

# 방진체결구/방진매트의 진동저감특성에 관한 연구

## A Study on the Vibration Reduction Characteristics of the Elastic Rail Fastener/Ballast Mat

엄기영\*                      황선근\*\*                      고태훈\*\*\*                      김정근\*\*\*\*  
Eum, Ki-Young   Hwang, Seon-Keun   Koh, Tae-Hoon   Kim, Jung-Keun

---

### ABSTRACT

Generally, countermeasures for the train-induced vibration are divided into the measures at the source, propagation path and receiving object. Among these measures the countermeasure at the source location is the most active and effective one in the field of railroad.

In this study, the effectiveness of each anti-vibration measures at the track(source location) such as elastic rail fastener, ballast mat were evaluated through the comparison of acceleration level, insertion loss at the installed locations of each measures. As result of field measurement of vibration at the railroad track supporting structures and on the ground nearby the structures, elastic rail fastener showed vibration reduction effect of 4.5~7.3dB on the concrete slab, 1.6~3.7dB on the ground with the train operation speed of 80km/hr. In the case of ballast mat, the vibration reduction effect at the concrete slab and on the ground were 11.9~13.3dB and 6.1~7.6dB, respectively.

---

### 1. 서론

철도 및 지하철의 대중화 및 고속화로 인해 발생하는 진동문제는 상황에 따라 필요한 현장계측과 정량적 분석을 통해서 적절한 진동저감 방안을 제시하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 진동원에서의 진동저감방안으로서 개발된 여러 형태의 방진방법 중 방진체결구와 방진매트에 대한 진동저감특성을 평가하고자 방진체결구를 시공한 장항선 ○○○교와 방진매트를 시공한 전라선 △△△교에서 진동측정 및 분석을 수행하였다.

### 2. 방진체결구/방진매트의 특성

#### 2.1 방진체결구

방진체결구는 체결 시스템 내에 방진패드(Resilient Pad)를 설치하여 도상으로 전달되는 진동을 감소하도록 고안된 체결구로 방진체결구의 방진효과는 근본적으로 방진패드의 동특성(동적강성도 및 감쇠특성)과 체결구의 설치간격에 좌우되며 방진패드의 동특성은 근본적으로 진동의 주파수특성 및 강도에 따라 변하므로 방진패드의 선정 시에는 관련된 동적실험을 통하여 실질적인 진동주파수 및 진동강도를 재현한 시험성과를 참조하는 것이 바람직하다. 또한 방진패드는 화학적 내구성, 진동하중의 반

---

\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 책임연구원, 정회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 주임연구원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 연구원

복작용에 대한 피로 내구성 등에 대한 실증적 시험성과를 고려하여 선정하는 것도 중요하게 된다.

## 2.2 방진매트

지하철이나 고가교구간에 적용되는 콘크리트 자갈도상궤도의 경우, 자갈도상에 의한 기본적인 진동저감에 추가적인 진동저감도 고려해야 하는 경우가 많다. 이와 같은 추가적인 방진을 위해 천연 고무, 네오프렌, 유리섬유, 패타이어, 폴리우레탄 등의 탄성소재가 널리 사용되고 있으나 현재는 공진주파수영역에서 증폭비율이 작고 방진영역에서는 진동감쇠효과가 큰 발포폴리우레탄제품이 주로 사용되고 있다. 이전의 방진매트는 방진보다는 자갈의 파쇄를 방지하는 목적으로 많이 사용되었기 때문에 지하철 구간과 같이 강성슬래브에는 효과가 있지만 지상 및 고가구간에는 효과가 경미한 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근에는 내구성 및 동특성이 향상되어 폭 넓게 이용되고 있다. 하지만 일반적으로 15~30Hz 이하의 저주파수 영역에서는 효과가 미미하며 매트 자체의 공진주파수 영역에서는 진동을 증폭시키기도 하므로 현장 진동특성에 부합하는 매트를 선정하는 것도 중요한 요소이다. 그림 1은 자갈도상 포설 전 교량상부슬래브에 방진매트를 시공하는 모습을 나타낸다.



그림 1 방진매트 시공전경

## 3. 진동저감특성

### 3.1 열차진동 측정/분석 시스템

본 연구에서는 방진방법별 진동저감효과를 신뢰성 있게 평가하기 위해서 그림 2에 보인 진동측정 시스템과 그림 3의 진동분석 시스템을 분리하여 설정하였다. 교량의 경우, 충격성 진동이 전파되어 상당히 넓은 주파수 범위를 갖고 교량을 가진시키므로 이에 적합하도록 1~1000 Hz의 범위를 감지할 수 있는 가속도계를 이용하였고 전파경로(지반) 진동이 전파되는 과정에서 고주파대역의 진동신호는 상당히 빠르게 감소되고 진동크기가 미약해지므로 진동주파수 범위가 1~200 Hz이면서 감도가 뛰어난 가속도계를 사용하여 측정을 수행하였다. 현장 측정을 수행하기 전에 측정장비에 과부하(overload)가 걸리지 않을 때까지 충분히 열차를 통과시키면서 측정장비의 입력범위를 설정하였으며 열차진입 5초 전부터 열차통과 5초 후까지 전파되는 진동신호를 기록계를 이용하여 기록하였다.

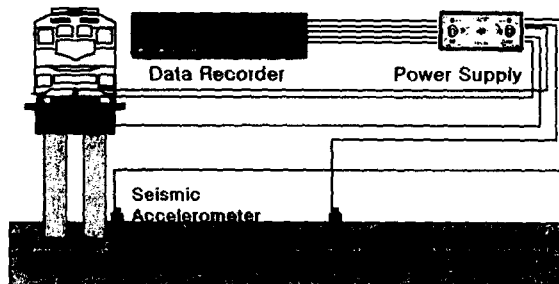


그림 2 열차진동측정 시스템

본 연구에서는 일반적으로 이용되고 있는 주파수분석방법인 Fast Fourier Transform Algorithm을 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.

$$VAL = 20 \log \left( \frac{A_{rms}}{A_r} \right) \text{dB} \quad (1)$$

여기서,  $A_r$  : 진동가속도 레벨의 기준치 ( $10^{-5} m/ sec^2$ )  
 $A_{rms}$  : 대상진동의 가속도 실효치

진동저감효과는 방진시공구간과 미방진구간에서 측정된 진동가속도레벨(dB)의 차이인 삽입손실(Insertion Loss)로 나타났다.

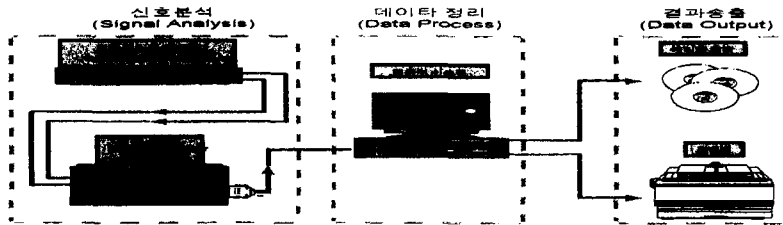
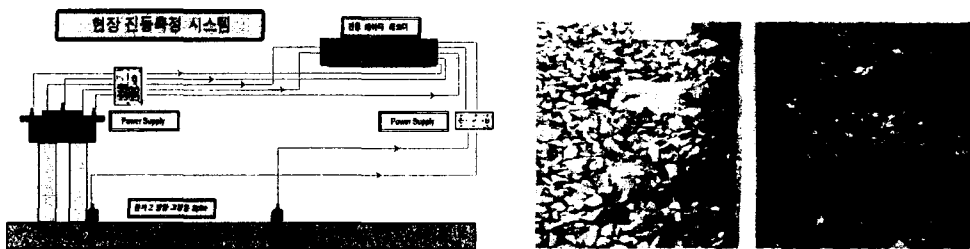


그림 3 진동분석 시스템

열차운행시 발생하는 진동 및 동적하중을 저감시키는 진동원에서의 방진방법(방진체결구, 방진 매트)을 적용한 현장에 대해 진동측정 및 분석을 수행하여 방진방법별 진동저감특성을 고찰하였다. 시험시공구간은 방진체결구의 경우 장항선 ○○○교, 방진매트의 경우 전라선 △△△교이다.

### 3.2 방진체결구

방진체결구의 진동저감효과를 분석하고자 장항선 ○○○교에서 방진체결구 시공 전/후에 대해 동일한 시험열차(기관차1량, 화차2량)를 편성하여 속도별(40, 60, 80km/hr)로 각각 5회 반복운행을 통해 교량구조물과 교각하부지반에 전파되는 진동수준을 측정 평가하였으며 현장진동측정위치와 방진체결구의 설치모습은 그림 4와 같다.



a. 측정단면

b. 방진체결구

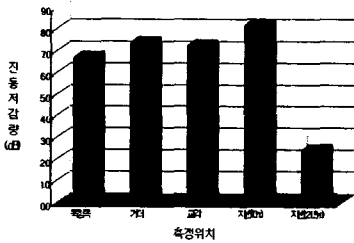
그림 4 장항선 ○○○교 측정단면 및 시공후의 방진체결구

전체적으로 시험열차의 주행속도가 20km/hr 증가함에 따라 교각하단지반을 제외한 모든 측정위치에서 약 2~10dB 정도의 폭 넓은 진동수준의 증가를 나타냈으며 교각하단지반에서는 교각기초

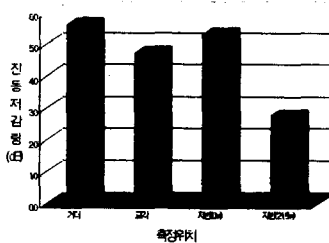
부와 지반의 상호작용에 기인한 것으로 판단된다. 교량차체의 진동특성을 파악할 수 있는 교량상부 및 콘크리트 교각에서는 시공 전·후 대부분 목침목, 거더, 교각 순으로 높은 진동수준을 나타냈으며 각각의 시험열차 주행속도에 대한 측정위치별 진동저감량은 표1, 그림 5와 같다.

표 1 방진체결구 시공 전/후 가속도레벨(dB) 비교

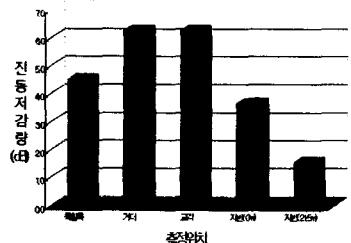
측정위치			속도 (km/hr)	가속도레벨(dB)		
				시공전	시공후	저감량
교량상부	경간단부	목침목	40	122.2	115.5	6.7
			60	126.4	-	-
			80	131.6	127.1	4.5
		좌측거더	40	117.3	109.3	8.0
			60	123.0	116.4	6.6
			80	126.7	119.4	7.3
		우측거더	40	117.4	110.6	6.8
			60	124.3	119.7	4.6
			80	128.5	123.3	5.2
		거더(평균)	40	7.4		
			60	5.6		
			80	6.3		
교량하부	교각상부	좌측	40	91.9	85.2	6.7
			60	95.7	91.1	4.5
			80	99.5	93.5	6.0
		우측	40	93.7	86.0	7.8
			60	97.7	92.8	4.9
			80	101.6	95.1	6.5
		교각(평균)	40	7.26		
			60	4.73		
			80	6.25		
	교각하단	0m 떨어진 지반	40	86.4	78.2	8.2
			60	82.9	77.6	5.3
			80	81.1	77.4	3.7
		21.5m 떨어진 지반	40	54.4	52.0	2.4
			60	56.6	53.9	2.8
			80	61.8	60.2	1.6



a. 40km/hr 주행

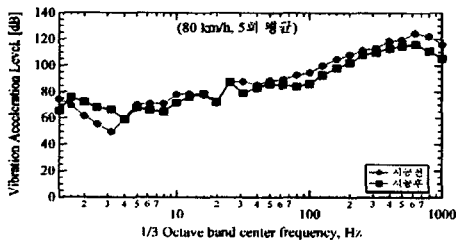


b. 60km/hr 주행

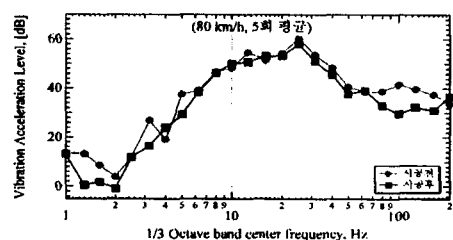


c. 80km/hr 주행

그림 5 속도별 진동저감량



a. 교량상부 좌측거더



b. 교각하단에서 21.5m 떨어진 지반

그림 6 주파수별 진동특성

주파수별 진동특성을 파악하기 위하여 1/3 옥타브밴드 분석에 의해 교량상부 좌측거더에서의 주파수별 진동저감량은 4~12.5Hz 대역에서 0.3~6.2dB, 31.5Hz 이상의 대역에서 2.1~11.4dB였으며 시공 전·후 모두 630Hz 대역에서 탁월주파수 성분을 나타냈다. 교각하단에서 21.5m 떨어진 지반의 경우, 대부분 전주파수 대역에서 0.0~4.9dB의 진동저감과 시공 전·후 모두 25Hz 대역에서 탁월주파수 성분을 나타냈다.

### 3.2 방진매트

방진매트의 진동저감효과를 파악하기 위하여 전라선 △△△콘크리트 교량의 상부 슬래브와 자갈도상사이에 폴리우레탄계열의 방진매트를 180m 시공하였다. 통과열차에 대해서 방진매트 시공 구간과 미시공구간을 동시 측정하였으며, 방진매트시공구간과 미시공구간과의 이격거리는 142m이다. 무궁화, 새마을, 화물열차에 대해 차종별로 측정한 진동값의 차이인 삽입손실로서 진동저감효과를 표 2에 나타냈다.

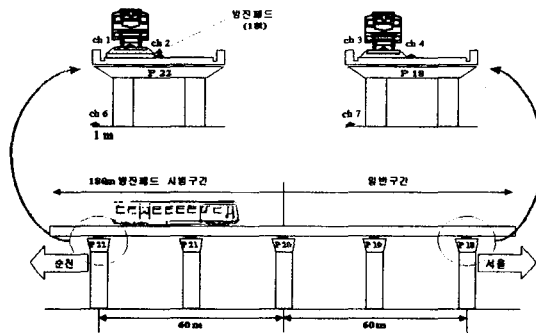


그림 7 △△△교 측정단면

표 2 방진매트 시공구간과 미시공구간의 진동가속도레벨

진동가속도 레벨 (dB) 측정위치	무궁화			새마을			화물열차		
	미시공 구간	시공 구간	저감량	미시공 구간	시공 구간	저감량	미시공 구간	시공 구간	저감량
침목	136.0	132.4	3.6	138.2	132.9	5.3	133.4	129.4	4.0
교량상부 slab	104.9	91.6	13.3	108.2	96.3	11.9	104.8	92.0	12.8
교각기초 지반	96.4	88.8	7.6	99.5	93.4	6.1	95.2	87.8	7.4

전라선 △△△교 방진매트시공구간의 진동저감량은 그림 8과 같이 교량상부에서는 11.9~13.3dB, 교각하단 인접 1m 떨어진 지반의 경우에는 6.1~7.6dB가 저감되는 경향을 보였다. 교량상부에서의 주파수별 진동특성을 살펴보면(그림 9), 방진특성상 진동증폭이 일부 차량의에는 나타나지 않았으며 8~40Hz 주파수대역에서 평균 10dB 이하, 6.3Hz이하와 50Hz 이상의 대역에서 10dB이상, 특정주파수 500Hz의 경우에는 23.74dB의 높은 진동저감을 보였다.

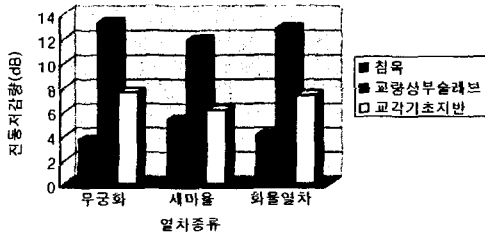


그림 8 열차종별 진동저감량

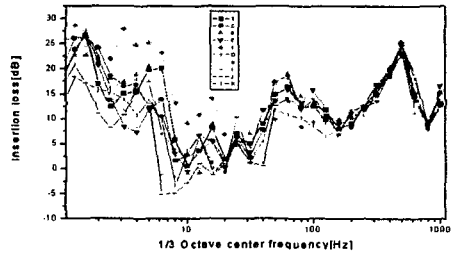


그림 9 주파수별 진동저감량(교량상부)

#### 4. 결론

방진방법중 진동원 대책으로서 적용한 장항선 ○○○교의 방진체결구, 전라선 △△△교의 방진 매트에 대한 진동저감특성을 분석하고자 진동측정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 방진체결구의 경우, 열차주행 속도 80km/h의 경우, 교량상부 슬래브에서 4.5~7.3dB, 지반에서 1.6~3.7 dB의 진동저감특성을 나타냈다.
- 방진매트의 경우, 교량상부 슬래브에서 11.9~13.3dB, 교각기초 인접 1m 떨어진 지반의 경우 6.1~7.6dB의 진동저감특성을 보였다.
- 진동원대책인 궤도에 있어서의 방진방법은 궤도구성요소간의 상호작용에 의해서 방진효율이 결정되는 복합적인 시스템으로서 본 연구결과, 방진체결구에 비해 방진매트가 다소 높은 진동저감특성을 보였다.

#### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 철도 소음·진동의 효율적 저감방안 연구, 1999, pp. 215~238.
2. U. S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, High Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment, 1998, pp. 6-1~7-5
3. Hugh J. Saurenman, James T. Nelson, George P. Wilson, Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, 1982, pp. 4-1~8-108