

철도 진동 저감용 궤도구조 및 체결장치 개발목표

Objective of development of track structure and fastening system for reducing railway vibration

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

Seong Won Jeong^{*†}, Ki Jun Son^{*}, Nam Su Lee^{*}, Dong Yeon Kim^{*}, Ha Young Jeong^{**}

초 록 국내에는 철도 진동 저감을 위해 플로팅슬래브 궤도와 방진체결장치 등 다양한 궤도구조가 적용되고 있다. 이 중 플로팅 슬래브 시스템은 설치 및 유지에 있어 상당한 비용이 발생함에 따라 실제 현장 적용에는 어려움이 있다. 또한, 현재 국내에서 사용되는 진동 저감용 방진체결장치는 전량 수입에 의존하고 있어, 관련 분야의 연구개발이나 제품 성능 향상이 이루어지지 못하고 있는 실정이며, 결과적으로 해외 기술 의존이 지속되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 국내 환경에 적합한 진동 저감형 체결장치의 개발 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 방진체결장치 개발에 있어, 국내 환경에 적합한 철도 진동 저감용 궤도구조 및 체결장치의 개발목표를 제시하고자 한다.

주요어 : 철도 진동, 콘크리트궤도, 방진체결장치

1. 서 론

국내에는 철도 진동 저감을 위하여 플로팅 슬래브 궤도 및 방진체결장치 등 여러 궤도 구조를 적용하고 있다.

그중 플로팅 슬래브 시스템은 궤도구조를 변경해야 하므로 적용에 많은 제약이 있으며, 이로 인해 상당한 비용이 발생하여 적용에 어려움이 있다. 또한, 국내에서 사용되는 진동 저감용 방진체결장치는 전량 수입에 의존하고 있어, 관련 분야의 연구개발이나 제품 성능 향상이 이루어지지 못하고 있으며, 결국 해외 기술에 의존하는 실정이다. 이에 따라, 국내 환경에 적합한 진동 저감형 체결장치를 개발하여 이러한 문제를 해결할 필요성이 커지고 있다.

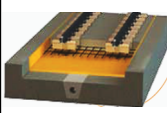


따라서 방진체결장치 개발에 있어, 국내 환경에 적합한 철도 진동 저감용 궤도구조 및 체결장치의 개발목표를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 철도 진동 저감용 체결장치 선정

국내에서 적용하고 있는 방진궤도구조는 플로팅 슬래브 궤도구조와 방진체결장치 궤도구조가 있다.

Table 1 국내 소음·진동 저감 방진궤도

구분	플로팅 슬래브궤도		방진체결장치
	전면매트방식	스프링 지지방식	
구조사진			
구조	2중 방진궤도구조 (전면지지 탄성매트+ 방진체결장치)	2중 방진궤도구조 (슬래브 스프링지지+ 방진체결장치)	복부지지 탄성체를 이용 (레일과 도상면 분리)
LVT 대비 진동저감	2.9~7.1dB 감소	4.5~10.9dB 감소	2.6~7.5dB 감소
경제성	2,070 백만원/km	2,219 백만원/km	1,225 백만원/km
유지 보수성	(점검 및 교체불가)	양호 (점검 및 교체 가능)	우수 (점검 및 교체 용이)

† 교신저자: (주)세안 기업부설연구소

(xnghs1052@seaninc.co.kr)

* (주)세안 기업부설연구소

** 국가철도공단 철도혁신연구원

철도 구간 중 진동과 소음을 감소시키기 위해 궤도 설계에 사용되는 기술로는 궤도의 탄성구조 질량(Mass)을 증가시키거나 강성계수(Stiffness)를 감소시키는 방법이 있다.

궤도구조의 질량을 증가시키는 플로팅 슬래브 방식은 진동저감 성능은 우수하지만, 경제성과 유지 보수성 측면에서 많은 제약이 있어, 실질적인 적용에는 어려움이 있다.

궤도의 강성계수(Stiffness)를 감소시키면 공명주파수가 낮아져 진동 차단 성능이 향상되지만, 일반적인 레일 체결구조에서는 레일의 수직 변위가 커질 경우 두부의 횡변위도 또한 증가한다.

방진체결장치 중 복부지지 방식은 강성계수를 감소시킬 수 있으며, 레일 두부의 횡변위를 최소화할 수 있어 우수한 진동 차단 성능을 발휘한다. 또한 플로팅 슬래브 궤도보다 경제성이 높고 다양한 궤도구조에 적용 가능하다는 장점이 있다.

따라서 기술적·경제적 이점이 뛰어난 복부지지형 방진체결장치를 선정하였다.

2.2 방진체결장치 개발목표

진동·소음 저감용 방진체결장치 개발목표는 다음과 같다.

- ①최대속도 200km/h 방진체결장치 개발
- ②철도 진동 최소 3dB 저감
- ③진동·소음 저감용 방진체결장치 국산화 및 원가절감
- ④모든 선로(신설선, 운영선)에 적용 가능한 시공방안 개발
- ⑤국내 환경(혹한기, 혹서기)에 대한 목표 성능 유지

2.3 방진체결장치 개발내용

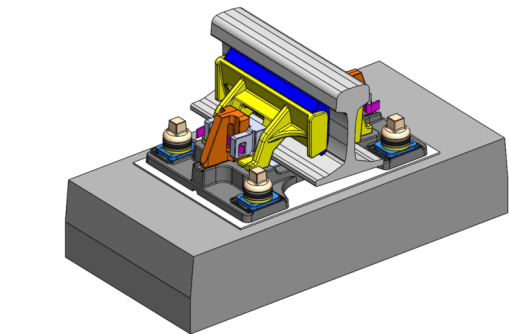
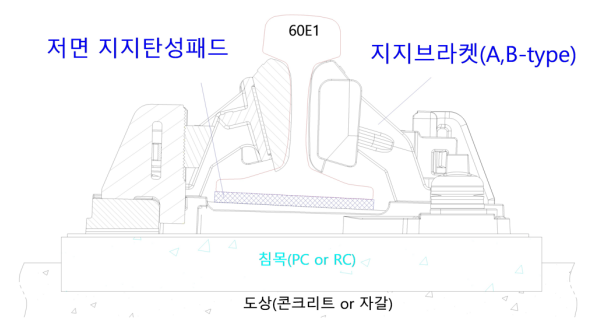
개발의 성공적인 결과 도출을 위하여 다음과 같은 내용을 진행한다.

- ①개발방안 수립 및 방진체결장치 설계
- ②천이구간 설계
- ③해석적 검증
- ④시제품 제작 및 시험적 검증
- ⑤현차주행시험,소음·진동 계측

2.3.1 개발방안 수립 및 방진체결장치 설계

개발 범위를 명확히 하기 위해, 적용 범위를 콘크리트궤도로 한정하였다. 또한, 적용 대상 레일은 현재 널리 사용되고 있는 60E1 레일로 설정하였다. 이에 따라 콘크리트궤도용 60E1 방진체결장치를(2D 및 3D)설계 하였다.

Fig 1 방진체결장치 2D,3D설계



방진체결장치 관련 기준 및 요구조건 도출을 위해 방진궤도 현장 방문 및 조사를 진행하였다. 현재 방진체결장치가 부설된 신분당선에 방문했으며, 방진체결장치 설계 기준 및 구조 검토를 진행하였다.

Table 2 방진체결장치

부품도	조립도

철도시설 성능검증 및 현장설치 시험을 위해 시험부설 대상지 방문 및 시공조건을 검토 하였다. 그 결과, 인주역을 1순위 검토 대상으로 선정했으며, 향후 인주역 외의 대상지에 대해서도 추가로 방문 및 시공조건을 검토할 예정이다.

Fig 2 시험부설 대상지 방문

인주역	
향남역	
화성시청역	

2.3.2 천이구간 설계

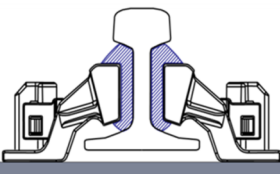
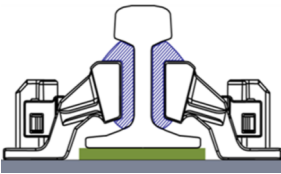
천이구간은 방진체결장치와 인접구간의 콘크리트체결장치 간에 강성계수 차이가 발생하는 구간이다. 서로 다른 강성으로 인해 천이구간 형성되므로, 이에 대한 설계가 필요하다.

Table 3 체결장치별 강성계수 차이

항목	콘크리트궤도용 체결장치	방진체결장치
강성계수	20~45kN/mm	5~10kN/mm

레일 하부에 탄성패드를 삽입하여 방진체결장치의 강성계수를 조절하고, 이를 통해 천이구간의 궤도안정성 확보하는 것을 검토 중에 있다.

Table 4 천이구간 설계 방안

기존 방진체결장치	접속부 방진체결장치
	

이 구간에서 주행 안정성 확보 또한 중요한 요소이다. ‘KR C-14080’ 기준에 따라 천이구간에서 방진체결장치의 성능을 평가한다.

Table 5 천이구간 주행안전성 검토항목

항목	차체상하 진동가속도	윤종 변동율	레일피로 허용응력
기준값	1.3 m/sec ²	0.13	200N/mm ²

2.3.3 해석적 검증

구조해석을 통해 차량의 주행 안정성 및 열차 하중 및 레일 축력 재하에 따른 방진체결장치의 성능을 입증하고 구조해석 결과를 설계에 반영하여 최종 제품 형상을 결정하는 것을 목표로 한다. 해석적 검증은 통한 세부내용은 다음과 같다.

- ①차량과 궤도와의 상호작용 해석을 통한 차량의 주행 안정성 및 궤도에 작용하는 하중 평가
- ②상세 구조해석을 통한 방진체결장치 구조 안정성 및 사용성 검토
- ③방진체결장치의 방진 효율성 평가
- ④일반 체결장치와 방진체결장치의 접속구간 차량 주행 안정성 검토

2.3.4 시제품 제작 및 시험적 검증

현재 체결장치 및 고무 제작업체를 선정하여 시제품 제작 중에 있으며, 방진체결장치 시험적 검증은 ‘KRS TR 0014 레일체결장치’ 기준에 따라 공인기관을 통해 성능 시험을 실시하여 검증한다.

2.3.5 현차주행시험, 소음·진동 계측

국내 환경에서 최대속도 200km/h의 조건에 따라 방진체결장치의 성능을 평가하기 위해, 철도시설 성능검증지침에 따른 현차주행 성능시험을 실시한다.

이 평가는 ‘KR C-14060 궤도재료설계’ 및 ‘국가철도공단 성능검증지침’ 기준에 따라 수행된다. 실제 주행상황에서 방진체결장치의 성능을 검증하며, 혹한기 및 혹서기에도 시험을 실시하여, 국내 기후 조건에서도 안정적인 성능을 유지하는지를 확인한다.

방진체결장치 설치 전후의 진동 및 소음 데이터를 분석하여, 진동 저감량이 목표치에 도달하는지를 기준으로 방진체결장치의 성능을 평가한다.

측정 방법으로는 궤도(레일, 침목(도상))과 구조물 진동 및 실내 진동, 소음등을 측정하기 위해 가속도계(진동측정)와 마이크로폰(소음측정) 센서를 설치할 예정이다. 열차가 역사내로 진입하여 정차 및 출발 시 측정 센서를 지나는 시간 동안(1~2초) 측정한 계측 데이터 중 배경 진동이나 배경소음보다 높은 영역에서의 데이터를 1/3 옥타브분석(Octave, Narrow Band, 12.5~250Hz)과 열차 종류별 최대 등가소음도 (equivalent noise level, Leq, 31.5~8k Hz)분석을 수행한다. 등가소음도는 각 센서 위치에서의 등가소음 측정치를 기초로 하여 다음 식에 의해 평균 등가소음을 구한다.

$$\bar{L}_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{eqi}} \right) dB(A)$$

3. 결 론

본 연구에서는 국내 철도 환경에 적합하고 경제성을 갖춘 방진체결장치의 개발 필요성을 도출하였으며, 이를 만족할 수 있는 방진체결장치 개발 목표 및 방안을 제시하였다. 개발 목표와 그에 따른 개발 방안을 수행하여 해외 기술 의존도를 탈피할 수 있는 방진체결장치 개발이 최종 목표이다.

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”