.4	11± 3.8
	Mean	76.0	69.8	65.2		114	11
Mugunghwa	Asphalt	78.0±0.97	69.6±0.97	-	9	107± 5.2	10± 1.6
	Concrete	77.6±4.02	72.1±1.87	65.5±1.39	14(2)	110± 7.5	10± 2.3
	Soil	74.6±2.74	66.8±2.2	61.3±2.29	42	107± 5.2	10± 1.4
	Mean	76.7	69.5	63.4		108	10
Tongil	Asphalt	76.7±0.98	69.5±1.36	64.4±0.42	5(3)	104± 5.4	11± 1.3
	Concrete	78.0±4.02	71.0±2.21	64.5±1.36	13(4)	107± 7.6	12± 0.9
	Soil	73.0±3.16	65.7±2.49	60.6±3.10	15	98±16.6	11± 0.9
	Mean	75.9	68.7	63.2		103	11
Freight	Asphalt	71.3±2.97	66.7±1.67	61.3±3.06	5(2)	67±23.3	21± 6.7
	Concrete	70.1±0	60.4±0	58.7±0	1	42±0	30± 0
	Soil	68.5±2.55	62.6±2.60	57.1±2.99	11	57±10.2	20± 8.4
	Mean	70.0	63.2	59.0		55	24

* Mean ; averaging values of the mean values by surface of ground

** Averaging values of max. vibration level(L_{max}) ± S. D. (Standard deviation)

*** () ; Number of samples at 20m from railroad

(V)정도 낮게 나타났다. 화물열차가 통과할 때 진동레벨이 낮은 것은 열차속도가 10km/hr증가할 때 진동레벨은 1~2dB(V) 이내로 증가하므로⁽⁵⁾ 주행속도가 타 열차보다 평균 30km/hr 이상 느렸던 것 때문이고, 측정된 화물차의 대부분이 화물적재량이 적었던 것도 원인이 되었을 것으로 추정된다. 그러나 새마을호의 통과속도가 114km/hr, 무궁화가 108km/hr, 통일호가 103km/hr, 화물열차가 55km/hr인 것과 각 열차 통과시의 진동레벨을 비교할 때, 열차의 속도에 선형적으로 비례하여 진동수준이 증가한다고 가정하면, 열차들이 동일 속도로 통과시 화물열차의 진동레벨이 가장 높고, 무궁화호와 통일호가 비슷한 수준이며, 새마을호가 가장 낮을 것이라고 추정된다.

3.2 거리감쇠

(1) 차종별 비교

차종별로 배 거리에 따른 평균적인 진동레벨의 거리감쇠는 Fig. 2와 Table 3에 나타낸 바와 같다.

무궁화, 통일, 화물차가 통과할 때 5~10m거리에서의 평균진동감쇠량은 각각 7.2, 7.2, 6.8dB(V)로 비슷한 수준이었으나, 새마을호가 통과할 때는 6.2dB(V)로 다른 열차가 통과할 때보다 낮은 수준이었다. 10~20m거리에서도 새마을호가 통과할 때 평균진동감쇠량이 4.6dB(V)로 다른 열차가 통과할 때보다 낮은 수준이었고, 화물열차가 통과할 때 평균진동감쇠량이 4.2dB(V)로 낮게 나타난 것은 매질표면이 콘크리트일때에 측정된 화물열차 1대의 거리에 따른 진동감쇠량이 1.7dB(V)로 매우 작기 때문이다. 화물열차 통과시에 거리감쇠량이 예외적으로 낮게 나타난 이유는 정확히 알 수는 없으나 측정시 암진동원은 없었고, 열차가 30량으로 편성되어 매우 길며, 통과속도가 42km/hr로 비교적 저속이었기 때문에 열차진동이 측정지점에 오래동안 공급되는 상태에서의 중복반사현상이 원인이 아닌가 생각된다. 진동의 거리감쇠는 토질의 내부감쇠에 의해 지수적으로 감쇠하나 지반의 토질구성에 의한 중복반사, 공진 또는 기타 진동원의 암진동에 의해 지수적으로 감쇠하지 않는 경우도 있다⁽⁶⁾.

거리에 따른 거리감쇠량은 5~10m거리에서 6.2~7.2dB(V), 10~20m에서 4.2~6.1dB(V)로 나타나 철도로부터 가까운 거리에서 진동이 급격히 감쇠하고, 거리가 멀어짐에 따라 감쇠가 완만해지는 경향을 나타냈다. 일반적으로 철도진동의 실측감쇠량은 철도로부터 50m정도의 범위 내에서 배거리가 될 때 -3~-6dB(V) 정도⁽⁶⁾이고, 일본의 재래철도

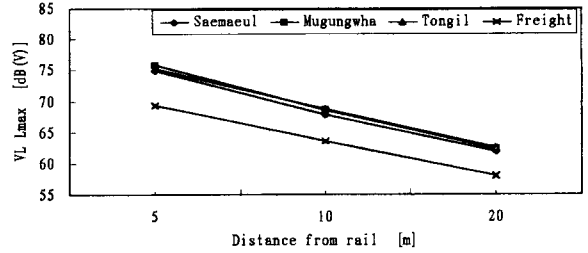


Fig. 2 Attenuation by distance of railroad vibration according to kinds of train.

Table 3 Attenuation amount by distance of railroad vibration [unit : dB(V)]

Kinds of train	Surface of ground	5~10m	10~20m	No. of sample
Saemaeul	Asphalt	5.7	3.1	7(5)
	Concrete	4.7	5.7	12(3)
	Soil	8.2	4.9	35
	Mean	6.2	4.6	
Mugunghwa	Asphalt	8.4	-	9
	Concrete	5.5	6.6	14(2)
	Soil	7.8	5.5	42
	Mean	7.2	6.1	
Tongil	Asphalt	7.2	5.1	5(3)
	Concrete	7.0	6.5	13(4)
	Soil	7.3	5.1	15
	Mean	7.2	5.5	
Freight	Asphalt	4.6	5.4	5(2)
	Concrete	9.7	1.7	1
	Soil	5.9	5.5	11
	Mean	6.8	4.2	

진동의 측정결과⁽⁵⁾에서 배거리 감쇠정도가 5.1dB(V)였던 것에 비추어 보면 이번 측정에서 나타난 5~10m거리에서 진동감쇠량은 매우 큰 것이나, 여러 실측조사 결과들에서도 그 이상의 거리감쇠량도 많이 나타나고 있다. 5~10m거리에서의 철도진동의 감쇠가 표면파의 배거리 감쇠량인 3dB(V)보다는 실체파의 배거리 감쇠량인 6dB(V)⁽⁶⁾에 근접되어 있는 반면, 10~20m에서는 실체파와 표면파의 거리감쇠가 함께 나타나는 것으로 나타났다.

(2) 매질별 비교

열차의 주행에 의하여 발생되어 주변 지반으로 전파되는 진동은 선로 구조물, 기초, 지반, 건물 등의 여러 요인의 영향을 받는다. 여기서 지반요인으로는 지질 조건, 흙의 물리적 특성, 국소구조 등을 말한

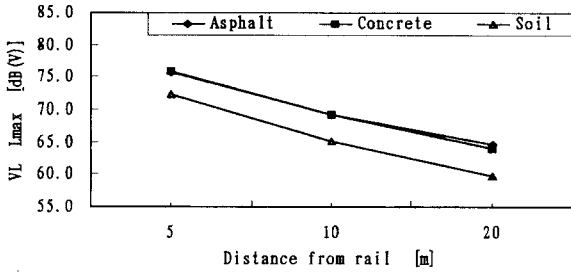


Fig. 3 Attenuation by distance of railroad vibration according to ground surface.

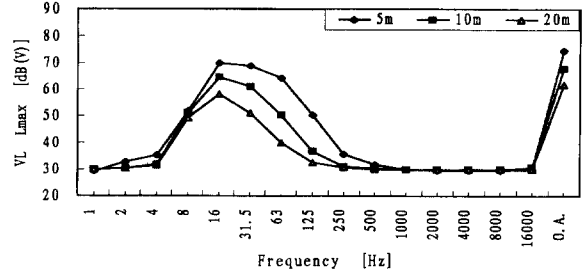


Fig. 4 Frequency characteristics by distance of railroad vibration.

다⁽⁷⁾.

매질과 배거리에 따라 평균적인 진동레벨을 Fig 3에 나타내었다. 거리에 따른 평균적 거리감쇠량은 5~10m 거리에서 6.5~7.3dB(V), 10~20m에서 4.5~5.3dB(V)로 나타나 철도로부터 가까운 거리에서 진동이 급격히 감쇠하고, 거리가 멀어짐에 따라 감쇠가 완만해지는 경향을 나타냈다.

평균적인 진동감쇠량은 매질이 아스팔트일 때 5~10m에서 6.5dB(V), 10~20m에서 4.5dB(V)로 나타났고, 콘크리트일 때는 각각 6.7dB(V), 5.1dB(V)로, 흙일 때는 각각 7.0dB(V), 5.3dB(V)로 나타났다. 진동의 거리감쇠량은 흙에서 가장 높고, 그 다음이 콘크리트, 아스팔트 순으로 높았으나 그 차이는 1dB(V)이하로 크지 않았다. 매질에 따른 거리감쇠량은 매질이 사력일 때 3dB(V), 점토 5dB(V), 실트(silt) 5dB(V), 롬(loam) 5dB(V), 암반 7dB(V)이고, 사력은 표면과의 감쇠, 점토와 롬은 표면과와 실체과의 감쇠, 암반은 실체과의 감쇠에 의한다⁽⁶⁾고 볼 때 이번조사에서는 매질이 지반의 포장상태만으로 구분되었기 때문에 매질간의 거리감쇠량의 차이가 적게 나타난 것으로 생각되고, 실제의 매질별 거리에 따른 진동감쇠량을 보면 5~10m에서는 암반의 실체과 거리감쇠량에 가깝고, 거리가 멀어지면서 좀더 밀도가 낮은 지반에서의 표면과와 실체과의 감쇠양으로 근접하는 것으로 나타났다. 이는 철도가까지의 매질이 실제로 밀도가 큰 지반으로 구성되었다고 보기보다는 철로변의 매질이 철도진동의 전달에 의하여 다져졌기 때문으로도 생각될 수 있다.

3.3 주파수

(1) 거리별 주파수 변화

전체차중에 대한 철도로부터 거리별 진동의 주파수 구성을 1/1옥타브밴드로 분석하면 Fig. 4와 같다. 이 그림에 사용된 자료수는 5m 지점 82개, 10m 85

개, 20m 76개 이다.

매질과 열차의 종류에 따라 주파수특성 및 감쇠가 다를 것이나, 측정자료의 개수가 매질별 차종별로 편차가 심하여 철도진동의 전체적인 경향만을 파악하고자 주파수대역을 거리별로 산술평균한 결과, 주파수범위는 대략 2~500Hz이고, 최고 진동이 발생하는 주파수는 16Hz이며, 철도진동의 주류를 이루는 주파수는 16Hz 이상의 대역으로 나타났다. 거리가 멀어짐에 따라 주파수의 범위가 좁아지고, 16Hz를 중심으로 대칭을 이루어 가고 있어, 진동의 감쇠가 이 주파수 이상의 대역에서 큰 것으로 나타났다. 고주파일수록 거리에 따른 에너지 손실이 크기 때문에 거리감쇠 정도가 크다는 연구결과들과 일치한다. 이러한 결과는 김석홍등⁽⁴⁾이 경부선을 대상으로한 철도진동 조사에서 열차의 종류에 관계없이 16Hz, 50Hz에서 피크값을 보이고, 진동의 거리감쇠량도 이들 주파수에서 특히 큰 값을 나타냈다는 결과와 거의 일치하는 것으로 판단된다.

(2) 매질별 주파수 구성

모든 차종에서 매질이 흙일 경우 철도진동을 구성하는 주파수대역이 콘크리트나 아스팔트에 비해 넓고, 비교적 좌우대칭형을 이루고 있었다. 매질종류에 따른 철도로부터 5m지점의 전체열차의 진동의 평균 주파수구성은 Fig 5에 나타난 바와 같다. 이 그래프의 작성에 사용된 자료수는 아스팔트가 5개, 콘크리트가 16개, 흙이 61개 었다.

철도진동을 구성하는 중심주파수는 16~31.5Hz이었으며, 매질이 콘크리트와 흙일 때에는 16Hz이상의 대역의 비중이 크기 때문에 중심주파수가 31.5Hz에서 나타나는 경우도 있는 것으로 추정할 수 있다. 주파수별 진동레벨과 Fig. 3의 진동레벨과 차이는 5m에서 녹취된 진동신호자료가 작았기 때문이다.

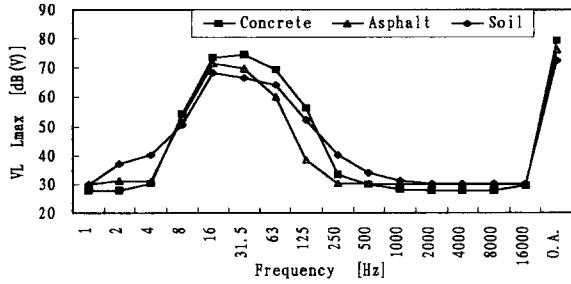


Fig. 5 Frequency characteristics by ground surface of railroad vibration (at 5m).

3.4 시간변화

열차가 통과할 때 철도변 5m에서의 시간에 따른 진동의 크기를 보면 그림 6과 같다.

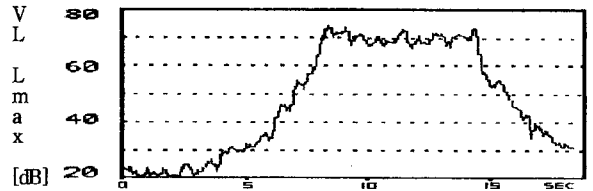
철도진동의 시간적 변화를 보면 열차가 측정지점에 접근할 때 진동레벨이 빠른 속도로 올라가고, 열차가 측정지점을 통과하는 동안 유지되다가 통과한 후에는 빠른 속도로 떨어지고 있다.

기관차와 객차가 측정지점을 통과할 때 피크치들이 나타나고, 객차보다는 기관차가 통과할 때 다소 큰 진동이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 경부선을 대상으로 한 조사⁽¹⁾에서 철도진동은 열차바퀴의 간격 및 속도 등에 따라 주기적 성분의 변동이 뚜렷이 나타나고 있으며, 기관차가 통과할 때 피크값을 나타냈다는 결과와 일치하는 것이다. 진동 노출시간이라 볼 수 있는 열차의 통과시간은 새마을, 무궁화, 통일호가 약 5~12초였고, 화물열차의 경우 약 23초까지 나타났다. Fig. 6의 매질은 모두 흙이었으며, L_{max} 값은 (a)에서부터 순서대로 71.2, 72.9, 76.3, 75.2, 71.6dB(V)였다.

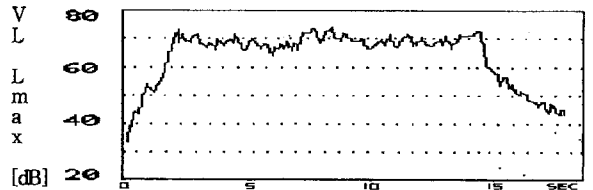
3.5 영향범위

진동원으로부터 매질을 통하여 전달된 진동은 건물 내부의 고유진동과 합성되어 사람이 진동을 느끼거나, 집이 흔들린다, 벽에 금이 간다, 문의 개폐가 곤란해진다는 등의 문제를 일으킬 수 있다⁽⁷⁾. 일반적으로 진동의 영향은 피해 대상을 기준으로 크게 분류하면 구조물의 미관적, 구조적 손상, 기기 및 품질의 장애, 사람 및 가축의 심리·생리 및 생산성의 장애로 분류할 수 있다. 그러나 환경진동의 범위에서는 수면방해 이외의 생리적 영향이 나타나는 않는다는 것이 여러 조사의 결과이다⁽⁸⁾.

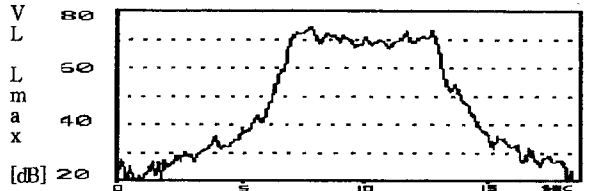
진동의 영향범위 계산은 진동의 크기에 따라 생활 주변에서 나타나는 피해 손상의 상황⁽⁹⁾과 진동이 수면에 미치는 영향⁽⁸⁾을 참고로하여, 인체가 약간 느끼



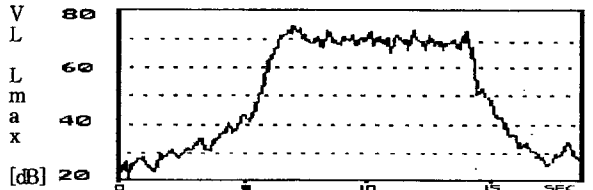
(a) Train:Saemaeul, Locomotives/trains:2/6, Speed: 105km/hr, Passing period:6.1sec



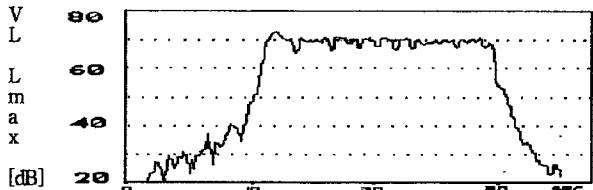
(b) Train:Saemaeul, Locomotives/trains:4/12, Speed: 10km/hr, Passing period:12.4sec



(c) Train:Saemaeul, Locomotives/trains:1/7, Speed: 107km/hr, Passing period:5.6sec



(d) Train:Saemaeul, Locomotives/trains:1/10, Speed: 108km/hr, Passing period:7.2sec



(e) Train:Saemaeul, Locomotives/trains:1/24, Speed: 105km/hr, Passing period:22.5sec

Fig. 6 Time history of variation level during pass-by of locomotive handled trains at 5m.

기 시작하는 진동가속도레벨 60dB(V), 인체가 크게 느끼는 70dB(V), 건물이 흔들리는 80dB(V)를 기준으로 하였다.

진동의 영향은 진동가속도레벨을 기준으로 구분하

고 있으나, 소음진동공정시험법상의 진동은 진동레벨로 규정되어 있고, 환경진동의 측정 주파수 범위인 1~90Hz에서 픽업의 접지조건의 영향 등을 포함한 영향이 적은 정확한 지시치를 얻기 위하여 진동레벨을 측정하는 것이 바람직⁽⁹⁾하여 본 조사시에는 진동레벨로 측정을 하였으므로 이들을 비교하기 위하여 진동가속도레벨에 주파수별 인체감각량을 보정하여 다음 식을 이용하여 환산하였다.

진동가속도레벨 (VAL) = $20 \log(a/a_0)$ 이고,

여기서, a 는 측정코자 하는 진동가속도실효치 (m/sec^2), a_0 는 기준진동의 가속도실효치 ($10 \sim 5m/sec^2$)이다.

VAL의 주파수 범위는 1~90Hz이고, 그 사이의 기준 특성은 평탄하다.

진동가속도레벨에 인체감각보정을 한 진동레벨을 VL이라 하면⁽¹⁰⁾,

진동레벨 (VL) = $20 \log(a/a_0)$ 이고,

수직진동 (dB(V))에 대한 보정가속도레벨은 주파수별로⁽²⁾

1~4 Hz 일 때 $a_0 = 2 \times 10^{-5} \cdot f^{-1/2}$,

4~8 Hz 일 때 $a_0 = 10^{-5}$,

8~90Hz 일 때 $a_0 = 0.125 \times 10^{-5} \cdot f^{-1}$ 이다.

실제의 환산에 있어서는 1/1옥타브밴드의 중심주파수별 보정가속도레벨⁽¹⁰⁾을 이용하였다.

진동가속도레벨 60, 70, 80dB(V)는 진동레벨로 환산한 결과 각각 56, 66, 76dB(V)로 나타났다. 영향범위는 도로변 5m의 진동레벨의 평균, 평균+1S.D., 평균+2S.D. (S.D.=표준편차)이 각각 이들 진

동레벨까지 전달될 수 있는 거리로 정의하였다.

대부분의 충격에너지는 차륜과 레일의 비평탄성에 의해 발생하므로 진동의 크기는 열차속도에 비례하여 증가한다는 사실이 여러 연구에 의해 밝혀졌다. 열차길어도 진동의 크기에 영향을 준다. 즉, 기관차만 주행할 때는 점하중(point source)으로 간주할 수 있으나, 80량의 화차가 주행할 때는 선하중(line source)으로 작용한다⁽¹¹⁾. 따라서 측정된 열차의 화차가 모두 30대 이하였으므로 점하중으로 작용한 것으로 생각하여 점진동의 예측에 사용하는 진동의 기하감쇠만을 고려한 아래의 진동레벨 예측식⁽⁶⁾을 사용하였다. 거리감쇠량은 철도종류별로 5~20m의 평균 거리감쇠량을 사용하였다.

$$Lvr = Lvr_0 - 20 \log(r/r_0)^n$$

여기서, Lvr : 진동원으로부터 r (m) 지점의 진동레벨 [dB(V)]

Lvr_0 : 진동원으로부터 r_0 (m) 지점의 진동레벨 [dB(V)]

n : 기하감쇠지수로서, 여기서는 5m지점의 진동레벨을 기준으로 10m, 20m지점의 평균진동레벨을 사용, 회기식으로 추정된 경험치

차종별로 철도변 5m지점의 최대진동레벨의 평균, 평균+1S.D., 평균+2S.D. (S.D.=표준편차)가 각각 진동레벨 (VL) 76dB(V), 66dB(V), 56dB(V)까지 전달될 수 있는 거리를 예측한 결과는 Table 4와 같다. 평균값은 Table 2에서 사용된 매질별 평균값을 다시 평균한 값이고, 표준편차는 차종별로 5m거리에서 측정된 전체 진동레벨의 표준편차값이다.

Table 4 Propagation distance of railroad vibration by distance attenuation

[unit : m]

Trains VL at 5m from railroad		Vibration level		
		76 dB(V)	66 dB(V)	56 dB(V)
Saemaoul	Mean (76.0dB)	5	18	65
	Mean+1S.D.(79.6dB)	8	29	103
	Mean+2S.D.(83.2dB)	13	46	164
Mugunghwa	Mean (76.7dB)	5	15	43
	Mean+1S.D.(79.9dB)	8	21	60
	Mean+2S.D.(83.1dB)	11	30	84
Tongil	Mean (75.9dB)	5	15	44
	Mean+1S.D.(79.9dB)	8	23	68
	Mean+2S.D.(83.9dB)	12	35	105
Freight	Mean (70.0dB)	2	8	29
	Mean+1S.D.(72.8dB)	3	12	42
	Mean+2S.D.(75.6dB)	5	17	59

S.D. : Standard Deviation

진동레벨 76dB(V)가 나타나는 거리는 새마을, 무궁화, 통일호의 경우 5m, 화물열차는 2m로 예측되었다. 66dB(V)의 경우 새마을, 무궁화, 통일호는 15~18m, 화물열차는 약 8m로 예측되었고, 56dB(V)의 경우 새마을, 무궁화, 통일호는 43~65m, 화물열차는 약 29m로 예측되었다. 따라서 평균적으로 보면 약 60m 거리를 벗어나면 진동이 그리 심한 편은 아니라고 할 수 있다. 그러나 평균+1S. D. 인 경우, 76dB(V)이 전달되는 거리는 차종에 따라 약 3~8m, 66dB(V)은 12~29m, 56dB(V)은 42~103m로 나타났고, 평균+2S. D. 인 경우 76dB(V)이 전달되는 거리는 차종에 따라 약 5~13m, 66dB(V)은 17~46m, 56dB(V)은 59~164m로 나타나고 있어 철도변에서 상당히 떨어진 거리까지도 사람들이 매우 높은 진동을 느낄 수 있는 사례가 발생할 수 있는 것으로 생각된다.

진동저감대책 측면에서 생각하면 진원대책과 병행하여 철도변에서 약 10m거리까지는 건물이 흔들릴 정도의 진동이 다수 나타나므로 진원대책과 병행하여 철도로부터 10m 이내의 주택에 대해서 가옥 이전, 방음·방진대책, 정기점검을, 약 20m까지는 인체로 크게 느낄 정도의 진동이 다수 나타나므로 20m 이내의 주택은 방음·방진대책을, 약 60m정도까지는 인체로 약간 느낄 정도의 진동이 다수 나타나므로 60m이내의 주택은 심리효과를 얻기 위한 방음대책 등이 고려될 수 있을 것이다.

4. 결 론

경부선 철도의 12개 구간에서 철도로부터의 배거리로 3개지점(5, 10, 20m)에서 총 169대의 열차통과시에 측정된 진동레벨과 주파수를 종합적으로 분석한 결과 경부선 철도진동의 특성과 영향범위는 다음과 같이 나타났다.

(1) 철도로부터 20m떨어진 지점에서 인체가 약간 느낄 수 있는 진동가속도레벨 60dB(V)을 초과하거나 근접하고 있어 이 20m거리내에 거주하는 주민들의 다수가 심한 철도진동의 영향을 받으리라고 생각된다.

(2) 철도진동의 평균거리감쇠량은 5~10m거리에서 6.2~7.2dB(V), 10~20m에서 4.2~6.1dB(V)로

나타나 철도로부터 가까운 거리에서 진동이 급격히 감쇠하고, 거리가 멀어짐에 따라 감쇠가 완만해지는 경향을 나타냈고, 주파수대역은 2~500Hz이고, 최고 진동레벨을 나타내는 주파수는 열차종류나 매질 종류에 관계없이 16Hz로 나타났다.

(3) 진동레벨 56dB(V)가 나타나는 거리는 5m진동의 평균진동레벨을 적용하면 새마을, 무궁화, 통일호는 43~65m, 화물열차는 약 29m로 예측되어 평균적으로 보면 약 60m 거리를 벗어나면 진동이 그리 심한 편은 아니라고 할 수 있으나, 평균+1S. D. 를 적용하면 42~103m, 평균+2S. D. 를 적용하면 56dB(V)은 59~164m로 예측되어 철도변에서 상당히 떨어진 거리까지도 사람들이 매우 높은 진동을 느낄 수 있는 사례가 발생할 수 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) 김석홍, 이성춘, 김준호, 1993, “경부선 철도 소음진동의 진파특성에 관한 기초 연구”, 한국소음진동공학회지 제3권 제1호, pp. 47~55.
- (2) 한국소음진동공학회, 소음진동편람, 1995, pp. 229~230, p. 354.
- (3) 환경부 중앙환경분쟁조정위원회, 진동으로 인한 피해의 인과관계 검토기준 및 피해액 산정방법에 관한 연구, 1996, pp. 1~3.
- (4) 環境技術研究協會, 1987, 環境アセスメントハンドブック(上卷), pp. 493~495.
- (5) 青木一郎, 宮本俊二, 1986, “在來鐵道振動の測定結果について-鐵道振動の豫測と影響に關する研究(第1報)”, 東京都環境科學研究所年報, p. 171.
- (6) 田正純, 1986, 公害振動の豫測手法, 井上書院, pp. 130~135.
- (7) 壓司 光, 山本剛夫, 鼻山直降, 衛生工學ハンドブック 騒音・振動編, 1982, 朝倉書店, p. 515.
- (8) 中野有朋, 環境振動, 1992, 技術書院, p. 130.
- (9) 日本 東京都環境保全局, 1994, 建設作業振動防止の手引き, p. 273.
- (10) 정일록, 소음진동학, 1984, 신광출판사, p. 236.
- (11) 목영진, 1993, “열차주행에 의한 지반진동의 계측 및 분석”, 한국지반공학회 지반진동위원회 학술발표집 제2집, pp. 26~29.