

철도 진동 저감용 케도구조 및 체결장치의 시제품 제작과 시험 및 해석 조건

Prototype Fabrication, Experimental Testing, and Analysis Conditions of track structure and fastening system for reducing railway vibration

김동연^{*†}, 이남수^{*}, 지남진^{*}, 정성원^{*}, 정하영^{**}

Dong Yeon Kim^{*†}, Nam Su Lee^{*}, Nam Jin Ji^{*}, Seong Won Jeong^{*}, Ha Young Jeong^{**}

초 록 철도의 콘크리트도상화 및 도심지 운행 증가는 철도 운행으로 발생하는 진동을 심화시켜 철도 이용객 및 선로변 거주민에게 심각한 환경적 영향을 미치고 있다. 현재 국내에서는 진동 저감을 위해 방진체결장치를 사용하고 있으나, 해외 수입 제품에 의존하여 높은 비용 부담과 기술 종속성 문제가 지속되고 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고 국내 환경에 최적화된 방진체결장치를 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 국내 환경에 맞는 방진체결장치 시제품을 제작하고, 성능평가를 위한 시험을 수행중에 있다. 또한 시제품의 진동 저감 성능 및 안전성 입증을 위한 구조해석을 진행중에 있다. 본 논문에서 제시하는 연구 결과는 향후 국내 철도 방진 기술의 자립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 철도 진동, 콘크리트도상, 방진체결장치

1. 서 론

현대 사회에서 철도는 도시 간 및 도시 내 교통에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 특히, 철도의 콘크리트도상화 및 운행 구간이 도심지로 확장되는 추세이다. 이는 필연적으로 열차 운행 소음 및 진동 문제를 야기하고 있으며, 이로 인해 철도 이용객뿐만 아니라 선로 주변에 거주하는 시민들의 삶의 질이 심각하게 저하되고 있다.

열차 진동은 열차와 케도 사이의 상호작용으로 발생하며, 이 진동이 지반을 통해 주변 건물로 전달되어 구조물 진동과 2차 소음을 유발한다. 현재 국내에서는 이러한 진동을 저감하기 위해 다양한 방진 케도 시스템이 적용되고 있으며, 그중에서도 방진체결장치는 케도와 침목을 분리하여 진동 전달을 효

율적으로 차단하는 핵심적인 역할을 수행한다. 현재 국내 환경에 적합한 방진체결장치 시제품을 제작하였고, 성능평가를 위한 시험과 제품 안전성 입증을 위한 구조해석을 수행 중에 있다.

2. 본 론

2.1 시제품 제작

2.1.1 방진체결장치 설계

최근 철도 건설 분야에서 콘크리트도상의 적용이 점차 확대되고 있으며, 이러한 추세에 발맞추어 방진체결장치의 적용 도상은 콘크리트도상으로 한정하였고 고속 구간에서의 안정적인 운행을 보장할 수 있도록 레일의 종류는 국제 표준 규격 중 하나인 60E1 레일을 선정하였다. 이에 따라 콘크리트도상용 60E1 방진체결장치를(2D, 3D) 설계하였다.

† 교신저자: (주)세안 기업부설연구소
(cer2da@seaninc.co.kr)

* (주)세안 기업부설연구소

** 국가철도공단 철도혁신연구원

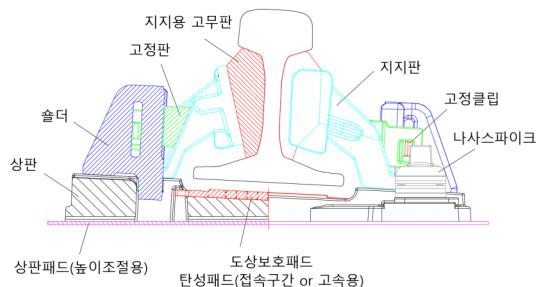


Fig 1 방진체결장치 2D설계

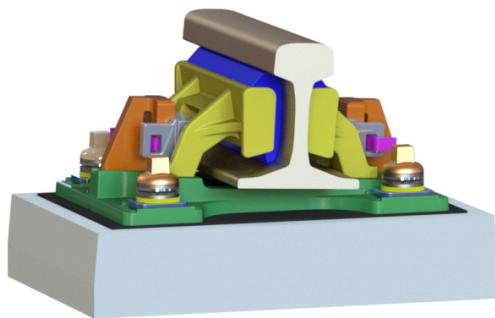


Fig 2 방진체결장치 3D설계

2.1.2 시제품 제작 및 구성

방진체결장치에 사용되는 금속재질의 구성품은 모두 주조공법을 통해 제작하여 복잡한 형상을 일체형으로 구현, 내구성과 대량 생산의 경제성을 확보하였다.

1) 주요 구성품

Table 1 방진체결장치 주요 구성품

구성품	역할
지지용 고무판	열차하중을 분산시키며 진동을 흡수함
지지판	고무판을 지지하고, 상판과 솔더로 하중 전달
고정판	지지판과 솔더 사이에서 쪼개기 역할
솔더	'레일→고무판→지지판→고정판'으로부터 전달받은 열차하중을 지지
도상 보호패드	이례상황 시 레일-상판 직접접촉 차단, 탄성패드 역할 수행 (파손방지 및 궤도회로 유지)

2) 조립체

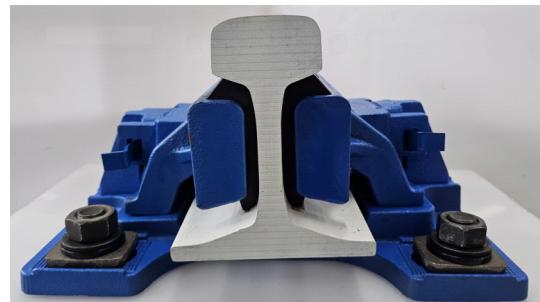


Fig 3 방진체결장치 시제품 조립체

3) 지지용 고무판 개선

초기 개발한 방진체결장치의 정적수직강성시험 결과 강성값이 기준치($5.5\sim7.5\text{ kN/mm}$)에 미달(4.4 kN/mm)하여 문제 해결을 위해 2차례의 개선(체적 증대) 결과 기준치를 만족하는 강성값을 확보하였다.



Fig 4 초기 고무판



Fig 5 최종 고무판

2.2 레일체결장치 시험

본 연구를 통해 개발중인 방진체결장치의 성능을 객관적으로 검증하기 위해 관련 규정을 바탕으로 다양한 성능 시험을 계획하였다. 한국철도표준규격(KRS TR 0014)은 방진체결장치의 성능 평가를 위한 공신력 있는 기준으로, 이 규격에서 제시하는 절차 및 기준을 준수하여 신뢰성 있는 시험 결과를 확보하고자 한다.

KRS TR 0014에 명시된 기준으로 반복적인 정적, 동적 수직강성시험을 통해 지지용 고무판 체적 증대 등 최적의 구성품을 확정하는 과정을 수행중이다. 향후 본 시제품의 종합적인 성능과 내구성을 평가하기 위해 반복 하중 시험, 인발저항 시험 등의 항목들을 순차적으로 진행할 예정이다.

Table 2 방진체결장치 시험 경위

회차	종류	장소	결과	조치
1 (5/21)	정적 수직 강성	SGS	강성값 4.1~4.4kN/mm (기준치 5.5~7.5kN/mm)	-
2 (5/30)	정적 수직 강성	한국 교통 대학교	레일-상판 접촉으로 재시험 필요	고무판 경도 증대
3 (6/24)	정적 수직 강성	한국 교통 대학교	강성값 5kN/mm (기준치 5.5~7.5kN/mm)	고무판 두께 증대 (목부위, 복부, 저부)
4 (8/19)	정적 수직 강성	한국 교통 대학교	강성값 6.15kN/mm (기준치 5.5~7.5kN/mm)	고무판 두께 증대 (목부위, 복부, 저부)
5 (8/29)	동적 수직 강성	한국 교통 대학교	레일 3mm 치짐 발생	-
6 (9/5)	정적 수직 강성	한국 교통 대학교	레일 3mm 치짐 발생	레일 체결 높이 수정
7 (9/10)	정적, 동적 수직 강성	한국 교통 대학교	레일 2mm 치짐 발생	고정판 가공 (4mm)
8 (9/16)	정적, 동적 수직 강성	한국 교통 대학교	레일 2mm 치짐 발생	고정판 가공 (6mm)

**Fig 6** 정적, 동적수직강성 시험

2.3 구조해석

방진체결장치의 구조적 안전성과 소음 절감 효과를 입증하기 위한 구조해석을 진행중에 있다. 본 논문에서는 구조해석을 위한 기준과 방법을 중점적으로 서술하고자 한다.

2.3.1 구조해석 모델 선정

모델은 두 가지로 선정하였고, 일반형 모델은 최대 150km/h 이하의 속도 구간에 적용할 목적이며, 고속형 모델은 설계속도 250km/h 고속 구간 적용 가능성 및 진동 저감 효과를 입증하는 것이 목표이다.

2.3.2 설계 기준 및 해석 조건

구조해석은 철도설계지침 및 편람 및 철도 건설규칙 등 국내 관련 기준을 기반으로 수행된다. 속도 조건은 해석 모델에 따라 150km/h 이하, 150km/h~250km/h의 두 가지 속도 조건으로 분리하여 진행하며, 차량과 궤도 간의 상호작용 해석을 통해 차량의 주행 안전성 및 궤도에 작용하는 하중 및 접속 구간 주행 안전성도 함께 검토한다.

3. 결 론

본 논문은 철도 운행으로 발생하는 진동 문제를 해결하고 국내 철도 환경에 최적화된 방진체결장치를 개발중인 단계를 제시하였다. 시제품 제작 과정에서는 관련 시험을 반복 수행하여 적합한 모델을 도출하는 등 개선 과정을 통해 기준치를 만족하는 성능을 확보하였다. 현재 시제품의 종합적인 성능 및 안전성을 입증을 위해 구조해석과 추가 시험을 병행하고 있다.

본 연구 결과는 국내 환경에 최적화된 방진체결장치 개발의 기반을 마련하고, 철도 기술의 해외 의존도를 낮추는데 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부 중소기업기술개발 지원사업 “철도 진동 저감용 방진체결장치 국한화 개발” 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 국토교통부(2019). “철도 소음/진동 저감기술 개발 최종보고서”