

# 플로팅 슬래브 궤도용 방진시스템 현장성능 평가

## Field performance evaluation of a Floating Slab Track to Isolation System

박 상 곤†, 구 형 욱\*, 한 현 희\*, 전 중 균\*\*, 장 승 업\*\*\*

Sang Gon Park, Hyung wook Koo, Hyun Hee Han, Chong Keun Chun, Seung Yup Jang

**Key Words** : floating slab track(저진동 궤도), second-phase noise(2차 소음), vibration isolator(방진제), stations under railway lines(선하역사), rubber mat(고무매트)

### ABSTRACT

Recently the construction of stations under railway lines and railway sections passing through central area of cities are increasing, calling for an urgent establishment of countermeasures against railway vibration and its subsequent second-phase noise. Of technology developed up to now, the most efficient countermeasure is the floating slab track, a track system isolated from the sub-structure by springs. Developed in this study, anti-vibration device for floating slab track (HLRM-High Load Rubber Mount) Haman station affiliated to the primary measurement was conducted in October 2012, one year after the second measurement after 2013 to be carried out in November and we want to change that. It is expected to raise awareness for the need of technology self-support and to make a meaningful contribution to mitigating vibration and noise produced by the next-generation high-speed railway.

### 기 호 설 명

- $W$  : 변형률 에너지 함수
- $I$  : 변형률 불변량
- $\lambda$  : 주방향신장

## 1. 서 론

여객과 물류의 대량수송이 가능한 철도는 시대적 배경과 요구에 따라 초고속 열차운행을 가능케 했다. 이로 인해 역사에 인접한 지역에 상권이 형성되고 인구가 밀집하는 현상이 생긴 반면에, 철도에서 발생하는 소음과 진동으로 인해 민원 또한 증가하고 있다. 더욱이 철도의 도심통과구간이나 선하역사 건설이 증가하고 있으며, 선하역사내 각종 편의시설과 상업시설 증가로 이용객이 늘고 있으나 철도 진동

과 이로 인한 2차 소음으로 인해 피해를 대응할 뚜렷한 방법이 없는 실정이다.

역사 내부 또는 철도 인접 건물 내부로 유입되는 진동과 구조소음을 효율적으로 저감시키는 방법으로 궤도 전체를 하부구조와 분리시키는 플로팅 슬래브 궤도 공법에 대한 연구 및 개발이 이루어졌다. 본 연구를 통해 개발된 플로팅 슬래브 궤도용 방진장치(HLRM-High Load Rubber Mount)를 함안역에 부설하여 1차 측정을 2012년 10월에 실시하였고, 1년이 경과한 뒤 2차 측정을 2013년 11월에 실시하여 추후 변화량을 확인하고자 한다.

## 2. 방진장치(HLRM) 재원 및 특징

### 2.1 방진장치 고유 진동수

열차 주행으로 발생된 진동은 역사 구조물로 전달되어 구조물의 고유진동수와 공진을 일으킬 소지가 있어 열차 주행하중의 주파수 특성을 파악해야 한다. 속도에 따라 다르지만 대략 40~140Hz 내외(침목간격 60~65cm에 대해 속도 100~300 km/h)에서 피크치가 관찰되지만 차축간격(2.5 ~3m)에 대한 가

† 교신저자; 정회원, RMS Technology  
E-mail : psg8722@rmstech.co.kr  
Tel : (041) 556-7600, Fax : (041) 556-7603

\* RMS Technology

\*\* 선문대학교

\*\*\*한국철도기술연구원

진 진동수인 10~30Hz의 저주파 대역에서도 높은 진동이 관찰된다.<sup>(1)</sup> 이러한 방진마운트 고유진동수는 가진 특성, 플로팅 슬래브케도 및 하부구조물의 모빌리티(mobility)를 고려하여 전달율을 최소화하고, 공진을 회피할 수 있는 범위에서 결정되어야 한다.

방진장치의 고무 마운트의 고유진동수는 다양한 변수(열차별 하중, 길이, 속도, 플로팅 슬래브 모드 등)와 다양한 차종의 특성을 고려하여 다음과 같이 개발되었다.

- 방진장치의 설치간격 : 2.6m
- 고유진동수 : 7Hz(열차중량 제외시)
- 수직방향 스프링 상수 : 10±2kN /mm
- 수평방향 스프링 상수 : 슬래브 밀림을 고려하여 수직방향의 80% 이상

## 2.2 방진장치 리프팅 구조 설계

Fig.1에서 보듯이 방진고무의 위아래에는 각각 상하부 steel plate가 위치하고 상부 plate에 유압 실린더를 설치하였다.<sup>(2)</sup>

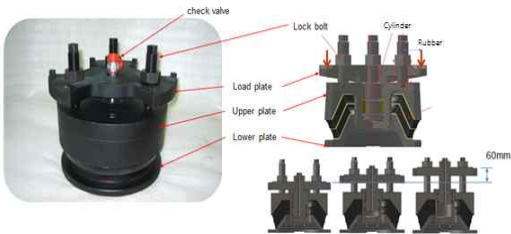


Fig. 1 Vibration isolator structure

self-lifting이 가능한 방진장치를 적용함으로써 슬래브를 들어 올린 후 측면에서 방진장치를 설치하는 기존 방법에 비해 슬래브 상부에서 아래로 방진장치를 설치할 수 있어 측면에 공간이 부족한 구간에서도 설치가 가능하며, 별도의 유압잭 없이 슬래브의 높이 조정(post-alignment)이 가능하다. 또한 사용 중에 방진고무의 상태를 점검하고 문제가 있을 때 고무마운트를 교체할 수 있는 장점이 있다.

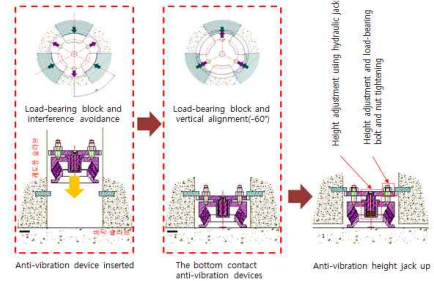


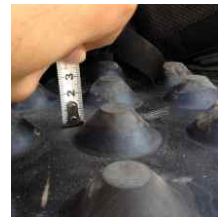
Fig. 2 Vibration isolator installation order

## 3. 현장 시험부설 및 성능평가

### 3.1 현장 시험부설

본 연구에서 개발되어 경전선 함안역 정거장 구간에 시험부설된 플로팅 슬래브케도용 방진장치(HLRM)의 성능을 검증하기 실 열차 주행시 소음과 진동을 동시에 측정하였다.

함안 정거장 구간은 총 110m 라멘 구조물로 정거장 구간의 선로는 직선 구간이고, 본선 상선 구간에 개발된 방진시스템을 적용한 플로팅 슬래브케도가 부설되었고, 본선 하선 구간에는 고무방진매트 방식의 플로팅 슬래브케도를 부설하였다.(Fig. 3 참조)



(a) Vibration isolator (b) Rubber Mat

Fig. 3 Comparison of floating slab track



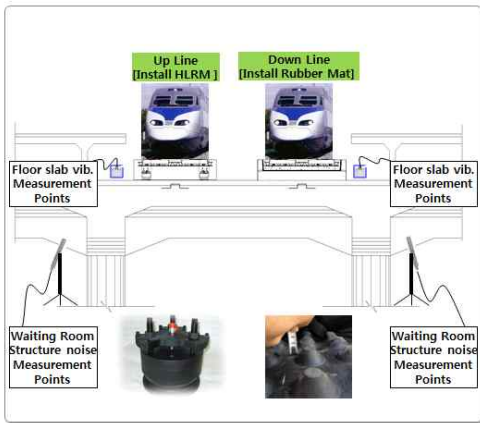
(a) Slab lifting(Multi channel hydraulic pressure jack-up system)



(b) Slab lifting and track status  
**Fig. 4** Test construction process

### 3.2 현장성능측정 및 평가

개발된 방진장치를 적용한 플로팅 슬래브케도(상행선)의 진동 및 구조소음 저감 성능을 평가하기 위해 Fig. 5와 같이 케도 슬라브에 가속도센서와 1층 대합실에 소음계를 설치하였다. 하행선구간에는 고무방진매트가 설치되어 있어 비교대상으로 삼기 위해 상행선 측정조건과 동일하게 진동과 소음을 측정하였다.



**Fig. 5** Vibration and structural noise measurement schematic diagram

방진장치의 성능검증을 위해 운행 중인 KTX 열차와 새마을, 무궁화 열차를 대상으로 측정한 결과는 Table 3과 같다. 측정시 KTX와 새마을 열차는 역에 정차하지 않고 통과하였고, 무궁화 열차는 역에 정차 후 출발하는 상황이었다.

부설이후 1년이 경과 한 뒤, 측정결과는 Table 1과 같다. 2층 케도 슬래브에서 측정된 진동은 4~200Hz까지 분석하였고, 단위는 dB로 속도기준값은  $ref. 5 \times 10^{-8} m/s$ 이다. 1층 대합실에서 측정한 소

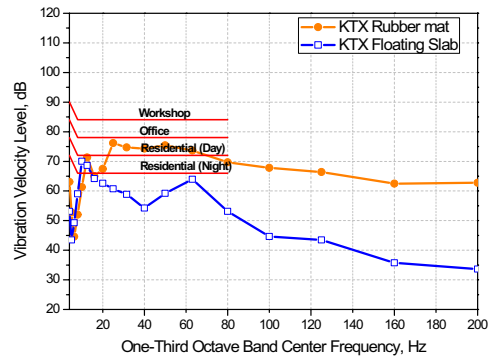
음은 25~160Hz대역을 대상으로 분석하였고, 단위는 dB(A)로 기준값은  $ref. 2 \times 10^{-5} Pa$ 이다.

**Table 1** Vibration and noise measurement results

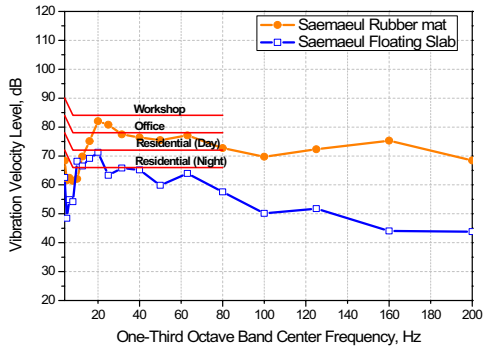
Division		Up line (HLRM)	Down line (Rubber Mat)
orbit slab vibration of 2nd floor	KTX-Sancheon 115km/h	74.9 dB	84.1 dB
	KTX 120km/h	74.6 dB	83.1 dB
	Saemaul	76.9 dB	87.8 dB
	Mugunghwa (Stops after departure)	67.2 dB	77.0 dB
the waiting room structure noise of 1st floor	KTX 120km/h	48.6 dB(A)	63.0 dB(A)
	Saemaul	51.2 dB(A)	72.1 dB(A)
	Mugunghwa (Stops after departure)	53.6 dB(A)	72.4 dB(A)

고무방진매트를 설치한 하행선에 비해 개발된 방진장치(HLRM)를 적용된 상행선은 진동(4~200Hz) 측면에서 KTX는 9.2dB, 새마을은 10.9dB, 무궁화는 9.8dB가량 차이가 발생하였다.

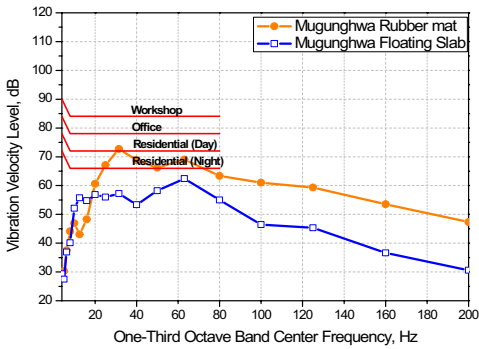
구조소음(25~160Hz) 측면에서는 KTX는 14.4 dB(A), 새마을은 20.9dB(A), 무궁화는 18.8dB(A)가량 차이가 발생하였다. 고무방진매트가 설치되지 않은 구간과 비교할 경우 더 큰 차이를 보일 것으로 예상된다.



(a) KTX

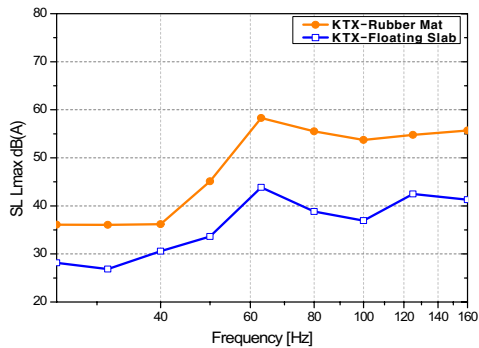


(b) Saemaul

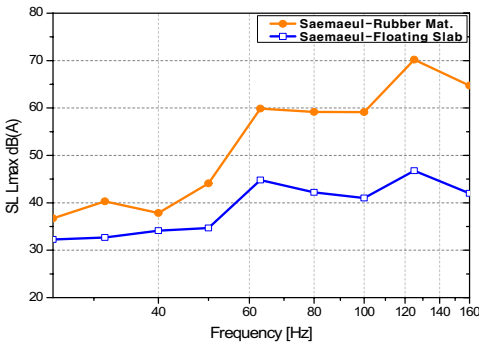


(c) Mugunghwa

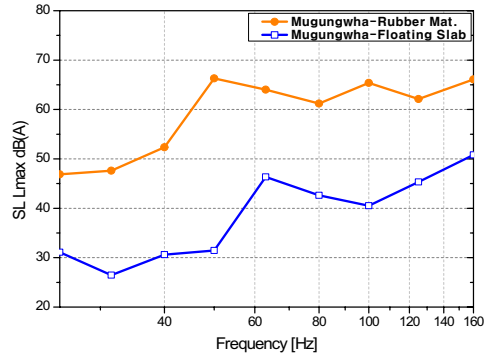
Fig. 6 Result of Vibration measurements



(a) KTX



(b) Saemaul



(c) Mugunghwa

Fig. 7 Result of Noise measurements

### 3.3 1차, 2차 현장성능 측정결과 비교

경전선 함안역에 시험부설 후 1차 현장성능 측정 결과와 1년이 경과한 후 2차 현장성능 측정결과를 비교해 보면 다음과 같다.

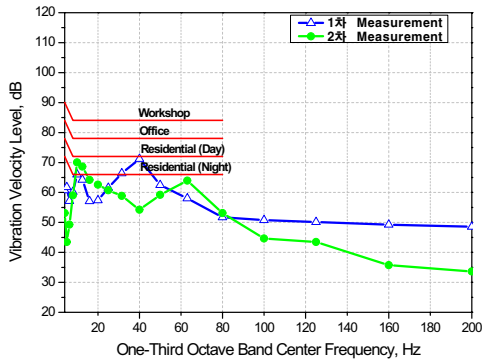
Table 2 Vibration and noise measurement results

Division		Up line (HLRM)		Down line (Rubber Mat)	
		the first	the second	the first	the second
orbit slab vibration of 2nd floor	KTX 120km/h	75.3 dB	74.6 dB	101.9 dB	83.1 dB
	Mugunghwa	72.9 dB	67.2 dB	94.1 dB	77.0 dB
the waiting room structure noise of 1st floor	KTX 120km/h	50.8 dB(A)	48.6 dB(A)	61.4 dB(A)	63.0 dB(A)
	Mugunghwa	55.7 dB(A)	53.6 dB(A)	71.5 dB(A)	72.4 dB(A)

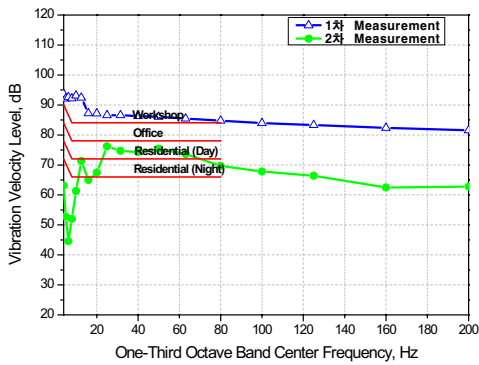
개발된 방진장치를 적용한 플로팅 슬래브케도(상행선)의 1차 측정(2012년 10월)과 2차 측정(2013년 11월) 결과 KTX의 경우 진동 및 소음 모두 변화량이 미미하다. 그러나 무궁화의 경우 진동에서 5.7dB가량 차이가 발생하고 있으나 이는 역사내 정차 후 출발하는 무궁화 열차의 운행상황에 따른 원인인 것으로 사료된다.

고무매트를 설치한 하행선의 1, 2차 측정결과 진동은 17.1~18.8dB 차이가 발생하고 있으며, Fig. 8에서 보듯이 저주파수대역(30Hz이하)에서 진동수준 차이가 많이 발생하고 있다. 이는 1차 측정시 케도 슬라브와 바닥슬라브 사이에 설치된 고무매트에 의해 분리되어 있으나, 열차가 지나갈 때 열차하중에 의해 고무매트가 눌러지면서 충격성 진동을 유발한 것으로 판단된다.

이후 2차 측정시에는 고무매트가 경화되어 궤도 슬라브와 바닥슬라브 사이에 완전히 눌러진 것으로 판단된다.

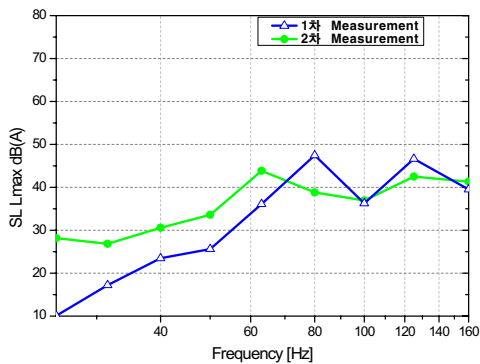


(a) Up line (HLRM)

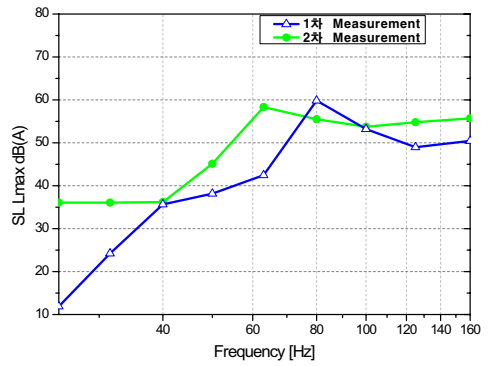


(b) Down line (Rubber mat)

Fig. 8 Result of Vibration measurements KTX



(a) Up line (HLRM)



(b) Down line (Rubber mat)

Fig. 9 Result of Noise measurements Mugunghwa

#### 4. 결론

선하역사 또는 철도 인접 건물 내부로 유입되는 진동과 구조소음 저감을 위해 개발한 플로팅 슬래브 궤도용 방진장치의 성능평가를 위해 1차 측정 이후 1년 뒤에 2차 측정을 실시하여 변화량을 비교하여 보았다.

2차 측정결과, 고무방진매트를 설치한 하행선에 비해 개발된 방진장치(HLRM)를 적용된 상행선은 진동(4~200Hz)측면에서 KTX는 9.2dB, 새마을은 10.9dB, 무궁화는 9.8dB가량 차이가 발생하였다.

구조소음(25~160Hz) 측면에서는 KTX는 14.4 dB(A), 새마을은 20.9dB(A), 무궁화는 18.8dB(A)가량 차이가 발생하였다.

개발된 방진장치를 적용한 플로팅 슬래브궤도(상행선)의 1차 측정(2012년 10월)과 2차 측정(2013년 11월) 결과 KTX의 경우 진동 및 소음 모두 변화량이 미미하였으나, 고무매트를 설치한 하행선의 1, 2차 측정결과 진동은 17.1~18.8dB 차이가 발생하였다. 이는 고무매트의 경화로 인해 궤도 슬라브와 바닥슬라브 사이에 완전히 눌러져 1, 2차 측정결과간 변화량이 큰 것으로 사료된다.

열차 운행으로 인한 진동과 구조소음을 효과적으로 저감시키고, 지속적으로 성능을 유지할 수 있도록 유지 및 보수가 쉬운 방진장치(HLRM)의 성능을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] Moon, J, W., Development of Low Vibration Track(Floating Slab Track) and Technology for Improvement of Performance of Long-Span Bridges. 2009, Next-generation high-speed rail technology industry 1st Report p 2~3, p55~p57.

[2] Park, S, G, Chun, C, K., 2013, 5, The Development of a Floating Slab Track to Isolation System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering., p. 112~122.

[3] Jang, S, Y., Low vibration track (floating slab track) Survey foreign technology and related technical data collection, 2008, KRRI Overseas Trip Report.