

방진침목패드의 방진특성에 관한 연구

A Study on the Anti-Vibration Characteristics of the Under Sleeper Pad

황선근* 엄기영** 고태훈*** 오상덕****
Hwang, Seon-Keun Eum, Ki-Young Koh, Tae-Hoon Oh, Sang-Duk

ABSTRACT

It was estimated that the anti-vibration measures at the source location of railroad are the most active and effective ones. Among CWR(Continuously Welded Rail), elastic rail fastener, floating slab, ballast mat, under sleeper pad, etc. like these various kinds of measures in the source, under sleeper pad as an anti-vibration measure was constructed at the railroad track supporting structures in the Jeon-la Line.

In this study, through the field measurement of vibration at the railroad track supporting structures and nearby the ground, the vibration reduction effect of under sleeper pad were evaluated by insertion loss. As a result, vibration reduction effects were 5.0~12.5dB on the concrete slab of the bridge, 3.9~7.5dB on the ground nearby the bridge respectively.

1. 서론

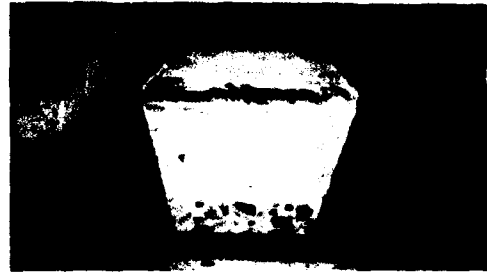
열차의 속도 향상과 빈도증가에 따라 철도 진동이 선로주변에 많은 영향을 미치며, 이로 인하여 생활환경이나 산업환경에 지장을 초래하고 있다. 따라서 궤도에 대한 진동저감기법을 적용하여 환경진동의 영향을 최소화하고 진동저감효과의 극대화를 도모하고자 진동원 방진방법의 하나인 방진침목패드의 진동저감 특성을 평가하였다. 전라선 ○○○교의 경우, 교량상부와 교대성토부에서 그리고 △△△교의 경우, 교량상부, 하부에서 방진시공구간과 미시공구간에 대하여 현장진동을 측정 비교 분석하여 진동저감특성을 평가하였다.

2. 방진침목패드(Under Sleeper Pad)의 특성

철도차량의 고속화로 인해 진동 및 동적하중을 저감시켜 주는 방진궤도의 개발이 필요하여 여러 형태의 방진재가 개발되어 사용되고 있다. 자갈도상궤도의 경우, 철도차량으로 인해 유발되는 동적하중에 대해 안전하고 레일을 보호하기 위한 적정량의 처짐량을 갖는 탄성재를 필요로 하게 되며 상대면위 및 응력이 집중되는 침목과 도상자갈의 접촉부의 면적이 상당히 작기 때문에 이 부분에서 자갈이 과도한 하중으로 인해 파괴되어 세립화되기 쉽다. 따라서 이 부분에 침목패드를 사용하면 자갈과 접촉되는 면적이 증가되어 응력을 분산시킬 수 있으므로 자갈의 유동을 방지하게 되며 동시에, 침목과 자갈 사이의 탄성재는 차량의 주행으로 발생하는 진동을 저감시키게 되는데 이러한 자갈도상의 침하와 응력의 감소와 같은 복합적인 메카니즘에 의해서 궤도의

* 한국철도기술연구원 시설연구본부 책임연구원, 정희원
** 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원, 정희원
*** 한국철도기술연구원 시설연구본부 주임연구원
**** 한국철도기술연구원 시설연구본부 연구원

유지보수 비용 또한 감소시킬 수 있게 된다. 근래에 일본 및 유럽에서는 독자적으로 설계된 방진침목패드를 개발하여 설치하여 운용하고 있는데 이러한 방진침목패드는 침목과 접촉되는 탄성층(Spring Layer)과 자갈과 접촉되는 보호층(Protection Layer)으로 구성되어 있다. 탄성층의 유연한 스프링상수로 인해 동적하중 및 진동을 효과적으로 저감시키며 보호층은 단단하고 내마모성이 우수하기 때문에 동적하중을 자갈도상층에 분산시켜 주고 자갈도상층으로부터 탄성층을 보호해 주는 역할을 한다. 또한 방진침목에 있어서 중요한 것은 패드와 침목과의 접촉성이다. 현재 전라선에 시험시공된 것은 접착제를 사용하여 부착시키는 방법을 사용했으나(일본에서 사용되는 방진침목패드는 접착제나 볼트로 침목에 부착하기 때문에 침목하면의 거친표면 때문에 기술적인 문제가 발생되기도 하였음) 침목을 만드는 과정에서 패드를 침목에 부착시키는 “GRID 공법”이 개발되어 다음의 그림 1과 같이 방진재에 부착된 Grid를 사용하여 콘크리트와 연결하면 그 부착성이 매우 우수하여 거의 영구적으로 침목과 패드가 분리되지 않기 때문에 차후에는 이런 “GRID 공법”을 사용하기를 추천한다.



(a) GRID를 이용한 접착

(b) GRID 접착 후 침목의 단면

그림 1 GRID 공법을 이용한 방진침목패드

방진침목패드의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 진동 및 교체음의 저감효과가 크다.
- 안정성이 우수하다.
- 도상자갈에 전달되는 동적하중을 저감시켜 마모를 방지한다.
- 패드의 두께 및 밀도에 따른 스프링상수를 자유롭게 조정할 수 있기 때문에 현장에 적합한 모델을 선정할 수 있다.
- 시공성이 우수하며 성능대비 가격이 저렴하다.

3. 진동저감특성

3.1 열차진동 측정/분석 시스템

진동저감특성을 신뢰성 있게 평가하기 위해서 그림 2에 보인 진동측정 시스템과 그림 3의 진동 분석 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)에서 진동이 전파되는 과정에서 고주파대역의 진동신호는 상당히 빠르게 감소되고 진동크기가 미약해 지므로 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.

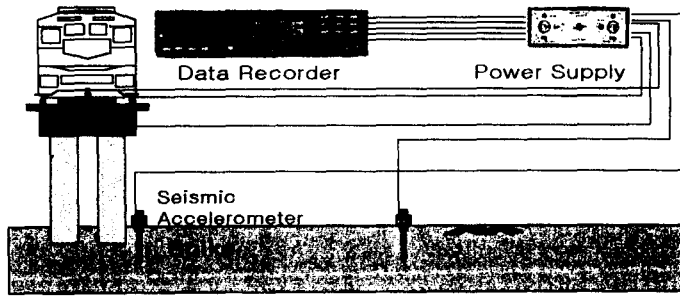


그림 2 열차진동측정 시스템

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 미시공구간에서 측정된 진동가속도레벨(dB)의 차이인 삽입손실(Insertion Loss)로 나타냈다.

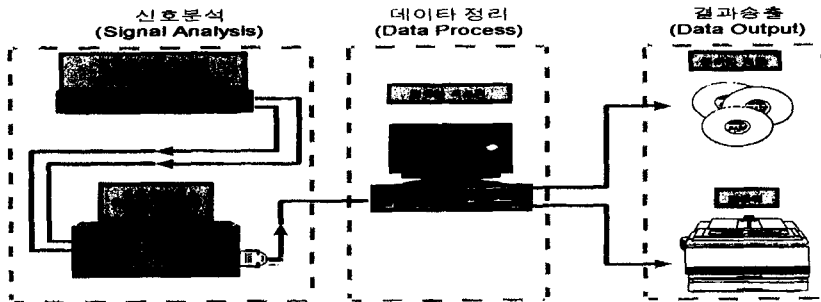


그림 3. 진동분석 시스템

방진침목패드의 진동저감 효과를 분석하고자 전라선 ○○○교 콘크리트 슬래브(56m)와 교대 성토부(60m) 그리고 △△△교 콘크리트 슬래브(453m)에 방진침목패드를 시공하였다. 통과열차에 대해서 방진시공구간과 미시공구간의 측정을 동시에 수행하였다.

3.2 전라선 ○○○교

방진시공구간과 미시공구간의 상호 진동영향성이 최소화되도록 충분한 거리를 두고 각각 교량상부의 침목, 슬래브, 교대성토부의 침목, 지반으로 측정위치를 선정하였다.

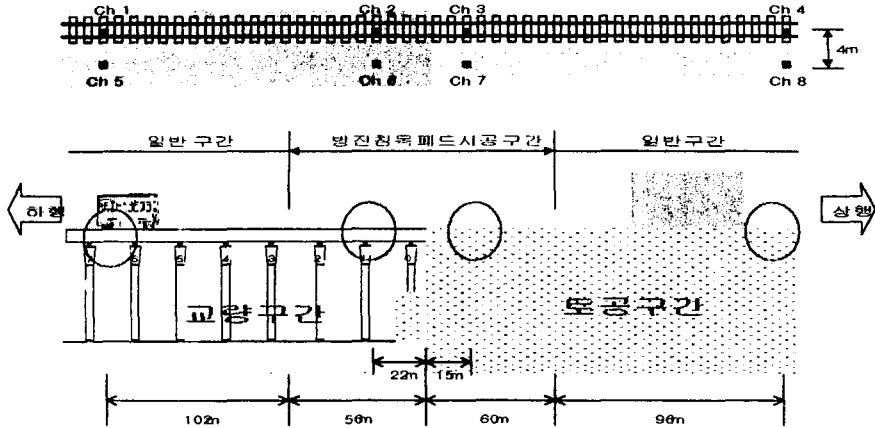
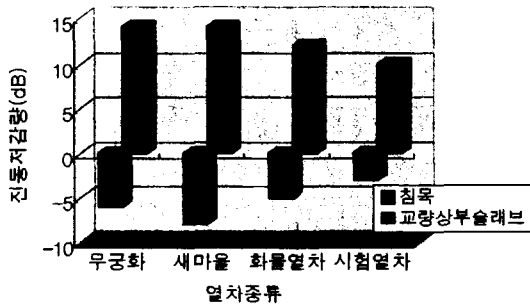


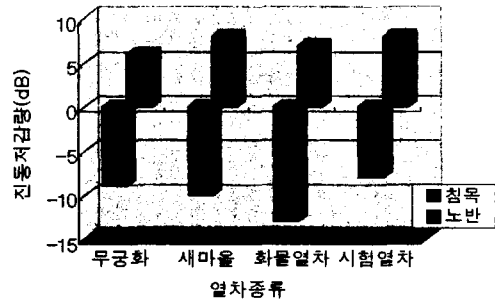
그림 4 전라선 ○○○교 현장측정단면

표 1 방진침목패드 시공구간과 미시공구간의 진동가속도레벨

측정위치			진동가속도레벨, dB		
			미시공구간	시공구간	저감량
교량구간	새마을	침목	133	141	-8
		슬래브	104	90	14
	무궁화	침목	136	142	-6
		슬래브	106	92	14
	화물열차	침목	137	142	-5
		슬래브	102	90	12
	시험열차	침목	135	138	-3
		슬래브	99	89	10
교대성토부	새마을	침목	131	141	-10
		지반	84	76	8
	무궁화	침목	133	142	-10
		지반	84	78	7
	화물열차	침목	133	146	-13
		지반	84	77	7
	시험열차	침목	130	138	-8
		지반	82	74	8



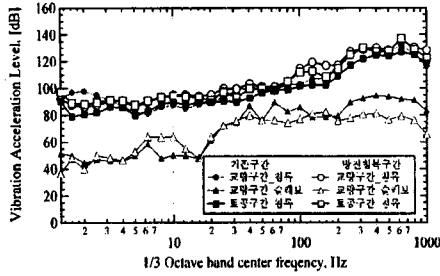
(a) 교량구간



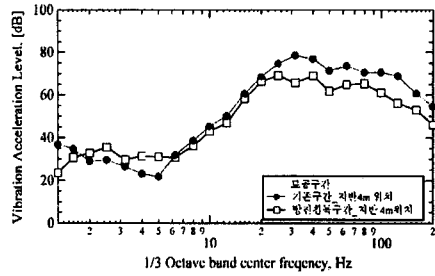
(b) 교대성토부

그림 5 교량구간과 교대성토부에서의 진동저감량

그림 5와 같이 교량구간과 교대성토부 모두 방진침목에서 약 6~13dB의 진동증폭현상이 나타나는 방진침목의 일반적인 특성을 보였으며 교량구간 콘크리트슬래브와 교대성토부 지반의 경우 각각 평균 12.5, 7.5dB의 진동저감현상을 보였다.



(a) 1~1000Hz 대역



(b) 1~200Hz 대역

그림 6 주파수별 진동특성

비교적 고주파수 범위의 특성이 지배적인 침목과 콘크리트 슬래브의 경우는 1~1000Hz대역, 노반의 경우는 저주파수의 1~200Hz대역으로 분리하여 각 주파수대역별 진동저감특성을 분석한 결과(그림 6) 침목의 경우, 선로구조물 종류, 방진시공 유무와 관계없이 600Hz 부근에서 탁월주파수 성분이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 슬래브의 경우에 있어서는 대략 100Hz이후의 폭넓은 주파수 대역에서 탁월주파수성분을 보이며 전반적인 주파수대역에서 0~10dB의 진동저감효과를 나타냈다. 교대성토부 지반의 경우에는 20~40Hz의 저주파수대역에서 탁월주파수 성분을 나타냈다.

3.3 전라선 △△△교

방진침목패드에 대한 진동저감특성을 분석하고자 770개의 방진침목패드가 시험시공되었으며 측정 및 분석방법은 전술한 ○○○교와 동일하며 측정위치는 침목, 교량상부 슬래브, 교각기초 지반으로 선정(그림 7) 하였으며, 표 2, 그림 8에 열차종류별 진동저감효과와 주파수별 진동특성을 나타냈다.

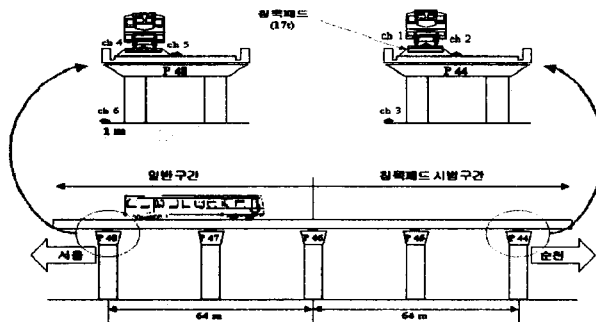
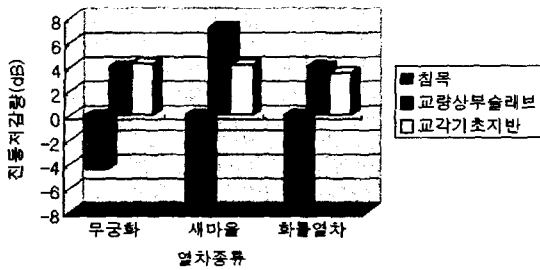


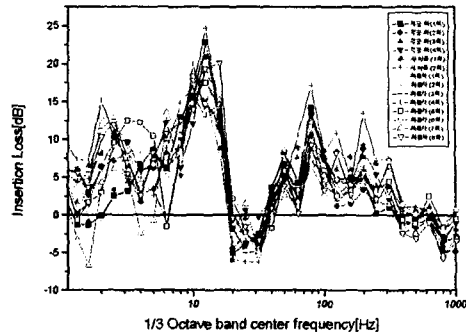
그림 7 △△△교 측정단면

표 2 방진침목패드 시공구간과 미시공구간의 진동가속도레벨

진동가속도 레벨 (dB) 측정위치	무공화			새마을			화물열차		
	미시공 구간	시공구간	저감량	미시공 구간	시공구간	저감량	미시공 구간	시공구간	저감량
침목	131.9	136.3	-4.4	134.2	142.0	-7.8	133.0	140.7	-7.7
교량상부 슬래브	93.4	89.5	3.9	97.2	90.0	7.2	93.2	89.3	3.9
교각기초 지반	76.0	71.8	4.2	80.8	76.7	4.1	73.1	69.6	3.5



a. 열차종류별 진동저감량



b. 주파수별 진동저감량(교량상부)

그림 8 차종별 진동저감량과 주파수 특성(전라선 △△△교)

전라선 △△△교 방진침목패드 시공구간의 경우 그림 8과 같이 교량·상부슬래브에서는 3.9~7.2dB, 교각기초 인접 1m 떨어진 지반의 경우 3.5~4.2dB 진동이 저감되나 침목위에서는 4.4~7.8dB 증폭되었다.

교량상부 슬래브의 주파수별 진동저감량은 20~31.5Hz대역에서 2~3.8dB 진동증폭이 되고 있으며 400Hz 이상의 주파수 대역에서도 진동저감효과가 없음을 알 수 있다. 10~16Hz대역에서 13~18.7dB의 비교적 높은 진동저감을 볼 수 있었다.

4. 결론

진동원에서의 다양한 방진방법 중 하나인 방진침목패드를 적용한 현장을 대상으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 전라선 ○○○교 교량구간 슬래브의 경우, 평균 12.5dB, 교대성토부 지반의 경우, 평균 7.5dB 진동저감특성을 보였으며, 교량구간 슬래브의 경우 100Hz 이후의 폭넓은 주파수대역에서, 교대성토부 지반의 경우 20~40Hz의 저주파수대역에서 탁월주파수 성분을 나타냈다.
- 전라선 △△△교 슬래브의 경우, 1~1000Hz의 전주파수 대역에서 평균 5.0dB의 진동저감특성을 보였으며 주파수별로는 10~16Hz대역에서 13~18.7dB의 비교적 높은 진동저감을 볼 수 있었으나 20~31.5Hz대역에서는 2~3.8dB의 진동증폭, 400Hz이상의 주파수 대역에서는 진동저감효과가 없음을 알 수 있었다. 교각기초지반의 경우에 있어서는 평균 3.9dB의 진동저감특성을 보였다.
- 궤도지구조물인 교량에 미치는 열차진동의 영향은 구조소음(Structurborne noise)을 야기시킬 뿐 만 아니라 반복적인 열차하중으로 인한 피로에 의하여 교량의 구조적 안전성에 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서, 궤도지구조물에서의 진동원 방진대책은 환경진동차원에서만이 아니라 교량 자체의 안전성에 중요한 인자로서 고려되어야 하며 또한 시공성, 유지보수, 경제성, 공용연수 측면 등의 제반 사항들을 감안한 종합적인 대책을 세워야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 철도 소음·진동의 효율적 저감방안 연구, 2000, pp. 338~348.
2. U. S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration, Transit Noise and Vibration Impact Assessment, 1995, pp. 7-1~10-12
3. Volberg, G., "Propagation for Ground Vibration near Railway Tracks", J. of Sound and Vibration, 87(2), 1983, pp. 371~376.