

전동차 바닥구조의 진동절연특성이 실내소음에 미치는 영향

Study on the Effect of Vibration Reduction Characteristics of Floors on the Inside Running Noise in Railway Vehicles

우관제*
Woo, Kwanje

ABSTRACT

Structure-borne noise is known to dominate internal running noise levels in open field. In this paper vibration isolation characteristics of floors are investigated to see their effect on the internal running noise. By using the analysis and test results of test specimen of small size, internal running noise level of complete train is estimated. Analysis results show that soft rubber as a vibration isolator has the most favorable effect on the inside running noise.

1. 서론

전동차의 실내소음을 줄이기 위해서는 전동차가 주행하는 환경과 소음발생원인을 고려하여 소음저감대책을 수립해야 한다. 예를 들어 전동차가 터널 속을 주행할 경우에 실내소음은 주로 차체의 소음투과손실치에 따라 결정된다. 특히 차체 바닥과 도어의 투과손실치가 실내소음에 가장 큰 영향을 미치고 있다.

터널과는 달리 개활지를 주행하는 전동차의 실내소음은 주로 바닥재의 음향투과손실과 진동절연특성에 의해 결정된다. 이는 대차에서 발생한 소음이 직접 입사되는 부위가 차량의 바닥부위이며, 개활지의 특성상 사방으로 퍼져나간 소음은 전동차 쪽으로 되돌아 오지 않기 때문이다. 다만 회절효과에 의해 측벽으로 입사되는 소음은 측출입문과 측창을 통해 실내로 유입된다. 또한 대차부위에서 발생하는 진동은 대차와 차체의 기계적 연결구조를 통해 차체로 전달되는데, 이 기계적 연결구조는 주로 전동차의 바닥부위에 있다. 따라서 대차에서 발생한 진동은 주로 바닥판을 가진시키며 바닥의 진동은 바닥 표면에서 음향에너지를 발생시켜 실내로 퍼져나가게 된다.

본 논문에서는 바닥판의 진동절연특성이 개활지를 주행중인 전동차의 실내소음에 미치는 영향을 살펴보았다.

* 현대로템 기술연구소 응용기술연구팀 수석연구원, 정회원
E-mail : wookj@rotem.co.kr
TEL : (031)460-1290 FAX : (031)460-1780

2. 구조기인소음의 개요

전동차가 레일을 주행을 하면 차륜/레일 접촉력, 견인전동기와 드라이빙기어의 회전에 의한 가진력 및 인버터 신호에 의한 토크리플 등에 의해 대차가 진동하게 된다. 대차에서 발생한 진동은 대차와 차체의 기계적 연결부를 통해 차체를 가진하게 되는데 이때 진동원에서 가장 가깝고, 가진에 의한 진동레벨이 가장 큰 바닥부위가 진동하면서 발생하는 소음이 실내소음에 가장 큰 영향을 미치게 된다.

따라서 구조기인소음을 줄이기 위해서는 진동원 자체의 크기를 줄이거나, 대차에서 차체로 전달되는 진동의 크기를 줄여야 하는데 본 논문에서는 차체로 전달된 진동이 실내 바닥판까지 전달되는 과정에서 나타나는 진동절연특성에 대해서 연구하였다. 실내 바닥판의 진동을 줄이기 위해서는 바닥판과 차체의 언더프레임간의 진동절연성능을 키워야 하는데 이를 위해 일반적으로 이중바닥구조나 부유상 등의 구조를 채택하고 있다.

원래 이중바닥구조나 부유상구조는 공동주택의 층간 소음이나 진동을 줄이기 위해 도입한 개념으로서 윗층에서 발생하는 충격음이 아래층으로 전달하지 못하도록 이중으로 바닥을 설치한 개념이다. 공동주택에서는 이를 위해 일정 수준이상의 충격음감쇠량을 갖는 바닥마감재를 사용하고, 슬라브 두께를 일정 두께 이상으로 두껍게 하며, 바닥마감재와 슬라브 사이에 완충재나 단열재를 사용함으로써 충격소음, 즉 구조기인소음을 줄이고 있다.

철도차량에서의 이중바닥구조와 부유상구조는 차체 하부에서 발생한 진동이 철도차량 실내로 전달하지 못하도록 하는 개념이다. 이를 위해서 철도차량의 키스톤플레이트와 바닥판 사이에 각목 등을 끼워 이중바닥으로 하든가, 키스톤플레이트와 바닥판 사이에 연성리버를 끼워 적극적으로 진동절연효과를 보기도 한다 (그림 1).

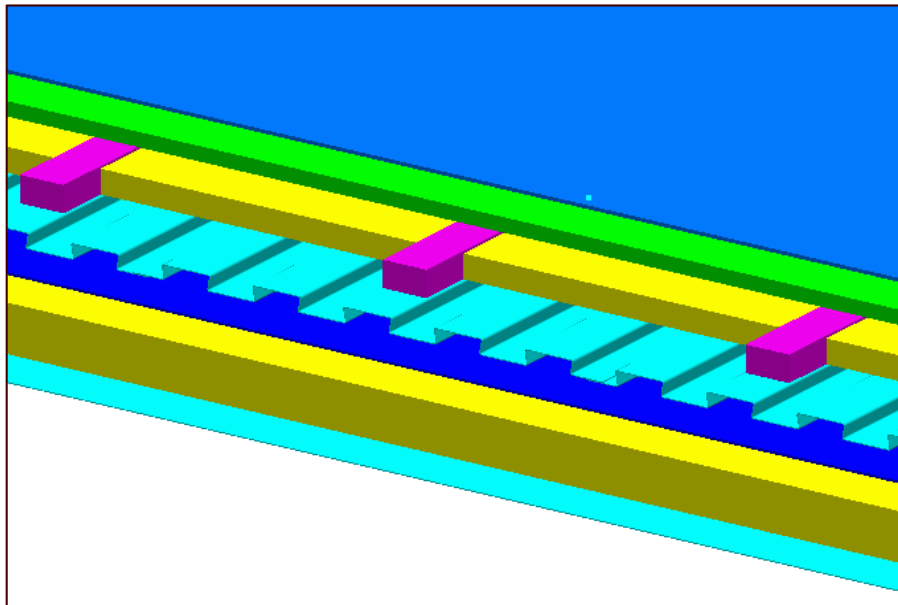


그림 1. 철도차량에서 사용하는 부유상구조

3. 시편의 진동절연특성

철도차량에서 사용하는 바닥구조의 진동절연효과를 살펴보기 위해 아래 그림2와 같이 1.5미터x1.5미터의 시편을 만들어 해석과 시험을 수행하였다 [1, 2].

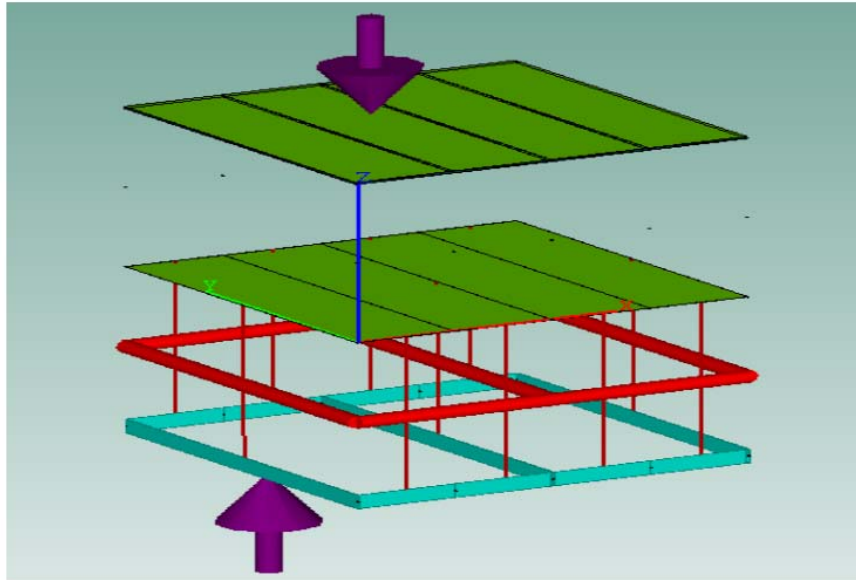


그림 2. 해석에 사용한 AutoSEA 모델

해석과 시험결과를 살펴보면 그림 3과 같이 소프트러버 > 하드러버 > 각목의 순으로 진동절연특성이 우수하다는 것을 알 수 있다 [2].

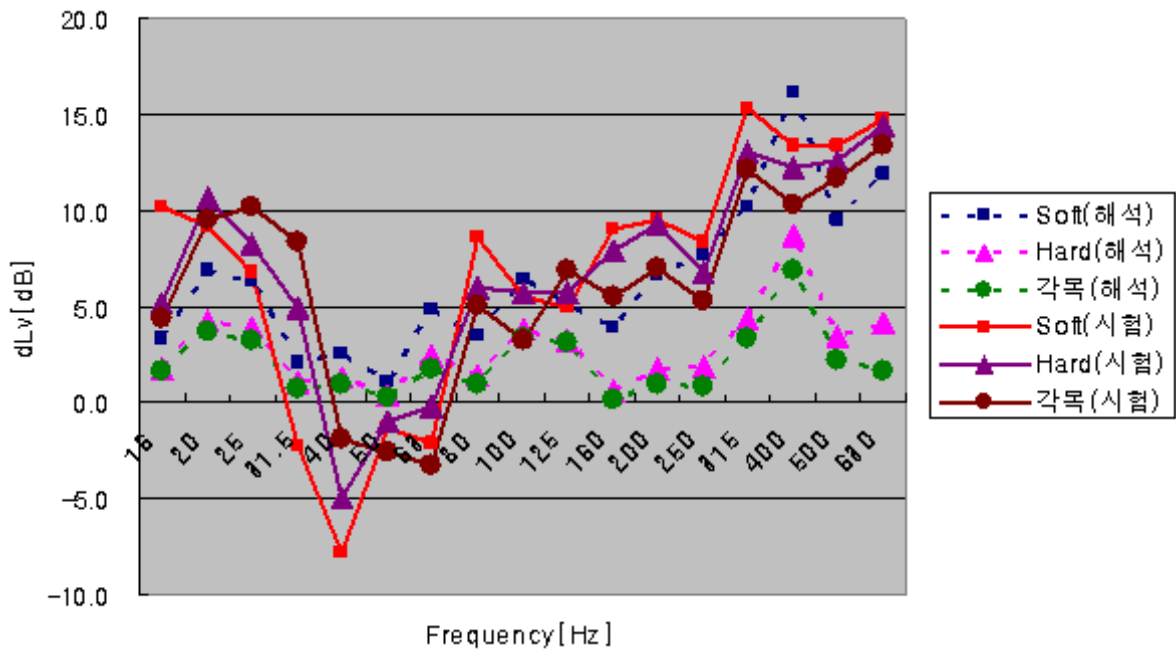


그림 3. 해석과 시험결과

해석과 시험의 차이를 나타내는 요인은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (1) 해석에서는 한장의 시트에 대해 하나의 진동량을 출력하는데 비해 시험에서는 공간적으로 분포시킨 13개의 가속도계에 측정된 신호를 면적평균한 값을 사용
- (2) 해석에서는 러버 등의 연결요소가 상하판에 완벽하게 접합되어 있는 상태인 반면에 시험에서는 완벽하게 접합되지 않음

4. 완성차 단위의 실내소음 예측

시험단위의 해석과 시험으로부터 구한 언더프레임과 바닥구조간의 진동절연특성을 이용하여 완성차 수준의 실내소음을 예측하였다.

공기기인소음과 구조기인소음은 모두 AutoSEA 모델을 사용하였으며 전동차를 7개의 Air cavity로 나눠 각 cavity당 평균적인 음압을 구하였다.

해석모델은 개활지, ballasted 궤도를 80km/h로 주행했을 때를 가정하였다. 실내흡음률과 방사계수는 실제 차량에서 측정된 잔향시간을 이용해서 구했으며 차륜과 레일의 접촉에 의해 발생하는 가진력은 당시의 데이터베이스를 사용하였다.

공기기인소음은 주요 소음원의 소음도와 차체의 투과손실치를 이용하여 해석하였다.

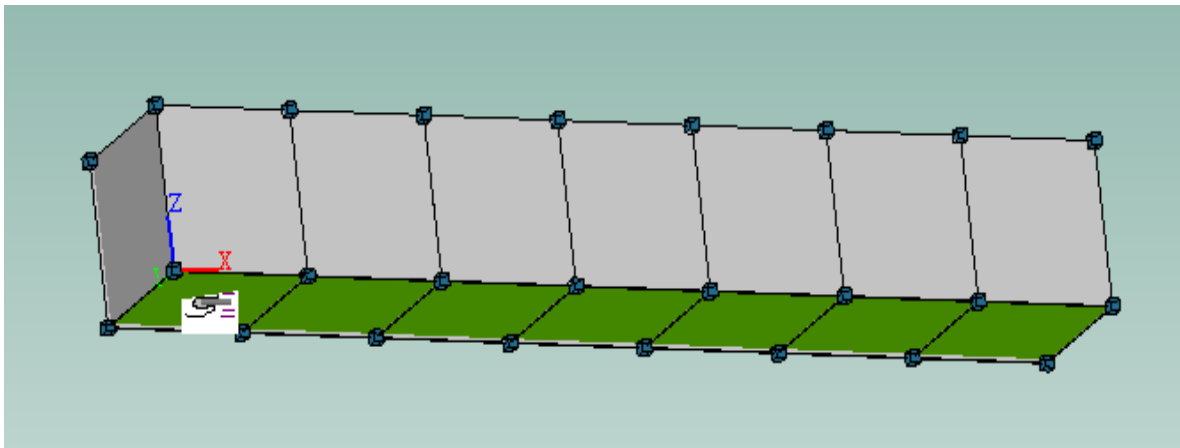


그림 4. 해석 모델

이렇게 해서 나온 해석결과는 Table 1과 같다. 구조기인 해석결과를 살펴보면 연결체의 강성이 작으면 작을수록 실내소음은 낮아지며 특히 소프트러버와 유니텍스는 18dBA 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 개활지 주행중인 전동차의 구조기인소음 저감을 위해서는 바닥구조의 진동절연이 필수임을 알 수 있다. 구조기인소음에 있어서 소프트러버와 각목과의 차이는 약 6dBA가 나고 있다. 주행중인 전동차의 실내소음은 구조기인소음에 공기기인소음과 에어컨소음이 더해져 결정되는 것을 감안하면 소프트러버는 유니텍스 구조 보다 약 9dBA 정도 실내소음이 낮게 예측되며 이는 실제 차량으로 시험한 결과와 잘 일치하고 있다. 또한 소프트러버와 하드러버 또는 각목 등의 바닥구조는 약 1~2dBA 정도의 실내소음 차이를 보이고 있다.

Table 1: Analysis Results (80km/h, Open field)

	소프트러버	하드러버	각목	유니텍스
구조기인소음 (dBA)	60	65	66	78
공기기인소음 (dBA)	66	66	66	69
에어컨 소음 (dBA)	68	68	68	68
전체 실내소음 (dBA)	70	71	72	79
실차 측정치 (dBA)	70	-	-	78

5. 결론

연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 해석결과 소프트러버는 유니텍스 보다 구조기인소음에서 약 18dBA 정도 소음저감효과가 있으며, 전체 소음도에서는 약 9dBA 정도의 소음저감효과가 있는 것으로 예측되었다.
- (2) 소프트러버는 하드러버 또는 각목을 사용한 바닥구조보다 5~6dBA 정도의 구조기인소음 저감효과가 있고, 전체 소음도에서는 1~2dBA 정도의 소음저감효과가 있었다.
- (3) 공기기인소음과 에어컨 소음을 작게하면 구조기인소음 저감효과가 전체 소음도에 미치는 효과는 더 커질 수 있다.

6. 참고문헌

- 1) 우관제, 박희준, “철도차량에서 사용하는 부유상구조의 진동절연특성에 관한 연구,” 2006년 추계철도학회, pp.44~48
- 2) 박희준, 우관제, “SEA 기법을 이용한 부유상구조의 구조기인 소음 예측,” 2007년 추계철도학회, pp.255~261
- 3) Nicolas Baron, Some Acoustical Properties of Floating Floors Used on Trains, KTH Aeronautical and Vehicle Engineering
- 4) M. Wollström, Light Weight Floating Floors for Use in Trains, Sixth International Congress on Sound and Vibration