

다중판넬의 차음설계차트

Design chart of sound insulation for multiple panels

강 현 주†·김 봉 기*·김 상 렬**

Hyun-Ju Kang, Bong-Ki Kim and Sang-Ryul Kim

Key Words : sandwich panel(샌드위치판), sound insulation(차음).

ABSTRACT

This study is a trial to make a design chart of sound insulation for multiple panel. Dilatational frequency, f_d becomes a key factor for optimal design since it acts like a turning point in sound insulation performance of such panels. Hence, in tuning the f_d optimally, elastic modulus of core material and thickness of the skin panel is designated to parameters. Based on these parameter, a design chart of sound insulation for multiple panel is made. Its applicability is proved by the case study of High noise reduction panel.

1. 서 론

선박 등 수송기관에서 사용되는 구획격벽(partitioning wall)의 차음설계를 수행하는 데 있어서 최대의 관심사는 가능한 가벼우면서 최고의 차음성능을 구현하는 것이다. 이를 달성하기 위해서는 시편의 물성치와 구조가 최적으로 결정되어야 한다. 이를 구현하기 위한 시도로써 본 연구에서는 다중판의 차음특성에 있어서 변환점 역할을 하는 팽창주파수, f_d (dilatational frequency)의 적절한 튜닝을 수단으로 최적의 차음설계를 수행할 수 있는 설계차트를 개발하였다.

2. 샌드위치 판의 차음설계

2.1 샌드위치판의 차음특성

샌드위치판의 차음특성은 참고문헌[1]에서 자세히

설명되어있다. 이해를 돕기 위하여 간략하게 샌드위치판의 차음설계에 관한 중요 요소들을 소개한다. 샌드위치판의 차음성능은 (1) 및 (2)식에서처럼 투과계수, τ 로 정의된다. 투과계수 τ 는 대칭 임피던스 Z_s [1]의 함수로 (2)식처럼 근사화 할 수 있다. 따라서 차음성능은 Z_s 와 정비례, 즉 Z_s 가 클수록 증가하게 된다. Z_s 는 (3)식에서 보는 것처럼 표면재와 중심재의 면밀도 및 탄성계수로 구성된다. 한편 $Z_s = 0$ 이 될 때 차음성능은 최저가 되며 이것을 mass-spring-mass 공진 주파수, f_d (혹은 팽창 주파수, dilatational frequency)라고 부르며 (4)식으로부터 구할 수 있다.

$$TL = 10 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad (1)$$

$$\tau = \left| \frac{p_t}{p_i} \right|^2 \cong \left| \frac{1}{Z_s} \right|^2 \quad (2)$$

$$Z_s = \frac{1}{j\omega} \left(\frac{2E_c}{d} - \bar{m}\omega^2 \right) \quad (3)$$

*, ** 한국기계연구원 음향연구팀

E-mail : kanghj@kimm.re.kr

Tel : (042)838-7400, Fax : (042)838-7440

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(E_c/d)(m_1 + m_2 + m_c)}{m_1 m_2 + \frac{m_c(m_1 + m_2)}{3} + \frac{(m_c)^2}{12}}}$$

$$\approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2E_c}{d m_1 + \rho_c d/6}} \quad (4)$$

여기서 $m_1 = \rho_1 h_1$, $m_2 = \rho_2 h_2$ 는 상하 표면재의 밀도 및 두께, ρ_c , d 및 E_c 는 중심재의 밀도 두께 및 탄성계수이며 $m_c = \rho_c d$, $\bar{m} = m_1 + m_2 + m_c/3$ 이다. (4)식에서 두번째 식은 $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 = m_1$ 즉 상하 표면재가 동일한 경우의 약산식이다.

샌드위치판에 대한 일반적인 차음 특성이 Fig. 1에 도시되어 있다. 그림에서 보는 것처럼 f_d 이전의 차음 성능은 한 옥타브 당 6 dB가 상승하지만 f_d 에서는 공진 효과 때문에 dip이 생기며 f_d 이후에는 옥타브 당 12~18 dB 정도의 기울기로서 급격히 증가한다. 따라서 차음설계목표는 f_d 때문에 생기는 dip의 영향을 최소화 하면서 f_d 이후의 급격한 상승 특성을 활용할 수 있도록 f_d 를 조절하여 원하는 주파수 대역에서 발생할 수 있도록 하는 것이다. 그러므로 차음특성에 관한 매개변수들 중 (4)식에 보이는 물성치들이 된다. 이러한 매개변수들 중에서 판의 두께나 무게는 설계제한조건 때문에 변경하기가 어려운 경우가 많다.

2.2 차음 예측 및 계측의 비교

해석 방법의 타당성을 입증하기 위하여 샌드위치판의 차음설계를 위하여 수치해석과 실험치를 비교하였다. Fig. 2는 판 두께가 50 mm 샌드위치판에 대한 차음 예측 및 계측 결과를 비교하고 있다. 그림에서 "vertical," "horizontal", 및 "hybrid"의 의미는 암면 화이버의 방향이 표면재에 대해서 수직, 수평 및 수직과 수평이 반반씩 혼합된 경우들을 나타낸다. 예측치는 계측치와 잘 일치하

고 있으며 이로부터 현재의 예측방법의 중요한 설계수단이 될 수 있음을 알 수 있다.

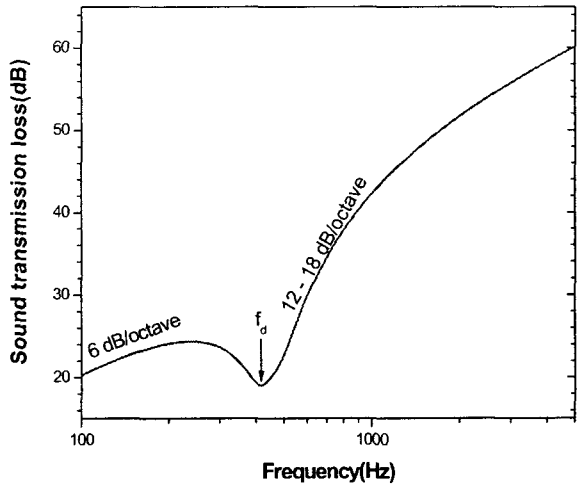


Fig. 1 sound insulation characteristics of sandwich panels.

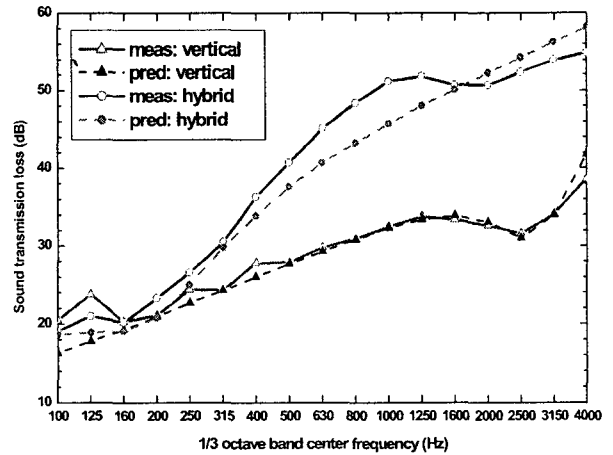


Fig. 2 차음 예측과 계측의 비교.

3. 차음특성 매개 변수 및 팽창주파수, f_d

3.1 차음 설계차트

샌드위치 패널에서 차음성능에 영향을 주는 설계인자

는 중심재로 쓰이는 압면 fiber의 적층방향이 대단히 중요하다. 압면의 적층방향에 따라 중간재의 탄성계수, E_c 가 변화하며, 결과적으로 팽창주파수, f_d 를 조정할 수 있게 되므로 차음성능에 큰 영향을 주고 있음을 확인하였다. 이때 동일한 두께의 패널에 대하여 중간재의 탄성성을 적절히 조절할 경우 차음성능을 상당히 높일 수 있다. 예로서 표면재가 강판이며 압면재의 밀도는 140 kg/m^3 인 샌드위치판을 대상으로 중심재의 탄성계수와 표면재의 두께를 매개변수로 해서 (4)식을 이용하면 f_d 변화를 볼 수 있다. Fig. 3은 50 mm 샌드위치판에 대한 f_d 의 변화량으로서 약 100 Hz에서 2 kHz까지 변화하고 있다. 참고로 국내에서 생산되는 압면의 탄성계수는 밀도가 140 kg/m^3 을 기준으로 수평으로 배열했을 때 약 10^5 N/m^2 에서 수직배열인 경우 약 10^7 N/m^2 이므로 f_d 는 약 80 Hz에서 4 kHz 까지 관심 주파수 대역 전체에서 발생할 수 있음을 알 수 있다.

팽창주파수 f_d 의 변화는 앞에서 언급한대로 STC 값의 변화를 초래할 것이다. Fig. 4는 각각 50 mm 샌드위치판에 대한 차음성능을 매개변수 별로 예측한 것이다. 그림에서 보면 STC 값은 대부분의 영역에서 30 ~ 35 dB 사이에 분포하지만 설계방법에 따라서 최대 45 dB 까지 가능함을 알 수 있다. 따라서 본 도표를 이용하면 최적 설계변수의 도출이 가능할 것이다.

3.2 팽창주파수 tuning을 이용한 High noise reduction 패널의 개발

팽창 주파수를 관심 주파수 이하(즉 100 Hz)로 tuning하여 차음특성을 향상시키려는 시도를 하였다. 시편은 Fig. 5에 나타난 것과 같은 High noise reduction panel 이다. 중간에 아주 작은 공기층을 뒀으므로 각 층간에 임피던스 mismatch를 구현함과 동시에 중간층의 탄성계수를 낮추어서 팽창주파수를 떨어뜨리는 의도를

갖고 있다. Fig. 6은 수치해석적으로 차음설계차트를 만든 결과이다. 차트로부터 팽창주파수 f_d 가 100 Hz 이하로 될 때 최대차음성능을 예상할 수 있다. Fig. 7에 차음성능 예측치와 계측치를 비교하고 있다. 차음성능은 STC 50 dB이며 일부 주파수 구간에서 미소한 차이를 제외하면 전체적인 경향은 상당히 잘 일치함을 볼 수 있다.

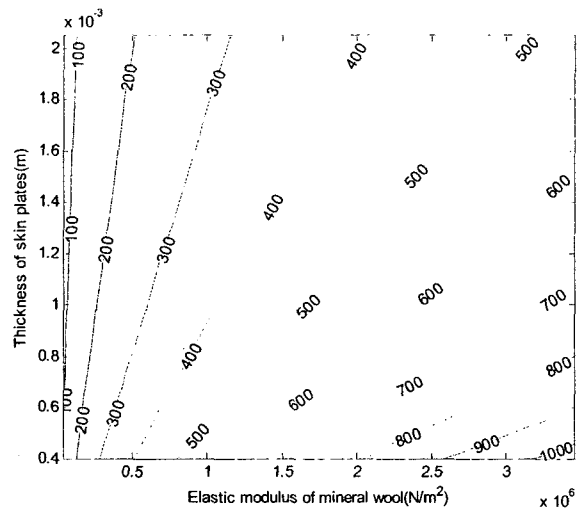


Fig. 3. Variation of f_d with skin thickness and elastic modulus of core where M/W density = 140 kg/m^3 .

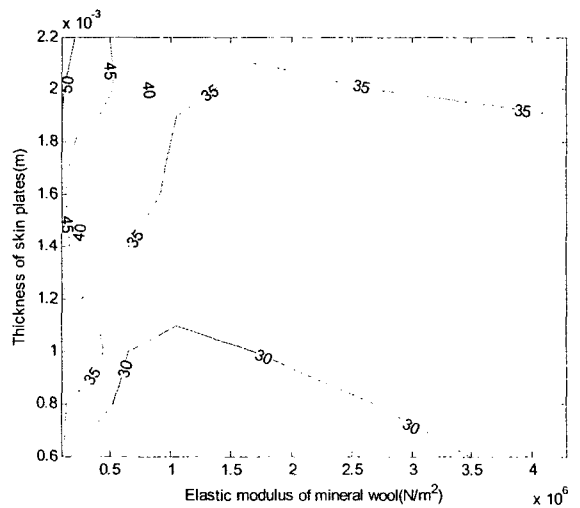


Fig. 4 Variation of STC with skin thickness and elastic modulus of core where M/W density = 140 kg/m^3 .

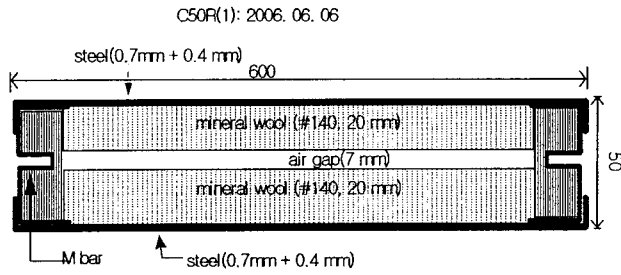
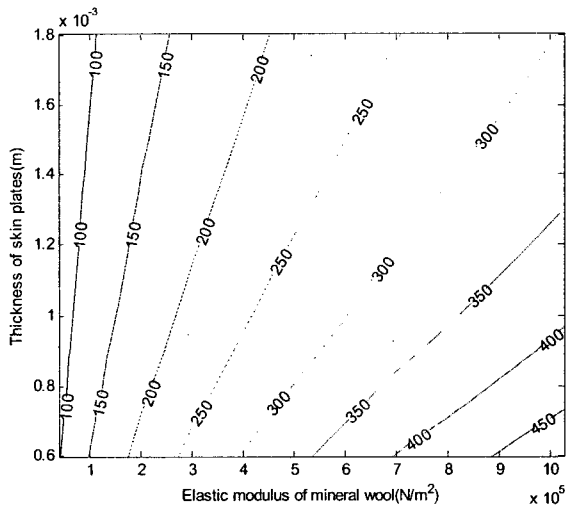
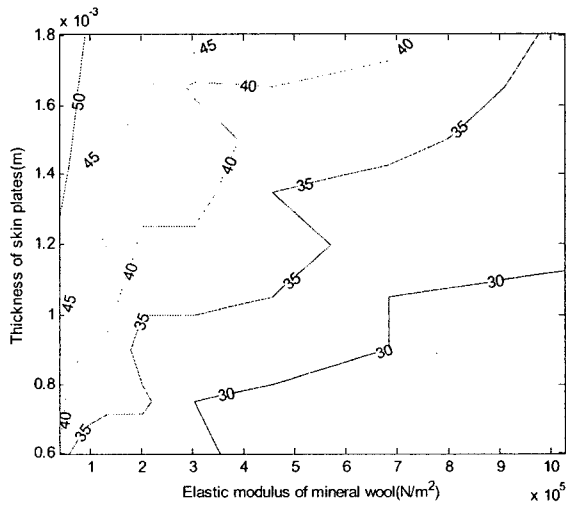


Fig. 5 Specimen for test.



(a) dilatational frequency.



(b) STC(sound transmission class).

Fig. 6 Sound insulation property of High noise reduction panel.

설계인자들 중에서 가변성이 있는 물성치를 최적화하기 위하여 차음설계차트를 구성하였다. 설계차트는 팽창주파수 f_d 및 차음지수(STC)를 도시화함으로써 최적의 설계조건을 구할 수 있다.

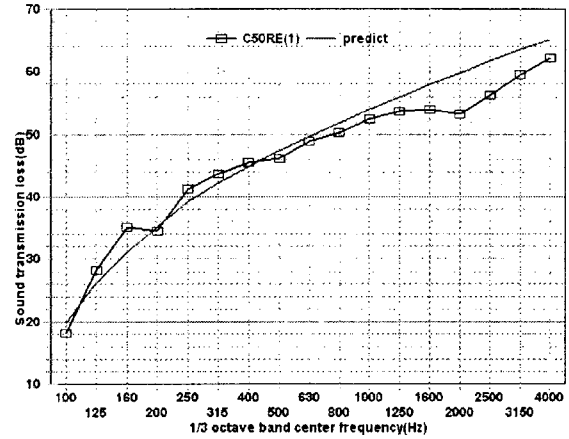


Fig. 7 Comparison of measurement and prediction of STL for High noise reduction panel. $E_c = 4.0e4 \text{ N/m}^2$

후 기

여기에 본 논문은 산업자원부가 지원하는 실용화 사업과제 “선박의 차음패널설계기술”의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 강현주, 입사에너지에 대한 방향성 가중함수를 이용한 다중격벽의 차음해석, 박사학위논문: DME945006, 한국과학기술원, 2000.