

투과손실을 이용한 틸팅차량의 실내소음 예측

Prediction of Interior Noise for Tilting Train by using Transmission Loss

김재철*

Kim, Jae-Chul

ABSTRACT

In this paper, we describe the analysis of interior noise for tilting train that is being developed in Korea. Tilting train is made of composite material to reduce the car body's weight and attached a self-steering system on bogie to improve curving performance.

However, the acoustic performance (Transmission Loss) of such material is worse than the materials of conventional train, such as aluminum, steel and so on.

Therefore, we measure the transmission loss of side wall / floor of tiling train and predict the interior noise for tilting train using its measuring results

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 고속철도 차량인 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 스킵소음을 저감시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 복합 소재를 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 시험운행 중인 180km/h급 틸팅차량(Tilting Train eXpress:TTX)의 차체의 투과손실을 측정하여 소음성능을 확인하고, 틸팅차량을 모델링하여 이 투과손실의 측정값을 이용하여 실내소음을 예측하였다.

* 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부, 정희원

E-mail : jckim@krri.re.kr

TEL : (031)460-5206 FAX : (031)460-5279

2. 틸팅차량의 차체구조 및 투과손실 측정결과

2.1 틸팅차량의 차체 구조

틸팅차량은 차체를 경량화하기 위해서 그림1(a)과 같이 Carbon/epoxy사이에 Honeycomb알루미늄을 삽입한 복합재에 내장재를 부착하였다. 그리고 차체바닥은 그림1(b)와 같이 하부에서 발생하는 소음/진동을 저감시키기 위해서 주름판넬사이에 방진용 고무와 Glass wool를 삽입하였다.

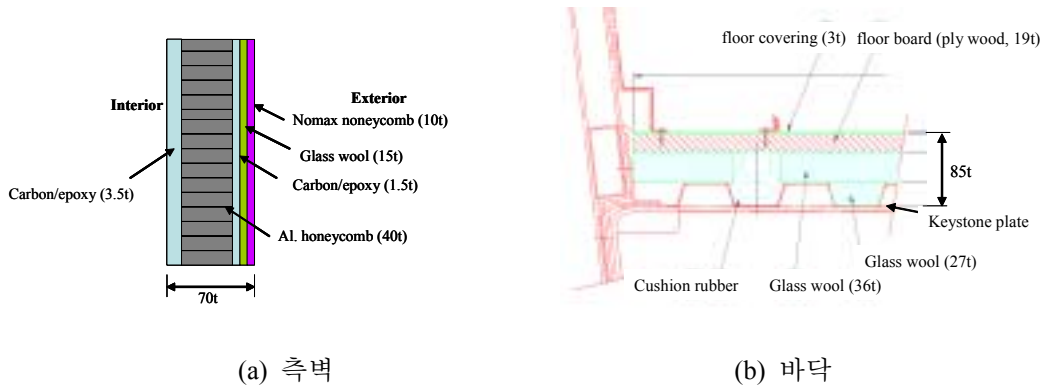


그림 1. 차체 구조

2.2 투과손실 측정방법 및 결과

투과손실은 음의 입사조건에 따라서 다르지만, 건축음향설계에 이용되는 경우에는 랜덤입사에 대한 투과손실을 이용한다. 이러한 경우에 측정방법은 그림2와 같이 2개의 잔향실 사이에 시험재료(면적:S)를 설치하여 음원실 내의 평균음압레벨(\bar{L}_1)과 수음실내의 평균음압레벨(\bar{L}_2)을 측정하고, 수음실내(체적:V2)의 잔향시간(T2)을 측정하여 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$TL = (\bar{L}_1 - \bar{L}_2) + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{A_2} \right)$$

TTX차량의 차체의 투과손실은 차량의 측벽과 바닥으로 구분해서 각각에 대한 시험편을 이용하여 KS F 2808, ISO 140-3와 ASTM E 90-044에 따라 실시되었다.

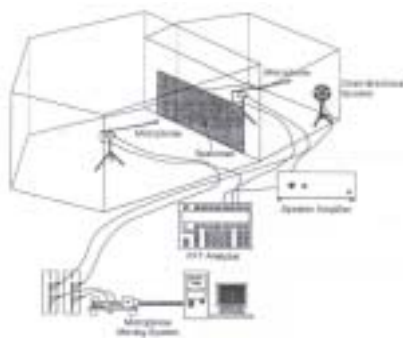


그림 2. 투과손실 측정 시스템

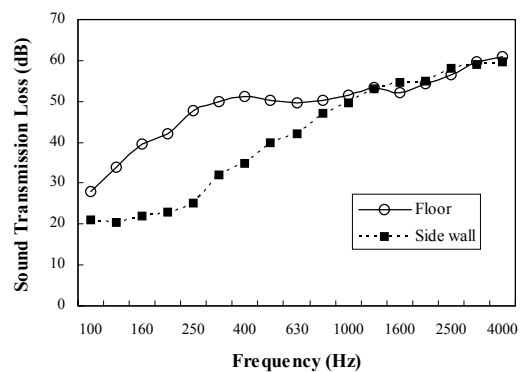


그림 3. 틸팅차량의 차체 투과손실 측정결과

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.

3. 실내소음 예측 결과 및 검토

3.1 틸팅차량의 실내소음 기준

현재 개발 중에 있는 틸팅차량은 차체구조설계가 완료된 상태이고 ptoto type의 차량을 제작 중에 있다. 틸팅차량의 소음 기준치는 표1과 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.

표 1. 틸팅차량의 실내소음 기준

주행조건	틸팅차량			
			개활지	터널
180km/h	실외소음		88dB(A)	
	실내소음	객차	70dB(A)	77dB(A)
		운전실	75dB(A)	82dB(A)
정차	실내소음	객차	63dB(A)	

3.2 틸팅차량의 실내소음 예측결과

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 그림4와 같이 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. 그림5는 200Km/h로 주행 시 KTX 차량의 하부소음의 측정결과를 나타내고 있다.

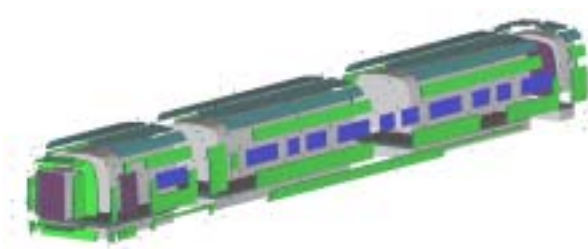


그림 4. 틸팅차량의 해석모델

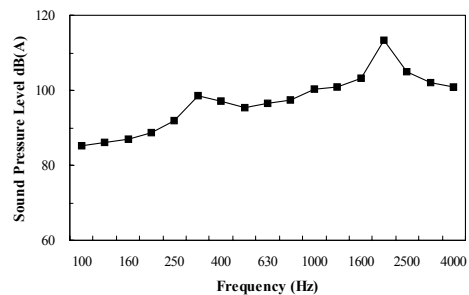


그림 5. KTX차량의 하부소음 측정결과

틸팅차량의 객차에 대한 실내소음을 예측하기 위해서는 하부소음 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.

그림 6은 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 고려하여도 표1의 기준치는 만족할 것으로 판단된다. 그림6의 예측결과에서 315Hz 영역과 2000Hz 영역

에서의 소음레벨이 높게 나타나는 것은 그림5의 차량 하부소음의 영향인 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 해석방법은 차량을 다수의 하부시스템으로 모델링한 후, 각 하부시스템의 에너지 관계로부터 실내소음을 예측한다. 따라서, 각 하부시스템에 대한 에너지를 분석하면 차량 실내에 유입되는 소음의 기여도를 파악할 수 있다. 그림7은 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.

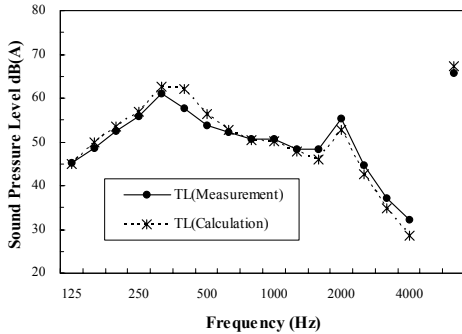


그림 6. 실내소음 예측결과

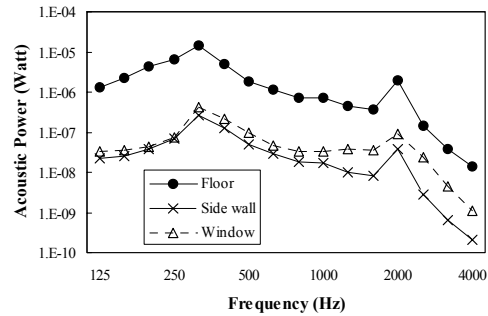


그림 7. 차체 각 부분으로 실내에 유입되는 음향파워

4. 결론

현재 개발 중에 있는 180km/h급 중고속형 틸팅차량에 대한 차체 투과손실 측정 및 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) 차량 벽체 및 바닥을 실제 재질과 유사하게 모델링하고, KTX차량이 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 높아지지만 기준치는 만족할 것으로 생각된다.
- (3) 차체의 각 부분에 대한 기여도를 분석한 결과 실내에 유입되는 소음은 차량바닥>창문>측벽 순으로 전달된다. 따라서, 차체의 실내소음에 차량 바닥의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

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