

## 철도차량용 허니콤재의 차음성능 예측모델

### Prediction Model of the Sound Transmission Loss of Honeycomb Panels for Railway Vehicles

김석현<sup>†</sup> · 백인수\* · 이현우\*\* · 김정태\*\*\*

Seockhyun Kim · Insu Paek · Hyunwoo Lee · Jeong-tae Kim

**Abstract** Sound transmission characteristics are investigated on the honeycomb panels used for railway vehicles. Equivalent orthotropic plate model and equivalent mass law are applied to predict the sound transmission loss (STL) of the honeycomb panels. The predicted values of the STL are compared with the measured values. The reliability and the limitation of the prediction models are investigated. Coincidence effect and local resonance effect on STL are considered. The result of the study shows that the equivalent orthotropic plate model can be used as a good prediction model, if the local resonance frequency is properly applied. Finally, ways to improve the severe STL drop by local resonance are proposed and the effect on the sound insulation performance is analysed.

**Keywords** : Honeycomb panels, Sound transmission loss, Equivalent orthotropic panel model, Local resonance

**요 지** 본 논문에서는 철도 차량용 허니콤 판재를 대상으로 음투과 손실을 검토한다. 허니콤재의 음투과 손실을 예측하는 데에는 등가 직방성 평판 모델과 등가 질량법칙을 적용한다. 음투과 손실의 예측치를 측정치와 비교하여 예측 모델의 신뢰도와 한계를 검토한다. 또한 일치효과와 국부공진 효과가 차음성능에 미치는 효과를 검토한다. 본 연구는 국부공진 주파수대역을 적절히 적용한다면, 등가 직방성 평판 모델을 허니콤재의 음투과손실 예측모델로 사용할 수 있음을 보인다. 최종적으로, 국부 공진에 의한 차음성능의 급격한 저하에 대한 대책을 제시하고 그 차음성능에 대한 효과를 분석한다.

**주요어** : 허니콤재, 음 투과손실, 등가 직방성 평판 이론, 국부 공진

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 국내의 고속철도 산업은 최고 시속 350km 급의 고속전철이 운행 중이고, 최고 시속 400km 급의 개발이 진행중에 있다. 철도 차량의 고속화는 레일 소음 및 공력 소음 등 주요 소음의 파워 증가를 가져오고, 대차 구조의 변경 및 동력원의 분산 배치도 객실 내부 소음의 증가 요인이 된다. 이와 같은 불리한 소음 환경은 고속철도 차량의 소음 예측 및 대책 수립을 위한 기술개발의 필요성을 더욱

높이고 있다. 철도 차량의 차음재 가운데에서도 허니콤 알루미늄 압출재나 주름강판은 외부 소음을 차단하는 가장 중요한 차음재이다. 이들 구조는 중량당 매우 높은 횡 하중을 지지하는 장점 때문에 차체 경량화에 필수적이다. 그러나 차음성능 측면에서는 구조 음향학적인 이유로 동일한 질량을 갖는 평판 구조보다 오히려 불리한 것으로 알려져 있다[1,2].

이러한 구조는 차음 메커니즘의 복잡성 때문에 투과손실의 예측이 쉽지 않으며, 차음설계는 실험적 평가 결과에 주로 의존하는 실정이다. 그 결과, 차음재 제작 후 차음성능에 문제가 발생할 때, 신속하고 효율적인 대책 수립에 어려움을 겪는다. 본 연구에서는 허니콤 압출재의 차음성능에 대한 예측 기법의 신뢰도 및 문제점을 검토하여 차음성능의 예측 및 차음대책 수립에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

<sup>†</sup> 책임저자 : 정희원, 강원대학교 기계메카트로닉스 공학부

E-mail : seock@kangwon.ac.kr

TEL : (033)250-6372 FAX : (033)257-4190

\* 정희원, 강원대학교 기계메카트로닉스 공학부

\*\* 강원대학교 메카트로닉스 전공 석사과정

\*\*\* 정희원, 홍익대학교 기계공학과

허니콤 압출재는 코어 구조가 주기적으로 반복되는 거시적 직방성 판재(orthotropic plate)이다. 그 차음성능은 동일한 면밀도를 갖는 등가 평판에 비해서 상당히 열악하다. 그 원인으로는, 굽힘 강성이 현저하게 증가하면서 일치현상이 나타나는 임계주파수 대역이 현저히 낮아지는 것과, 주름이나 허니콤의 주기적 구조에서 발생하는 국부 모드의 공진, 그리고 코어부의 공명 현상을 들 수 있다.

이러한 요소들을 고려하여 차음성능을 정량적으로 예측하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로, 본 연구에서는 직방성 판재의 투과손실 예측모델을 활용하는 방안을 검토한다.

무한 직방성 판재에 관한 연구로서, Heckl[1]은 2개의 임계주파수로 표시되는 투과손실모델을 처음으로 제시하였다. Bies와 Hansen[2]은 주름판재의 임계주파수를 구하기 위하여 주름단면의 2차모멘트를 계산하는 방법을 제시하였다. Alexander[3]는 다양한 단면 형상의 주름판재에 대하여 투과손실 실험치를 제공하였으며, Rowell과 Oldham[4]은 주름판재의 음 방사의 방향성에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Cordonnier, Cloarec 등[5]은 유한요소해석 및 경계요소법으로 주름판재의 투과손실을 예측하는 방법을 제시한 바 있다.

Hansen[6]의 실험적 연구는 다양한 주름판재에 대하여 투과손실의 유용한 정보를 제공한다. 그러나 이러한 해석 모델은 모두 Heckl의 직방성 모델[1]에 근거하므로, 주름강판이나 압출재의 주기적 구조의 국부적 공진이나 공동의 공명에 의한 차음성능의 급격한 저하 효과는 고려하지 못한다. Windle과 Lam[7]은 주름구조에서 국부 진동모드의 공진이 투과손실을 크게 저하시킬 수 있음을 밝힌 바 있으며, Zheng 등[8]은 2중 주름판재와 보강된 주름판재를 사용하여, 투과손실의 급락을 감소시키는 대책을 제시한 바 있다. 알미늄 허니콤 압출재에 관련해서는 국부적 공진 모드에 대하여 실험 및 해석적 연구가 수행되었다[9,10]. 그러나 현재까지의 연구에도 불구하고, 구조적 복잡성 때문에 아직까지 허니콤재의 투과손실을 예측하고 대책을 수립하는 데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 철도차량용 허니콤재의 차음성능 예측을 위하여, Heckl의 무한 직방성 평판 모델을 활용하여 국부 공진이 투과손실에 미치는 효과를 고려하는 방안을 검토한다.

해석결과는 실험치와의 비교 검토를 통하여 예측의 신뢰도를 검증한다. 허니콤 압출재와 같이 주기적으로 반복되는 판 구조물의 차음성능을 지배하는 설계인자를 파악하여 고속철도 차량의 차음 대책에 필요한 정보를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 직방성 판재의 투과손실 이론

Fig. 1의 주름판재는 거시적으로 직방성의 거동을 보인다. Cremer와 Heckl에 의한 등가 직방성 모델 (Equivalent orthotropic model)[11]에 근거하면, 다음과 같이 등가 면밀도  $m$ 과  $B_x, B_y$  두 개의 주 굽힘 강성에 의하여 패널내의 굽힘파에 의한 수직변위를 구할 수가 있다.

$$(1+j\eta)\left[B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(B_x B_y)^{1/2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right] + m \frac{\partial^4 w}{\partial t^2} = p \quad (1)$$

평면 조화입사파  $p = P e^{j(\omega t - k_x x - k_y y)}$ 에 의한 응답은  $w = w_0 e^{j(\omega t - k_x x - k_y y)}$ 의 형태로 결정되는데, 각 방향의 파수(wave number)는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = (\omega/c)^2 \quad (2)$$

$$k_x = k \sin \theta \cos \phi \quad (3)$$

$$k_y = k \sin \theta \sin \phi \quad (4)$$

$$k_z = k \cos \theta \quad (5)$$

여기서,  $\theta, \phi$ 는 Fig. 1에서 입사파가  $z$ 축 및  $x$ 축과 이루는 입사각을 의미한다. 식 (1)로부터 패널 음향임피던스를 다음과 같이 입사각  $\theta, \phi$ 의 함수로 결정할 수 있다.

$$Z = \frac{P}{j\omega w} = j\omega m \left[ 1 - \left[ \frac{f}{f_{c1}} \cos^2 \phi + \frac{f}{f_{c2}} \sin^2 \phi \right]^2 \sin^4 \theta (1+j\eta) \right] \quad (6)$$

여기서,  $m$ 은 패널의 면밀도(surface density),  $\eta$ 는 구조손실계수,  $c$ 는 공기중 음속이며, 일치현상(coincidence)이 발생하는 임계주파수는 다음의 두 식으로 주어진다.

$$f_{c1} = \frac{c^2}{2\pi\sqrt{B_y}} \quad (7)$$

$$f_{c2} = \frac{c^2}{2\pi\sqrt{B_x}} \quad (8)$$

식 (6)을 사용하여 입사 및 투과음사이의 파워비인 투과손실계수를  $\theta, \phi$ 의 함수로 다음과 같이 결정할 수 있다[6].

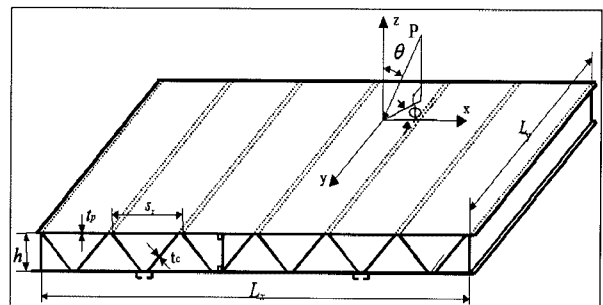


Fig. 1. Structure of honeycomb panel

$$\tau_{\theta\phi} = \left| 1 + \frac{Z \cos \theta}{2\rho c} \right|^{-2} \quad (9)$$

본 연구에서는 다음과 같이 입사각을 0°~78° 범위로 하는 필드 입사음[12] 투과계수 및 투과손실을 계산하였다.

$$\tau_R = \frac{2}{\pi} \int_0^{\phi_{\min}} \left[ 2 \int_0^{\theta_{\min}} \tau_{\theta\phi} \cos \theta \sin \theta d\theta \right] d\phi \quad (10)$$

$$TL_R = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{\tau_R} \right) \quad (11)$$

한편, 간단하게 투과손실을 평가하는 예측 모델로, 임계 주파수 아래에서는 아래의 필드 입사음 질량법칙 모델을 사용할 수 있다.

$$TL(dB) = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \left( \frac{m\pi f}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right\} - 5 \quad (12)$$

### 3. 허니콤재의 투과손실 평가

#### 3.1 허니콤 입출재

Fig. 2의 알미늄 압출재는 철도차량의 바닥재용으로 제작된 시편이다. Table 1은 그 제원과, 등가 직방성 판재의 투과손실 모델을 사용하는 데에 필요한 주 굽힘 강성 및 임계주파수 값을 보인다. 등가 직방성 모델을 사용하는 데에 필요한 등가 면밀도는 단위 면적당 허니콤재의 총질량을 의미한다. 또한, 두 개의 주 굽힘 강성은 선행 연구에서 Luo의 등가 연속체 평판모델과 유한요소해석을 이용하여 구한 값을 사용하였다[13,14].

#### 3.2 기존 모델 예측 결과

투과손실의 측정을 위해서, 두 개의 잔향실을 이용하여 국제기준인 ASTM E90-02에 따라 실험을 수행하였다[15]. Table 1에 주어진 등가 면밀도와 임계주파수를 사용하여 구한 투과손실 예측치와 측정치를 Fig. 3에서 검토한다. 등가

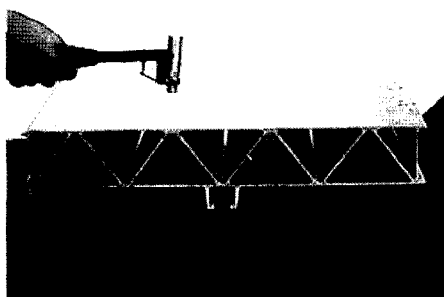


Fig. 2. Honeycomb extruded panel

Table 1. Specification of Aluminum Extruded Panel

Young's Modulus, $E$	$71.5 \times 10^9 \text{N/m}^2$
Mass density, $\rho$	$2800 \text{kg/m}^3$
Poisson's ratio, $\nu$	0.33
Panel height, $h$	80.5mm
Plate thickness, $t_p$	2.8mm
Core thickness, $t_c$	2.5mm
Equivalent mass density	$25.04 \text{kg/m}^2$
Panel dimensions, $L_x \times L_z$	$2.15 \text{m} \times 2.15 \text{m}$
Bending stiffness, $B_x$	594537Nm
Bending stiffness, $B_y$	748571Nm
1st critical frequency, $f_{c1}$	110Hz
2nd critical frequency, $f_{c2}$	123Hz

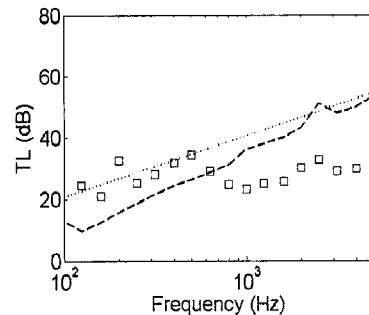


Fig. 3. A comparison of the sound transmission loss for an honeycomb panel. □: experiment, --: orthotropic model, ...: mass law (Eq. (12)).

직방성 판재 모델로 예측한 투과손실은 측정치와 상당한 차이를 보인다. 그 차이는 두 가지 원인으로 분석된다. 첫째, 등가 직방성 판재의 투과손실 예측에 적용한 두 개의 임계주파수 산정치가 100Hz 부근의 저주파수대역에 위치하기 때문에, 이후의 주파수대역에서는 투과손실이 실험치나 질량법칙 예측치보다 크게 떨어진다. 오히려 질량법칙 예측치가 500Hz 아래의 저주파수 대역에서는 측정치에 보다 근접한다. 둘째, 1000Hz를 전후해서는 투과손실이 측정치가 큰 쪽으로 하락하는데, 질량법칙과 등가 직방성 모델은 이를 반영치 못한다. 그 원인에 대해서는 다음의 국부 공진에 대한 연구를 통하여 검토되었으나, 결과적으로 등가 직방성 판재의 투과손실 예측 모델을 직접 사용하는 데에는 무리가 있다고 판단된다.

#### 3.3 국부 공진

전술한 바와 같이, 허니콤재에서는 특정 주파수대역 이후 급격히 차음 성능이 저하된다. 그 원인을 파악하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 충격가진 하의 주파수응답특성을 검토하였다. Fig. 4의 주파수응답함수로부터 600Hz 이후부터 공

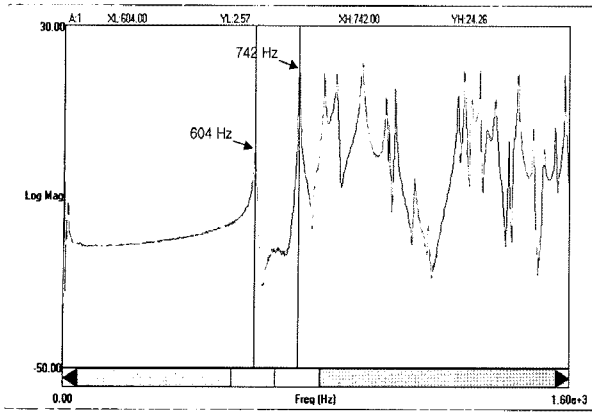


Fig. 4. Frequency response function of the honeycomb panel

진 피크가 관찰되며, 특히 900Hz 이후 피크의 밀도가 높아진다. 이러한 피크는 모드시험과 유한요소해석을 통하여 허니콤재의 국부적 진동모드로 확인되었다. 국부 진동모드는 Fig. 5에서와 같이, 코어 단위 구조상의 굽힘 변형이 반복되는 진동모드이다. 이러한 국부적 진동모드는 전적으로, 코어 단위 구조의 제원에 지배되며, 전체 시편의 크기나 경계조건에는 거의 영향을 받지 않는다. 이를 확인하기 위하여, 유한요소해석에서 전체 시편의 크기를 변경시키거나 경계조건을 변화시켰을 때, 국부진동 모드 및 주파수 대역의 변화를 거의 볼 수 없었다.

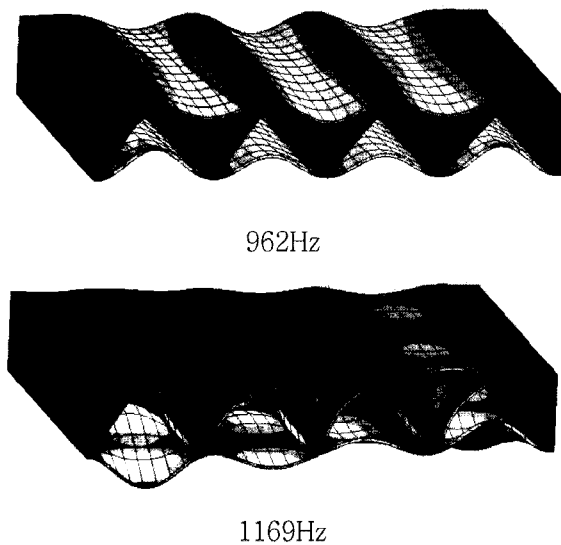


Fig. 5. Local resonance modes

3.4 국부 공진을 고려한 예측 모델

등가 직방성 판재 모델은, 임계주파수 부근에서 입사파가 판재의 이동 굽힘파(Traveling bending wave)를 지속적으로 가진시켜 생기는 투과손실의 급락을 고려한다. 그런데, 국부적 공진에서도 입사파가 국부 공진모드를 공진시켜 차

음성능을 급격히 떨어뜨린다. 두 현상은 이동파의 공진과 정재파의 공진이라는 차이는 있으나, 투과손실을 급락시킨다는 점에서는 유사하다. 이에 따라 본 연구에서는 국부 공진 대역의 주파수를 등가 직방성 판재 모델의 임계주파수에 적용하여 국부적 공진대역에서의 투과손실 급락을 반영시켰다. 이는 허니콤재에서 일치효과보다는 오히려 국부적 공진대역에서 투과손실이 크게 급락하는 현실을 고려한 시도이다. Fig. 6은 국부 공진 주파수로 600Hz, 750Hz, 900Hz 및 1100Hz를 사용한 경우의 투과손실 예측치와 측정치를 비교한 그림이다. 사용한 구조손실계수는  $\eta=0.001$ 로, 국부적 공진 피크로부터 산정된 감쇠치를 적용하였다. Fig. 3의 결과에 비해 측정치와의 차이가 크게 줄었으며, 국부 공진이 발생하는 주파수영역에서도 측정치에 근접한다. 다만, 1,2차 국부공진 주파수를 사용한 경우보다는 국부공진 피크가 밀집된 900Hz 및 1100Hz 대역을 임계주파수로 사용한 경우가 측정치에 근접한다. 본 허니콤재의 경우, 국부 공진으로 인하여 측정치는 질량법칙 예측치에 비해 15dB~20dB 정도의 투과손실 저하를 보인다. 질량법칙이 임계주파수 아래에서 등가 평판의 투과손실을 잘 반영하는 현실을 감안할 때, 사용한 허니콤재에서는 동일한 면밀도를 갖는 등가 평판에 비해서 1000Hz 이후 현저하게 차음성능이 악화됨을 알 수 있다. 이에 대한 대책으로 코어의 단위 구조에서 발생하는 국부 공진주파수 대역을 최대한 높이는 방안과 감쇠를 높이는 방안을 생각해볼 수 있다.

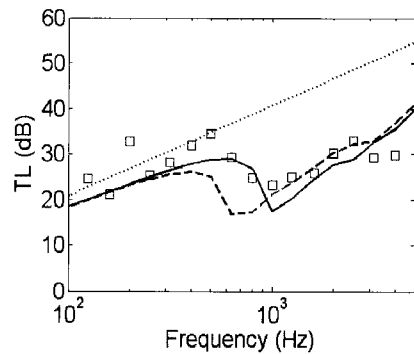


Fig. 6. Sound transmission loss of the honeycomb panel. □: experiment, --: orthotropic model ( $f_{c1}=600\text{Hz}$ ,  $f_{c2}=750\text{Hz}$ ), —: orthotropic model ( $f_{c1}=900\text{Hz}$ ,  $f_{c2}=1100\text{Hz}$ ), ....: mass law.

4. 구조변경 효과

Fig. 7의 코어 단위구조의 주요 설계인자로는 질량, 두께, 높이, 경사각 또는 스팬이 있다. 또한, 허니콤재의 정적 강성 및 전체 진동모드 주파수 대역도 설계에 고려해야 할 요소이다. 본 연구에서는 우선 두께 및 경사각을 조

정하여 허니콤재 전체의 질량과 높이를 유지하면서 국부 공진 주파수 대역의 변화를 검토하였다. Table 2에서와 같이, 현재 시편을 기준으로 두께를 미세하게 조정하고 스펠을 변화시켜 동일한 면밀도를 갖는 변경된 단위 구조를 만들어, 1차 국부 공진주파수의 유한요소해석 결과를 얻었다. 두께를 약간 줄이더라도 스펠을 짧게 함으로써 국부 진동 모드의 주파수 대역을 높일 수 있음을 알 수 있다. 전술한 예측 모델을 사용하여 변경된 구조에 대하여 계산된 투과손실을 Fig. 8에서 비교한다. 예상되는 바와 같이 국부 공진 주파수 대역을 높임으로써, 공진 주파수 대역의 투과손실 급락 대역을 올릴 수 있다. 그러나 일부 대역의 차음성능은 향상시키나, 고주파수 대역으로 가면서 개선 효과는 기대하기 어렵다. 공진대역에서의 낙폭은 감쇠치에 크게 영향을 받는 점을 감안하여 구조손실계수를 증가시키면서 투과손실을 구하였다. Fig. 9는 국부공진 대역 이후의 차음 성능의 낙폭을 완화시키는 데에는 감쇠치 증가가 상당히 효과적임을 시사한다. 전술한 단위 구조의 개선효과

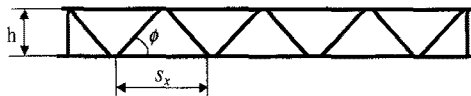


Fig. 7. Design variables of the core structure

Table 2. 1st local resonance frequencies for the modified core structures

Parameter	Model	Modified model 1 $\phi = 45.5^\circ$	Original model $\phi = 50^\circ$	Modified model 2 $\phi = 60^\circ$
Height, h(mm)		80.5	80.5	80.5
Plate Thickness ratio		1.05	1.00	0.90
Mass Density (kg/m <sup>2</sup> )		25.04	25.09	25.09
Space S <sub>x</sub> (mm)		161	131	93
1st Local Vibration Frequency (Hz)		393	590	830

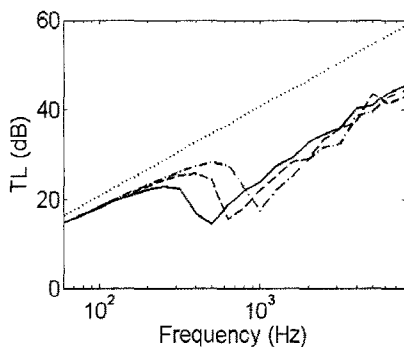


Fig. 8. Sound transmission loss of the modified panels. -.: modified model 1, ---: original model 2, -.-: modified model 3.

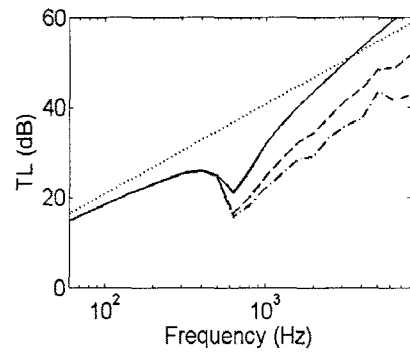


Fig. 9. Sound transmission loss vs. structure loss factor. -.:  $\eta = 0.1$ , ---:  $\eta = 0.01$ , -.-:  $\eta = 0.001$

가 특정 주파수 대역에 국한된 반면, 감쇠치 증가는 공진 대역 이후 전 주파수대역에서 효과를 기대케 한다. 압출재 시편 제작상의 어려움 때문에 현재로서는 이에 대한 실험 결과를 주지 못하나, 향후 지속적인 연구를 통하여 확인할 필요가 있다.

## 5. 결론

고속철도 차량의 차음재로 중요한 역할을 하는 허니콤 알미늄 압출재를 대상으로, 차음성능을 해석적, 실험적으로 평가하였다. 예측모델로는 등가 평판의 질량법칙 모델과 등가 직방성 판재 모델에 국부 공진 주파수를 적용하는 방안을 시도하였다. 연구결과, 허니콤재는 국부적 공진주파수 대역 아래에서는 동일한 질량을 갖는 등가 평판과 비슷한 투과손실을 보이나, 국부적 공진주파수대역 이후에서는 15dB~20dB의 현저한 하락을 보였다. 질량법칙은 국부공진 주파수 아래에서는 예측 모델로 사용 가능하였다. 등가 직방성 판재 모델은 국부 공진 주파수를 적절히 활용한다면 예측모델로서의 효용성이 있다. 코어 단위 구조를 개선하여 국부적 공진주파수대역을 높이는 방안은 특정 주파수 대역의 투과손실 향상에는 효과적이거나, 고주파수 대역에서는 효과를 기대하기 어려웠다. 반면, 감쇠치를 높임으로써 국부 공진 이후 넓은 주파수대역에서의 차음성능 향상이 기대된다.

## 후 기

본 연구는 건설교통평가원이 지원하는 “분산형 차량성능 및 운용 기반기술 개발연구”의 세부과제인 “실내외 소음저감 기술”의 연구비 지원으로 수행되었으며, 건설교통평가원의 지원에 감사드린다.

## 참고문헌

1. Heckl, M. (1960), "Untersuchungen an Orthotropen Platten", ACUSTICA, Vol. 10, pp.109-115.
2. Bies, D. A. and Hansen, C. H. (1988), Engineering Noise Control. Unwin Hyman Ltd, London.
3. Alexander, N. J. H. (1988), "Measurement of Sound Absorption and Transmission of Corrugated Steel Plates," Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 10, No. 3, pp.39-50.
4. Rowell, M.A. and Oldham, D. J. (1988), "The Directivity of Orthotropic Factory Cladding Panels", Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol.10, No. 5, pp.39-50.
5. Cordonnier-Cloarec, P. et al. (1992), "Contribution to the Study of Sound Transmission and Radiation of Corrugated Steel Structures", Journal of Sound and Vibration, Vol. 157, pp.515-530.
6. Hansen, C. H. (1993), "Sound Transmission of Corrugated Panels", Noise Control Engineering Journal, Vol. 40, pp.187-197.
7. Windle, R. M. and Lam, Y. W. (1993), "Prediction of the Sound Reduction of Profiled Metal Cladding. Inter-Noise'93", Vol. 2, pp.999-1002.
8. Ng, C. F. and Zheng, H. (1998), "Sound Transmission through Double-leaf Corrugated Panel Construction", Applied Acoustics, Vol. 53, No.1-3, pp.15-34
9. Kim, S.H., Jang, H. and Kim, J. (2001), "Characteristics of Local Vibration Modes of the Aluminium Extruded Panels for Rail Road Vehicles", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 4(3), pp.87-93.
10. Kim, S.H., Park, J.C. and Kim, J. N. (2000), "Sound Transmission Loss of Aluminium Extruded Panels for Railway Vehicles", Transactions of KSNVE, Vol.10(4), pp.662-668.
11. Cremer, L., Heckl, M. and Ungar, E.E. (1988), Structure-Borne Sound, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
12. L.L.Beraneck, (1960), Noise Reduction, McGraw-Hill Book Company.
13. Luo, S. and Suhling, J. C. and Lafeberg, T.L. (1995), "Bending and Twisting Tests for Measurement of the Stiffness of Corrugated Board", ASME AMD-Vol. 209, pp.91-109.
14. Kim, W., Kim, J., Kim, G. and Kim, S.H. (2003), "A Study on the Transmission Loss Characteristics of Honeycomb Structures", Transactions of KSNVE, Vol.13, No. 1, pp.19-25.
15. ASTM E90-02; Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements.

접수일(2008년 2월 21일), 수정일(2008년 7월 18일),  
게재확정일(2008년 7월 28일)