

# 장대레일의 진동저감효과에 관한 연구

## Vibration Reduction Effect of the Continuously Welded Rail

황선근\*  
Hwang, Seon-Keun

엄기영\*\*  
Eum, Ki-Young

고태훈\*\*\*  
Koh, Tae-Hoon

---

### ABSTRACT

In this study, field measurements and analysis of vibration before and after the installation of continuously welded rail were performed. The vibration data obtained at the same locations before and after were analyzed to find out the characteristics of vibration level.

The component of train-induced impulsive vibration at the rail joints varies depending upon the distance from the source, however mostly low frequency vibration which propagates long distance causes the problems of vibration. Even though it is expected that there may be certain degree of discrepancy in the amount of reduction in vibration depending upon site ground conditions, it was found that installation of continuously welded rail shows reduction in train-induced vibration.

---

### 1. 서론

진동 대책을 시행하고자 하는 개소 부근에 레일 이음매가 있는 경우, 레일 이음매가 철도연변 진동에 미치는 영향의 크기에 대해서 사전에 검토할 필요가 있다. 열차가 레일 이음매부를 통과하는 경우 발생하는 충격성 진동성분은 지반으로 전파되면서 거리감쇠가 충분하지 않는 위치에서의 환경진동문제를 야기시킬 수 있다. 본 연구에서는 경인선(○○-○○)구간에서의 장대레일설치 시공 전/후의 진동을 측정 비교분석하여 방진 효과를 분석하였다. 장대레일은 기존 이음매구간에서 발생하는 충격성 진동성분을 감소시킴으로써 진동저감 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 ○○역의 이음매구간과 장대레일 설치 후 동일한 측정위치에서 진동 측정을 수행함으로써 비교적 신뢰성 높은 진동저감효과를 파악하였다.

### 2. 현장 진동측정

#### 2.1 측정환경

- 측정지역 : 경인선구간 ○○ - ○○역 2km지점
- 측정위치 : 레일, PC침목, 궤도중심으로부터 3.1, 11, 17, 25m
- 측정방향 : 수직방향
- 가속도계 : Dytran 3110A1, B&K 4379, WILCOXON 731A, PCB 393B12
- 기록계 : SONY 8-ch DAT recorder
- 주파수분석기 : SD390, B&K pulse
- 측정주파수대역 : 레일 및 침목(0~2kHz), 3.2m/11m지점(0~400Hz), 17m/25m지점(0~100Hz)
- 측정레벨 : 진동가속도레벨(VAL), 진동레벨(VL), 가속도시간이력

---

\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원

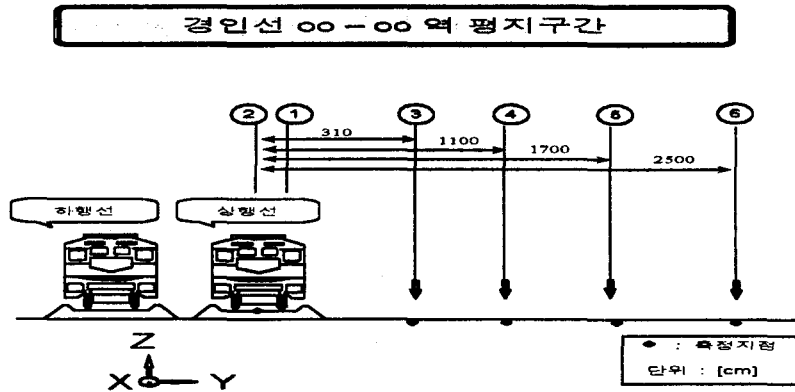


그림 3 현장진동측정위치

○ 표 2 압진동(dB)

궤도중심으로부터 장대레일 시공	3.2m	25m
전	60.1	38.4
후	52.9	55.2

2.2 측정지역 전경

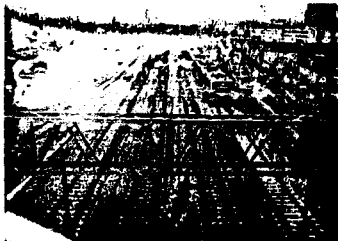


그림 2 〇〇역 전경



그림 3 진동측정위치(침목)

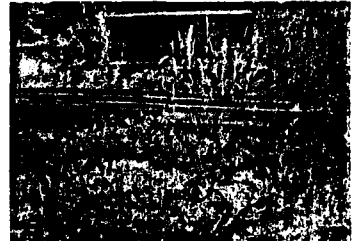


그림 4 진동측정위치(25m지점)

2.3 진동측정/분석 시스템

열차에서 발생하는 진동이 궤도지구조물을 통해 지반으로 전파되는 양상 및 특성을 파악하기 위해서는 현장에서 진동특성을 분석하기보다는 가능한 현장에서 동시녹음을 수행한 후 충분한 시간을 두고 분석을 수행하는 것이 바람직하다. 현장에서 측정된 열차의 종류는 전기동차, 화물열차이다. 선정된 기본차종에 대해 수진점 관점에서 직접적인 문제를 일으키는 주된 성분인 수직방향(Z)을 각각 6회, 4회 측정을 수행하였다.

열차진입 5초 전부터 열차통과 5초 후까지의 진동신호를 기록계를 이용하여 전파되는 진동신호를 기록하였으며, 각 측정위치별 설치된 센서의 종류와 감도(sensitivity)등은 육성으로 녹음/기록하였다. 또한 현장측정을 수행하기 전에 과부하(Over load)가 걸리지 않을 때까지 충분히 열차를 통과시키면서 측정장비의 입력 범위를 설정하였다. 현장진동 측정시스템 구성도를 그림 5에 나타내었다.

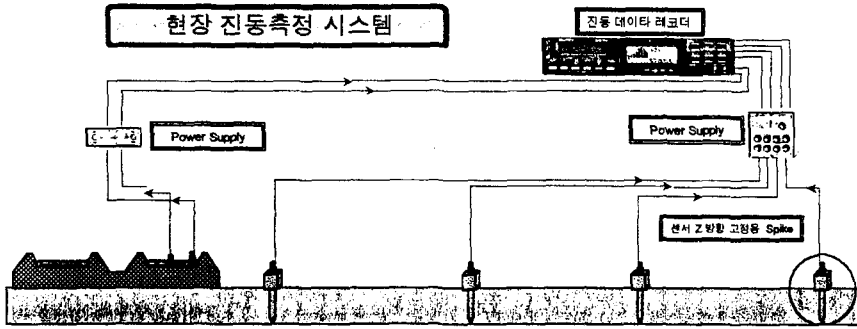


그림 5. 현장진동측정 시스템

본 연구에서는 일반적으로 이용되고 있는 주파수분석방법인 고속푸리에 전달알고리즘(Fast Fourier Transform Algorithm)을 이용하여 진동분석을 수행하였으며, 진동보정 및 진동레벨평가를 위해 프로그램을 이용하여 1/3 옥타브 밴드로 환산하여 진동특성평가를 수행하였다. 진동가속도레벨(Vibration Acceleration Level : VAL)은 진동의 물리량을 dB로 나타낸 것으로 아래 식과 같다.

$$VAL = 20 \log \left( \frac{Arms}{Ar} \right) dB$$

$Ar = 10^{-5} m/sec^2$  : 진동가속도 레벨의 기준치

$Arms$  : 대상진동의 가속도 실효치

진동레벨(Vibration Level : VL)은 진동가속도레벨계의 감각보정을 통하여 측정된 값을 인체의 감각량으로 환산된 것이며 그 단위의 표기는 수직 및 수평 감각보정후 dB(V)로 나타내었다.

$$VL = VAL(\text{진동가속도 레벨}) + W_n(\text{대역별보정치})$$

여기서,  $W_n$ 은 인체감각에 따른 보정값으로, 국내에는 철도진동 허용기준과 인체감각보정에 관한 규정은 아직까지는 없으므로 ISO R-2631 인체감각보정을 적용하였다.

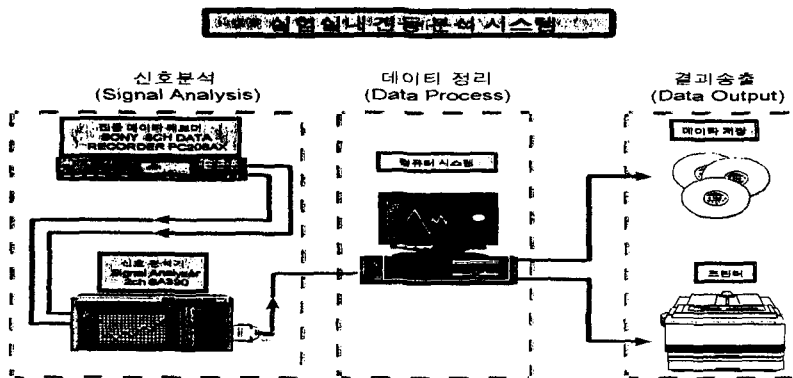


그림 6. 실험실내 진동분석 시스템

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 장대레일 설치 전/후 진동저감효과

전기동차(경인선)구간의 장대레일 설치 전/후 진동 저감효과를 평가하기 위해 진동측정을 수행하였다. 장

대레일 시공전과 시공후 같은 위치에서 거리별 진동측정을 실시하여 진동수준의 변화를 확인하였다. 전기동차와 화물열차의 레일이음매 구간 통과 시 충격성 진동이 발생되며 이러한 충격성 진동은 빛의 백색잡음처럼 저주파수에서 고주파수까지 평탄한 주파수 대역을 가지며 지반을 가진하여 주변으로 전파하게 된다. 지반전파시 이러한 충격성 진동성분은 거리에 따라 전파하는 특성이 다르게 되며 일반적으로 원거리지반까지 전파 특성을 갖는 저주파수가 진동문제를 야기시킨다.

이러한 충격성 진동의 유무에 따라 철도주변의 진동수준은 다르게 나타날 것으로 판단되며 지반의 조건에 따라 다소 차이가 예상되지만 장대레일의 정량적인 개선(진동저감)효과를 확인하고자 한다.

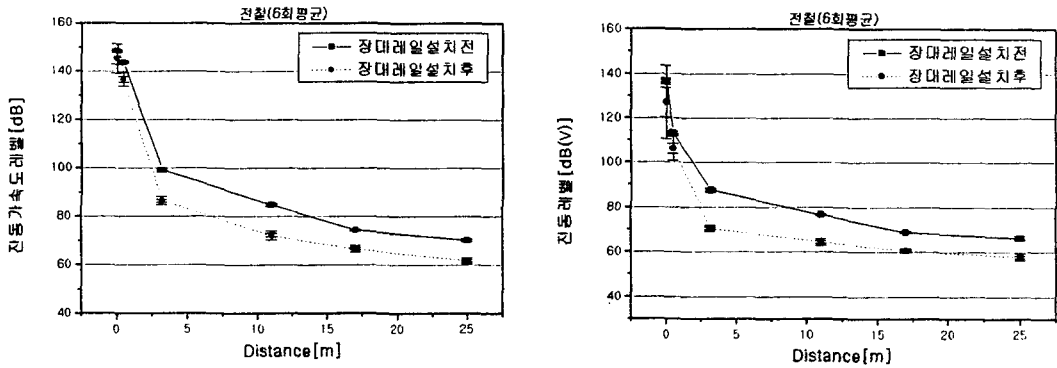


그림 7 전기동차구간에서의 진동가속도레벨과 진동레벨 (6회 평균)

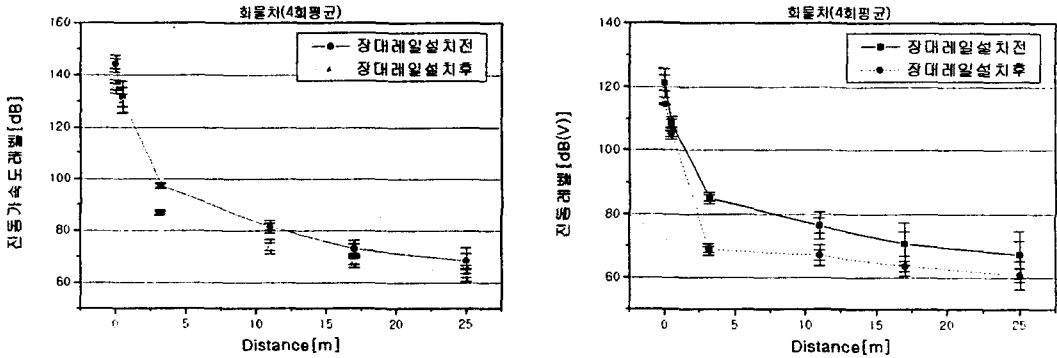


그림 8 화물열차구간에서의 진동가속도레벨과 진동레벨 (4회 평균)

### 3.2 차종별 진동특성

측정위치에 따른 차종별 진동측정 결과를 표 2와 3에 나타내었다.

표 2 장대레일 설치 전/후 진동치 비교(전기동차, 6회 평균)

위치	진동수준	장대레일 설치전(이음매)		장대레일 설치후		저감량(전-후)	
		진동가속도 레벨, dB	진동레벨 dB(V)	진동가속도 레벨, dB	진동레벨 dB(V)	진동가속도 레벨, dB	진동레벨 dB(V)
레일(ch1)		148.7	136.5	145.4	127.0	3.3	9.5
침목(ch2)		143.8	113.4	136.7	106.3	7.1	7.1
3.1m(ch3)		99.2	87.7	86.6	70.5	12.6	17.2
11m(ch4)		84.8	76.7	72.3	64.4	12.5	12.3
17m(ch5)		74.5	68.9	66.8	60.6	7.7	8.3
25m(ch6)		70.3	66.2	61.9	57.8	8.4	8.4

표 3 장대레일 설치 전/후 진동치 비교(화물열차, 4회 평균)

진동수준 위치	장대레일 설치전(이음매)		장대레일 설치후		저감량(전-후)	
	진동가속도 레벨, dB	진동레벨 dB(V)	진동가속 도레벨, dB	진동레벨 dB(V)	진동가속 도레벨, dB	진동레벨 dB(V)
레일(ch1)	144.4	121.3	135.6	114.6	8.8	6.7
침목(ch2)	131.6	108.6	130.3	105.6	1.3	3
3.1m(ch3)	97.3	85.1	86.9	68.9	10.4	16.2
11m(ch4)	81.5	76.4	73.8	67.1	7.7	9.3
17m(ch5)	73.0	70.7	68.0	63.7	5	7
25m(ch6)	68.5	67.2	63.5	60.9	5	6.3

장대레일 설치후 위치에 따라 진동저감량은 다소 차이가 있지만 거리 3.1m지점에서 전기동차 통과시 99.2dB에서 86.6dB로 12.6dB저감되었고, 화물열차 통과시 97.3dB에서 86.9dB로 10.4dB 저감되었다. 거리 17m에서 전기동차의 경우 7.7dB, 화물열차의 경우는 이보다 약 3dB정도 낮은 5dB정도 감소되었다. 거리 25m지점의 경우 전기동차 통과시 70.3dB에서 61.9dB로 8.4dB저감되었고 화물열차 통과시 68.5dB에서 63.5dB로 5dB정도 저감되었다. 콘크리트 침목에서는 전기동차통과시 7.1dB 저감되었고 화물열차 통과시 1.3dB의 진동저감이 되어 전기동차 통과시 진동저감량이 크나 레일에서는 이와 반대의 경향인 전기동차통과시 3.3dB 진동저감이 되었고 화물열차 통과시 8.8dB의 진동저감이 되어 화물열차 통과시 진동저감량이 큼을 볼 수 있어 화물열차와 전기동차에서 발생하는 진동성분이 다름을 알 수 있다.

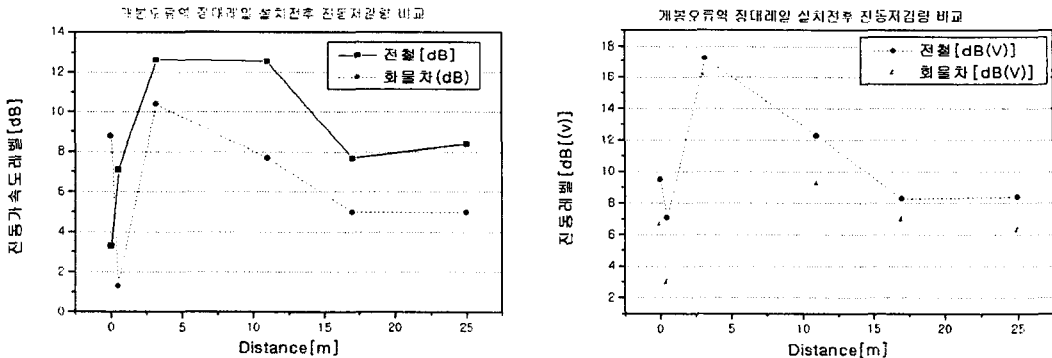


그림 9 장대레일 설치 전/후 진동저감량 (dB, dBV)

### 3.3 주파수특성

주파수 분석결과 레일과 콘크리트 침목에서는 0~2kHz, 3.1m와 11m지점에서는 0~400Hz, 17m와 25m지점은 0~100Hz의 주파수범위에 대부분의 진동에너지가 분포하며 탁월주파수는 거리가 멀어짐에 따라 장대레일 설치 전/후 거의 유사한 20~40Hz의 범위에서 측정되었다.

침목에서의 진동저감치는 전기동차통과시 7.1dB, 화물열차 통과시 1.3dB의 진동저감효과가 나타났으며 차량에 따른 진동저감치의 차이는 주파수성분의 차이로 100Hz이하, 400Hz이상의 주파수에서는 차중에 상관없이 진동이 저감되었으나 100~400Hz대역에서 화물열차 통과시 장대레일 설치후 진동이 증가되었음을 볼 수 있다.

장대레일설치 전/후 3.2m 지점은 전기동차통과시 12.6dB의 진동저감이 나타났으며 탁월주파수가 설치전 31.5Hz에서 설치 후 63Hz로 변화하였고 주파수별 저감량은 6.3Hz~40Hz의 대역에서 20dB이상의 진동저감성능을 보이고 있다. 화물열차 통과시 10.4dB의 진동저감이 나타났으며 탁월주파수는 설치 전 40Hz에서 설치 후 80Hz로 변화하였고 주파수별 저감량은 5Hz~40Hz의 대역에서 20dB이상의 진동저감성능을 보이고 있다.

25m지점은 100Hz이상의 진동주파수가 거의 나타나지 않고 장대레일 설치 후 진동치는 화물열차가 전기동차에 비해 2dB 정도 높게 나타났다. 전기동차 통과시 8~31.5Hz의 주파수대역에서 8~10dB 저감되었고 화물

열차 통과시 12.5Hz~63Hz 대역에서 2~5dB의 진동저감효과가 나타났다.

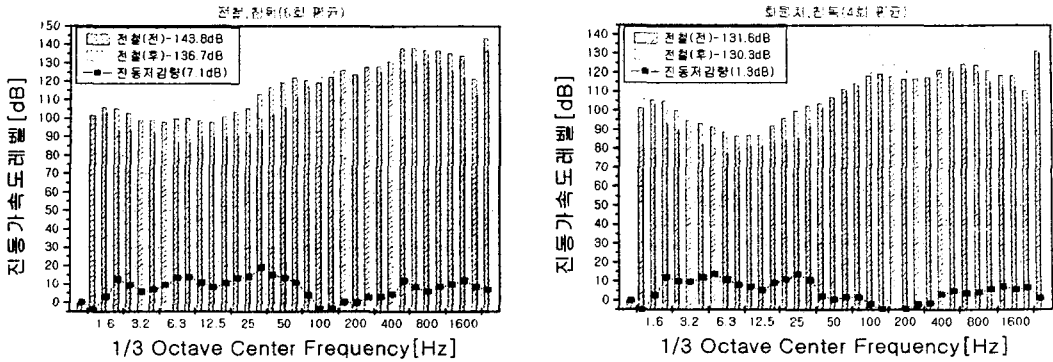


그림 10 침목에서의 1/3 옥타브분석 결과(전기동차, 화물열차)

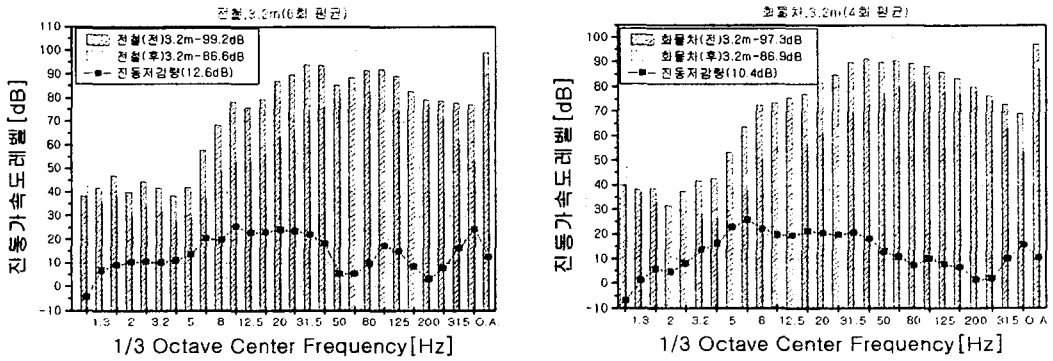


그림 11 3.1m지점에서의 1/3 옥타브분석 결과(전기동차, 화물열차)

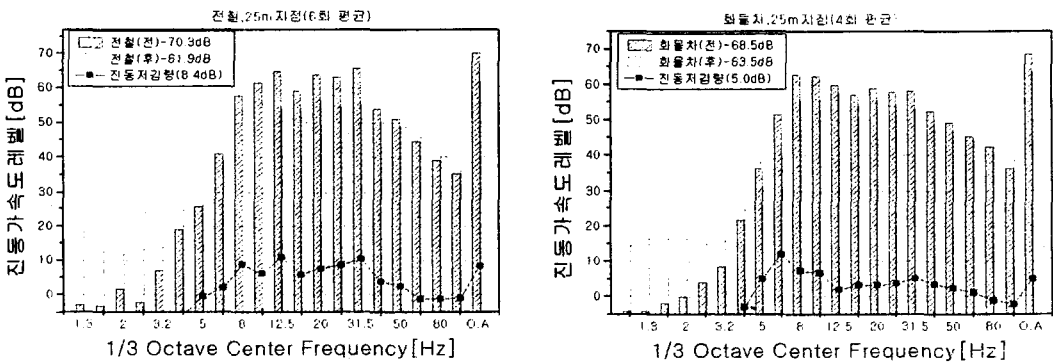


그림 12 25m지점에서의 1/3 옥타브분석 결과(전기동차, 화물열차)

#### 4. 결론

경인선(○-○)구간에서 장대레일 설치전 후 진동측정을 수행하였다. 측정위치는 레일과 침목에서 25m지점 까지 거리별로 장대레일 설치전 후 같은 위치에서 측정하여 비교하였다. 측정결과를 종합하면 다음과 같다.

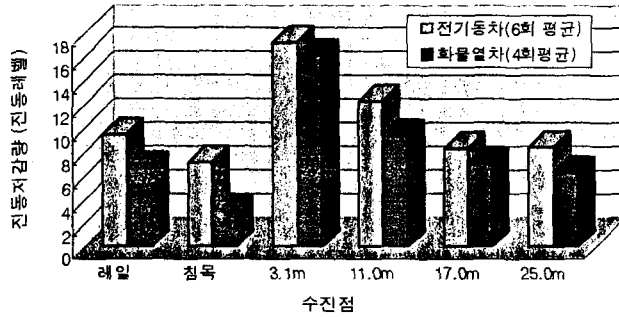


그림 13 장대레일의 진동저감효과(진동레벨)

- 측정지점 3.1m에서 전기동차통과시 레일이음매구간은 99.2dB에서 장대레일 설치후 86.6dB로 12.6dB의 진동이 저감되었고, 화물열차 통과시 97.3dB에서 86.9dB로 10.6dB 저감되어 평균 11.6dB의 진동저감효과가 있다.
- 레일로부터 25m 지점은 상기조건에서 전기동차의 경우 70.3dB에서 61.9dB로 8.4dB저감되었고 화물열차가 68.5dB에서 63.5dB로 5dB정도 저감되어 평균 6.7dB의 진동이 저감되었다.
- 시간이력 최대치로 진동저감량을 비교한 결과 25m 지점은 상기조건에서 전기동차의 경우 11.7gal(78.4dB)에서 4.4gal(70.0dB)로 62.4%(8.4dB) 저감되었고 화물열차의 경우 7.2gal(74.1dB)에서 4.4gal(70.0dB)로 39%(4.3dB)정도 저감되어 평균 51%(5.9dB)의 진동이 저감되었다.
- 전기동차와 화물열차의 진동저감량은 전기동차 통과시 평균 3dB 진동저감효과가 좋게 나타났으며 25m지점에서 타일주파수는 화물열차의 경우 10Hz근처, 전기동차의 경우 31.5Hz근처로 화물열차가 비교적 낮은 주파수의 진동원으로 나타났다.
- 레일이음매로부터 발생하는 진동이 현저하게 큰 경우, 레일 이음매를 대상으로 한 방진대책, 즉 장대레일을 시공함으로써 진동저감효과를 가져올 수 있으나 레일이음매 이외의 원인에 의해서도 진동이 크게 발생하는 경우에는 상기의 경우와는 진동저감효과가 달라질 수 있으므로 사전에 대상측정지점의 문제시되는 진동원을 명확히 조사 분석하여 적절한 방진대책을 세워야 한다.

### 참고문헌

1. 천병식, 오재웅(1993), "지반진동 영향과 대책", 건설연구사, pp.171-251
2. 横山秀史, 吉岡修(1997), "鐵道振動へのレール繼目部の影響評價手法", RTRI REPORT Vol. 11, No. 10
3. Hugh J. Saurenman, James T.Nelson, George P. Wilson(1982), "Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control", U.S. Department of Transportation, pp.4-1 - 4-88