

틸팅차량의 실내소음 해석

*김재철¹, 이찬우¹

¹ 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

Analysis of Interior Noise for Tilting Train

*J. C. Kim¹, C. W. Lee¹

¹ Railway System and Safety Research Department, Korea Railroad Research Institute.

Key words : Railway System, Interior Noise, Tilting Train

1. 서론

산업 발달과 함께 인적, 물적 자원의 신속한 수송이 점차 요구되면서, 철도차량의 경우에도 타 교통수단과의 경쟁력 확보를 위해서 속도향상에 많은 투자를 하였다. 그 결과 2004년 4월 300km/h급 고속철도차량인 KTX가 개통되었다. 그러나 KTX는 특정지역에 한정되어 운행되고 있기 때문에 지역간의 불균형을 초래하고 기존선과 연계운행 시 철도의 효율성이 저하되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 기존선의 속도향상이 절실히 요구되고 있어 현재 180km/h급 차량을 개발하고 있다. 이 차량은 곡선이 많은 국내의 선로조건을 고려하여 틸팅시스템(Tilting System)을 적용하여 곡선부에서 20~30%의 속도와 승차감을 향상시켰을 뿐만 아니라 대차에 자기조향장치(Self-Steering System)를 부착하여 곡선부에서 차륜과 레일의 마모 및 스킨소음을 저감시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 복합소재를 이용하여 차체를 제작하였기 때문에 기존차량에 비해서 30%이상의 경량화를 통해 에너지 절감과 궤도의 부담력을 감소시켰다. 그러나 차체의 경량화는 차량의 투과손실을 저하시키기 때문에 차량의 실내소음을 증가시키는 커다란 요인이 된다. 이와 함께 동력방식이 전동차와 동일한 분산식으로 기존 차량(새마을, 무궁화등)의 동력방식(집중식)과는 다르기 때문에 차량하부의 모터소음이 차량에 유입되어 실내소음에 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 현재 제작 중인 180km/h급 틸팅차량(Tilting Train eXpress:TTX)의 차내소음이 기준치를 만족하는지를 파악하기 위해서 틸팅차량을 모델링하여 실내소음을 예측하였다. 또한 차체 투과손실의 측정치를 이용한 결과와 비교하여 예측결과의 타당성을 검토하였다.

2. 차체의 투과손실 측정 및 계산결과

2.1 틸팅차량의 실내소음 기준 및 차체 구조

현재 개발 중에 있는 틸팅차량은 차체구조설계가 완료된 상태이고 proto type의 차량을 제작 중에 있다. 틸팅차량의 소음 기준치는 Table. 1과 같이 최고속도 180km/h 주행 시 객차의 실내소음은 70dB(A)이하, 운전실은 75dB(A)이하로 규정 되어있으며, 터널 통과 시에는 이 기준치에 7dB(A)가 추가된다.

Table 1 Noise Criteria of Tilting Train

| Operation Condition | Tilting Train | | |
|---------------------|----------------|------------|---------|
| | Exterior Noise | Open Field | Tunnel |
| 180km/h | Passenger Car | 70dB(A) | 77dB(A) |
| | Driving Cab | 75dB(A) | 82dB(A) |
| Stop | Passenger Car | 63dB(A) | |

틸팅차량은 차체를 경량화하기 위해서 Fig.1과 같이 Carbon/epoxy사이 에 Honeycomb알루미늄을 삽입한 복합재에 내장재를 부착하였다. 그리고 차체바닥은 Fig.2와 같이 하부에서 발생하는 소음/진동을 저감시키기 위해서 주름판넬사이에 방진

용 고무와 Glass wool를 삽입하였다.

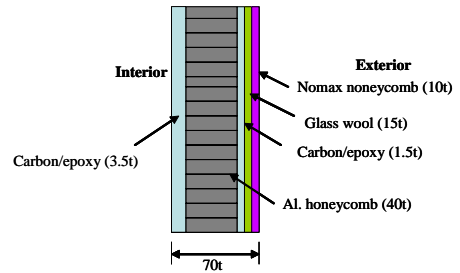


Fig. 1 Materials of Car body

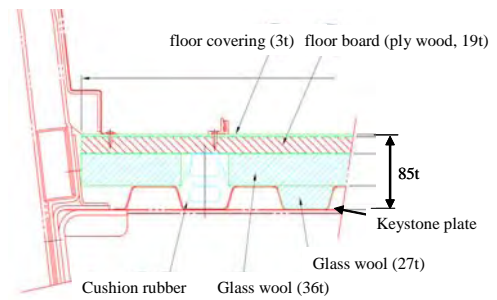
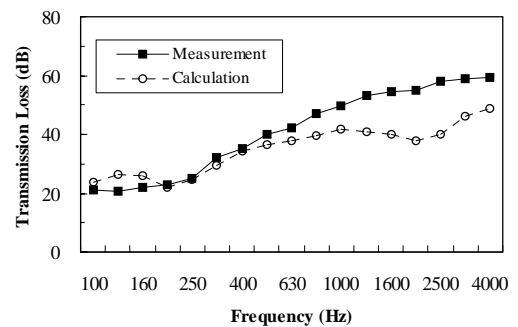
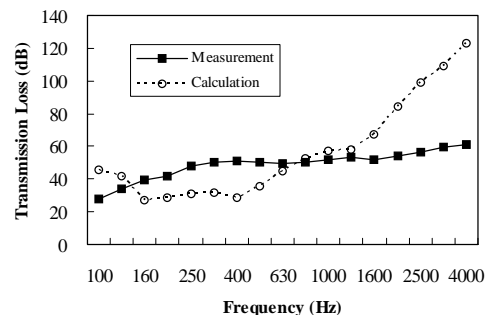


Fig. 2 Structure of Floor



(a) Side Wall



(b) Floor

Fig. 3 Comparison of Calculation Result and Measurement of Transmission Loss for Car body

2.2 틸팅차량의 투과손실 측정 및 계산결과의 비교

틸팅차량의 실내소음 예측결과와 투과손실의 측정값을 이용한 결과를 비교/검토하기 위해서 차체측벽 및 바닥의 투과손실을 측정하였다. 측정방법은 KS F 2808 및 ISO 140-3에 따라 실시되었으며, 측정된 결과 각각의 STC(Sound Transmission Class)는 39dB, 52dB로 나타났다.

Fig. 3(a)은 TTX차량의 내장재를 포함한 측벽의 투과손실에 대한 계산치와 측정치를 비교한 결과이다. 이 결과로부터 630Hz 이하의 영역에서는 유사한 경향을 보이지만, 고주파 영역에서 계산결과보다 측정결과가 크게 나타나고 있다. 이러한 차이는 2000Hz~2500Hz영역에서 코인시던스 영향이 계산결과에서 나타난 것으로 생각된다.

차체의 바닥 구조는 Fig. 2에서와 같이 차량 하부 프레임위에 Keystone plate, Cushion rubber 및 Glass wool이 복합되어 일정한 간격으로 배열되어있어서 시험편 제작이 어렵기 때문에 실제의 바닥구조와 최대한 유사하게 Under frame(9t)+Air gap(1t)+Keystone plate(1.6t)+Glass wool(60t)+Cushion rubber (3t)+Ply wood(19t)+Floor covering(3t)의 등가적인 구조로 제작하였다.

Fig. 3(b)의 측정결과에서는 바닥 재료가 고밀도이고 여러 재료가 복합적으로 구성된 구조이기 때문에, 계산결과와 커다란 차이를 나타내고 있다. 계산결과에서는 160Hz~400Hz 영역에서 상대적으로 낮은 투과손실 값을 보이는데 비해서 1600Hz 이상의 주파수 영역에서는 높은 투과손실 값을 나타내고 있다.

3. 틸팅차량의 실내소음 예측 및 검토

틸팅차량의 실내소음을 해석하기 위해서 현재 항공기, 자동차 및 선박분야뿐만 아니라 철도차량분야에서도 활발히 적용되고 있는 통계적에너지해석법(Statistical Energy Analysis :SEA)을 이용하였다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

틸팅차량의 해석모델은 벽면, 바닥, 창문, 출입문을 90개의 하부시스템과 객실공간을 2개의 음향공간으로 분할하여 각각의 하부시스템의 에너지 전달경로를 확인할 수 있도록 모델링하였다. 통계적에너지해석법을 이용하여 철도차량의 실내소음을 예측하기 위해서는 차량의 소음원에 대한 측정값이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 틸팅차량의 실내소음을 예측하기 위해서 KTX 차량이 200Km/h로 주행 시 측정된 차량 하부소음의 결과를 소음원으로 이용하였다. Fig. 4는 200Km/h로 주행 시 KTX 차량의 하부소음의 측정결과를 나타내고 있다.

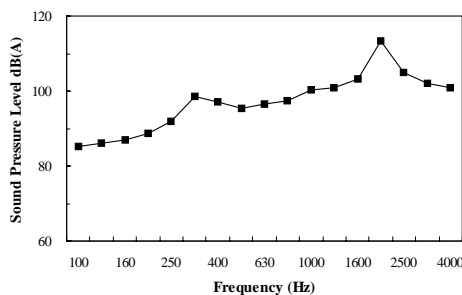


Fig 4 Under Body Noise of KTX at 200km/h

틸팅차량의 객차에 대한 실내소음을 예측하기 위해서는 하부 소음 이외에도 모터와 차륜/레일의 접촉에 의해서 전달되는 진동의 측정결과도 필요하다. 그러나 KTX와 틸팅차량은 동력방식이 다르기 때문에 이러한 진동측정결과를 얻을 수 없기 때문에 하부소음만을 이용하여 실내소음을 예측하였다.

Fig. 5는 KTX차량이 200Km/h로 주행 시 측정된 하부소음을 소음원으로 설정한 후 투과손실의 계산값과 측정값을 이용하여 계산한 틸팅차량의 실내소음 예측결과이다. 두 결과가 약간의 차이는 보이지만 거의 유사하게 약 66dB(A)~67dB(A)정도로 나타났다. 따라서, 모터와 차륜/레일의 접촉에 의한 진동을 고려

하여도 Table. 1의 기준치는 만족할 것으로 판단된다. Fig. 5의 예측결과에서 315Hz 영역과 2000Hz 영역에서의 소음레벨이 높게 나타나는 것은 Fig. 4의 차량 하부소음의 영향인 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용된 소음해석은 차량을 다수의 하부시스템으로 모델링한 후, 각 하부시스템의 에너지관계로부터 실내소음을 예측한다. 따라서, 각 하부시스템에 대한 에너지를 분석하면 차량 실내에 유입되는 소음의 기여도를 파악할 수 있다. Fig. 6은 차량 실내에 유입되는 음향파워를 나타내고 있다. 이 결과로부터 차량 실내에 유입되는 에너지의 대부분은 객실 바닥을 통해 전달되고 있음을 알 수 있다. 즉, 차량 하부에서 발생하는 소음은 차체 바닥을 통해서 객실 내부로 가장 많이 전달되고 있는 것을 나타내고 있다.

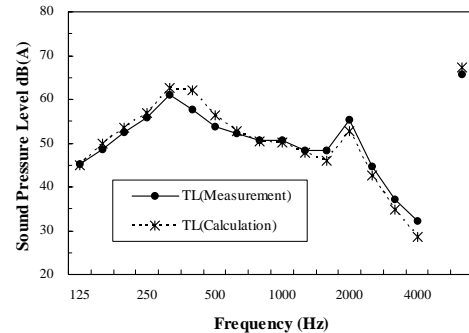


Fig. 5 Estimation of Interior Noise Level for Tiling Train(200km/h)

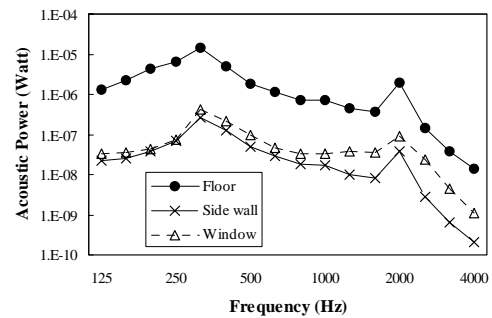


Fig. 6 Acoustic Powers Transmitted into Passenger Car.

4. 결론

현재 개발 중에 있는 180km/h급 중고속형 틸팅차량의 실내소음을 예측하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. (1)틸팅차량의 측벽 및 바닥의 투과손실 측정결과 각각에 대한 STC(Sound Transmission Class)는 39dB, 52dB를 나타내고 있다. (2)차체의 각 부분에 대한 기여도를 분석한 결과 실내에 유입되는 소음은 차량바닥>창문>벽체 순으로 전달된다. 따라서, 차체의 실내소음에 차량 바닥의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. (3)차량 벽체 및 바닥을 실제 재질과 유사하게 모델링하고, KTX 차량이 200km/h로 주행 시 측정된 차량하부의 소음을 소음원으로 적용한 결과 객실 소음은 약 65.6dB(A)로 나타났다. 이 계산결과에 차량하부 모터의 영향 등을 고려하면 예측결과보다 증가하지만 기준치는 만족할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Lyon. R. H., "Statistical Energy Analysis of Dynamical Systems Theory and Application," MIT Press, 1975.
2. Ulf. Orrenius, (2003), "Development and Valiation of an SEA Model of a Metro Rail Car," Proceeding of the Vibro-Acoustic Users Conference, 1-7, 2003.
3. 김재철, 이찬우 "통계적 에너지 해석법을 이용한 KTX차량의 실내소음 해석" 한국철도학회추계학술대회지, 75-79, 2004.