

알루미늄 압출판의 동적 거동 예측을 위한 해석적 연구

Study of dynamic behavior of aluminum extruded panels

이준현* · 김대용* · 김범수* · 김관주†

Jun-Heon Lee, Dae-Yong Kim, Bum-Soo Kim and Kwan-Ju Kim

Key Words : Transmission Loss(투과손실), aluminum extruded panel(알루미늄 압출재), FEM(유한요소법),

ABSTRACT

Frame structures of High speed train are constructed from corrugated panel and aluminum extruded panel, which have high bending stiffness. Transmission loss of those panels, however, is less satisfactory than other panels with same mass per unit area. Therefore, this study predicted transmission loss of aluminum extruded panels using Finite element method. Specifically, we modeled acoustic cavity above a radiation surface and analyzed correlation between T-slot and transmission loss. Moreover, we examined the effect of boundary condition changes of the structure on transmission.

1. 서 론

고속철도는 기존 철도 차량보다 경량화가 중요하다. 특히 벽체는 구조는 무게 대비 강성이 우수한 주름판넬이나 알루미늄 압출 판넬이 이용된다. 하지만 차음 성능은 동일한 면밀도를 가지는 평판보다 떨어지는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

이러한 압출 판넬의 차음성능 예측을 위해 김석현 등은⁽¹⁾ 압출판넬의 직방성의 등가 평판으로 보고 투과손실을 예측 하였다. Heckl 은⁽²⁾ 2 개의 임계 주파수로 표현되는 투과손실 모델을 제시하였다. 유지우는⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 사각평판의 모서리가 가이드 조건인 경우 모드방사 효율과 점가진 평균에 대한 평균 방사효율을 유도 하였고, 보와 판의 모드합성법을 이용하여 사각 평판이 완전 지지 조건일 때 방사 파워를 수치적으로 계산하였다.

Xie 등은⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 단순지지 조건의 중횡비가 큰 스트립을 포함한 사각 평판의 평균 방사 효율을 연구하고, 가능한 모든 가진점의 평균을 구해 모드 연성향의 영향을 줄인 음향 방사 특성을 분석하였다. 또한 알루미늄 압출 판넬을 전체 모드를 나타내는 subsystem 과 코어, 스트립의 국부 모드를 나타내는 subsystem 으로 나누어 모드 밀도를 계산하고, SEA 방법으로 투과손실을 예측 하였다.

알루미늄 압출판의 공진은 압출판이 하나의 평판처럼 작용하는 전체 모드(overall modes)와 일부 스트립(strip)만 공진하는 국부 모드(local modes)로 구분 할 수 있다.⁽⁷⁾ 전체 모드가 있는 영역에서는 단일평판과 유사한 차음, 음향 방사 특성을 가진다. 하지만 일정 주파수 이상의 국부모드가 생기는 영역에서는 각 스트립과 내부 공동에 영향을 받는다.

철도 차량의 바닥면에 사용되는 알루미늄 압출재는 구조의 상부에는 시트와 실내 구조물이 장착되고, 하부에는 각종 기기 들이 설치 된다. 이러한 구조를 쉽게 장착 하기 위해서 압출체에 T-홈(T-slot)이 만들어진다. T-홈은 방사되는 면을 복잡하게 만들어 수학적인 방법으로 방사되는 음압을 예측 하기 어렵다.

† 김관주: 정회원, 홍익대학교 기계·시스템디자인공학과
E-mail : kwanju@hongik.ac.kr

Tel : 02-320-1643

* 홍익대학교 대학원 기계공학과

이 논문은 잔향실-잔향실 방법으로 측정된 알루미늄 압출판의 음향 투과손실을 유한요소법을 이용하여 예측 하였고, 투과손실 해석시 경계 조건의 영향을 해석 통하여 비교하였다. 또한 T-홈이 구조물의 음향 방사와 차음 성능에 미치는 영향을 해석적인 방법을 이용하여 비교 하였다.

2. 알루미늄 압출 판넬 모델

알루미늄 압출재는 838mm x 838mm x 70mm의 크기이다. Fig. 1에서 처럼 스킨의 두께는 2.8mm 이고, 상부 차실쪽에 3개의 T-slot이 있다. 중간에 두 단위 압출재를 용접으로 접합한 면이 있다. 상부와 하부 스킨 사이 코어부분에는 스트립에 의해 구분되는 7개의 삼각형, 3개의 사다리꼴 모양의 공동이 있다.

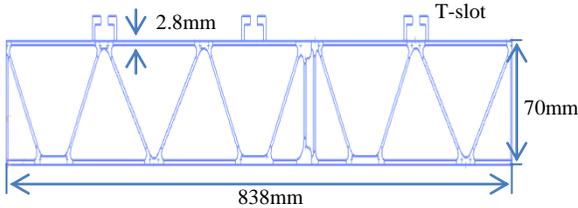


Fig. 1 Structure of extruded panel

FEM 해석 모델은 총 15,397개의 Hexahedron-20 요소로 구성 되었다. Fig. 2에서 처럼 상부에 공기층과 하부의 압출재로 되어 있다. 공기층은 T-홈에 의해 생성되는 근접장을 고려하여 방사되는 에너지를 계산하기 위함이다. 2.5m x 2.5m x 0.9m 크기의 직육면체 공간을 공기로 모델링 하였고, 결면에는 무한한 공기면을 만들었다. 무한한 공기면으로 방사되는 에너지는 결론적으로 투과된 파워로 생각하였다.

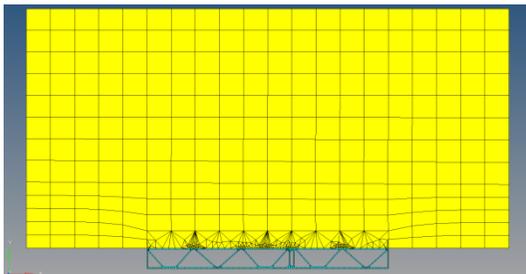


Fig. 2 FEM model

하부의 알루미늄 압출 판넬은 4004개의 solid shell 요소로 구성되었다. Table 1과 같은 알루미늄 재질을 사용 하였다. 바닥면에는 외부에서 가진되는 음압을 Fig. 3 와 같은 10가지의 임의의 가진을 넣어 해석을 하였다. 그리고 평균치를 계산하였다. 상부에는 유한한 공기 공간과 접해 있으며, 측면은 완전 지지 혹은 자유 경계 조건으로 모델링 되었다.

Table 1 Put table title put table title

Young's Modulus (GPa)	Poisson Ratio	Density (kg/m3)
71.5	0.33	2800

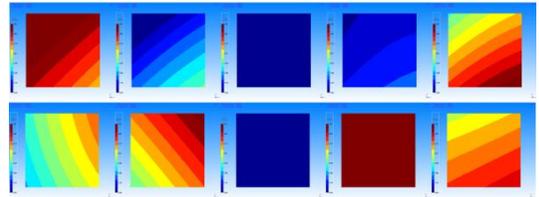


Fig. 3 sample incidence sound pressure(2000Hz)

Table 1 Elements property of FEM model

component	Number of elements	Type of elements
Air cavity	11,393	Hexahedron-20
aluminum extruded panels	4,004	Hexahedron-20

3. 투과손실 예측

유한요소법에서는 압출재 구조의 바닥면으로 입력되는 파워와 무한 유체면으로 방사된 파워의 비로 투과 손실을 계산한다.

음향 투과손실은 일반적으로 잔향실 잔향실 방법으로 측정된다. 알루미늄 압출재의 투과손실은 전역 모드만 존재하는 주파수에서는 평판과 유사한 거동을 보인다. 스킨과 코어의 스트립의 공진은 전역 모드 보다 고주파수에서 발생한다. 이러한 국부 공진 모드 (local modes) 가 발생하면 투과손실이 급격하게 저하된다. SEA 등에서는 이러한 전역 모드와 국부모드를 따로 모델링 하여 계산하지만⁽⁷⁾ FEM 방법에서는 단순히 구조물을 모델링 하여 두가지 모드의 영향을 모두 예측 할 수 있다.

3.1 경계조건의 영향

압출재의 구조의 경계가 완전 지지 조건과 자유 경계 조건으로 설정하고, 투과손실과 방사되는 음장을 비교하여 보았다.

압출재의 경계 조건을 완전 지지 조건과 자유 조건의 경우 투과손실은 완전 지지 조건의 경우 500 Hz 이하의 저주 파수에서는 차이가 크게 나지만 1 000 Hz 이상에서는 5% 이하의 오차로 잘 맞는 것을 볼 수 있다. 자유 경계 조건은 전체 적으로 38% 이하의 오차를 가진다.

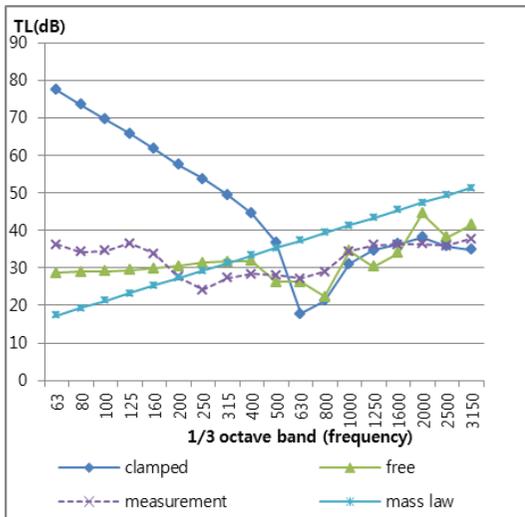


Fig. 4 Sound transmission loss

(Clamped edges, free edges, measurement, mass law)

전역 모드의 경우에는 국부 모드 보다 경계 조건에 영향을 크게 받는다. 특히 투과손실 결과를 보면, 자유단 조건에서는 250Hz 영역에서 1번 모드가 생성 되지만, 완전 지지 조건에서는 630 Hz 밴드에서 1번 모드가 생기는 것을 볼 수 있다.

이러한 결과는 시험 설비가 저 주파수에서는 완전 지지조건으로 시험편을 고정 시켜 주지 못하는 것으로 보인다. 특히 500Hz 이하 영역에서는 시험편이 자유 조건의 해석 결과와 유사하다.

방사되는 음장의 분포는 Fig.5와 Fig.6에 500Hz, 1kHz, 1.5kHz, 2kHz의 경우이다. 500Hz영역에서 두 경우의 차이가 크게 나타난다. 완전 지지조건에서는 구조의 내부에서 가장 큰 음압이 방사되지만, 자유 지지단은 각 스트립 마다 유사한 크기의 음압이 방사되는 것을 볼 수 있었다.

1.5kHz이상의 영역에서는 거의 유사한 결과를 보인다. 각 스트립 마다 일정한 음압을 방사하고, 음압의 분포도 전체적으로 일정한 것을 볼 수 있다. 이것은 스트립의 공진은 경계 조건에 영향을 적게 받는 것 이라 생각된다.

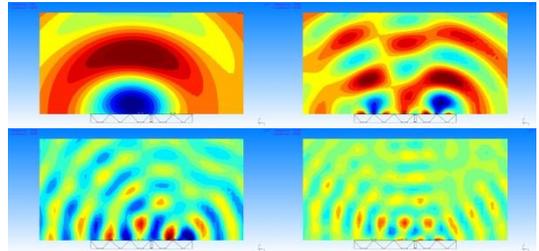


Fig. 5 Sound pressure of radiation field
(Clamped edges, Upper left: 500hz, Upper right: 1000Hz,
Lower left: 1500Hz, Lower right: 2000Hz)

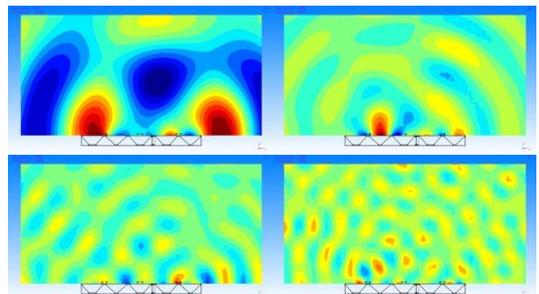


Fig. 6 Sound pressure of radiation field
(free edges, Upper left: 500hz, Upper right: 1000Hz,
Lower left: 1500Hz, Lower right: 2000Hz)

3.2 T-slot의 영향

철도차량의 바닥 프레임으로 사용되는 알루미늄 압출 패널은 바닥 프레임 상부에는 각종 흡차음재, 바닥재, 의자, 기타 차실 내부 구조물들이 장착된다. 장착을 용이하게 하기 위해서 T-홈들이 압출재에 만들어 진다.

이러한 단면 구조는 압출재의 강성을 변화 시키고, 음향 방사 특성이 복잡해진다. 특히 급힘 강성의 변화가 커서 고유 모드 들이 변하고, T-slot이 연결된 strip은 local mode 들도 변화된다.

Fig.7 은 T-홈이 개인 경우와 중앙에 1개가 삭제된 경우의 투과손실을 나타낸다. 전체적으로 특성은 유사하게 나타나지만, 일부 모드들이 공진 주파수와 투과손실의 크기가 변하는 것을 볼 수 있었다.

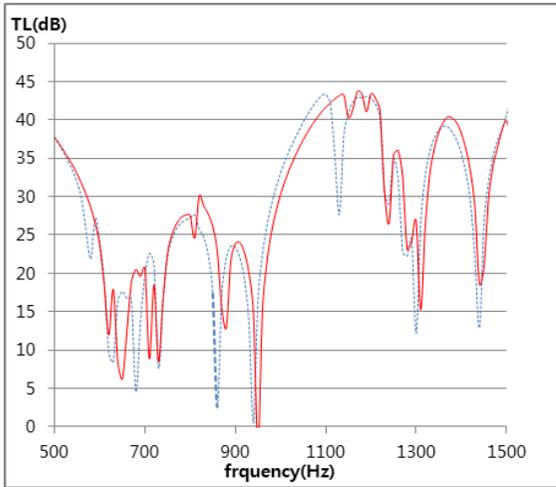


Fig. 7 Sound transmission loss

(Clamped edges, dot line: 3 T-slots, solid line 2 T-slots)

기존 모델(Fig. 8)과 T-홈이 삭제된 모델(Fig. 9)의 680hz, 860Hz, 1130Hz에서의 방사 음압장을 나타내었다. 기존 모델은 상대적으로 가장 음향 방사가 많이 되는 부분이 우측면에 존재 한다. 하지만 T-홈이 삭제된 모델은 중앙에 가깝게 위치 함을 알 수 있었다. 특히 680 Hz에서는 이러한 경향이 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있었다.

1130 Hz에서는 양쪽에 남아있는 T-홈에서 많은 음압 방사가 이루어지는 것으로 보인다.

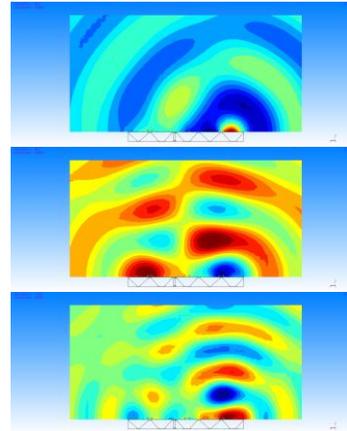


Fig. 8 Sound pressure of radiation field (3 T-slots, 680hz, 860Hz, 1130Hz)

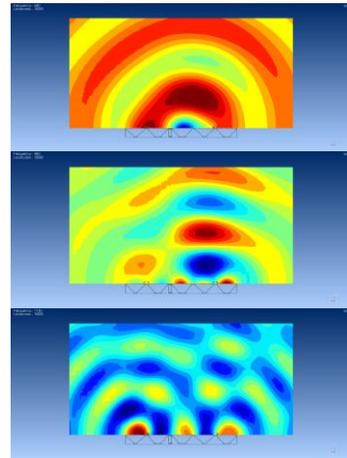


Fig. 9 Sound pressure of radiation field (2 T-slots, 680hz, 860Hz, 1130Hz)

위의 3가지 주파수는 T-홈이 제거 되었을 때 상대적으로 방사 파워가 커지는 주파수 이다. 3가지 경우 모두 기존 모델 보다 중앙에 T-홈이 제거된 부분의 진동이 커진 것을 알 수 있었다.

구조물에 많은 음압 방사 있는 부분에 T-홈처럼 추가적인 구조물이 설계 하면 TL의 증가를 줄일 수 있을 것 이라 생각된다.

3. 결 론

철도 차량의 바닥재로 사용되는 알루미늄 압축재의 투과손실을 FEM 방법을 이용하여 예측하여 보았다. 그리고 경계조건과 T-홈이 음향 투과손실에 미치는 영향을 해석적인 방법으로 보았다.

1. 알루미늄 압축재의 투과손실은 완전 지지 경계 조건을 적용 함으로서 1kHz 이상의 결과는 매우 근접하게 예측 할 수 있었다.
2. 1kHz이하의 영역은 자유 경계 조건에서 좀더 유사한 결과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 시험조건에 저 주파수에서는 완전 지지가 안되고, 음향 가진과 측정이 오차가 있기 때문으로 보인다.
3. T-홈이 공진 모드에 영향을 주고, 방사되는 음압의 크기를 변화 시키는 것을 알 수 있었다. 특히 T홈이 없을때, 그 부분에 국부 공진이 생기는 경우 TL 크게 감소하는 것을 알 수 있었가.
4. 방사되는 음압 분포를 알 수 있었다. 이는 추후 압축재의 투과손실 최적화에 활용 할 수 있을 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0025751)

참 고 문 헌

- (1) Kim, S. h., Paek, I. S., Lee, H.W. and Kim, J. T., 2008, Prediction Model of the Sound Transmission Loss of Honeycomb Panels for Railway Vehicles, journal of the Korean society for railway, vol. 11, NO. 5. pp. 465~470
- (2) Heckl, M., 1960, Untersuchungen an Orthotropen Platten, ACUSTICA, Vol. 10, pp109-115
- (3) Bies, D. A. and Hansen, C. H., 1988, Engineering Noise Control, Unwin Hyman Ltd, London
- (4) Yoo, J. W., 2009, Sound Radiation Characteristics of Rectangular Plates with a Guided Edge Condition, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, pp. 876~883.
- (5) Yoo, J. W., 2009, A Numerical Model of an Edge-clamped Rectangular Plate Based on a Mode Method to Predict Acoustic Radiation Characteristics, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, pp. 876~883.
- (6) Xie, G., Thompson, D. J. and Jones, C. J. C., 2005, The Radiation Efficiency of Baffled Plates and Strips, Journal of Sound and Vibration, Vol. 280, pp. 181~209.
- (7) Xie, G., Thompson, D. J. and Jones, C. J. C., 2006, A modelling approach for the vibroacoustic behaviour of aluminium extrusions used in railway vehicles, Journal of Sound and Vibration, Vol. 293, pp. 921~932.