

고속철도차량용 알루미늄 압출재의 차음성능에 대한 폼 충전효과 Sound-Insulation Performance of Aluminum Extruded Panel by Charging Foam in a High-speed Train

이중혁* · 박인석* · 김석현†

Joonghyeok Lee, Inseok Park and Seockhyun Kim

Key Words : Aluminum extruded panel(알루미늄 압출재), Local resonance(국부공진), Sound intensity transmission loss(음투과손실), Urethane foam(우레탄 폼)

ABSTRACT

The aluminum extruded panel used for a high speed train shows the largest contribution to sound insulation performance of the train body. However, comparing with the flat panel having the same weight, the transmission loss falls sharply in the local resonance frequency band. Such fall of transmission loss can be improved by increasing the damping of local resonance. This study examines the charging effect of an urethane foam on the aluminum extruded panel of a high speed train. We charged the urethane foam with different mass density and in different way in the core part of the extruded panel. We measure the transmission loss and compare the sound insulation performance according to the density and charging method. Finally, Improvement effect of the transmission loss is compared and analysed in aspect of weight increment.

1. 서 론

고속철도 차량은 기존의 강 구조물을 대체하여 알루미늄 압출재를 사용함으로써 구조의 경량화를 이루었다. 그러나 고속화 및 경량화는 소음 및 진동의 증가를 가져와 실내 정숙성을 떨어트린다. 알루미늄 압출재는 Fig.1 과 같이 트러스 단위가 반복되는 단면구조를 갖는다. 이러한 구조는 동일중량의 평판 및 주름강판에 비해 차음성능이 매우 떨어진다. 그 원인은 국부공진모드가 발생하는 주파수 대역에서 국부공진이 투과손실을 악화시키기 때문이다. Windle⁽¹⁾, Zheng⁽²⁾은 여러 종류의 주름강판을

대상으로 주기적으로 반복되는 주름단위의 국부공진에 의하여 투과손실이 급격히 저하될 수 있음을 규명하였다. 또한 Kim등은 알루미늄 압출재에서도 동일한 이유에 의해 투과손실이 하락함을 실험 및 유한요소해석으로 확인하였다.^(3,4) 또, 우레탄폼을 압출재 코어부에 충전함으로써, 국부공진에 대한 댐핑을 증가시켜 투과손실 개선효과를 확인하였다.⁽⁵⁾

본 연구에서는 차세대 고속철도차량인 HEMU-400X(High-speed Electric Multiple Unit-400km/h eXperiment)의 바닥 압출재를 대상으로 현재 운행 중인 KTX-sancheon에 적용된 우레탄 폼을 충전시켜 차음성능을 평가한다. 코어부의 가운데 공간을 남기고 폼을 충전하여 공간을 남기지 않고 충전한 인텐시티 투과손실(Intensity transmission loss) 측정결과와 비교한다. 또한, 질량법칙편차(Mass law deviation, MLD)를 이용하여 중량대비 차음성능을 평가한다.

† 교신저자: 정희원, 강원대학교 기계메카트로닉스공학과, 교수

E-mail : seock@kangwon.ac.kr

Tel : 033-252-6372 , Fax : 033-257-4190

* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과



Fig. 1 Aluminum extruded panel

Table 1 Specification of the aluminum extruded panel

specimens (size : 836mm × 836mm)	Mass (kg)	Thickness (mm)	Surface density (kg/m ²)
Aluminum extruded panel	18.89	70.00	27.03

2. 우레탄 폼의 제원

Fig. 1은 HEMU-400x의 바닥 알루미늄 압출재 시편이고, 제원은 Table 1과 같다. Fig. 2는 실험에 사용한 폼의 종류이고, 제원은 Table 2와 같다.

현재 KTX-sancheon에 적용되는 폼은 Fig. 2에 (c)이고, (d)는 동일스펙에서 길이만 짧은 모델이다. (c)와 (d)는 두 가지 재료의 폼이 결합된 형태인데, 폼의 윗면과 아랫면이 경질이고, 가운데는 연질로 구성되어 있다. Table 2에서와 같이 충전되는 폼의 종류에 따라 밀도가 다르므로 중량도 각각 달라진다.

본 연구에서는 중량 대비 차음 성능에 초점을 맞추어, 투과손실의 평가에 다음의 무한 등방성 판재의 랜덤 입사음 질량법칙(Random incidence mass law)⁽⁶⁾ 식 (1), (2)를 사용하였다.

$$TL_0 = 20 \log \left(\frac{m \pi f}{\rho c} \right) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$TL_{\text{random}} = TL_0 - 10 \log(0.23 TL_0) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

3. 투과손실 측정

차음성능 평가를 위하여 ASTM E 2249-02⁽⁷⁾에 근거하여 인텐시티 투과손실을 측정하였다. 이를 위하여 Fig. 3의 음원실과 수음실 사이의 개구부 (840mm × 840mm)에 시편을 설치하고, 음원실에서 회전 마이크로폰을 사용하여 평균 음압을 측정하였



(a) Normal foam

(b) ADF4060-J



(c) ADF4060-case1

(d) ADF4060-case2

Fig. 2 Type of the foam

Table 2 Specification of the foam

Type	Density (kg/m ³)	Mass ratio of charged foam vs. al panel (%)
Normal foam	16.11	6.35
ADF-4060-J	55	11.64
ADF-4060-case1	126.21 (Hard : 525, Soft : 55)	27.52
ADF-4060-case2		23.56

고, 수음실 측에서는 인텐시티 프로브를 사용하여 시편상에서의 평균 인텐시티를 측정함으로써 음투과손실을 결정하였다. ASTM E 2249-02에 의하면, 측정면상의 평균 인텐시티를 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\bar{I} = \frac{I_0}{S_m} \sum_{K=1}^M \left[S_{m_k} \left(10^{0.1L_k} \right) \text{sgn}(I_k) \right] \quad (\text{W/m}^2) \quad (3)$$

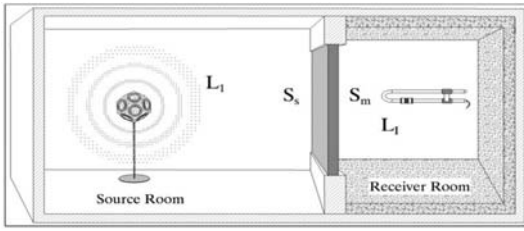
이로부터 측정면에 수직하는 인텐시티 레벨 (Signed normal sound intensity level)을 식 (4)로 구할 수 있다.

$$\bar{L}_I = \text{sgn}(I_k) 10 \log \left(\frac{|\bar{I}|}{I_0} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

이상의 측정 데이터를 식 (5)에 대입하여 인텐시티 투과손실을 결정하였다.

$$TL = [L_1 - 6 + 10 \log(S_s)] - [\bar{L}_I + 10 \log(S_m)] \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

Table 3는 잔향실의 제원을 보인다.



(a) Measurement method



(b) Reverberant room

Fig. 3 Experimental setup for ITL Measurement

Table 3 Specification of the reverberant room

Room volume	240.75m ³
Cut off frequency	100Hz
Background noise	25dB(A)
Opening size	840mm × 840mm

4. 측정결과

4.1 폼 충전에 따른 판재 투과손실

폼 충전된 바닥 알루미늄 압출재의 투과손실 측정 결과를 Fig. 4에 비교한다. 300Hz 아래 저주파수 대역에서는 폼 충전효과가 보이지 않는다. 비충전 압출재는 500Hz 이후 국부공진에 의하여 질량법칙치 대비 투과손실이 많이 떨어진다. 그 결과 1000Hz를 전후해서는 질량법칙치 대비 7dB 정도 낮은 투과손실을 보인다. 압출재 중량의 6%에 상당하는 일반 폼(normal foam)을 충전한 경우, 이러한 하락은 상당히 완화되어 질량법칙치에 근접한 투과손실을 보인다. 이는 폼 충전에 의한 댐핑 증가 효과로 선행연구에서 밝힌 바 있다.⁽⁵⁾ 일반 폼의 2배 정도 무거운 ADF4060-J는 400~800Hz대역에서 일

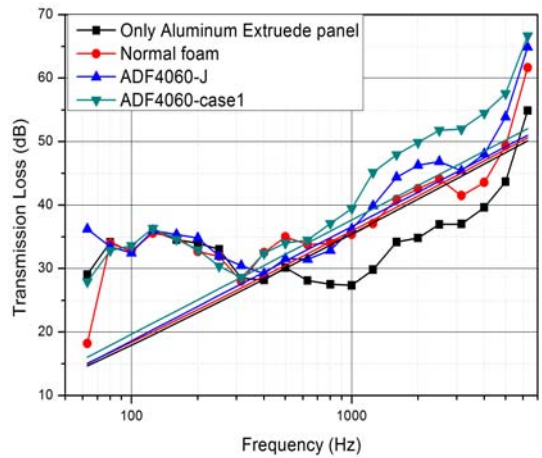


Fig. 4 TL of aluminum extruded panels

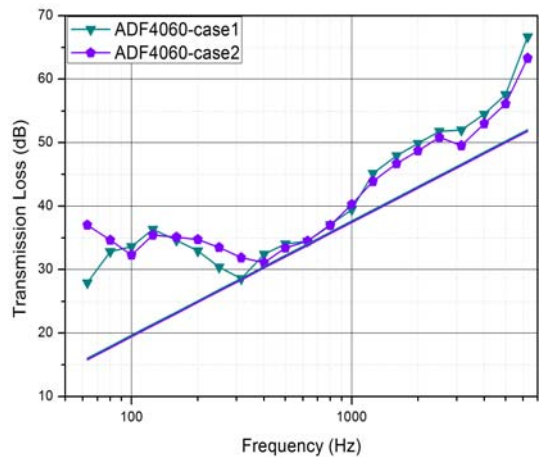


Fig. 5 Comparison of the TL in case1 and case2

반 폼에 비해 3dB정도 낮은 투과손실을 보이나, 이후 주파수 대역에서는 5dB정도가 높다. 일반 폼의 4배 정도 무거운 ADF4060-case1은 800Hz이후부터 일반 폼에 비해 8dB높은 투과손실을 보인다.

4.2 폼 충전방식에 따른 판재 투과손실

ADF4060-case1과 ADF4060-case2는 앞서 언급한 바와 같이 동일한 밀도를 가진다. case1은 압출재 시편과 동일한 길이로, 이를 압출재 코어의 길이 방향으로 충전한다. 한편 case2는 350mm의 길이의 폼을 압출재 코어의 양단에서 안쪽으로 충전하는 방식으로, 가운데 136mm의 빈 공간이 생겨 평균 면 밀도는 약간 낮다. Fig. 5에서처럼, case 1이 case2

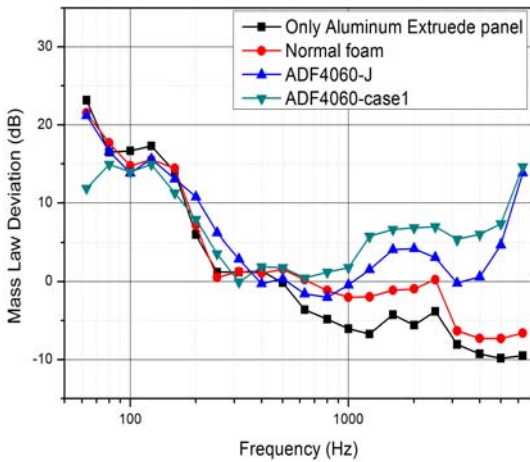


Fig. 6 MLD of aluminum extruded panels

보다 150~300Hz대역에서 투과손실이 4dB 정도 낮은 것은 질량의 증가로 공진 대역이 낮아진 데 기인하는 것으로 보인다. 그러나 고주파수대역에서는 case1이 약간 높은 투과손실을 보인다. Fig.4에서 압출재 만의 투과손실이 질량법칙에 비해 현저히 낮았음에 비해서, Fig.5에서 case1, case2 모두 질량법칙 예측치를 상회하는 투과손실을 보이는 것은 압출재의 투과손실 증가에 질량효과보다는 댐핑효과를 활용하는 것이 현실적임을 보인다.

5. 중량대비 차음성능 평가

MLD는 중량대비 차음성능을 평가하는 지표로 활용되며, 식 (6)과 같이 정의된다.

$$MLD = TL_{measured} - TL_{mass\ law\ predicted} \quad (6)$$

각 품의 MLD를 Fig. 6에서 비교한다.

ADF4060-case1의 경우 500Hz 이상 대역에서는 가장 좋은 중량당 차음성능을 보이고 있다. 그러나 300Hz 아래에서는 ADF4060-J가 약간 높은 중량당 차음성능을 보인다. 이는 밀도가 높은 폼이 저주파수대역보다는 고주파수대역에서 차음성능 개선에 유리함을 의미한다.

6. 결 론

고속전철용 알루미늄 압출재는 국부공진 대역에서 중량대비 차음성능이 현저히 떨어진다.

이 문제를 개선하기 위하여 우레탄 폼을 압출재

코어부에 충전하였다. 사용한 세 가지 압출재 모두 국부공진에 의한 하락폭 이상으로 중량당 차음성능을 개선하는 효과를 보였다. 이로부터 국부공진에 의한 압출재 투과손실의 하락은 압출재의 강화보다는 폼 충전에 의한 댐핑의 증가가 현실적인 방안임을 확인할 수 있었다. 폼의 밀도를 높이면 투과손실 개선 효과도 증가하나, 300Hz 부근에서는 오히려 역효과가 나는 점은 폼의 사용에 주의를 요한다. 이는 면밀도 증가에 따른 공진주파수 대역의 하락에 기인하는 것으로 보이나, 추후 면밀한 검토가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) R. M. Windle, and Y. W. Lam, 1993, Prediction of the Sound Reduction of Profiled Metal Cladding, Inter-Noise'93, Vol.2, pp.999-1002.
- (2) C. F. Ng and H. Zheng, 1998, Sound Transmission through Double-leaf Corrugated Panel Construction, Applied Acoustics, Vol. 53(3), pp.15-34.
- (3) S. H. Kim, H. Jang, J. Kim, 2001, Characteristics of Local Vibration Modes of the Aluminum Extruded Panels for Rail Road Vehicles, Journal of the Korean Society for Railway, Vol.4(3), pp.87-93.
- (4) S. H. Kim et al., 2000, Sound Transmission Loss of Aluminum Extruded Panels for Railway Vehicles, Transactions of the KSNVE, Vol.10(4), pp.662-668.
- (5) S. H. Kim et al., 2011, Sound Insulation Strategy for a High Speed Train, Transactions of the KSME, Vol. 2011, No. 5, pp.431-436.
- (6) L.L. Beranek and I.L. Ver, 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley and Sons, INC., pp.281-291.
- (7) ASTM E2249 - 02 : 2003, American Standards for Testing and Materials; Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Transmission Loss of Building Partitions and Elements Using Sound Intensity, American Standard Association.