

# 하니콤 샌드위치판의 차음성능

## Sound Transmission Loss of Honeycomb Sandwich Panels

<sup>0</sup> 김봉기\*, 김재승\*, 김현실\*, 강현주\*

Bong-Ki Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim and Hyun-Ju Kang

### ABSTRACT

In this study, the sound transmission characteristics of honeycomb structures are investigated with changing its thickness, shear modulus, and surface density. Theoretical predictions of aluminum honeycomb panels are compared with experimental results, which can furnish an in-depth understanding of the insulation characteristics of honeycomb panels.

### 1. 서론

철도차량의 각종 동력장치, 레일과의 접촉에 의한 진동/소음 및 주행 중 발생하는 공력소음 등은 차량의 외장판, 내장판, 창문 및 문 등을 투과하여 내부소음을 형성한다. 최근 철도 차량의 경량화 추세에 따라 이러한 공기전달 소음(Air-borne noise)의 주요 경로가 되는 차량 내외장재의 소음전달에 대한 관심이 높아지면서 내장재 및 출입문의 높은 차음성능(Insulation performance)이 요구되고 있다.

특히 차량의 경량화를 목적으로 철도차량 문에 사용되는 하니콤 판넬의 경우, 재료의 질량 감소는 차음성능과는 상충적인 관계를 갖고 있으므로, 경량화와 차음 성능을 동시에 충족시키기 위해서는 하니콤 판넬의 차음특성과 파악과 성능향상을 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 하니콤 샌드위치판의 차음성능 향상을 목적으로 차음성능과 관계된 설계변수를 도출하고 실험과 비교/평가하였다.

### 2. 하니콤 샌드위치판의 차음 특성

참고문헌[1,2]에 제시된 해석 이론 으로부터 하니콤 샌드위치판의 차음성능을 예측하였다. 이때 사용된 하니콤 도어의 기본 물성은 표 1 과 같다. 실제 차음성능 예측에 필요한 하니콤 중심재의 Elastic modulus 는  $E_{11}$ ,  $E_{33}$ ,  $E_{13}$ ,  $E_{55}$  이며 시험에 사용된 시편의 무게로부터 하니콤의 밀도를

추정하였다. 중심재 뎀핑의 경우 하니콤 자체의 뎀핑 이외에 skin 재와 하니콤의 접착재에 의한 뎀핑효과를 추정하였다. 일반 판재에 비해 하니콤의 샌드위치판은(그림 1) 두께가 두껍고 가벼우며, 높은 전단강성으로 인해 샌드위치판의 mass-spring-mass 공진 주파수는 관심주파수 범위보다 매우 높은 곳에 있고, coincidence 주파수는 상대적으로 저주파수 영역에 있으며, coincidence 주파수 이후 전단강성의 지배를 받으며 전단파동(shear wave)에 의한 소음전달이 효과적으로 일어난다. 이로 인해 차음성능은 coincidence 주파수 이후 급격히 떨어진 후 주파수에 따라 대략 6 dB/Octave 증가한다. 그림 2 의 예측 결과로부터 coincidence 주파수에서 차음성능이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 두께가 감소함에 따라 coincidence 주파수가 고주파수 영역으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이것은 중심재의 두께가 감소할 수록 판의 유효 Bending stiffness 가 감소하고 이에 따라 coincidence 주파수가 고주파수 영역으로 이동하기 때문이다. 고주파수 영역에서 중심재의 두께가 증가할 수록 차음성능이 증가하는 것은 샌드위치판의 면밀도 증가와 뎀핑 증가에 따른 것으로 볼 수 있다. 그림 3 의 측정결과를 보면 예측결과와 유사한 거동을 보이는 것을 볼 수 있다.

중심재의 두께에 따른 차음성능의 영향을 보기 위하여 그림 4 에 서로 다른 두께를 갖는 6 종류의 샌드위치 하니콤판의 차음성능을 예측하였다. 결과로부터 중심재의 두께를 충분히

\* 한국기계연구원 음향그룹

줄이면 단판의 질량법칙과 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 일반적으로 샌드위치 하니콤 판의 경우 강성 증가를 목적으로 하기 때문에, 이 경우 목표로 하는 판의 차음성능과 강성이 적절히 선택된 후 최적의 두께를 선택할 필요성이 있다.

중심재의 뎀핑을 변화시킨 경우는 그림 5 와 같이 coincidence 주파수 이후의 주파수 영역에서 매우 큰 차음성능 변화를 동반하고 있으며, coincidence 주파수가 관심주파수 내에서 저주파수 영역에 있는 경우 매우 중요한 차음성능 설계변수임을 알 수 있다.

하니콤 샌드위치판의 차음성능과 관련된 중심재의 elastic modulus 는  $E_{11}$ ,  $E_{33}$ ,  $E_{13}$ ,  $E_{55}$  이며, 특히 두께방향 Young's modulus,  $E_{33}$  와 전단강성(shear modulus),  $E_{55}$  가 차음성능을 결정하는 주요 설계변수라 할 수 있다. Elastic modulus 가 감소하면 coincidence 주파수는 고주파수 영역으로 이동하며 샌드위치판의 mass-spring-mass 주파수는 저주파수 영역으로 이동한다. 그림 6 은 중심재의 elastic modulus 감소에 따른 차음성능의 변화를 보여주고 있다. 일반적으로 elastic modulus 감소에 의해 차음성능이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 이것은 coincidence 주파수가 관심주파수 영역 밖으로 이동함에 따라 차음성능이 증가하였기 때문이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 하니콤 샌드위치판의 차음성능 향상을 위한 설계변수를 도출하고 실험과 비교하였다. 하니콤 샌드위치판은 낮은 질량에 비해 매우 높은 강성을 유지하고 있으며, 이로 인해 전단파와 굽힘파를 효과적으로 투과시켜 일반적으로 가청주파수 영역에서 판의 차음성능이 매우 낮다. 연구결과로부터 하니콤 샌드위치판의 차음성능에 영향을 주는 주요 설계변수는 skin 재의 면밀도, 중심재의 두께방향 강성 및 전단강성, 중심재의 두께 및 뎀핑임을 알 수 있었다. 차음성능 향상을 위해서는 샌드위치판의 coincidence 주파수를 높여 관심주파수 영역 밖으로 보내고, 이때 mass-spring-mass 주파수가 관심주파수 영역 안으로 내려오지 않도록 하면 차음성능이 주파수에 따라 최대 10 dB 정도 향상되고, 시편의 질량법칙과 비슷한 차음성능을 얻을 수 있다. 이와 같이 공진주파수를 변화시켜 차음성능을 높이기 위해서는 기존의 샌드위치판의 중심재 두께를 줄이고 skin 재의 두께를 증가시키며, 중심재의 탄성계수를

낮추면 된다. 또한, 중심재의 뎀핑을 높이면 coincidence 주파수 이후의 차음성능을 향상시킬 수 있다.

### 참고 문헌

- (1) J. A. Moore and R. H. Lyon, "Sound transmission loss characteristics of sandwich panel constructions," *J. Acoust. Soc. Am.*, 89(2), pp.777-791(1991)
- (2) C. L. Dym and D. C. Lang, "Transmission loss of damped asymmetric sandwich panels with orthotropic cores," *J. Sound Vib.*, 88(3), pp.299-319(1983).

Table 1 Material properties of aluminum honeycomb panel

Type	Material Properties
Skin	Thickness : 2 mm $E^s=7 \times 10^{10}$ N/m <sup>2</sup> density : 2700 kg/m <sup>3</sup> $\nu=0.33$
Core	Density : 53 kg/m <sup>3</sup> $E_{11}=2.4 \times 10^5$ N/m <sup>2</sup> $E_{33}=7.5 \times 10^7$ N/m <sup>2</sup> $E_{13}=5.0 \times 10^6$ N/m <sup>2</sup> $E_{55}=8.0 \times 10^7$ N/m <sup>2</sup>

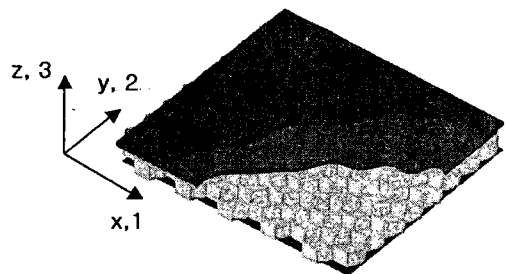


Fig. 1 하니콤 중심재를 갖는 샌드위치판의 형상.

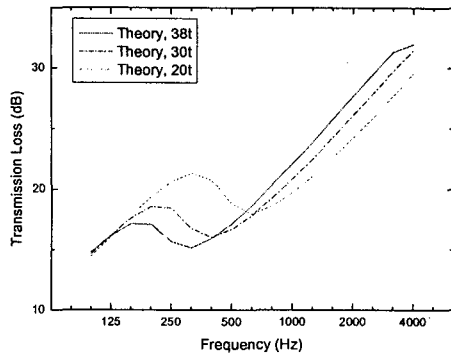


Fig. 2 Simulation results of the STL for the honeycomb panel.

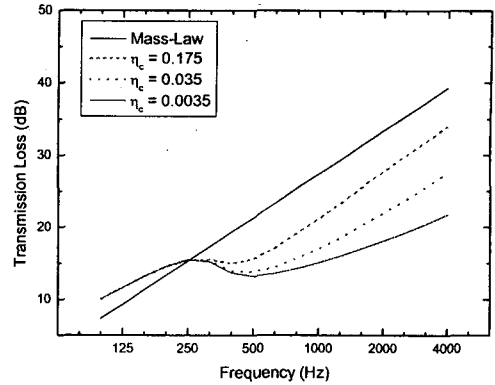


Fig. 5 Influence of the core damping on the STL for the honeycomb panel.

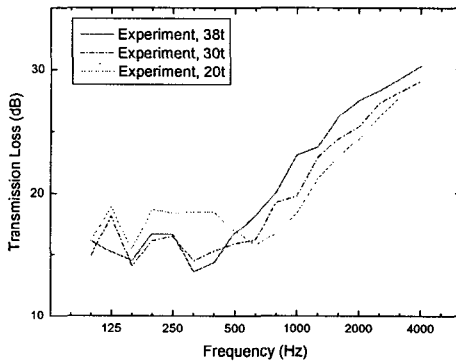


Fig. 3 Experimental results of the STL for the honeycomb panel.

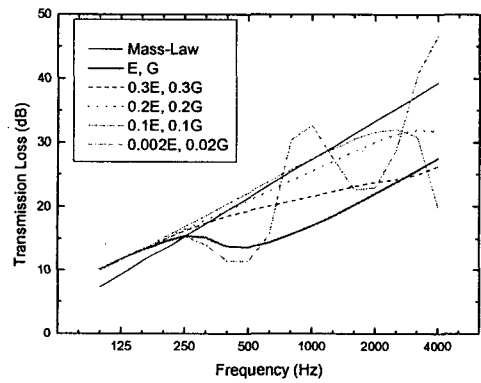


Fig. 6 Influence of the core elastic modulus on the STL for the honeycomb panel.

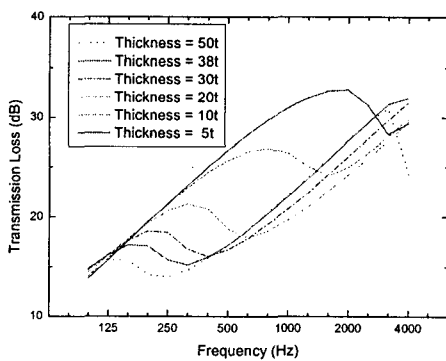


Fig. 4 Influence of the core thickness on the STL for the honeycomb panel.