

고밀도 암면 다중판의 차음성능

강현주, 김재승*, 김현실*, 김봉기*, 김상렬*

Sound Insulation performance of multi-layered panels with high density mineral wool

Hyun-Ju Kang, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim, Bong-kee Kim, Sang-Ryul Kim

ABSTRACT

This paper investigates the characteristics of analytical models in prediction of sound transmission loss for the multi-layered panels with high density mineral wools. The results show that the sandwich model is more adequate to account for sound insulation performance of those panels than the poro-elastic model. In order to improve STC (Sound Transmission Class), the effect of fiber directions of mineral wools is examined, analytically and experimentally. From the comparison of the measurements with the predictions, it is evident that the vertical fiber directions of mineral wools enhance STC value up to 6 dB, compared to that of the horizontal fiber directions.

1. 서 론

현재, 건축물 혹은 선박의 내장재로 사용되는 구획격벽에 대하여 화재사고시 인명의 피해를 최소화하기 위하여 내화성에 대한 필요가 증가하고 있다. 이러한 내화 성능에 부응하기 위해서는 구획격벽의 중심재로서 고밀도 암면 (100 kg/m^3 이상)이 주로 사용되고 있다. 차음성능 관점에서 보면 고밀도 암면을 채택함으로써 질량의 증가로 인하여 차음성능의 향상을 기대할 수 있지만 다른 한편으로는 탄성계수 등이 증가함에 따라 주파수별 차음특성이 변화하게 된다.

본 논문에서 다루고자 하는 고밀도 암면 다중판의 경우는 정확한 해석치를 구하는 것이 어려운 일이다. 그 이유로서는 저밀도 암면에 대해서는 그 음향학적 특성이 비교적 자세히 알려져 있지만 고

밀도 암면의 경우는 음향학적 거동이나 중요한 물성치들이 정확히 알려져 있지 않다. 또한 해석 모델 역시 아직 정립되어 있지 않은 상태이다.

본 연구의 목적은 고밀도 암면을 사용하는 다중판에 대하여 해석과 실험의 비교를 통하여 고밀도 암면 다중판의 차음특성을 파악하는 것이다.

2. 고밀도암면 다중판의 차음 특성

2.1 해석 모델의 비교

암면과 같은 섬유재를 중심재로 사용하는 다중판의 음향학적 거동을 해석하는 모델은 첫째로 섬유재 내부 유체의 역할을 중요시하는 기공탄성 (poro-elastic) 모델^(1,2,3)을 들 수 있다. 그러나 이 모델은 기공율이 95% 이상인 재료를 가정하여 만들어졌음을 상기할 필요가 있다. 한편 스티로폼이나 고무와 같은 중심재를 사용할 경우에 있어서 다중판 해석모델은 기공 내부의 유체의 역할을 무시하는 샌드위치 모델^(3,4)이 있다.

* 한국기계연구원 음향연구그룹

고밀도 압면의 경우, 기공율은 상대적으로 감소하므로 파동전달에 있어서 기공 내부의 유체의 역할은 저밀도 압면에 비하여 작게될 것이다.

두 해석 모델의 특성을 살펴보기 위해서 그림 1에 보인 시편에 대하여 해석과 실험을 수행하였다. 표 1은 해석을 위한 입력 데이터를 수록하고 있다. 여기서 탄성모델은 참고문헌[1,2], 샌드위치 모델은 참고문헌[4]이며 각 해석 모델에 자세한 특성이 참고문헌[3]에 제시되어 있다. 표 1.a는 탄성 모델에서 필요한 데이터로서 기본적인 물성치 외에도 기공내부의 유체의 음향학적 거동을 표현하기 위하여 기공율, 흐름저항 및 구조인자등의 데이터가 필요하다. 특히 주의할 것은 여기서 압면의 무게는 기공내 유체의 무게를 제외한 고체부만의 무게 (ρ_c)를 의미하며 기공율(Y)과 공기중의 압면 무게(ρ_m)와의 관계는 $\rho_c = \rho_m / (1 - Y)$ 이다.

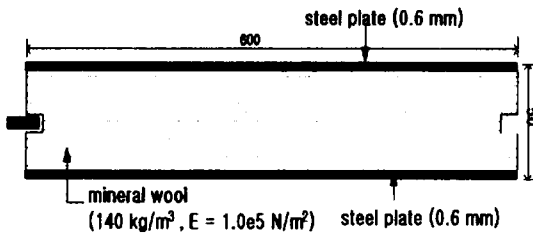


그림 1. 고밀도 압면 이중판.

그림 2에서 나타난 결과를 보면 샌드위치 모델에 의한 해석치가 계측치와 좋은 일치율을 보이고 있다. 특히 mass-spring-mass 공진주파수($f_0 = 220$ Hz)를 정확히 표현하고 있다. 반면에 탄성모델의 경우 f_0 는 물론 전체적인 경향에서도 샌드위치 모델에 비해서 상대적으로 정확도가 많이 떨어질 것을 알 수 있다. 그 이유로서는 중심재 기공내부에 존재하는 유체의 거동이 과대평가되고 있기 때문이다.

이 비교로부터 고밀도 압면의 차음특성은 샌드위치 모델이 더욱 적합함을 알 수 있다.

표 1.a 탄성모델 입력 데이터.

- 중심재 (압면)	
0.05; 두께(m), 0.8; 기공률	
1.5.0e3; 흐름저항(MKS Rayls/m)	
0.05; loss factor, 0.4; Possion ratio	
2.0e5; E(Pa), 705.0; 무게(kg/m³), 2.0; 구조인자	
- 표면재 (철판)	
E, mu, rho_s, t	
21.0e11 0.3 7850.0 0.0006	
21.0e11 0.3 7850.0 0.0006	

표 2.b 샌드위치모델 입력 데이터.

layer	두께 (mm)	E (Pa)	ρ (kg/m³)	ν	η	η_b
steel	0.6	2.1e11	7850.0	0.3	0.01	0.0
압면	50.0	2.0e5	140.0	0.3	0.1	0.0
steel	0.6	2.1e11	7850.0	0.3	0.01	0.0

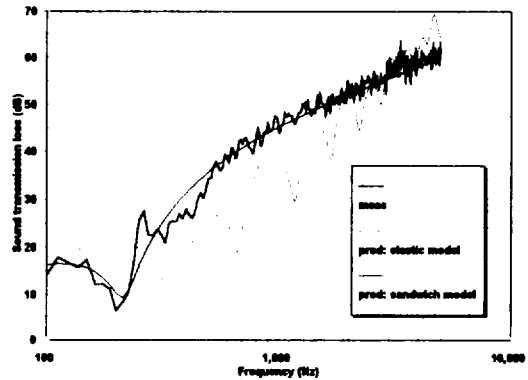


그림 2 해석치와 계측치의 비교.

2.2 압면재 섬유 방향에 따른 차음특성

주어진 설계조건하에서 차음성능지수(예: STC, Sound Transmission Class)를 개선하기 위한 시도로서 그림 3에서 보인 것처럼 압면재 섬유 방향이 수평 혹은 수직이 되도록 설치하면 중심재의 탄성계수가 다르게 되므로 mass-spring-mass 공진주파수($f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{d} \frac{2}{m}}$) 역시 변화하게 된다.

그림 3처럼 압면재 fiber의 방향을 변화시켰을 때 나타나는 차음특성 변화가 그림 4에 나타나 있다.

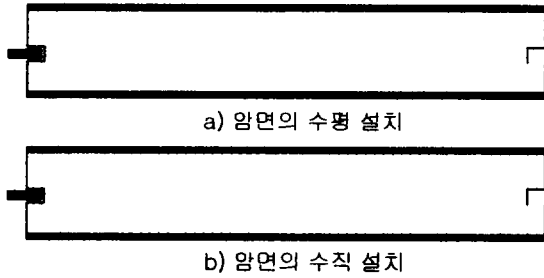


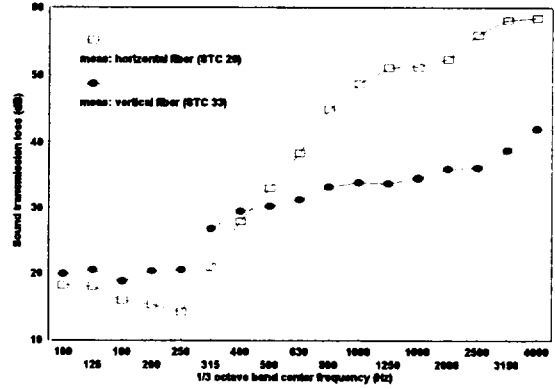
그림 3 고밀도 압면의 fiber 방향.

그림 4를 보면 압면재 설치 방향에 따라 f_0 가 10배 이상 차이가 나고 있으며 수평 설치인 경우 저주파수 대역에서 f_0 가 발생하고 이에 따라 수직으로 설치한 경우 보다 저주파수 대역에서는 차음성능이 떨어지고 반면에 고주파수에서는 훨씬 높은 차음성능을 보이고 있다.

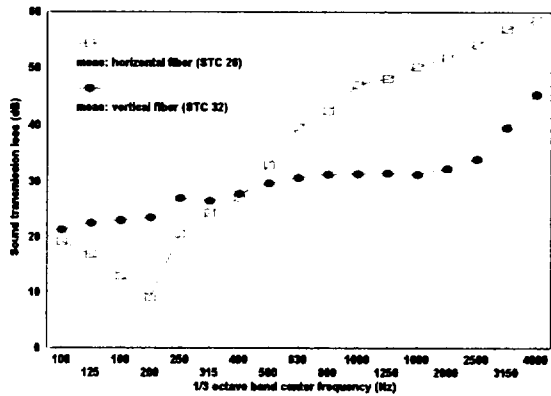
이러한 차이는 차음성능 지수, 즉 STC 값 산정에는 지대한 영향을 끼치게 된다. 왜냐하면 STC 값 산정에 있어서 저주파수대역의 차음성능이 중요하고 또한 소위 8 dB rule(기준 STC curve 보다 차음성능이 8 dB 이하가 될 수 없음) 때문에 만일 저주파수 대역에서 공진이 발생하면 STC 값 산정에는 매우 불리하게 된다. 그 결과로서 결과적으로는 동일한 사양이 panel이지만 압면재 설치 방법에 따라서 STC 값은 최대 6 dB 이상 차이가 나고 있다.

압면재 설치방법에 따른 영향을 해석적으로 살펴보기 위하여 샌드위치 모델을 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 5는 해석결과와 측정치를 서로 비교하고 있다. 이 그림에서 보면 수직 및 수평 방향에 따른 차음특성의 변화가 해석적으로도 충분히 설명되고 있음을 보이고 있다. 피로시험기를 이용한 정적 탄성계수의 변화는 수직 방향의 경우 수평방향($E \approx 1.0e5$ Pa)에 비해서 약 100배정도 증가하고 있다.

f_0 가 10배 이상 차이나는 현상은 이러한 중심재의 탄성계수 변화로 설명할 수 있다.



a) 25t panel:
 steel(0.7t)+M/W(140 kg/m³, 24t)+steel(0.4t).



b) 50t panel:
 steel(0.6t)+M/W(140 kg/m³, 49t)+steel(0.6t).

그림 4. 압면재 설치 방향별 차음특성 비교.

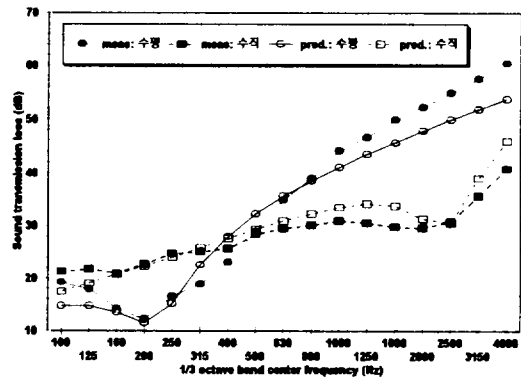


그림 5. 압면 방향별 예측 및 측정의 비교.
 panel: steel(0.4t)+M/W(140 kg/m³, 49t)+steel(0.4t).

3. 결 론

고밀도의 압면을 사용하는 다공질재 다중판 차음특성에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 고밀도의 압면재 다중판의 차음특성은 샌드위치 모델이 탄성모델에 비해서 더욱 적합함을 알 수 있다.

2) 압면재의 fiber 방향은 중심재의 탄성계수에 상당한 변화를 야기하며 이로 인하여 주파수별 주 차음특성 역시 매우 다른 양상을 보이고 있다.

표 1에서 제시된 것처럼 샌드위치 모델은 탄성 모델에 비해서 비교적 얻기쉬운 간단한 물성치만 알면 되므로 매우 실용적이며 해석 결과 역시 신뢰성이 있으므로 고밀도의 압면재 다중판의 차음 해석에는 샌드위치 모델을 추천할 수 있다.

한편 차음지수 개선 방안으로서 압면재의 fiber 는 수직 방향으로 설치하는 것이 바람직하다.

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(기체설비요소기술개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Bolton, N. M. Shiau, and Y. J. Kang, "Sound Transmission through Multi-panel Structures Lined with Elastic Porous Materials," *JSV* **191**, 317-347 (1996).
- [2] J. F. Allard, *Propagation of sound in porous media*, (Elsevier applied science, New York, 1993), chap. 7.
- [3] 강현주, *입사에너지에 대한 방향성 가중함수를 이용한 다중격벽의 차음해석*, 박사학위논문: DME945006, 한국과학기술원, 2000.
- [4] C. L. Dym and D. C. Lang, "Transmission loss of damped asymmetric sandwich panels with orthotropic cores," *JSV* **88**, 299-319 (1983).