

## 발포 알루미늄 샌드위치 패널의 차음성능

안용찬<sup>a</sup>, 이종혁<sup>b</sup>, 변준호<sup>b</sup>, 김석현<sup>\*</sup>

### Sound Insulation Performance of the Foamed Aluminum Sandwich Panel for a Railway Vehicle

Ahn Yong-Chan<sup>a</sup>, Lee Joong-Hyuk<sup>b</sup>, Byeon Jun-Ho<sup>b</sup>, Kim Seock-Hyun<sup>\*</sup>

<sup>a</sup> Unison Engineering Co., Ltd., Deameyong Valleyon Knowledge Industry Center #801, Beobwon-ro 127, Songpa-gu, Seoul, 05836 Republic of Korea

<sup>b</sup> Department of Advanced Mechanical Engineering, Kangwon National University, Engineering Building #6-312, Gangwondaehak-gil 1, Chuncheon, 24341 Republic of Korea

<sup>\*</sup> Department of Mechatronics Engineering, Kangwon National University, Engineering Building #6-302, Gangwondaehak-gil 1, Chuncheon, 24341 Republic of Korea

Received 21 February 2017; Revised 9 August 2017; Accepted 21 August 2017

#### Abstract

Speeding up of railway vehicles requires weight reduction of the vehicle body. However, when the vehicle body is lighter, the sound insulation performance for blocking the noise from the outside is reduced. Aluminum is an important material used in the bodywork of transportation vehicles such as railway vehicles, aircraft, and automobiles. In this study, the bending stiffness and sound insulation performance of foamed aluminum with sandwich structure are investigated experimentally. The transmission loss is measured in accordance with the international standard ASTM E 2249-02. The mass-law deviation is used to evaluate the sound insulation performance per weight. In order to examine the applicability of the foamed aluminum sandwich panel to railway vehicles, the analysis of bending stiffness and an experimental review are carried out at the same time.

Keywords: Foamed Aluminium Sandwich Panel, Sound transmission Loss, ASTM E 2249-02, Mass Law Deviation

## 1. 서론

철도차량의 고속화에서 동력성능의 향상 못지않게 중요한 것이 차체의 경량화이다. 그러나 차체의 경량화는 차음성능을 하락시킴과 동시에 속도의 증가에 따라 공력소음이나 구름소음 등 외부 소음원이 커지면서 실내소음은 더욱 증가한다<sup>[1]</sup>. 이에 실내소음의 저감 대책으로 다양한 흡차음재를 적소에 사용하는 방안이 연구되고 있다. 본 연구에서는 발포 알루미늄(foamed aluminum) 층의 양 면에 얇은 알루미늄 판을 부착한 샌드위치 판재를 대상으로 차음성능과 굽힘강성을 조사하여 철도차량용 차음재로서의 적용 가능성을 검토한다.

산업 현장이나 건축 현장에서 널리 사용되는 소재인 발포 알루미늄은 내부에 많은 작은 기포를 갖는 다공성(porous) 구조로, 기존의 유·무기 소재 대비 단열성과 내열성, 경량성 측면에서 경쟁력을 갖는<sup>[2]</sup> 현재 운행되는 철도차량의 차체는 주름강판이나 알루미늄 압출재를 하중을 지지하고 소음을 차단하는 주요 요소로 사용하고, 여기에 합판이나 합성수지 허니콤을 적절한 간격을 두고 적층한 구조로 되어 있다. 차체 경량화를 위해서는 굽힘강성과 차음 성능을 떨어뜨리지 않고 경량화가 가능한 구조를 찾아야한다. 본 연구에서는 현행 주름강판, 알루미늄 압출재, 합판, 합성수지 허니콤재와 발포 알루미늄 샌드위치재를 대상으로, 음투과손실(Sound Transmission Loss)을 ASTM E 2249-02에 따라 측정하고<sup>[3]</sup>, 질량법칙 편차(Mass law deviation, MLD)를 사용하여 중량대비 차음성능을 평가하였다.

\* Corresponding author. Tel: +82-33-250-6372

fax: +82-33-259-5551

E-mail address: seock@kangwon.ac.kr (Kim Seock-Hyun).

이와 동시에 이러한 판재가 곱힘 하중에 견디는 성능을 평가하기 위하여 등가 곱힘 강성을 유한요소 해석 및 실험적으로 구하였다. 모든 측정 및 해석 결과를 비교하여 발포 알루미늄 샌드위치재의 차체 적용 가능성을 진단해 보았다.

## 2. 시편의 제원

알루미늄 용탕과 점도 증진을 위한 칼슘분말을 증점료에 투입하고, 증점된 알루미늄 용탕을 발포료에 주입한 후, 교반기로 일정시간 섞으면서 발포제인 수소화 티타늄( $TiH_2$ )을 투입하면 발포가 시작되면서 발포 용융 알루미늄이 성장한다<sup>4)</sup>. 냉각된 발포 알루미늄을 얇게 썰어낸 후, Fig. 1과 같이 양면에 알루미늄 박판을 접합시켜 샌드위치 구조를 얻는다. 철도 차량에 사용하는 기존의 차음재와 발포 알루미늄 샌드위치 판재의 제원을 Table 1에 보인다.

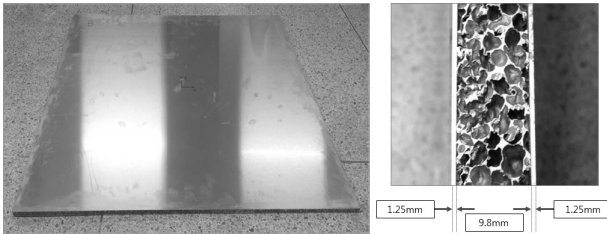


Fig. 1 Foamed Aluminum Sandwich Panel

Table 1 Specification of Panels

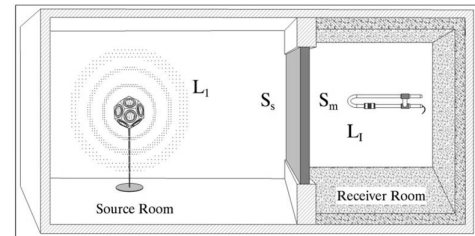
	Mass (kg)	Thickness (mm)	Surface Density ( $kg/m^2$ )
Aluminum extrusion panel	18.9	70.0	27.03
Plywood	9.0	18.0	12.71
Foamed aluminum sandwich panel	7.9	12.3	11.14
Synthetic resins honeycomb	2.4	10.0	3.43
Glass wool	2.6	60.0 (non-compressed condition)	3.72

## 3. 차음성능 시험방법

각 시편을 대상으로 국제 기준인 ASTM E2249-02에 따라 인텐시티 투과손실을 측정하였다<sup>3)</sup>. 이 기준에 따라 Fig. 2의 잔향실-무향실 시험환경에서 실험이 수행되었다. Table 2는 음원이 위치하는 잔향실의 제원이다. 잔향실내에서 무지향성 스피커로 확산음장을 형성시켰고, 인텐시티레벨( $L_1$ )의 평균치를 회전 마이크로폰을 이용하여 측정하였다. 반무향실에 가까운 수음실에서는 인텐시티 프로브를 사용하여, 시편으로부터 3 cm 떨어진 측정면 상의 평균 인텐시티레벨( $\overline{L}_1$ )을 30초 동안 스캐닝법으로 구하였다. 투과손실(TL)은 식(1)을 이용하여 결정하였다.  $S_s$ 와  $S_m$ 은 음원실에서의 시편의 면적과, 수음실에서의 측정 면적을 의미한다. 중량대비 차음성능을 표시하는 MLD (Mass Law Deviation)는 식 (2)로 정의된다. 질량법칙에는 필드 입사음 질량법칙 값<sup>5)</sup>을 사용하였다.

$$TL = [L_1 - 6 + 10\log(S_s)] - [\overline{L}_1 + 10\log(S_m)] \quad (1)$$

$$MLD = TL_{measured} - TL_{mass\ law\ predicted} \quad [dB] \quad (2)$$



(a) Measurement Method



(b) Reverberant Room

Fig. 2 Experimental Set up

**Table 2 Specification of the reverberant room**

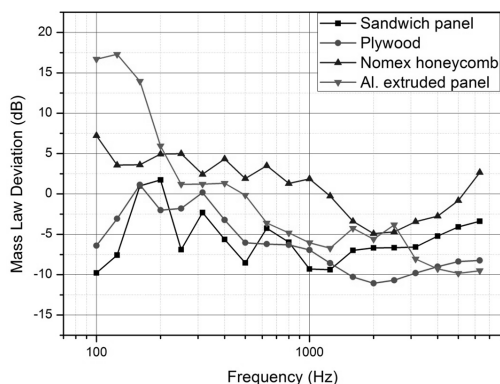
Room Volume	240.75 m <sup>3</sup>
Cut off frequency	100 Hz
Background noise	25.7 dB(A)
Opening size	840mm × 840 mm

### 4. 차음성능 시험 결과

Fig. 3에서 기존의 철도차량 차음재와 발포알루미늄 샌드위치 판재의 투과손실을 비교한다. 기존 차음재의 투과손실은 선행연구의 자료<sup>[6-8]</sup>를 활용하였다. Fig. 3에 보이는 질량법칙 편차(Mass law deviation, MLD)는 다양한 판재가 동일한 중량을 가질 때의 투과손실을 의미한다.

합성수지 허니콤이 전반적으로 다른 시편들에 비해 월등히 우수한 중량대비 차음성능을 보인다. 알루미늄 압출재가 저주파수 대역에서 높은 값을 보이는 하나, 이는 시편의 크기가 작은 데에 기인하며, 실제 차량의 바닥과 같이 판재의 크기가 커지면 그 값이 크게 떨어진다<sup>[9]</sup>.

무엇보다도 본 연구에서 관심을 갖는 발포알루미늄 샌드위치 구조는 중량대비 차음성능이 합성수지 허니콤이나 알루미늄 압출재에 비해서 전반적으로 낮은 것으로 관찰된다. 철도차량의 바닥 내장재로 사용하는 나무 합판에 비해서는 1500Hz 이상의 고주파수 대역에서 더 높은 중량대비 차음성능을 보이는 정도이다.



**Fig. 3 Mass Law Deviations of Panels**

### 5. 굽힘 강성

바닥재의 경우, 객석 및 승객의 하중을 지지해야하므로 차음성능 못지않게 충분한 강성을 갖는 것이 필요하다. 기존의 내장

재로 사용하는 나무 합판과 발포 알루미늄 샌드위치 판재, 그리고 합성수지 허니콤 판재의 굽힘 강성을 비교하였다.

변 길이가 L인 정사각형 등방성 판재가 중앙에 집중하중 P를 받을 때의 중앙에서의 처짐은 식 (3)과 같다<sup>[10]</sup>.

$$\delta = \alpha \frac{PL^2}{D} \tag{3}$$

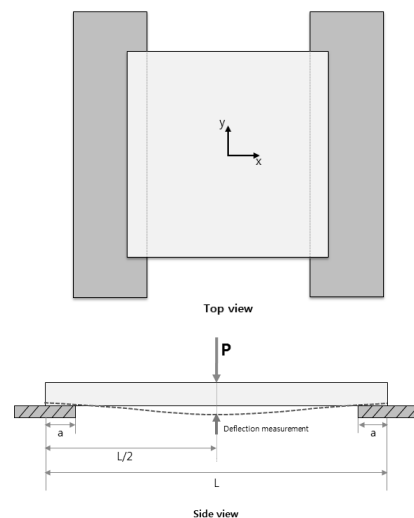
$$D = Et^3/12(1-\nu^2) \tag{4}$$

여기서  $\alpha$ 는 경계조건에 따른 값이고 D는 판재의 굽힘 강성이다. E, t,  $\nu$ 는 각각 판재의 탄성계수, 두께, 프와송 비이다.

샌드위치 발포알루미늄 판재와 합성수지 허니콤은 상·하판이 코어부와 접착된 구조이고 합판은 여러 장의 얇은 층이 접합된 구조이다. 따라서 이들 판재의 굽힘 강성을 직접 구하는 것은 불가능하다. 여기서는 처짐 실험치와 유한요소 해석치를 일치시키는 조건으로부터 강성을 결정하였다. Fig. 4와 같이 판재를 y 방향으로 따라 양단 단순지지 하고 중앙에서의 처짐을 측정하였다. 다시 x 방향으로 양단 단순 지지하여 처짐을 측정하였다.

유한요소해석은 Ansys Workbench v13.0을 이용해 수행하였다. Fig. 5와 같이 처짐 실험과 동일한 경계 조건과 하중 조건을 적용하여 계산된 처짐 값이 측정치와 일치하도록 굽힘 강성을 산출한 결과를 Table 4에 보인다.

발포 알루미늄 샌드위치 판재는 합판에 비해 면밀도가 낮음에도, 굽힘 강성이 오히려 높게 나온다. 합성수지 허니콤재는 중량대비 차음성능이 높으나, 굽힘 강성이 낮으므로 하중을 지지하는 바닥재보다는 측면재와 천정재에 적합한 것으로 보인다.



**Fig. 4 Schematic Diagram of Bending Test**

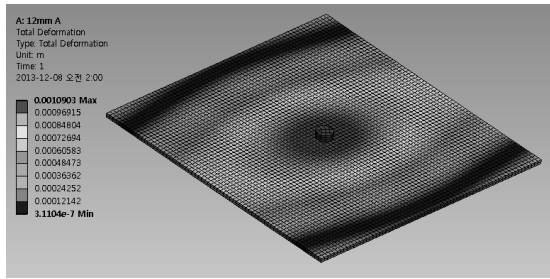


Fig. 5 Finite Element Model of Bending Test

Table 3 Deflections by Bending Test

	Sandwich AL panel	Plywood		Synthetic resins honeycomb	
		x	y	x	y
Center Deflection (mm)	1.09	1.58	1.10	9.33	7.81

Table 4 Bending stiffness of panels

	Bending stiffness (N·m <sup>2</sup> )	
	x-direction	y-direction
Sandwich panel	1689	
Plywood	1224	1759
Synthetic resins honeycomb	181	216

## 6. 결론

발포 알루미늄 샌드위치 판재를 대상으로 철도차량의 기존 차음재의 대체 가능성을 검토했다. 기존 차량의 측면재에 사용하는 합성수지 허니컴재와 비교할 때, 발포 알루미늄 샌드위치 판재의 중량대비 차음성능은 10dB 이상 낮다. 반면에 굽힘 강성은 월등히 높았다. 기존 차량의 바닥 내장재로 사용 중인 나무합판과 비교할 때, 발포 알루미늄 샌드위치 판재는 1500Hz 아래에서는 약간 낮은 차음성능을 보였으나, 그 이후의 고주파수 대역에서는 5dB 이상 높은 차음성능을 보였다.

결과적으로 발포알루미늄 샌드위치 판재는 기존의 철도차량의 차음재에 비해서 하중을 지지하는 굽힘 강성은 매우 우수하나 차음성능은 상대적으로 떨어지는 것으로 평가되었다. 현재로서는 발포알루미늄 샌드위치 판재로 기존 판재를 대체하기에는 문제가 있다. 다공성 구조의 개선과 샌드위치 박판의 두께 조절 등 추가적인 연구를 통해서 차음성능을 높이는 방안이 강구되어야 하겠다.

## References

- [1] Carl E. Hanson, P.E., Jason C. Ross, P. E., David A. Towers, P.E., 2005, High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment, U. S. Department of Transportation.
- [2] Hur, B. Y., Eom, Y. S., Kim, S. Y., 2004, Development of Fabrication Technology for Al Foam with Lightweight-Strength, Trends in metals & materials engineering.
- [3] ASTM, 2003, ASTM E 2249 - 02, ASTM E 2249 - 02.
- [4] Davies, G. J., Zhen, S., 1983, Metallic foams: their production, properties and applications, Journal of Materials Science.
- [5] Beranek, L. L., Ver, I. L., 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley and Sons, INC.
- [6] Kim, S. H., Jang, H., Kim, J., 2001, Characteristics of Local Vibration Modes of the Aluminum Extruded Panels for Rail Road Vehicles, Journal of the Korean Society for Railway.
- [7] Kim, S. H., Paek, I. S., Lee, H. W., Kim, J. T., 2008, Prediction Model of the Sound Transmission Loss of Honeycomb Panels for Railway Vehicles, Journal of the Korean Society for Railway.
- [8] Kim, S. H., Seo, T. K., Kim, J. T., 2010, Improvement effect of the Sound Insulation Performance of the Corrugated Steel Panel by Sound Absorbing and Damping Materials, Journal of the Korean Society for Railway.
- [9] Kim, S. H., Lee, H. W., Kim, J. T., Kim, J. C., 2010, Sound Insulation Design of the Corrugated Steel Panel Considering Local Resonance, Journal of the KSNVE.
- [10] Timoshenko, S. P., Krieger, S. W., 1958, Theory of Plates and Shells McGraw-Hill.