

전산해석을 이용한 동력 분산형 고속철도 차량의 투과 손실 예측 Numerical Analysis of Transmission Loss Prediction in High Speed Trains

김태민† · 김정태* · 김정수** · 김수영***

Kim Tae-Min, Kim Jeung-Tae, Kim Jung-Soo, Kim Soo-Young

1. 서 론

현재 철도 기술은 철도차량의 고속화, 경량화와 함께 승객의 승차감과 쾌적성을 고려한 승객의 편의성 차원에서 많은 연구가 진행 되고 있다. 우리나라의 고속철도 차량의 실내소음 기준은 시속 350 km 로 주행 시 개활지에서 71 dB(A), 터널 통과 시 75 dB(A)인데 이는 미국의 American Public Transit Association이 제시한 시속 300 km 주행 시 개활지에서는 70 dB(A), 터널 통과 시 80 dB(A)기준에 비해 더 엄격한 수준이다. 현재 개발 중인 분산형 차량의 경우 각 객차마다 동력원이 분산 배치되어 있으며 기존 차량과는 달리 열차 차체 구조물이 철에서 알루미늄 재질로 변경되었기 때문에 열차의 실내 소음도는 더욱 커질 것으로 예상된다. 따라서 고속철도 차량의 실내소음을 저감 시킬 수 있는 방안을 시급히 강구할 필요가 있다.

본 논문에서는 로템사에서 제공한 분산형 고속철도 차량의 도면을 바탕으로 각 차체에 대한 투과손실량을 예측하였다. 또한 본 논문에서 사용하게 되는 전산해석의 결과의 신뢰도를 확보하기 위하여 선행 연구에서 연구한 경전철 차량의 바닥재 실험 결과와 본 연구에서 수행하게 될 전산해석방법을 적용한 경전철 차량의 시뮬레이션 해석 결과를 비교 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 투과 손실 연구 방법 및 경전철 차량 바닥재를 통한 연구 방법 검증

본 연구에서는 로템사에서 제공 받은 동력 분산형 고속철도 차량의 도면을 이용하여 각 차체 구조물에 대하여 음향 해석 상용 소프트웨어인 VA ONE에서 모델링 하였다. 열차 전체 시편을 이용한 전산 해석은 고성능의 컴퓨터가 요구되

므로 시편의 크기나 경계조건에 큰 영향을 받지 않고 주로 주름부의 주름의 사양에 민감한 국부적 공진모드에 초점을 맞추었고 시편 길이는 1.5m로 모델링 하였다. 여기서 국부 공진 모드란 시편의 크기에 민감한 전체(global) 공진모드와는 달리 시편의 길이를 1/2, 1/4로 축소시켜도 큰 변화가 없으며, 시편의 크기나 경계조건에 별로 영향을 받지 않으면서 주름부의 주름의 길이, 코어 및 상하판 두께 및 각도에 민감하게 지배되는 주름단위의 굽힘모드를 의미한다.

모델링 된 시편을 대상으로 유한요소해석 상용 프로그램인 NASTRAN 을 이용하여 주요 굽힘, 비틀림, 국부 공진모드의 형상과 공진 주파수를 해석하였다. 해석된 시편의 구조적 특성을 이용하여 VA ONE을 통해 각 차체 구조에 대한 투과손실량을 예측하였다. 시편의 상·하 공간에는 면의 수직 방향으로 무한 공간을 각각 모델링하고, 시편의 하판에 가진을 주는 형태로 모델링하여 해석하였다. 유한요소 해석 방법을 통해 해석된 각 시편의 고유 진동수는 VA ONE에서 하판의 가진에 의해 상·하판에 두 개의 임계 주파수로 존재 하게 되며 일치 효과를 통해 투과손실량을 해석하게 된다. 동력 분산형 차량의 투과손실 해석에 앞서 본 연구에서 제안하는 방법의 신뢰성을 검증을 하기 위하여 경전철 차량의 바닥재를 대상으로 실험과 시뮬레이션 투과 손실 결과를 비교 분석 하였다. 경전철 바닥재의 1.5 m 시편을 제작하여 FRF 분석 및 투과손실 실험 결과를 얻고 본 연구에서 사용되는 시뮬레이션 방법을 동일한 시편에 적용한 결과와 비교 분석하여 본 논문에서 제안하는 해석방법이 동력분산형 고속철도 차량 내 각 시편에 대한 투과 손실량 예측 결과에 활용할 수 있다는 신뢰성을 검증하였다.

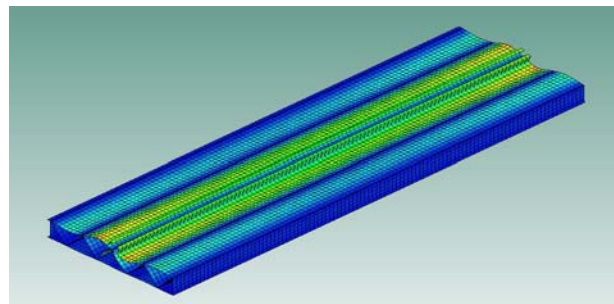


Fig. 1 Local resonance mode of floor panel of LRT

경전철 차량의 바닥재의 FEM 해석 결과 주 굽힘 모드는

† 김태민; 학생회원, 홍익대학교 기계공학
E-mail : wowbranden@hotmail.com
Tel : (02) 320 - 1113, Fax : (02) 320 - 1113

* 홍익대학교 기계 시스템 디자인 공학과

** 홍익대학교 기계 시스템 디자인 공학과

*** 홍익대학교 기계 시스템 디자인 공학과

195.5 Hz, 주 비틀림 모드는 283.47 Hz에서 해석 되었으며 첫 국부 공진 모드의 경우 590.04 Hz 이후부터 나타나는 것으로 해석되었다. 그림 1은 경전철 차량 바닥재의 첫 국부 공진 모드를 보여준다.

그림 2는 경전철 차량 바닥재에 대한 실험적 투과손실량과 전산해석을 통한 투과손실량을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 저주파 대역 특정 주파수에서 비교적 차이를 보이지만 이 주파수 대역을 제외한 전 주파수대역에서 매우 근사한 결과를 보이는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 해석 방법을 활용하여 신빙성 있는 예측 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

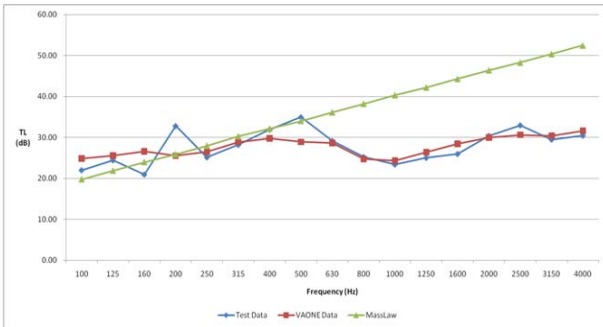


Fig. 1 Comparing of simulation and experimental results

2.2 동력 분산형 고속철도 차량의 투과 손실

동력 분산형 고속철도 차량의 차체 구조물에 대한 투과손실량을 해석하기 위해 고속철도 차량의 차체 구조물을 바닥면, 천장, 벽면으로 나눠서 각각 VA ONE에서 모델링 하였다. 본 연구는 국부 공진모드에 초점을 맞췄으며, 시편 길이는 경전철 실험을 통한 예측 결과 검증에서 사용했던 시편과 동일하게 1.5m로 모델링 하였다. 모델링 된 시편을 이용하여 유한요소해석 상용 프로그램인 NASTRAN을 이용하여 주요 굽힘, 비틀림, 국부 공진모드 형상과 공진 주파수를 해석하였다.

동력 분산형 고속철도 차량의 각 시편에 대한 첫 굽힘 모드, 비틀림 모드, 국부 공진 모드를 정리하면 표1과 같다. 표 1에서 볼 수 있듯이 차량의 국부 공진 모드는 약 500 Hz 이후에서 나타나므로 주 굽힘 모드 및 비틀림 모드와는 확연하게 다른 주파수 영역에서 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

Table 1 Resonance frequencies of each panel

	굽힘 모드	비틀림 모드	국부공진 모드
천장 평탄부	182.57	133.99	567.92
천장 곡면부	251.38	417.38	532.96
벽면	162.58	248.02	449.26
바닥면	247.34	268.22	588.38

동력 분산형 고속철도 차량의 투과손실량을 음향 해석 소프트웨어인 VA ONE에서 해석하였다. 그림 3은 본 연구에

서 예측한 동력 분산형 고속철도 열차의 투과 손실량을 보여준다.

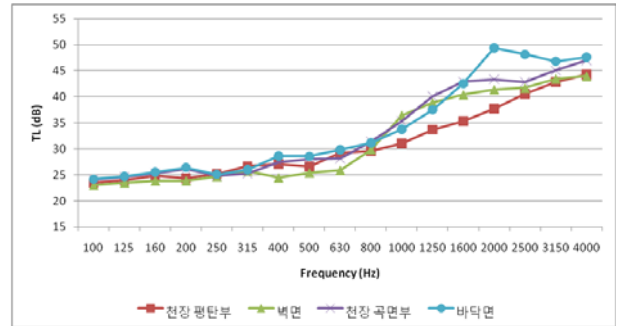


Fig. 3 Transmission loss of HST

4. 결 론

본 연구는 현재 연구되고 있는 최고 속도 시속 400 km 급 분산형 차량의 투과손실량을 예측하기 위하여 수행되었다. 경전철의 바닥재 실험을 통한 투과손실량 실험 결과와 본 논문에서 수행한 전산해석 투과손실 결과를 비교하여 본 결과, 특정 주파수에서는 차이를 보였지만 대부분의 주파수 대역에서 근사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 해석방법은 고속전철의 투과손실 예측에 타당한 방법이라고 판단된다.

본 연구에서 사용된 시편은 실제 차량의 전체 구조와 다르므로 시편의 주 굽힘 모드 및 비틀림 모드는 실제 주 굽힘 모드와 비틀림 모드와는 다를 것이다. 하지만 시편의 길이가 실제 열차 길이만큼 길어진다면 주 굽힘 모드와 비틀림 모드는 더욱 낮은 주파수값을 가지므로 첫 국부 공진 모드에 해당하는 주파수 영역에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 예측된 첫 국부 공진 모드 이후 영역에서는 투과 손실 저하에 대한 전체(global) 모드의 영향이 국부 공진 모드에 의한 영향보다 작으므로 첫 국부 공진 모드 이후의 주파수 영역에서는 실제 차량의 투과손실량과 비교하여 오차가 적을 것으로 판단된다. 즉, 실제 차량의 전체 구조의 투과손실량을 시편을 사용한 본 연구결과와 비교할 때 첫 국부 공진 모드보다 낮은 주파수 대역에서는 상당한 오차가 있을 수 있으나, 첫 국부 공진 모드 이후 주파수 대역에서는 상대적으로 오차가 적을 것으로 판단된다. 정확한 오차를 파악하기 위하여 추후 열차 전체 면에 대한 해석을 수행하고 실험결과와 비교할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 미래철도 기술개발 사업의 차세대 고속철도 기술개발 과제(실내의 소음저감 기술)로 수행된 연구 결과의 일부입니다.