

이방성판을 사용한 샌드위치판의 차음특성

Characteristics of Sound Insulation in Sandwich Plates

with Orthotropic Skin Plate

강 현 주*, 김 봉기*, 김 재승*

Hyun-Ju Kang, Bong-Ki Kim and Jae-Seung Kim

Key Words : Sound Insulation(차음), Orthotropic Plate (이방성판), Sandwich Plate(샌드위치판)

ABSTRACT

This study presents a prediction method for sound insulation of sandwich plate which consists of orthotropic plates as skin and mineral wool as core. Prediction by classic theory, which considers orthotropic effects, requires considerably complex and cumbersome process and moreover many assumption. However, experimental results of the sandwich plate with orthotropic plates as skin show that the orthotropic effects are disappeared or fade out. Hence, predictions by using sandwich model are conducted by a simple modelling that substitutes an orthotropic plate into an equivalent flat plate. Comparative results show that sandwich model gives a good agreements with theoretical prediction.

요약문

조립식 건축용 외장재로 사용되는 샌드위치판은 충분한 구조강도가 필요하기 때문에 표면재가 굴곡판(Corrugated plate)으로 구성되는 경우가 많다. 샌드위치판의 부재로서 굴곡판을 이방성판으로 고려하면 이론 해석상 많은 어려움이 있다. 그러나 이방성판이 샌드위치판의 부재로서 다중판으로 되었을 때에는 단판에서 보인 여러 가지 현상들이 다중판 효과에 비해서 크지 않음이 실험결과에서 보이고 있다. 이러한 사실에 착안하여 이방성판을 등가의 평판으로 모델링한 후 샌드위치모델을 적용하여 이론 예측을 수행하였다. 계측결과와 비교로부터 본 연구에서 사용된 방법은 좋은 일치를 보이고 있다.

1. 서론

공장, 막사 및 창고 등에서 외벽이나 천정용으로 사용되는 샌드위치판은 기능상 상당한 구조적 강도(load-bearing strength)가 필요하기 때문에 표면재가 굴곡판(corrugated plate)로 구성된다. 소음 진동 측면에서 이러한 굴곡판은 이방성판(orthotropic plate)으로 분류된다. 단판(single plate)인 경우 일반적으로 등방성판(isothotropic

plate)보다 차음성능은 떨어지는 경향을 보인다.

평판과 비교하여 굴곡판은 면밀도(m)는 큰 차이가 없지만 굽힘강성(B)은 수백배에서 수만배까지 증가한다. 따라서 차음에 있어서 고유현상인 일치주파수(coincidence frequency) $f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}}$ 가 저주파수 대역에서 발생하게 되므로 이로 인한 골(dip) 때문에 질량법칙(mass law) 이하로 차음 성능이 감소한다. 더욱이 굽힘강성은 방향별로 다르기 때문에 다수의 일치 주파수가 발생할 수 있다.

본 연구는 Ram 등이 이방성판 이론에 근거한 샌드위치판의 차음 해석연구[1]에 대한 대안으로서 이방성판을 등가의 등방성판으로 모델링한 후 기

* 한국기계연구원 음향연구그룹

E-mail: kanghj@kimm.re.kr

존의 샌드위치판 해석 모델[2]을 이용하여 해석한 결과를 비교하고 있다.

2. 이방성판을 사용한 샌드위치판

2.1 굴곡판

이방성판의 일종으로서 굴곡판의 형상이 Fig. 1에 나타나 있다. 굴곡판의 굽힘강성은 축 방향에 따라 매우 큰차이가 난다. 따라서 운동방정식 역시 (1)식에서 보인 것처럼 각 방향의 강성을 고려하게 된다. 고로 판의 사이즈 효과를 무시한 무한판의 경우에도 이론적으로 세개의 일치주파수 즉 B_x , B_y 및 연성된 강성(coupled stiffness)인 $2(B_xB_y)^{1/2}$ 에 해당하는 주파수가 존재하게 된다. 더욱이 유한판 효과를 고려하면 높은 강성 때문에 저차 고유진동수가 관심주파수 대역(100 - 4 kHz)에 존재하게 되므로 차음특성은 상당히 복잡한 형태로 나타난다.

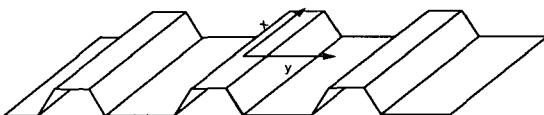


Fig. 1 Corrugated plate.

$$(1 + j\eta)[B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(B_x B_y)^{1/2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial x^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}] = p \quad (1)$$

단 η = loss factor, m = equivalent mass per unit area(kg/m^2), w = plate displacement, B_x , B_y = bending stiffness about x and y axis[3,4].

이방성 단판에 대한 예로서 Fig. 2는 Fig. 3의 시편 중 표면재 만을 별도로 실험한 경우이다. 그럼 을 보면 공진 혹은 일치현상을 의미하는 많은 골

(dip) 들이 나타나고 있다. 그러나 아직까지도 실험에서 나타나는 이러한 골들에 대하여 이론적으로 충분한 설명이 어려운 실정이다.

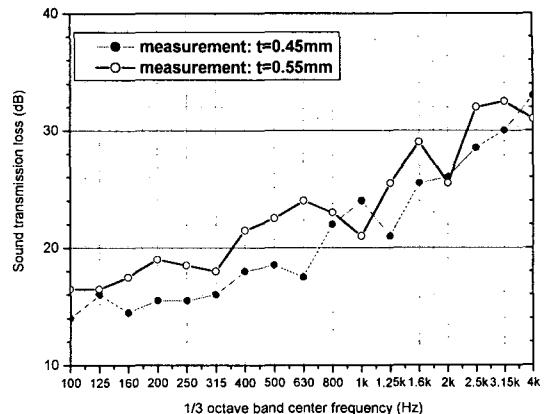


Fig. 2 Sound insulation Characteristics of corrugated plates.

2.2 굴곡판을 사용한 샌드위치판

Fig. 3처럼 굴곡판을 표면재로 사용한 샌드위치판에서의 차음특성은 다중판 고유의 특성들 (예: 중간 층 효과) 때문에 단판의 차음특성 (Fig. 2)에서 보인 골들이 둔화버리거나 불분명하게 나타날 수 있다. 이런 현상에 대한 예로서 Fig. 4는 Fig. 3의 시편의 실험결과와 Fig. 2의 결과를 비교하고 있다.

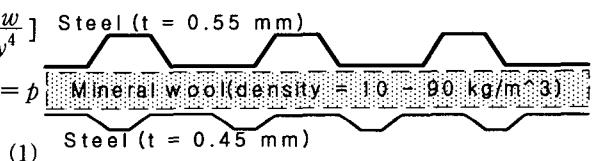


Fig. 3 Sandwich plate with corrugated plate.

그림에서 보면 단판에서 보인 골들이 이중판 즉 샌드위치판에서는 뚜렷하지 않음을 알 수 있다. 다만 샌드위치판에서 2 kHz에 나타나는 골은 단판의 골과 일치하고 있다.

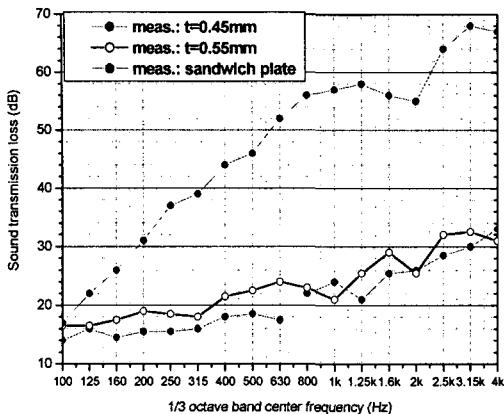


Fig. 4 Comparison between sandwich and single corrugated plates.

다중판의 차음해석을 수행하는데 있어서 해석 모델에 따라 상당한 차이가 있으므로 실험결과의 분석을 통하여 대상 시편의 차음해석에 있어서 가장 적합한 해석 모델을 결정하는 것이 매우 중요하다.

여기서는 샌드위치 해석모델[2]을 고려하여 타당성 분석을 수행하였다. 이해를 돋기 위하여 Fig. 5는 샌드위치판의 일반적 차음특성을 보이고 있다. 또한 다음식은 샌드위치판에서 중요한 음향학적 현상인 mass-spring-mass 공진주파수를 구하는 간이식이다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_c}{m}} \quad (2)$$

그림에서 η_c , η 는 각각 중심재 및 표면재의 손실계수를 나타내며 E_c 는 중심재의 탄성계수를 나타내고, m 은 면밀도로서 다음식과 같이 추정한다.

$$m \cong m_{skin} + m_{core}/3 \quad (3)$$

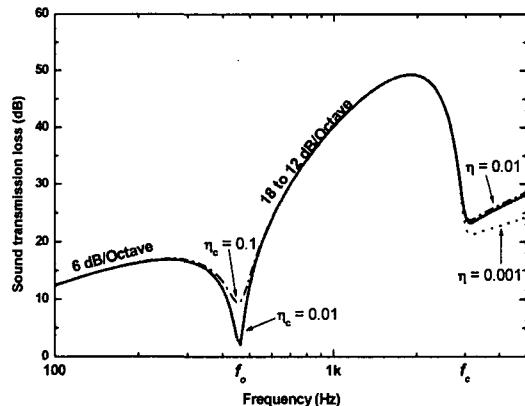


Fig. 5 General characteristics of sound insulation in sandwich plates.

Ram등의 연구[1]에서는 Fig. 3의 시편에서 미네랄울의 밀도만을 변화해서 실험한 결과가 있다. 여기서 편의상 미네랄울의 밀도에 따라서 specimen A = 10 kg/m³, specimen B = 90 kg/m³, 라고 정의 한다. 중심재의 밀도만을 변화 시킨 실험결과로서 Fig. 6을 보면 mass-spring-mass 공진주파수가 specimen A는 125 Hz에서 specimen B는 100 Hz로 낮아지고 있다. 이 현상은 (2)식으로 설명할 수 있다. 또한 두 시편 모두 mass-spring-mass 공진 이후에는 14~16 dB/octave로 증가하고 있으며 그러나 일치주파수는 두 시편 모두 2 kHz에서 공통적으로 나타나고 있다. 이러한 현상들은 Fig. 5에서 보인 샌드위치판의 거동과 잘 일치함을 알 수 있다.

3. 샌드위치 해석모델을 이용한 차음특성 해석

3.1 이방성 판을 등가 평판으로 모델링

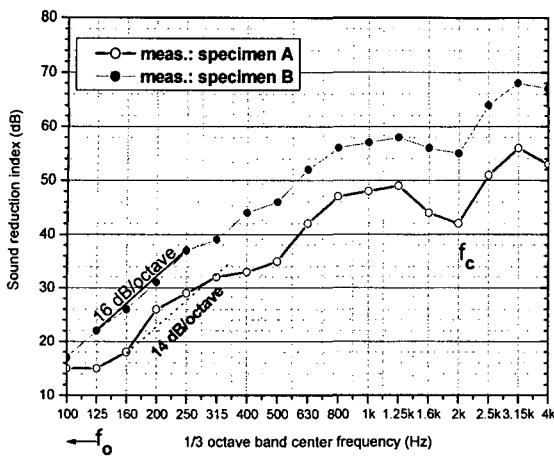


Fig. 6 Comparative results from the change of core density.

샌드위치 해석모델을 적용하기 위해서는 이방성 판을 등가의 평판으로 모델링 작업이 필요하다. 모델링은 면밀도와 굽힘강성을 추정하는 것으로 이루어진다. 판의 면밀도는 굴곡판을 평판화 한 경우의 실제무게를 고려하였으며 경험적인 방법으로서 굽힘강성은 실험결과에서 보인 일치 주파수에 해당하는 값을 추정하였다. 참고로서 참고문헌[3]을 이용하여 굽힘강성을 계산한 결과를 Table 1에 보이고 있다. 일치주파수를 실험결과와 비교해보면 coupled bending stiffness(즉, $(B_x B_y)^{0.5}$)에 기인한 f_{cxy} 가 일치하고 있다. 해석에서는 이 강성 값을 사용하였다.

Table 1 Calculation results of bending stiffness and coincidence frequency for specimen A.

	B_x	B_y	$(B_x B_y)^{0.5}$	B	f_{cx}	f_{cy}	f_{cxy}
Outer	3.6e4	3.6	3.6e2	3.2	201	20k	2k
Inner	7.6e3	1.3	99	1.2	374	29k	3.3k

*: $B=N \cdot m^2$, $f = Hz$

3.2 예측 및 실험의 비교

대표적인 비교로서 Fig. 7은 specimen B에 대한 것이다. 비교결과를 보면 이론과 실험을 좋은일치

를 보이고 있다. 이로부터 본 연구에 사용된 해석방법의 타당성을 입증할 수 있다.

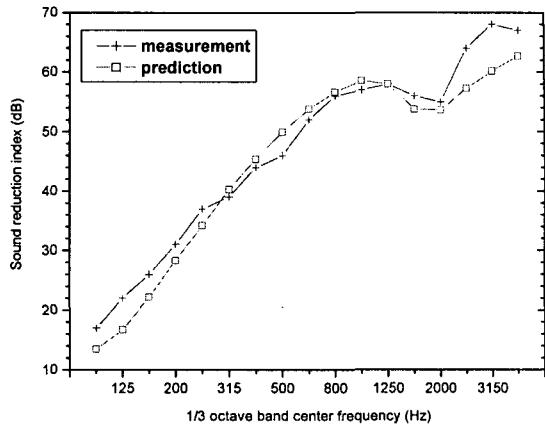


Fig. 7 Comparison between measured and predicted values.

3. 결론

표면재가 이방성판으로 구성된 경우에도 다중판으로 구성되었을 때에는 단판에서 나타나는 영향이 중요하지 않을 수도 있다. 이러한 경우에는 적절한 모델링만 할 수 있으면 복잡한 계산과정을 없이도 충분한 정확도의 이론예측을 수행할 수 있다.

후기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 엔지니어링 핵심공통기반기술사업으로 지원되어 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] Y.W. Ram, "Sound insulation of metal cladding system," Buliding Acoustics ??, (2001)
- [2] C. L. Dym and D. C. Lang, "Transmission loss of damped asymmetric sandwich panels with orthotropic cores," JSV 88, 299-319 (1983).
- [3] C. H. Hansen, "Sound Transmission Loss of Corrugated Panels," Noise Control Engr. 40(2), 187-197 (1993).