

〈논 문〉

철도차량용 알루미늄 압출재의 투과손실

Sound Transmission Loss of Aluminium Extruded Panels for Railway Vehicles

김 석 현* · 박 정 철** · 김 종 년***

Seock Hyun Kim, Jung Cheol Park and Jong Nyon Kim

(2000년 4월 10일 접수 ; 2000년 7월 11일 심사완료)

Key Words : Railway Vehicle(철도차량), Aluminum Extruded Panels(알루미늄 압출재), Transmission Loss(투과손실), Equivalent Orthotropic Model(등가직방성 모델), Local Resonance Modes(국부 공진 모드)

ABSTRACT

Sound transmission characteristics are investigated on the aluminium extruded panels used for railway vehicles. An equivalent orthotropic plate model and mass law are applied to predict the sound transmission loss. An extruded panel specimen used in the floor of railway vehicles is manufactured and is tested to measure sound transmission loss by two reverberant chamber method. Predicted transmission loss is compared with measured values and the effect of local resonance on the transmission characteristics is identified. The results are applied to design the extruded panel having better sound insulation performance.

1. 서 론

철도차량의 바닥, 측면, 천정 및 도어 부는 강판이나 알루미늄판, 합판, 흡차음재 및 공기층으로 구성된 다층 차음재이다. 특히, 강판이나 알루미늄 패널은 중량 당 높은 횡하중을 지지할 수 있도록, Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 허니콤 구조(주름구조)로 되어 있으며, 다층재의 차음성능에 가장 크게 기여한다. 그러나, 허니콤 구조는 높은 횡하중을 지지하는 장점에도 불구하고, 차음 성능면에서는 동일한 면적 당 질량(면 밀도)을 갖는 등가평판에 비하여, 오히려 불리한 것으로 알려져 있다^(1,2). 현재 도입된 TGV 모델에서는 바닥이나 측면재에 주름강판을 사용하고 있으나, 차세대 한국형 모델 및 지하철 전동차량에서는 알루미늄 압출재로 대체하는 작업이 진행되고 있다. 따라서, 차음성능

연구를 통하여, 허니콤 구조를 갖는 알루미늄재의 차음설계 데이터 베이스를 구축하는 것이 차량 실내 소음의 저감을 위하여 매우 중요하다. 주름강판을 대체하는 압출재 구조는 거시적으로는 직방성 패널의 특성을 가지나, 상하판 사이 코어부의 주기적인 주름단위에서 발생하는 국부 모드의 공진, 코어 내부 공기층의 공명등, 투과손실(transmission loss)의 이론 모델링을 어렵게 하는 여러 요인을 갖는다. 뿐만 아니라, 스테드에 의해 다른 패널과 다층으로 연결되므로 실제의 차음성능을 예측하는데는 한계가 있다. 본 연구에서 압출재의 거시적인 차음거동은 등가 직방성 모델에 근거하여 해석하고, 주름단위의 국부적 공진 및 코어공명에 대해서는 유한요소해석으로 그 특성을 파악하여 설계시 유의할 점을 지적하였다. 관련된 연구를 살펴보면, 무한 직방성 패널에 대하여, Heckl⁽¹⁾은 2개의 임계주파수로 표시되는 투과손실모델을 처음으로 제시하였으며, Bies와 Hansen⁽²⁾은 주름패널의 임계주파수를 구하기 위하여 주름단위의 2차 모멘트를 계산하는 방법을 제시하였다. Alexander⁽³⁾는 상용 주름 단면형상에 대하여 투과손실 실험치를 제공한 바 있으며, Rowell과 Oldham⁽⁴⁾은 주름

* 정회원, 강원대 정밀기계공학과
** 정회원, 청호정밀 기계연구소
*** 정회원, 한국고속철도차량 기술연구소

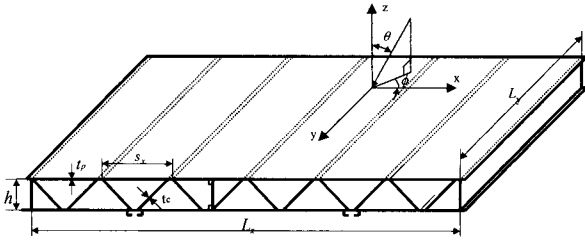


Fig. 1 Structure of extruded panel

패널 음방사의 방향성에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Cordonnier-Cloarec 등⁽⁵⁾은 유한요소해석 및 경계요소법으로 주름판재의 투과손실을 예측하는 방법을 제시한 바 있다. 실제 사용되거나 시험되는 판재의 유한성이 투과손실에 미치는 효과에 대해서는 Sewell의 해석⁽⁷⁾과 그 이론에 근거한 Hansen⁽⁸⁾의 실험적 연구가 유용한 정보를 제공한다. 이러한 해석이론은 Heckl의 직방성 거시모델⁽¹⁾에 근거하므로, 주름내부 공동의 공명효과나 주기적인 단면의 국부적 구조진동모드의 효과 등 미시적인 현상은 해석모델에서 고려하지 못한다. 이에 관련하여, Windle와 Lam⁽⁸⁾은 중주파수대역에서 투과손실의 급격한 저감, 단면 주름구조의 국부적 진동모드에 관련됨을 밝힌 바 있다. Zheng 등⁽⁹⁾은 2중 주름패널과 보강된 주름패널을 사용하여, 이러한 문제의 해결 가능성을 실험으로 보인 바 있다. 본 연구에서는 철도차량의 바닥재로 사용될 허니콤 알루미늄 압출패널을 대상으로 투과손실을 해석 및 실험적으로 평가하여, 차음설계의 기반을 제공하는 것을 연구의 목표로 한다.

2. 압출재 구조 및 투과손실 이론

2.1 주름형 압출재의 투과손실

Fig.1의 허니콤 압출재는 거시적으로 직방성을 거동을 보인다. Cremer와 Heckl에 의한 등가 직방성 모델(Equivalent orthotropic model)⁽¹⁰⁾에 근거하면 다음과 같이 B_x, B_y 두 개의 주 굽힘 강성에 의하여 패널내의 굽힘 파에 의한 수직 변위를 구할 수가 있다.

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

평면 조화 입사파 $p = Pe^{j(\omega t - k_x x - k_y y)}$ 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, 입사각 θ, ϕ 는 Fig. 1에서 입사파가 z축 및 x축과 이루는 입사각을 의미한다. 식 (1)로부터 패널 음향임피던스를 다음과 같이 입사각 θ, ϕ 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 면 밀도 (surface density), η 는 구조감쇠치, c 는 공기중 음속이며, 일치현상(coincidence)이 발생하는 임계주파수는 다음의 두 식으로 주어진다.

$$f_{c1} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B_y}}, \quad f_{c2} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B_x}} \quad (7,8)$$

식 (6)을 사용하여 입사 및 투과음 사이의 파워 비인 투과손실계수를 θ, ϕ 의 함수로 다음과 같이 결정할 수 있다.⁽⁷⁾

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

확산음장의 입사환경하에서는, 다음과 같이 랜덤 입사음 투과계수 및 투과손실을 계산하여 사용한다.

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

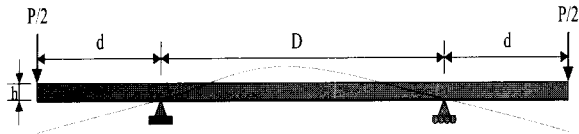
$$TL_R = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\tau_R} \right) \quad (11)$$

2.2 등가강성의 계산

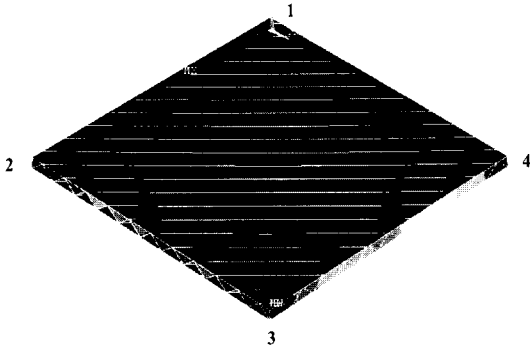
주름형 압출 패널이 갖는 2개의 주 굽힘 강성은 투과손실을 지배하는 중요한 변수이다. 본 연구에서는 Luo의 등가연속체 평판모델이론을 근거로 하고, 유한 요소법을 사용하여 등가강성 및 임계주파수를 얻었다. Luo의 방법에서 주 굽힘강성은 식 (12)~식 (15)에서와 같이 주축(주름방향 및 그 수직방향 축)에 대한 컴플라이언스 S_{11}, S_{22} 와 프와송 비 ν_{12}, ν_{21} 로부터 결정된다.⁽¹¹⁾

$$B_x = \frac{1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left(\frac{h^3}{12S_{11}} \right) \quad (12)$$

$$B_y = \frac{1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left(\frac{h^3}{12S_{22}} \right) \quad (13)$$



(a) Force and displacement model for S_{11} , S_{22}



(b) Finite element model for ν_{12} , ν_{21}

Fig. 2 Equivalent continuous plate model

$$\nu_{12} = -\frac{S_{12}}{S_{11}} \quad (14)$$

$$\nu_{21} = -\frac{S_{12}}{S_{22}} \quad (15)$$

두 개의 주 컴플라이언스는 Fig. 2 (a)에서와 같이 주름 패널의 폭 b , 두께 h 및 하중 점 및 응답 점의 위치변수 d , D 가 주어질 때, 중앙점의 처짐량 w_0 를 구하면 다음 식으로부터 S_{11} 이나 S_{22} 를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 유한요소해석으로 필요한 데이터를 얻었다.

$$P = \left(\frac{16b}{dD^2} \right) \left(\frac{h^3}{12S_{ii}} \right) w_0 \quad (i=1,2) \quad (16)$$

S_{12} 는 Tsai의 비틀림 시험법⁽¹²⁾에 근거하여, 다음 식을 이용하여 유한요소해석을 이용하여 하중과 비틀림에 의한 처짐 사이의 관계로부터 구할 수 있다.

$$P = \frac{16}{a^2} \left(\frac{h^3}{12S_G} \right) w_0 \quad (17)$$

$$S_G = 2(S_{22} - S_{12}) \quad (45^\circ \text{ 시편의 경우}) \quad (18)$$

Fig. 2 (b)는 S_{12} 를 구하기 위하여, 경계면이 주름의 주축과 45° 경사진 판재의 비틀림 변형해석을 위한 유한요소 모델이다. 1, 2, 4번 모서리는 단순 지지된 상태이고, 3번 모서리에서 수직으로 하향 하중을 가하여 패널의 중앙에서의 처짐 w_0 를 구함으로써, 식 (17) 및 식 (18)의 S_G 와 S_{12} 를 구한다. 등가강성의 결정에 관해서는 참고문헌 (11)

Table 1 Specification of aluminum extruded panel specimen

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

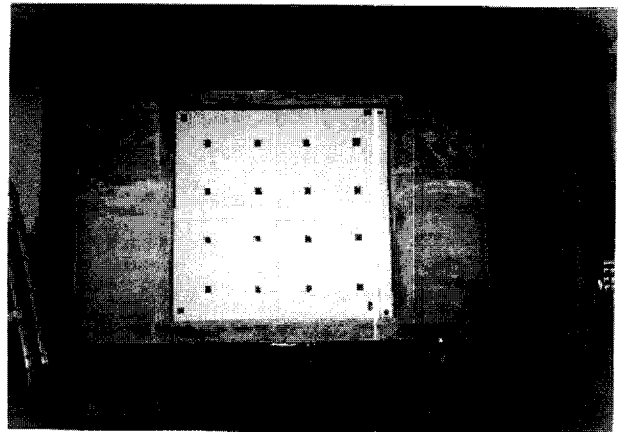


Fig. 3 Specimen of aluminum extruded panel.

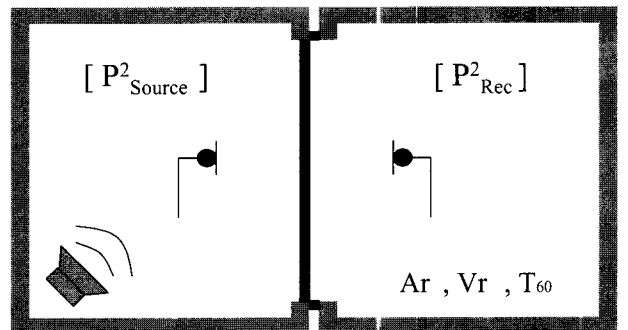


Fig. 4 Two reverberation chambers for the measurement of transmission loss.

(13)에서 자세하게 기술하고 있다. Table 1은 알루미늄 압출재 시편의 사양 및 등가강성과 임계주파수 해석결과를 보인다. 주름구조에 의한 굽힘 강성의 엄청난 증가는 식 (7)과 (8)의 임계주파수를 크게 낮춘다. 상하 판(plate)이나 코어부분의 두께를 감안할 때, 4 kHz 이상에 있던 판재

의 임계주파수가 크게 감소되어, 100 Hz 대역으로 내려오므로써, 이 대역에서 등가평판에 비해 투과손실의 감소가 예상된다.

3. 투과손실해석 및 실험 결과

Fig. 3은 차음성능 평가를 위하여 제작된 알루미늄 압출재 시편이다. 2.15 m×2.15 m의 크기로 충분한 코어부 주름의 수를 포함하도록 제작하여, Fig. 4에서와 같이 ISO140에 근거한 잔향실-잔향실법⁽¹¹⁾으로 투과손실을 측정하였다. 음원실 체적은 346 m³, 수음실은 314 m³이고 하한주파수는 100 Hz이다. 개구부는 2.5 m × 4 m로 벽돌 조적후 모르타르로 마감하였고 틈새는 실리콘 밀봉시켰다. 실내 각각 6개 지점에서의 음압 측정치를 사용하였다. ISO140 기준에 근거하여, 잔향실 벽에서 1 m 이상 떨어지고, 마이크로폰 상호간 1 m 이상 간격의 6개점에서 측정하여 평균에서 크게 벗어나는 신호는 제외하고, 마이크로폰 위치를 이동시켜 다시 측정하는 작업을 8회 반복하여, 잔향실 내 평균화된 음압 레벨을 구하였다. Fig. 5는 허니콤 압출재의 무한 직방성 모델에 의한 투과손실 해석 및 실험치를 비교한 결

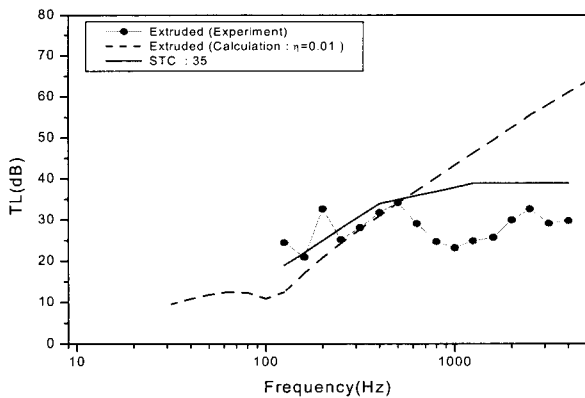
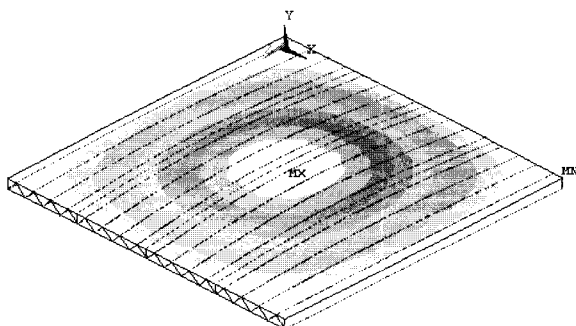


Fig. 5 Transmission loss of extruded panel.



1차모드 114.7 Hz (S-S-S-S)
192.9 Hz (F-F-F-F)

Fig. 6 First overall mode of panel specimen.

과이다. 계산치는 2.2의 방법에 의하여 구해진 Table 1의 등가 특성치를 사용하여 2.1의 이론을 통하여 구해진 값이다. 그림의 STC(sound transmission class)곡선은 주파수대역별 투과손실 계산치를 사용하여 ASTM E413-87에 근거하여 구하였다.⁽¹⁵⁾ 해석모델은 고주파대역에서 실제보다 현저히 높은 계산치를 주므로, 실제 차음특성에 가까운 STC곡선을 생성하여 비교하였다. 계산치는 저주파대역에서 공진 대역을 제외하고는 측정치 접근하고 있으며 고주파수대역으로 가면서 실험치와 큰 차이를 보인다. 해석치는 무한 등가 직방성 모델을 사용하므로 유한한 시편의 공진 현상을 나타내지 못하는 한계를 갖는다. 또한, 등가 물성치를 유한 요소법으로 구한 데서 오는 오차, 입사각 분포에 대한 불명확성, 고주파수대역에서 우회전달로 인한 투과손실 측정치의 저하 등의 차이가 불가피한 요인이 된다. 그러나 공진 효과를 제외한 저주파대역의 차음성능치는 서로 접근하고 있어 차음성능의 예측에 해석치를 부분적으로 활용할 수 있을 것이다. 시편의 1차 고유진동수 (160 Hz) 부근에서 공진에 의한 투과손실의 하강이 발생하는데, 확인을 위하여 유한요소해석 결과를 Fig. 6에 보인다. 시편 장착상태가 4단 단순지지와 고정지지 조건이 혼재된 것으로 보면 1차 공진은 그림에서와 같이 100 Hz~200 Hz에서 계산되었으며, 측정에서도 예상대로 차음성능이 저하되는 160 Hz부근으로 확인되었다. 시편의 차음성능에서 가장 문제가 되는 점은 600 Hz이후로, 투과손실이 급격히 저하되어 예상치에 비하여 1000 Hz 부근에서 매우 낮은 차음성능을 보인다. 다음 절에서 검토되는 바와 같이, 시편의 전체적인 진동모드와 달리, 코어부 단위 구조상에서의 국부적인 공진 모드가 다수 발생한다. 이 가운데 어떤 모드는 입사 파에 의하여 잘 공진 되어 큰 국부적 진동응답을 보이고, 방사음을 많이 발생시켜 결과적으로 차음성능을 심각하게 저하시키는 좋지 않은 효과를 발생시키게 된다. 이러한 현상은 주기적인 주름을 갖는 판재에서 자주 나타나는 현상으로 보고되고 있으며,⁽⁷⁻⁸⁾ TGV-K(A)에서 사용되는 유형의 주름강판에서도 나타나는 현상이었다.⁽¹⁶⁻¹⁷⁾ Lam은 다양한 사양을 갖는 다수의 주름판재 모델을 대상으로 실험적 검토를 통하여, 중주파수대역에서의 차음성능 하락이 주름단위의 국부적 진동모드가 발생하는 주파수대역에서 그 공진이 원인임을 밝힌 바 있다.⁽⁸⁾ 본 연구에서는 유한요소해석과 모드시험으로 압출재의 국부 공진 모드의 출현 주파수대역을 확인하였다.

4. 주름단위의 국부공진 및 공명모드

4.1 국부공진

알루미늄 압출시편을 대상으로 모드시험과 유한요소해석을 수행한 결과 다수의 국부적 공진모드를 확인하였다. 여기서, 국부적 공진 모드라함은 시편의 크기나 경계조건에는 별로 영향을 받지 않으며, 주름부의 사양, 즉, 주름의 주기(길이), 코어 및 상하판 두께 및 각도에 민감하게 지배되는 주름단위의 굽힘모드를 의미한다. Fig. 7과 Fig. 8은 모드시험용 시편과 그 주파수 응답특성을 보인다. 주파수 응답함수에서 600 Hz 정도부터 국부공진 모드가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 모드중의 상당수는 잘 가진되어 판재의 차음성을 떨어뜨려, Fig. 5에서 600 Hz이후부터 나타나는 투과손실 저하의 원인이 된다. 이에 관련되는 모드 및 주파수대역을 확인하기 위하여, 시편에 대한 유한요소해석을 ANSYS를 사용하여 수행하였다. 주름단면을 대상으로 2차원 평면 모델을 사용하였으며 해석결과를 Fig. 9에 보인다. 유한요소해석에 의한 평면모드에서 4차 모드까지는 전체적인 모드를 의미하며, 5차모드부터는 코어부 주름단위에서 굽힘변형이 심한 국부진동모드가 나타남을 관찰할 수 있다. 즉, 540 Hz이후에서 국부 공진모드가 발생하고 있는데, 이러한 국부진동 모드 및 진동수는 Fig. 10에서처럼, 시편의 길이를 1/2 및 1/4로 축소시켜도 별로 변화가 없으며, 주름의 사양에 지배되는 것으로 확인되었

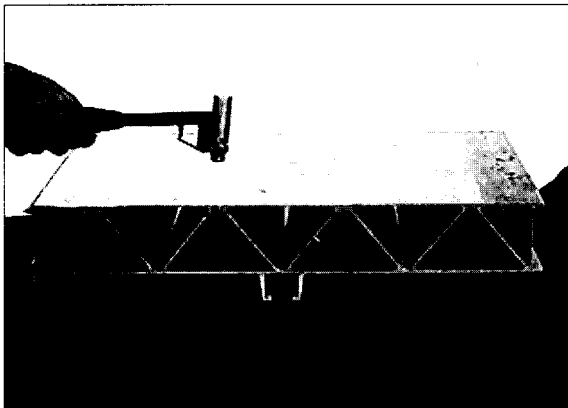


Fig. 7 Panel specimen for modal testing.

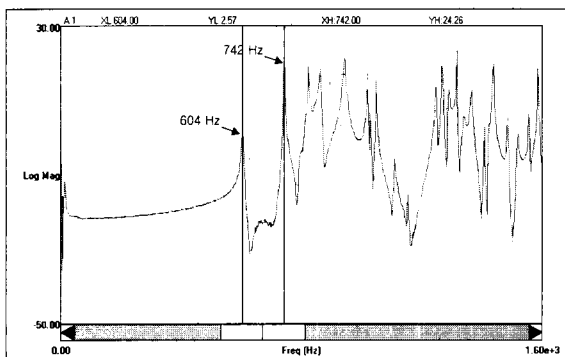


Fig. 8 FRF of panel specimen.

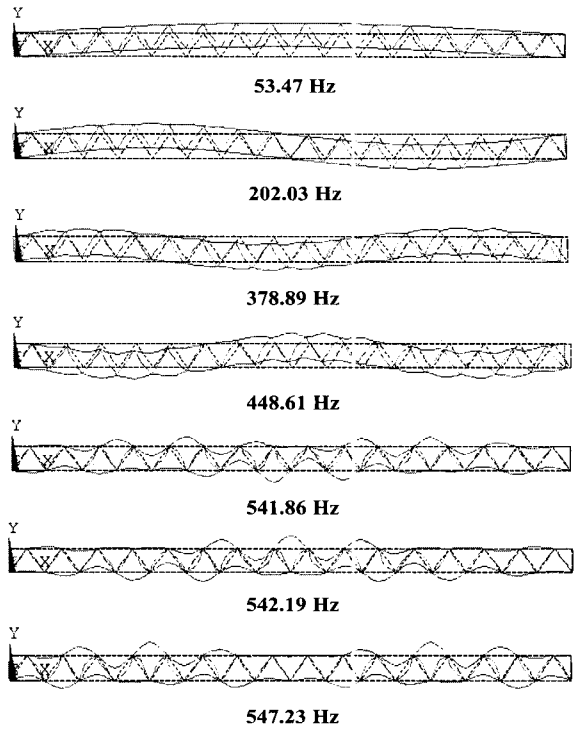
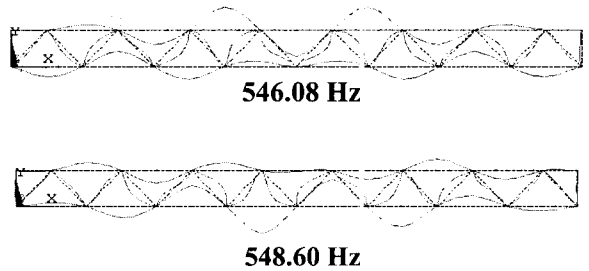
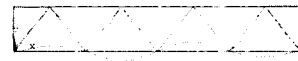


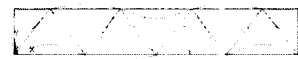
Fig. 9 Local vibration modes of extruded panel.



(a) 1st and 2nd local modes of 1/2 scale panel model



554.44 Hz



570.20 Hz

(b) 1st and 2nd local modes of 1/4 scale panel model

Fig. 10 Local vibration modes of 1/2 and 1/4 scale panel.

다. 이러한 국부 공진으로 인한 차음성능 저하 현상은 압출재의 감쇠를 증가시킴으로써 개선된다. 현재 코어 내부

에 폼재를 충전시켜 국부적 모드의 감쇠치를 효과적으로 증가시키는 방법을 적용함으로써, 트림층의 무게를 줄이면 서도 차음성능의 저하를 방지하는 연구가 진행중이다.

4.2 코어공명

압출재와 같은 허니콤 구조(주름구조)에서 투과손실을 저하시키는 또 다른 요인으로 코어부의 공명효과를 의심할 수 있다. 코어부는 이중판과 같이 공기층으로 완전 분리된 구조는 아니나, 삼각형 단면의 폐쇄된 공동이 주기적으로 배열되는 구조를 갖는다. 따라서, 각 공동은 공명주파수를 가지게되며, 저차의 공명주파수에서는 공명에 의한 차음성능의 저하가 발생된다. Fig. 11은 SYSNOISE로 해석한 1,2 차 공명주파수 및 모드이다. 코어부가 작아 공명효과에 의한 투과손실저하는 1800 Hz이후에서 예상된다. 따라서, 600 Hz이후의 차음성능 감소는 공명효과는 아닌 것으로 보이며, 전술한 허니콤 구조의 국부적 공진이 그 원인으로 평가된다. 그러나 1800 Hz이후의 공명 주파수 대역에서는, 전술한 코어부 충전 방법이 차음성능 개선에 효과가 있을 것으로 기대된다.

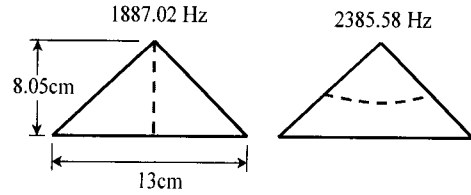
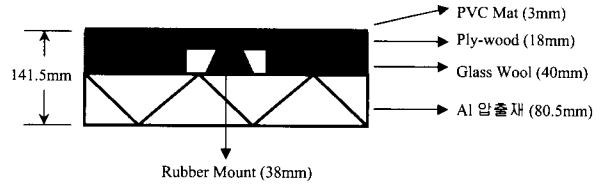
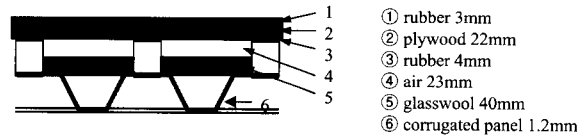


Fig. 11 Cavity resonance of core in extruded panel.



(a) Floor structure using extruded panel



(b) Floor structure of TGV-K(A)

Fig. 12 Cross sections of floor structures.

5. 트림이 장착된 바닥 재의 투과손실

본 연구의 압출재 시편은 지하철 전동차 및 차세대 한국형 고속전철에 적용하는 것을 염두에 두고 제작되었다. 여기서는 압출재에 트림을 장착한 경우의 투과손실과 현재 도입된 한국형 고속전철(TGV-K(A))의 바닥재 투과손실을 비교한다. 바닥재로의 적용시, 압출재는 스티드를 통하여 합판, 유리면등의 트림과 다층구조를 이룬다. Fig. 12는 압출재에 트림이 장착된 단층구조와 TGV-K(A) 바닥재의 단층구조를 보인다. 바깥층이 각각 알루미늄 압출재와 주름강판으로 되어있는 것이 다르다. 상기 두 구조의 투과손실을 Fig. 13에서 비교한다. 등가 면 밀도가 각각 32 kg/m^2 (TGV-K(A)), 42 kg/m^2 (압출재+트림)로, 트림 장착된 시편이 기존의 TGV-K(A) 바닥재보다 약 1.3배 정도 무거운 것으로 나타난다. 결과적으로 트림이 장착된 압출재 시편이 상대적으로 높은 투과손실을 보인다. 그러나 압출재 국부 공진에 의한 투과손실의 저하는 트림을 장착한 상태에서 나타난다. 트림 층에 의한 댐핑의 증가로 그 하락 폭이 완화된 것을 관찰할 수 있으나, 결과적으로 중주파수대역에서의 총 투과손실은 기대치보다 낮은 것으로 보인다. 투과손실이 저하되는 1 kHz대역은 레일소음 및 공력 소음원의 주요 주파수 대역이므로,⁽¹⁸⁾ 이 대역에서의 차음성능을 높일 수 있는 대책이 필요하다. 현재 코어단위의 적절한 구조설계를 통하여 국부 공진모드의 출현주파수 대역을 상승시키는 방안과 코어부를 폼재로 충전시켜 공진 모드의

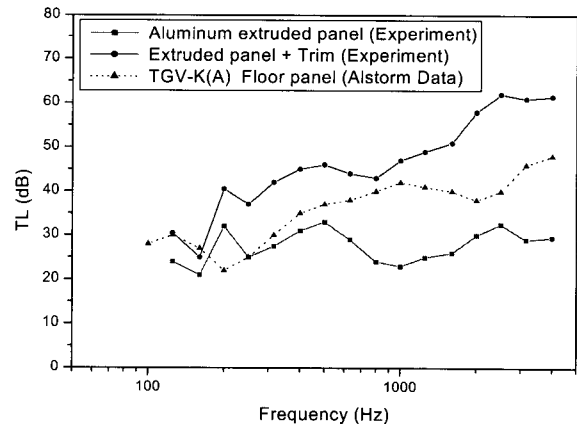


Fig. 13 Transmission loss of floor panels.

감쇠치를 효과적으로 증진시키는 작업이 진행중이다.

6. 결 론

철도 차량에 사용되는 허니콤 알루미늄 압출재 및 트림 장착 시편을 대상으로, 투과손실 특성을 해석적, 실험적으로 평가한 결과는 다음과 같이 요약된다.

(1) 거시 직방성 평판모델에 근거하여 알루미늄 압출재의 투과손실을 해석한 결과, 저주파수 대역에서는 해석 및 실험치가 근사한 경향을 보이나, 600 Hz 이후에서는 현격

한 차이를 보인다.

(2) 600 Hz 이후의 주파수대역에서의 투과손실 저하요인으로 코어 부에 다수의 국부진동모드가 존재함을 해석 및 실험적으로 확인하였다.

(3) 코어부 국부진동모드는 시편의 크기나 경계조건에는 거의 영향을 받지 않으며, 주름의 사양에 지배된다. 따라서, 투과손실의 저하를 방지하기 위해서는 효과적인 코어 구조의 설계가 필요하다.

(4) 압출재에 트림을 장착한 경우, 감쇠의 증가로 국부공진 효과는 약간 감소하고 있으나, 600 Hz 이상에서 코어 부 층진법등을 이용하여 국부 공진 모드의 감쇠치를 효과적으로 증진시킬 필요가 있다.

(5) 그럼에도 불구하고, 트림 장착한 압출재 시편은 현 TGV-K(A) 바닥재 보다는 전반적으로 10 dB 정도 높은 투과손실을 가지는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 G7 고속전철 기반기술개발(II-1-1-6) 위탁과제인 "실내소음 저감기술개발 및 저소음설계 지원" 연구 결과의 일부이며, 한국철도차량(주) 관계자 여러분의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Heckl, M., 1960, "Untersuchungen an Orthotropen Platten. Acoustics", 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(5), 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(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) Sewell, E. C., 1970, "Transmission of Reverberant Sound Through a Single Leaf Partition Surrounded by an Infinite Rigid Baffle", Journal of Sound and Vibration, Vol. 12, pp. 21~32.
 (7) Hansen, C. H., 1993, "Sound Transmission of Corrugated Panels". Noise Control Engineering Journal, Vol. 40, pp. 187~197.
 (8) 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.
 (9) 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
 (10) Cremer, L., Heckl, M. and Ungar, E.E., 1988, Structure-Borne Sound, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
 (11) Luo, S. and Suhling, J. C. and Laueberg, T.L., 1995, "Bending and Twisting Tests for Measurement of the Stiffness of Corrugated Board", ASME AMD-Vol. 209, pp. 91~109.
 (12) Tsai, S.W., 1965, "Experimental Determination of the Elastic Behavior of Orthotropic Plates", Journal of Engineering for Industry, Vol. 87(3), pp. 315~318.
 (13) 이상윤, 이우식, 1998, "평판형 주름판넬에 대한 등가연속체 평판 모델링 기법", 대한기계학회 동역학 및 제어부문 하계학술대회논문집, pp. 177~184.
 (14) ISO 140-3:1995(E), Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements.
 (15) ASTM E413-87, Classification for Rating Sound Insulation, ASTM.
 (16) 김석현, 박정모, 1998, "철도차량용 주름패널의 음투과특성에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp. 256~264.
 (17) 김석현, 박정철, 김중년 1999, "철도차량용 알루미늄 압출재의 투과손실, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집", pp. 81~86.
 (18) 이우식, 1998, 진동소음해석 및 저감기술개발, 고속전철개발사업 2차년도 연차보고서, pp. 56~67.