

# 경량구조물의 차음성능 향상방안 : “Honeycomb 구조의 적용사례”

## Evaluation of the Sound Transmission Loss of a Light Weight Honeycomb Structure

김운경\*  
Kim, Woon-Kyung

김정태\*\*  
Kim, Jeong-Tae

김석현\*\*\*  
Kim, Seock-Hyun

### ABSTRACT

Honeycomb structures have advantages in weight reduction with stiffness increment. As far as noise is concerned, however a light aluminum structure, instead of a steel frame, should have an equivalent mass density in order to maintain sound insulation performance. In this paper, an evaluation of a material effect on noise has been examined.

### 1. 서론

최근 들어 에너지 절감과 차량의 성능 향상을 위해, 철재 구조에서 알루미늄 구조로 점차 변경되고 있다. 특히, 운행을 앞두고 있는 고속철도 차량의 경우 내부 구조물이 기존 차량과는 달리 알루미늄 재질로 바뀌면서, 경량화와 동시에 차량의 성능이 크게 향상되었다..

하지만, 차음 측면에서의 경량화는 추세가 반드시 좋은 것만은 아니다. 우선, 철재 구조물이 알루미늄 구조물로 바뀌면서, 무게는 약 1/3 가량 줄어 들지만, 소음 저감 능력은 질량 법칙이 성립되는 구간에서는 약 10dB의 감소라는 역효과를 낼 수 있다. 이는 쾌적한 실내공간을 확보해야 하는 고속전철의 경우에 치명적인 약점이 될 수 있다. 그렇다면, 무게를 줄이면서 차음의 약점을 보완할 수 있는 방법은 없을까? 이에 대한 대책으로 나온 것이 허니콤 구조이다. 고속철도 차량에 쓰이는 허니콤 구조는 상·하부 평판 사이에 공기층을 두고, 사이에 주름 구조의 판재를 붙인 형상이다.

\* 홍익대 기계공학과 석사과정, 학생회원

\*\* 홍익대 기계공학과 교수, 정회원

\*\*\* 강원대 기계공학과 교수

허니콤 구조는 기존 철판 차량의 단점인 무게를 가볍게 하면서, 그에 상응하는 강도를 높여주었다. 소음 측면에서 보더라도, 재료의 굽힘 강성(Bending rigidity)을 변화시켜므로써, 차음 성능의 변화를 주었다.

본 논문에서는 본 연구실에서 개발 제작한 수직형 차음 시험 장치인 소형 잔향실을 이용하여, 허니콤 구조 차음특성을 파악하고자 한다.

## 2. 기본이론

수직형 차음 측정 장치인 한쌍의 잔향실을 이용하여, 투과손실을 측정하였다. 소형 잔향실의 장치 구성도는 Fig. 1과 같다. 음원실은 마이크로폰 회전 장치를 이용하여, 여러 측정점을 측정하여 그 평균값을 사용하였다. 수음실은 음원실에 비해 체적이 크고 형상이 불규칙하여 확산 음장이 잘 이루어지므로, 한 곳만을 측정하였다. 투과손실은 음원실과 수음실의 음향 파워비로 나타낼 수 있으므로,

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

여기서, TL은 투과손실(Transmission Loss),  $L_1$ ,  $L_2$ 는 음원실측과 수음실측의 음압레벨(Sound Pressure Level), S는 측정 시편의 단면적( $m^2$ ), A는 수음실의 흡음력( $m^2$ )을 나타낸다.

투과 손실은 음의 입사 방향에 따라 크게 차이가 난다. 투과 손실 이론값은 음의 입사 방향을 고려하여 크게 수직입사음(Normal incidence), 랜덤입사음(Random incidence), 그리고 필드입사음(Field incidence)으로 구별한다.

$$R_0 = 20 \log (mf) - 20 \log (\rho_0 c / \pi) \quad (2)$$

$$R_d(f) = R_0(f) - 10 \log [0.23 R_0(f)] \quad (3)$$

$$R_f(f) = R_0(f) - 5 \quad (4)$$

여기서,  $R_0$ 는 수음입사음  $R_d$ 는 랜덤입사음  $R_f$ 는 필드입사음에 대한 차음값을 나타내고,  $\rho_0$ 는 공기의 밀도,  $c$ 는 음의 속도이다.

음원실과 수음실의 음압레벨 측정은 정재파(standing wave)의 영향을 줄이기 위해, 내부에 흡음재를 도포하였고, 마이크로 폰 회전장치를 이용하여 7점에서 측정하여 그 평균값을 사용하였다. 시편이 없는 상태에서 음원실과 수음실의 음압레벨 차이를 나타낸 측정 결과 그래프는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. 시편이 없는 상태를 실내에서 확산음장이라고 가정했을 때, 저주파수 대역에서 오차가 많이 나고 있으나, 고주파 대역으로 갈수록 줄어들고 있다. 저주파 대역의 오차는 소형 잔향실이 갖는 물리적 특성으로, 이를 해결하기 위해 투과손실 이론값을 이용한 보정치를 사용하여 측정시 활용하였다. 또한 마이크로 폰의 측정 위치에 따라 음향모드가 일정하게 분포되지 않는 지점

은 평균값 계산시 제외하였다.

### 3. 허니콤 구조의 차음성능

#### 3.1 허니콤 구조의 특징

알루미늄 압출재의 형상은 Fig. 4와 같은 허니콤 구조이다. 강도를 증가 시키기 위해 알루미늄 압출재의 두께를 크게 해 주어, 강성의 효과를 크게 해주었다. 하지만 본 알루미늄 압출재의 구조의 차음 효과는 허니콤 구조의 두께와 상관없이 재료의 두께의 총합에 따라 투과손실에 의해 결정된다. Table 1.에서 보는 바와 같이, 알루미늄 압출재의 전 두께( $h_v$ )가 40mm인 허니콤 구조는 22.4mm의 평판( $h_{eq}$ )으로 등가시킬 수 있다. 이는 알루미늄 압출재의 총 판의 합이라고 할 수 있는 재료의 순 두께( $h_m$ ) 9mm 에 비해 2.5배 높은 두께로, 같은 질량(면밀도)의 평판에 비해 굽힘 강성이 크게 증가한 구조이다. 즉, 허니콤 구조는 강성을 크게 해 줌으로써 강도에는 만족할 만한 결과를 얻었다고 볼 수 있다. 굽힘강성의 변화로 인해 투과손실의 특성이 어떻게 변화하는지 살펴보자.

#### 3.1 허니콤 구조의 투과손실 특성

알루미늄 압출재의 투과손실은 소형 잔향실을 통해서 측정하였다. 허니콤 구조와 허니콤 구조의 등가치를 이용하여 차음 특성을 살펴보고자 한다.

등가 강성 평판의 계산치와 알루미늄 압출재 실험치를 비교한 그래프는 Fig. 6이다. 무게가 가벼워짐으로써 차음성능은 떨어지고 있으며, 대상 주파수가 증가할수록 그 차이는 두드러지게 나타나고 있다. Fig. 7은 재료만의 순 두께와 알루미늄 압출재의 차음 특성 그래프이다. 질량 법칙이 적용되는 주파수 800Hz 이상의 주파수 대역에서는 재료 순 두께에 해당하는 차음 성능이 알루미늄 압출재보다 다소 높다. 즉, 허니콤 구조와 같은 면밀도를 갖는 단면 두께가 일정한 평판의 투과 손실과 비교했을 때, 그 차이는 비슷하거나 다소 떨어짐을 알 수 있다. 이는, 허니콤 구조의 특징인 공기층 부위의 주름 판넬의 영향으로 기인한 것으로, 고주파 대역에서는 오히려 철재 구조물보다 차음이 떨어지고 있다. 내부에 공기층을 두고 내부에 지그재그 형상으로 판넬이 붙어 있더라도, 차음 개선에는 크게 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다.

특이한 점은 평판의 공진주파수 400Hz 대역이고 알루미늄 압출재의 공진주파수가 630Hz 대역으로 약 1.5배 높아졌다. 허니콤 구조로 인해, 이는 강성의 크기가 변화함으로써 공진 주파수 대역이 상승했고, 철도차량의 취약지역이었던 저주파수 대역에서 차음 성능이 향상되고 있다.

질량법칙(Mass law)이 성립되는 구간에서 투과손실은 차음재의 질량(면밀도)과 주파수( $f$ )가 증가함에 따라 늘어난다. 경량화가 되면 차음성능은 다소 약화 될 수 밖에 없다. 하지만, 허니콤 구조는 전 주파수 대역에서 차음 성능을 크게 한 것이 아니라, 특정 주파수 대역(저주파수 대역)에서 투과손실을 증가시켰다고 볼 수 있다. 실험과 예측 계산치를 통해서 허니콤 구조의 특징은 굽힘 강성의 증가에 있고, 그로 인해, 공진 주파수 대역이 변화함으로써, 저주파수 대역에서 차음

성능이 향상되는 효과를 가져 왔다.

#### 4. 결 론

고속철도에 쓰일 허니콤 구조의 특징을 실험적으로 살펴보았다. 구조적으로 무게는 가볍게 하면서 굽힘강성을 크게 해 강도적인 측면에서 크게 높여 주었다. 또한 강성의 증가는 평판 구조물의 경우보다 공진 주파수를 높은 주파수쪽으로 이동시키는 역할을 하였다. 허니콤 구조의 주름진 형상의 특징으로 말미암아, 고주파수쪽으로 갈수록 차음 특성이 떨어짐을 확인 할 수 있었다. 하지만, 공진 주파수의 이동은 특정 주파수 대역의 차음 성능의 향상을 가져왔다. 본 실험에서도 살펴볼 수 있듯이, 허니콤 구조의 공진 모드가 600Hz 대역으로 이동하므로 해서, 철재 차량시의 취약 부분인 200~300Hz 대역에서의 투과손실이 증가하였다. 종전에 사용되었던 공진에 의한 차음 성능 저하를 막기위해 사용되었던 충전재(방진재) 외에도 허니콤 구조를 통해 공진 주파수의 변경으로 차음 문제를 해결할 수 있음이 확인되었다.

즉, 허니콤 구조는 무게의 경량화와 함께, 주름 판넬의 구조 때문에, 같은 질량 면밀도를 가지는 재료에 비해 차음 성능이 떨어지나, 공진 주파수의 변화를 통해 특정 대역의 투과손실을 크게 해 주는 효과를 가져 왔다. 공진 주파수의 변화는 전적으로 굽힘 강성의 변화와 크게 관련이 있다.

강성의 변화를 위해서는 허니콤 구조의 주름진 부위의 형상의 변화가 따라야 한다. 즉, 특정 주파수 대역에서 크게 차음 효과를 보는 허니콤 구조는 설계시 고려되어야 할 차음 영역의 예측이 필요하다.

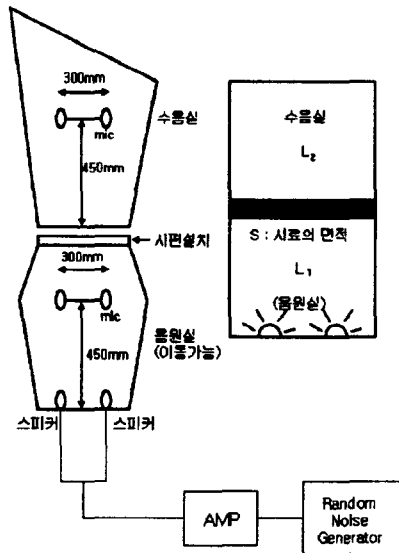


Fig. 1-a Experimental set-up(Schematic)

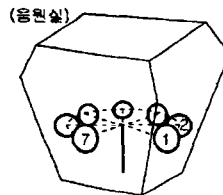


Fig. 1-b 음원실의 측정위치

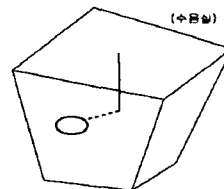


Fig. 1-c 수음실의 측정위치

Fig. 1 Experimental set-up

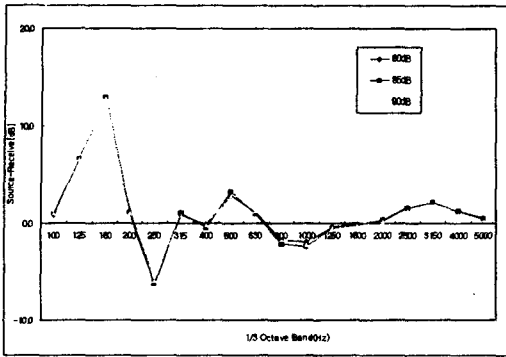


Fig. 2 주파수별 확산음장 특성

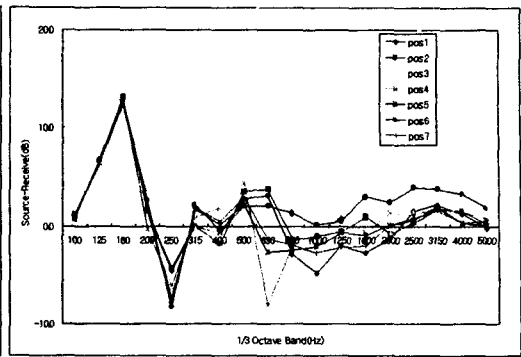


Fig. 3 측정 위치별 확산 음장 특성

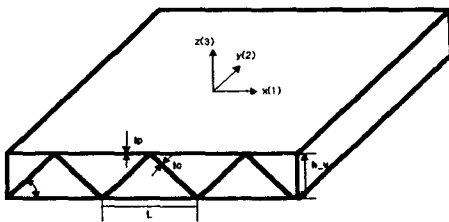


Fig. 4 알루미늄 압출재의 구조  
( $t_p \times t_c \times h_v$  - 각도:  $3.0 \times 3.0 \times 40 - 30^\circ$ )

Table 2. 알루미늄 압출재 등가보정계수

	Factor	Thickness(mm)
Volume thickness( $h_v$ )	—	40
Equivalent thickness( $h_{eq}$ )	$0.56h_v$	22.4
Material thickness( $h_m$ )	$2t_p + t_c$	9.0
Steel thickness( $h_s$ )	$0.34h_m$	3.0

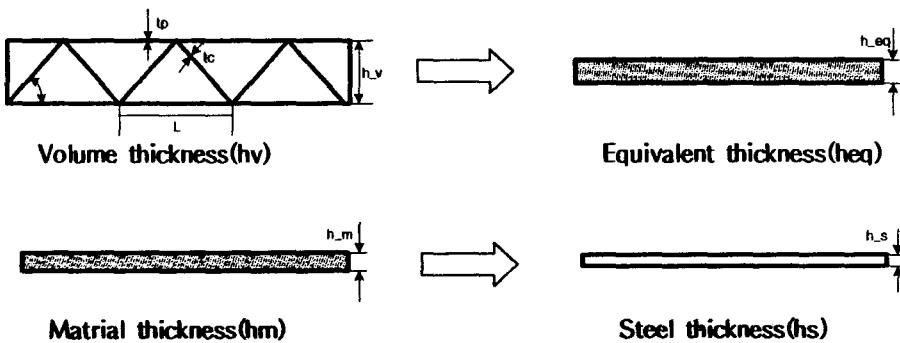


Fig. 5 허니콤 구조의 등가치

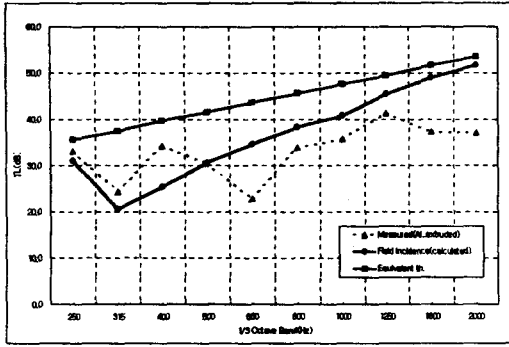


Fig. 6 등가 강성 두께 와 알루미늄 압출재의 차음특성 비교

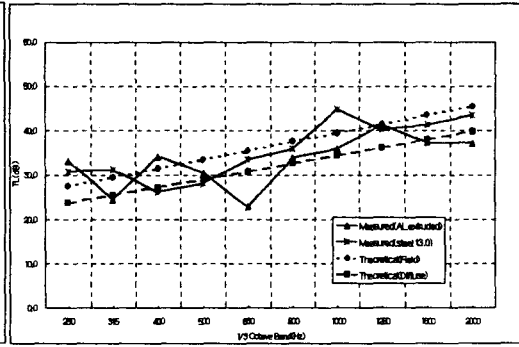


Fig. 7 순 재료 두께 와 알루미늄 압출재의 차음특성 비교

### 참 고 문 헌

- (1) 이희보, 김정태, 1994, "환경소음저감을 위한 음향재료의 성능평가에 관한 연구 (II)", 전북대학교 공학연구, 제 25 권, pp. 123~130
- (2) Leo L. Beranek, 1971, "Noise and Vibration Control", McGraw-Hill
- (3) Frank Fahy, 1985, "Sound and Structural Vibration", Academic Press
- (4) Austin R. Frey, Etc, 1980, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, Inc.
- (5) D. A. Bies and C. H. Hansen, 1988, "Engineering Noise Control", E&FN SPON
- (6) 日本建築學會, 1979, "建築物의 遮音性能基準과 設計指針", 技報堂出版社
- (7) 김정태, 1998, "투과손실측정장치 사용자 매뉴얼", 승연기기상사
- (8) Graham Naylor and Jens Holger Rindel, 1994, "Odeon Room Acoustics Program", Technical University of Denmark
- (9) 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, 2000.10, "고속전철 기반기술 개발", pp320, pp375
- (10) 박진근, 1999, "소형잔향실을 이용한 구조물의 차음성능 평가", 홍익대학교
- (11) 김석현, 박정철, 김중년, 2000, "철도차량용 알루미늄 압출재의 투과손실", 소음진동공학회지 제10권 4호, pp. 662~668