

플로팅 슬래브궤도용 방진재의 성능에 관한 연구

The study for performance of isolators supported floating slab track

김진호* 차효정**
Kim, Jin-Ho Cha, Hyo-Jung

ABSTRACT

The paper presents an application of the model to a practical problem of train-induced vibrations. The aim of this study is to verify for performance of isolators which was developed in KRRI supported floating slab track. Laboratory tests on developed isolations show that the energy dissipation, under cyclic loading of constant amplitude, can be suitably represented by a combination of a viscous and a hysteretic damping. Also, other tests for structural performance are carried out, such as elastic material test, compression test and so on. The specimen, 400×400×300mm, is placed between two stiff steel plates designed to uniformly distribute the compression stress on the surface.

1. 서론

최근 철도운행으로 인해 발생하는 환경진동에 대한 민원이 증가하고 있으며, 2010년 이후 규제가 더욱 강화됨에 따라 철도운행으로 인한 진동에 대한 저감방안의 대책수립은 시급을 요하고 있다. 궤도 부설 후에 진동을 저감시키기 위해서는 수진점 진동대책, 전과경로 진동대책을 취해야 하는데 이는 시간과 비용이 많이 소요되고 건물에 인접한 열차의 운행 특성상 대책수립에 어려움이 있다. 그러므로 궤도시스템의 초기 설계 시부터 저진동설계 개념을 도입하여 도심지 내의 철도 인접 건물에 대한 민원을 최소화시키고 열차주행 안전성 확보, 승차감과 쾌적성을 향상 시키는 것은 진동저감 효율성과 경제성 측면에서 유리하다. 특히 인구밀도가 높은 국내의 경우 철도와 주거지역이 매우 가깝게 위치할 수밖에 없어 향후 민원에 대비한 효율적이고 경제적인 방음, 방진기술의 개발은 철도건설이 계속적으로 증가추세에 있는 국내 여건상 필수적인 과제라 할 수 있다.

역사 내부 또는 철도 인접건물내부의 소음, 진동을 효율적으로 저감시키는 방법으로서 방진궤도를 부설하는 방안이 철도 선진국을 중심으로 폭 넓게 채택되어 왔으며, 국내에서도 방진궤도에 대한 기술적인 공감대가 폭넓게 확산되어 현장에 적용시키고자 하는 많은 노력들이 기울어져 왔다. 이와 같이 방진궤도의 수요증가가 예상되는 상황에서 국내현장에 부설된 방진궤도구조들은 주로 외국의 방진설계기술을 도입하여 설계하였고 궤도시스템의 방진재 역시 주로 수입에 의존하고 있다. 이는 방진궤도기술이 궤도, 토목, 철도차량, 소음, 진동, 화공, 생산기술 등의 다양한 방진기술축적의 부족으로 완전한 기술자립을 하지 못하고 있기 때문이다. 향후 방진궤도 설계에서 국내독자의 기술로 시공, 유지관리를 이루기 위해서는 설계 및 제작의 원천기술 확보가 시급하다고 하겠다.

이에 한국철도기술연구원에 개발 중인 플로팅 슬래브용 방진장치에 대하여 기본 재료시험, 압축시험,

* 한국철도기술연구원, 표준화연구단, 정희원

E-mail : ziminpa@krri.re.kr

TEL : (031)460-5774 FAX : (031)460-5814

** 한국철도시설공단

피로시험과 같은 성능시험을 수행하였다. 본 연구에서는 수행된 시험 및 결과를 기술하였다.

2. KFR-1 방진재

저진동 궤도구조 시스템의 진동저감성능이 설계에서 요구되는 목표저감성능에 도달하였는가를 검토하기 위해서는 다음과 같은 절차를 통해 진동저감성능에 대한 검토가 수행되어야 한다.

- 방진재 선정
- 방진재의 정적특성 결정 (3방향 스프링 계수)
- 방진재의 동적특성 결정 (3방향 감쇠계수)
- 방진재의 제원 결정
- 방진재의 위치 및 개수 결정
- 방진효율성 평가기법의 적용을 통한 진동저감률 산정
- 목표저감성능(설계허용 진동기준)과의 비교

따라서 실질적으로 저진동 궤도구조 시스템의 진동저감성능을 결정하는 것은 방진재의 정/동적 특성이라고 볼 수 있다. 따라서 본 절에서는 방진재의 종류와 일반적인 동적물성치 및 진동저감특성에 대해 간략하게 살펴보았다.

실제 철도의 진동을 줄이기 위해서는 다음과 같은 방법들이 일반적이라 할 수 있다.

- 외부 가진을 받을 때 계의 고유진동수를 조절하여 공진을 회피
- 감쇠기 또는 에너지 소멸기구를 이용하여 시스템의 과잉응답을 방지
- 진동절연을 이용하여 가진력이 다른 부분으로 전달되는 것을 저감
- 보조질량이나 흡진기를 부착하여 계의 응답을 감소

철도진동측면에서 볼 때 저진동 궤도시스템의 진동저감 방법은 주로 열차진동이라는 가진원으로부터 플로팅 슬래브궤도의 하부 진동을 절연시키기 위한 방법들을 사용한다. 진동절연은 가진조건하의 시스템의 동적 응답을 줄이기 위해 진동하는 질량과 진동원 사이에 탄성부재를 끼워 넣는 것이다. 절연계는 절연기가 기능을 수행하는데 있어 외부동력의 유무에 따라 수동식 절연기와 능동식 절연기로 되어 있다. 철도의 구성품에서 사용하는 절연 장치는 수동식 절연 장치이다.

그림 1은 개발한 rubber형 방진장치(KFR-1)로 고유 특성값은 표 1과 같다.

표 1. rubber형 방진장치(KFR-1)의 고유 특성값

고유 특성값
· Stiffness : 32kN/mm
· Size : 300 x 450 x175
· Design Natural frequency: 5 ~ 10Hz
· Isolation Efficiency : Over 80 %
· Capacity : 200kN ~ 400kN
· Damping Ratio : 0.08 at 3 ~ 5 Hz

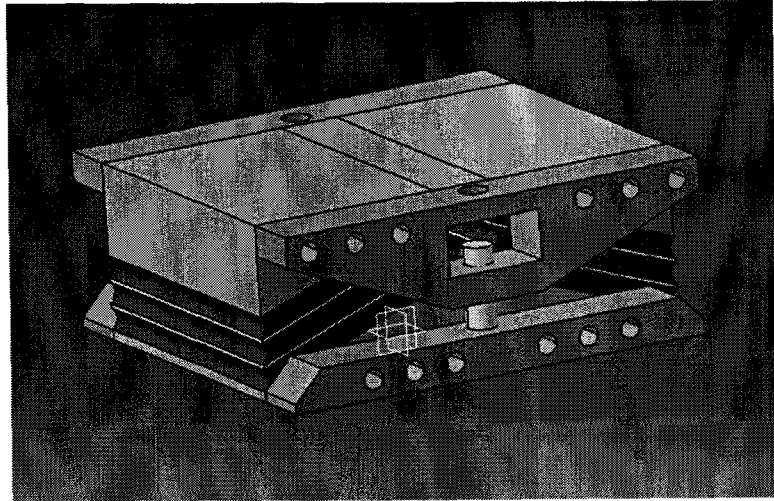


그림 1. 방진재 KFR-1

3. 성능시험

본 절에서는 개발된 방진재 KFR-1의 성능검증을 위해 시행된 정적 수직강성시험, 수평강성 시험 및 내구성시험에 관하여 기술하였다.

3.1 정적 수직강성 시험

KS M 6604(방진고무 시험 방법)을 준용하여 초기에 300kN 하중까지 2회에 걸쳐 예비시험을 실시하였다. 예비 시험 후 본 실험을 진행하였으며 각 시험 하중에 대응하는 변위(동일한 원점에서 측정)를 각각 $\delta(P_1)$, $\delta(P_2)$ 로 표기하고, 변위차 $\delta(P_2) - \delta(P_1)$ 로부터 정적 스프링 정수 k 를 측정하였다. 정적 강성은 식 (1)에 따라 계산한다.

$$k_n = \frac{P_n - P_{n-1}}{\delta(P_n) - \delta(P_{n-1})} \quad (1)$$

여기서, $\delta(P_1)$, $\delta(P_2)$ 은 각각 3mm와 5mm의 변위로 하며 이때의 하중을 P_1 , P_2 로 하여 수직 강성을 평가하였다.

3.2 수평강성 시험

정적 수직 강성 시험과 같은 시험 조건으로 300kN의 일정 수직 압축 하중이 작용한 상태에서 수평 방향으로 하중을 가하여 3mm, 5mm 변위시의 하중값으로부터 수평 강성을 평가하였다.

3.3 내구성 시험

탄성 마운트의 기계적 반복 변형에 의한 특성 변화로 피로 파괴 수명을 측정하기 위하여 실시하였다. 시험은 특성변화 시험과 피로파괴 시험 2가지로 하였다. 특성변화 시험은 기계적 압축 변형에 의한 탄성 마운트의 격차율과 정적 강성 변화율을 구하는 시험이고 피로파괴 시험은 기계적 되풀이 전단 변형에 의하여 마운트의 균열이 발생할 때까지의 되풀이 횟수를 구하는 시험이다.

1) 시험방법

- i. 초기 하중(Pre-load) : 300kN
- ii. 시험 진폭 : $\pm 90\text{kN} (\approx \pm 3\text{mm})$
- iii. 시험 주파수 : 3Hz (Sine 정현파 시험)
- iv. 시험 횟수 : 100만회 시험
- v. 시험 결과 : 격차율, 수직 정적 강성 변화율, 파괴 유무

2) 격차율 :

$$\Delta h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \quad (2)$$

여기서, h_0 : 시험 전의 시험편의 높이

h_1 : 시험 후의 시험편의 높이

3) 정적 강성 변화율 :

$$\Delta K = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \quad (3)$$

여기서, K_0 : 시험 전 마운팅의 정적 강성

K_1 : 시험 후 마운팅의 정적 강성

4) 측정 장치도

유압 액추에이터를 이용한 고무 마운트 시험 장치도는 그림 2와 같다.

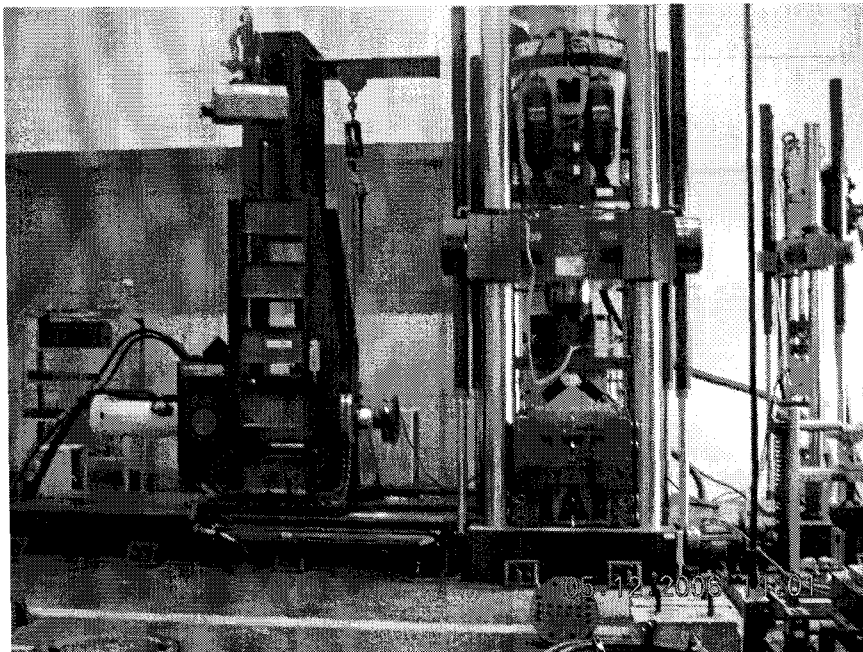


그림 2. 수직/수평 강성 및 내구성 시험

3.4 성능시험 결과

표 1. 시험결과

항 목		기준	결과	
제품 시험	수직/수평 강성	300kN at 10mm±10 %	그림 3 ~ 6 참조	
	최대 하중 시험 (500kN)	Max. 500kN 시 파괴 및 외관손상이 없을 것	없음	
	피로 시험 (수직 100만회, 3Hz, ± 90 kN)	수직 강성 변화율 5%이내		0.14 %
		파괴 없을 것		없음
		높이 변화율 3% 이내		0.1%

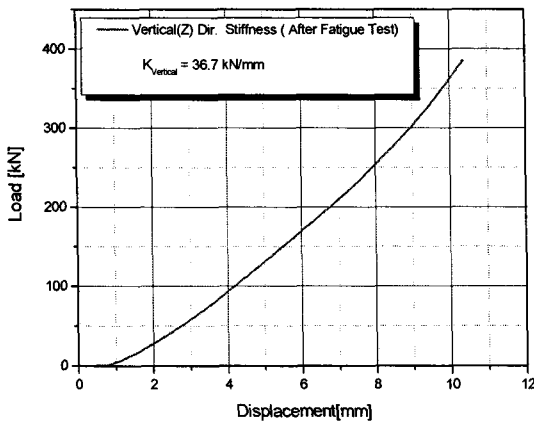


그림 3. 수직강성 - 내구성 시험 전

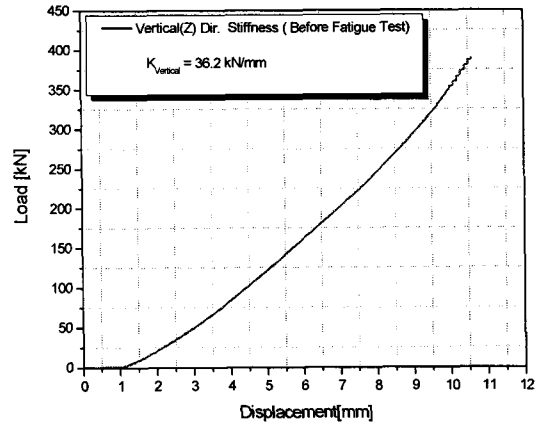


그림 4. 수직강성 - 내구성 시험 후

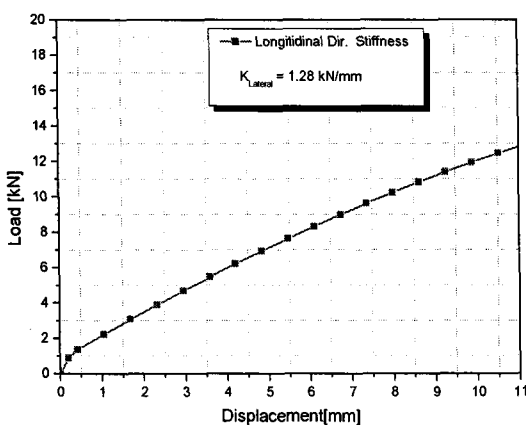


그림 5. 수평강성 - 장방향

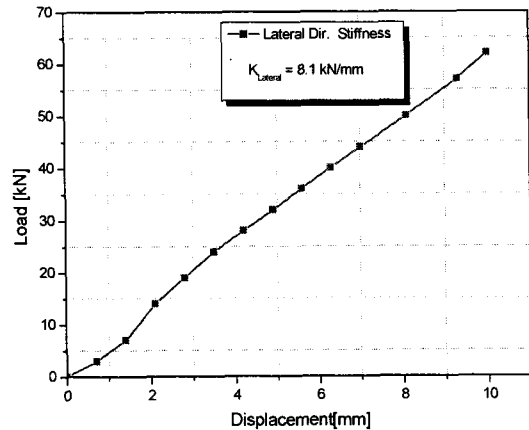


그림 6. 수평강성 - 단방향

4. 결론

본 연구에서는 가장 효과적인 진동저감시스템으로 알려진 플로팅슬래브 케도의 핵심기술인 방진재의 설계요건을 검토하고 이에 근거하여 한국철도연구원에서 개발된 KFR-1에 대하여 수평, 수직강성시험과 내구성 시험을 시행하고 그 결과를 고찰하였다. 수행된 시험에 대하여 개발된 제품의 성능은 우수한 것으로 나타났으며, 향후 플로팅 슬래브케도의 종합적인 시스템 인

터페이스를 고려하여 개발되는 추가 시험항목에 관하여 성능검증이 필요할 것으로 판단되며, 또한 현장부설시험에 앞서 개발될 슬래브 시제품과 연관된 성능시험이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Esveld, C. (1989), "Modern Railway Track", Head of quality Control and Rail Technology NS Permanent Way Department.
2. Coenraad Esveld "Modern Railway Track" Second Edition.
3. Grag, Vijay K. and Dukkipati, Rao V. (1984), "Dynamic of railway vehicle systems", Academic Press.
4. Sato, Y. (1976), "Railway Technical Research Report-Study on High Frequency Vibrations in Track", The Railway Technical Research Institute, Japanese National Railways, No. 1013.
5. Esveld, C. (1989), Modern Railway Track , Head of quality Control and Rail Technology NS Permanent Way Department.
6. J. D. Achenbach and C. T. Sun (1965), Moving Load on A Flexibly Supported Timoshenko Beam.
7. Track Systems - Vibration Attenuation, Presentation Handbook
8. Track Systems - Vibration Attenuation, Fastening Systems, Technical Report
9. Victor E. and Udo L., Erstes Masse-Feder-System auf einer HGV-Strecke, Technical Paper