

고부가가치선 선실의 소음 저감용 복합패널의 차음특성 해석

권현웅* · 홍석윤* · 길현권** · 김화목*** · 송지훈****

*서울대학교 조선해양공학과

**수원대학교 기계공학과

***방위사업청 함정사업부 전투함사업팀

****전남대학교 조선해양공학전공

Analysis of Sound Transmission Characteristics of Multi-complex Panel for Noise Reduction in High Value-added Vessel Cabin

Hyun-Wung Kwon*, Suk-Youn Hong*, Hyun-Gwon Kil**, Hwa-Muk Kim*** and Jee-Hun Song****

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

**Department of Mechanical Engineering, University of Suwon, Suwon, Korea

***Defense Acquisition Program Administration, Naval Ship Program, Department Combatant Ships Project Team, Seoul, Korea

****Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Korea

KEY WORDS: High value-added vessel 고부가가치선, Cabin 선실, Mini reverberant chamber 간이잔향실, Transmission loss 투과 손실, Multi-complex panel 복합패널

ABSTRACT: Recently, as the importance of the interior noise in a ship cabin has risen, ship builders have become concerned about the use of noise reduction panels to reduce cabin noise. The results of previous researches have been based on analytical and experimental methods using simple sandwich panels. However, panel structures are becoming more complex to improve the transmission loss. Thus, researches that analyze the transmission loss of a panel are reaching the limit of study. This paper reports on research that was performed to determine the sound transmission characteristics of multi-complex panels applicable to high value-added vessels. It presents comparisons between analytical methods and experimental results by using a mini-reverberant chamber with components of sound attenuation panels, including the core and surface materials. The sound transmission loss of multi-complex panels are also analyzed in terms of the influences of the inside perforate plates and air gap thickness on the attenuation. Finally, the multi-complex panel with the highest noise attenuation is proposed based on the analysis results and experimental results in mini-reverberant chamber, which were verified using a real-size reverberant chamber.

1. 서 론

최근 들어 운송산업 분야에서는 승객과 승무원이 좀 더 안락하고 편안한 환경에서 생활할 수 있도록 하기 위해 진동·소음과 관련된 문제에 상당한 관심을 보이고 있다. 특히 보통 200명 이상의 작업자가 승선하여 해상에서 오래 머물며 작업을 해야 하는 해양플랜트와 같은 고부가가치선의 특성 상 선원들의 안락한 작업성과 거주성을 확보하기 위한 소음진동규제치는 일반 상선의 권장기준 대비 훨씬 엄격한 NORSOK(NORSOK STANDARD C-001, 1997; NORSOK STANDARD C-002, 2006), UK-HSE (HSE OFFSHORE, 2005) 등의 기준이 적용되고 있으며, 이는 노르웨이 선급 룰(DNV, 1995)에서 규정하고 있는 Comfort 1등급 이하인 여객선의 규제치와 유사한 매우 엄격한 수준이다. 따라서, 선주 및 조선소에서는 고부가가치선 선실 내 소음저감을 위한 선박용 차음 패널에 대한 관심이 고조 되고 있다.

선박용 차음 패널의 기본 구조는 샌드위치 패널 형태의 3단 구조물로서 얇은 평판인 표면재와 상대적으로 두꺼운 중심재인 다공질재로 구성되어 있다. 중심재인 다공질재에 대한 연구는 Biot (1956)에 의해 본격화되기 시작되었다. Biot는 다공성 매질을 프레임과 유체로 구분하여 응력-변형률의 구성방정식에서 상호 연성 관계를 고려하였고 프레임과 유체의 파동 방정식을 유도하였다. 이후에는 Allard(1993)와 Bolton et al.(1996) 등에 의해 연구가 발전되어 왔으며 탄성폼(Elastic foam)인 다공질재의 파동방정식을 기반으로 다공질재의 흡음률 해석 및 앞·뒷면의 평판을 추가한 샌드위치 패널에 대해 차음성능 해석이 수행되었다.

한편, 선박용 차음 패널은 일반 건축물의 차음 패널에 비해서 적용되는 방화성능 규정이 보다 엄격함으로 인해 선박용 차음 패널에 사용되는 재료는 불연성의 재료로만 사용되고 있다. 선박용 패널의 차음성능은 잔향실법으로 평가되는데 이에 요구되는 잔향실 시설을 갖추기 위해서는 큰 비용과 시설 설치 공간이 요구

된다. 이에 대한 대안으로 잔향실의 비율을 축소하여 소형 잔향실을 갖추고 개발 단계에서 활용하는 연구 사례들이 발표되고 있다. Tsui et al.(1976)은 경량 소재 패널의 차음성능 측정을 위한 소음원실 및 수음원실이 각 1.36m³인 축소 잔향실을 설계하였다. Pallett et al.(1976)은 대형 잔향실(425m³)의 축소 모델(6.9m³)을 설계하고 성능을 평가하였다. 이후 Rajaram et al.(2009)은 축소 잔향실(15m³)과 축소 무향실(20m³)을 제작하고 1kHz 이상에서 경량 샌드위치 패널에 대한 차음성능 평가를 연구하였다. 이처럼 축소 잔향실을 이용한 차음성능 평가 연구는 중·고주파수에서 차음성능의 정량적 평가 방법으로 널리 사용되고 있다. 물론 잔향실 체적이 작음으로 인해 저주파수에서 차음성능 평가가 정확히 이루어지기는 어렵지만 소요비용이 적고 실험 소요시간이 짧은 장점을 활용한다면 정성적인 비교로 개발단계에서 높은 활용성을 가지고 있다. 그러나 선박용 패널 특히 복합 패널을 대상으로한 연구가 수행된 사례는 없어 본 연구를 통해 선박용 패널의 차음성능 평가 연구에 대한 활용성의 확인이 필요하다.

본 논문에서는 기본 샌드위치 패널의 해석적 방법과 간이 잔향실(Mini reverberant chamber)의 차음성능 실험을 이용하여 구성요소인 중심재의 밀도와 두께, 표면재의 두께를 변화시켜 가며 차음 성능 변화를 분석하였다. 또한, 선박용 복합패널의 성능 개선을 위해 내부 천공판 효과 및 내부 공기층 변화를 통해 성능 향상을 위한 선박용 복합패널의 두께를 선정하였다. 이러한 결과를 토대로 시편을 제작하여 간이 잔향실에서 패널간 상대적 비교를 통해 비교적 우수한 시편을 선정하고 최종적인 성능 검증은 공인인증기관의 대형 잔향실에서 성능을 확인 하여 높은 차음 성능을 갖는 선박용 복합 패널을 개발하였다.

2. 기초 이론

본 논문에서 수치 계산은 탄성 모델을 기반으로 하여 차음 성능 해석을 수행하였으며, 기초 이론을 정리하면 다음과 같다.

2.1 탄성 모델

중심재가 다공질재(Porous material)로 된 이중판에서는 다공질재의 거동이 차음성능에 상당한 영향을 끼치게 되므로 이 거동에 대한 적절한 해석 모델이 필요하다. Biot(1956)에 의하면 탄성 모델은 다공질재 내부 파동을 유체종파, 고체종파 및 횡파로 구분하여 유체와 고체의 연성을 고려한 모델이다. 위의 세개의 파동을 모두 고려했을 때에는 고체와 유체간의 응력과 압력 사이의 관계를 표현하기 위해서는 7개의 구성방정식(Constitutive equation)으로 구성되며, 이 방정식들의 매개변수는 고체의 전단계수 및 Lamé 상수와 두개의 연성계수가 된다. 또한, 유체와 고체의 운동은 6개의 운동방정식에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 해석대상으로서 중심재가 유한한 두께를 갖는 무한 다공질판으로 가정하고, 다공질재의 거동에 대하여 프레임의 운동을 탄성체로 보는 Biot(1956) 및 Bolton et al.(1996)의 탄성 모델을 근거로 하였다.

Biot(1956) 및 Bolton et al.(1996)에 의하면 탄성 모델의 고체(u_x , u_y) 및 유체(U_x , U_y)의 변위장을 다음과 같이 각각 구할 수 있다.

$$u_x = jk_x e^{-jk_x x} \left(\frac{C_1}{k_1^2} e^{-jk_{1y} y} + \frac{C_2}{k_1^2} e^{jk_{1y} y} + \frac{C_3}{k_2^2} e^{-jk_{2y} y} + \frac{C_4}{k_2^2} e^{jk_{2y} y} \right) - j \frac{k_{1y}}{k_1^2} e^{-jk_x x} (C_3 e^{-jk_{1y} y} - C_6 e^{jk_{1y} y}) \quad (1)$$

$$u_y = j e^{-jk_x x} \left(\frac{k_{1y}}{k_1^2} C_1 e^{-jk_{1y} y} - \frac{k_{1y}}{k_1^2} C_2 e^{jk_{1y} y} + \frac{k_{2y}}{k_2^2} C_3 e^{-jk_{2y} y} - \frac{k_{2y}}{k_2^2} C_4 e^{jk_{2y} y} \right) + j \frac{k_x}{k_1^2} e^{-jk_x x} (C_3 e^{-jk_{1y} y} + C_6 e^{jk_{1y} y}) \quad (2)$$

$$U_x = jk_x e^{-jk_x x} \left(b_1 \frac{C_1}{k_1^2} e^{-jk_{1y} y} + b_1 \frac{C_2}{k_1^2} e^{jk_{1y} y} + b_2 \frac{C_3}{k_2^2} e^{-jk_{2y} y} + b_2 \frac{C_4}{k_2^2} e^{jk_{2y} y} \right) - j \frac{k_{1y}}{k_1^2} e^{-jk_x x} (C_5 e^{-jk_{1y} y} - C_6 e^{jk_{1y} y}) \quad (3)$$

$$U_y = j e^{-jk_x x} \left(b_1 \frac{k_{1y}}{k_1^2} C_1 e^{-jk_{1y} y} - b_1 \frac{k_{1y}}{k_1^2} C_2 e^{jk_{1y} y} + b_2 \frac{k_{2y}}{k_2^2} C_3 e^{-jk_{2y} y} - b_2 \frac{k_{2y}}{k_2^2} C_4 e^{jk_{2y} y} \right) + j \frac{k_x}{k_1^2} e^{-jk_x x} (C_5 e^{-jk_{1y} y} + C_6 e^{jk_{1y} y}) \quad (4)$$

여기서, $k_x = k \sin \phi$, $k_{1,2y}^2 = k_{1,2}^2 - k_x^2$, $k_{1y}^2 = k_1^2 - k_x^2$, $a_1 = \rho_{11}^* R - \rho_{12}^* Q / \rho_{22}^* Q - \rho_{12}^* R$, $a_2 = PR - Q^2 / \omega^2 (\rho_{22}^* Q - \rho_{12}^* R)$, $b_1 = a_1 - a_2 k_1^2$, $b_2 = a_1 - a_2 k_2^2$, $g = -\rho_{12}^* / \rho_{22}^*$, $P = A + 2N$. N 과 A 는 고체의 전단계수 및 Lamé 상수를 나타내고, R 은 유체의 응력과 변형률에 대한 관련 상수, Q 는 고체와 유체의 체적변화에 따른 연성계수, ρ_{11}^* , ρ_{12}^* , ρ_{22}^* 는 유효질량에 고체와 유체의 상대운동에 기인한 점성 손실 효과를 고려한 질량을 나타낸다. 상수 $C_1 \sim C_6$ 는 경계조건에 의해서 결정된다.

여기에 판의 굽힘 모드만을 고려하고 다공질재와 표면재의 접촉면에 단순접촉 경계조건을 적용하여 정리하면 투과계수 τ 및 흡음계수 α 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau(\omega, \phi) = |T|^2 \quad (5)$$

$$\alpha(\omega, \phi) = 1 - |\tau|^2 \quad (6)$$

또한, 흡음 손실(Transmission loss)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$TL = 20 \log(1/\tau) \quad (7)$$

2.2 간이 잔향실

선박용 차음 패널 부재의 차음 성능은 국제 규격인 ISO 140-3 (Acoustics, 1995) 규정을 적용하여 측정 하였으며, 전달 손실은 다음과 같이 구한다.

$$STL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{A} \right) \text{ dB} \quad (8)$$

$$A = \frac{55.3 V}{c_o T_{60}} \quad (9)$$

여기서 L_{p1} , L_{p2} 는 각각 소음원실과 수음실의 평균 음압레벨을 나타내며, S 는 구획부재의 면적(m²), A 는 수음실의 실정수(m²)로 수음실의 흡음성능을 의미하며, T_{60} 은 잔향시간, V 는 수음실의 용적(m³), c_o 는 음속을 나타낸다.

본 논문에서는 실 잔향실 대신 Fig. 1과 Fig. 2에서 나타낸 축소 잔향실에 해당하는 간이 잔향실을 사용함으로써 선박용 차

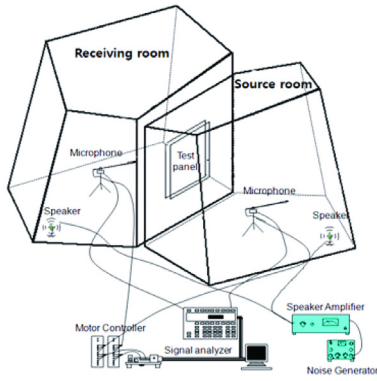


Fig. 1 Schematic of the equipment set-up of the mini reverberation chamber

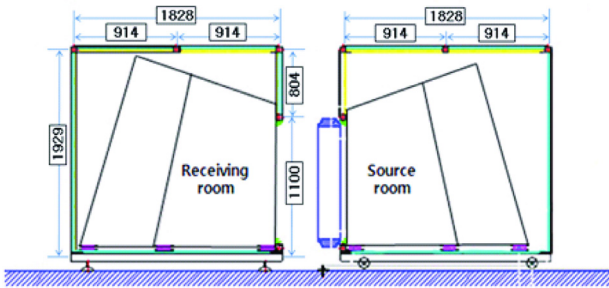


Fig. 2 Dimensions of mini reverberation chamber

음패널의 음향 특성을 분석하는데 소요되는 비용과 시간을 대폭 감소하였다. 간이 잔향실의 벽은 MDF판(두께 18.6mm)으로 이루어져 있으며, 소음원실의 총면적과 부피는 각각 11.91m², 2.81m³이고 수음실의 면적과 부피는 각각 13.09m², 3.25m³이다. 또한, 시편 설치부의 크기는 1.0m×1.2m이다. 그리고 측로 손실을 최소화하기 위하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 간이 잔향실을 철상자 내부에 설치하였고 시편이 결합되는 부분에는 고무 재질로 봉인하였다. 간이 잔향실을 이용한 차음성능을 측정하기 위한 절차는 먼저 차음 성능을 측정하기 위해서는 거치대에 시편을 설치하여 장착한 다음 소음원실에서 스피커로 백색 잡음을 발생시켜 소음원실 및 수음실에서의 음압을 측정하게 된다. 이 경우 음압의 공간 평균값을 얻기 위하여 각 실에 대하여 6지점에서 음압을 측정하게 된다. 그리고 수음실에서 백색 잡음 발생시키다가 일시에 중지시킨 후 음압 60dB 떨어지는데 걸리는 시간인 잔향 시간을 측정하게 된다. 이 경우에도 공간 평균 잔향 시간 값을 결정하기 위하여 수음실에서 공간 6지점에서 잔향 시간을 측정하게 되며, 각 지점에서 1/3 옥타브 밴드(Octave band)에 대한 중심 주파수 125Hz부터 4,000Hz까지의 범위를 고려한 16 band에 대한 잔향 시간을 측정하게 된다. 그리고 각 지점 당 3번씩 측정을 반복하게 된다. 측정된 데이터를 이용하여 식 (8)에 대입하면 전달손실을 얻을 수 있다.

간이 잔향실로 측정된 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 잔향실의 성능 검증시에 일반적으로 사용되는 단판에 대한 차음실험을 수행하였다. 0.6mm 두께의 철판을 시편으로 사용하였으며 축소 잔향실의 측정 결과를 대형 잔향실 실험 결과와 식 (10)의

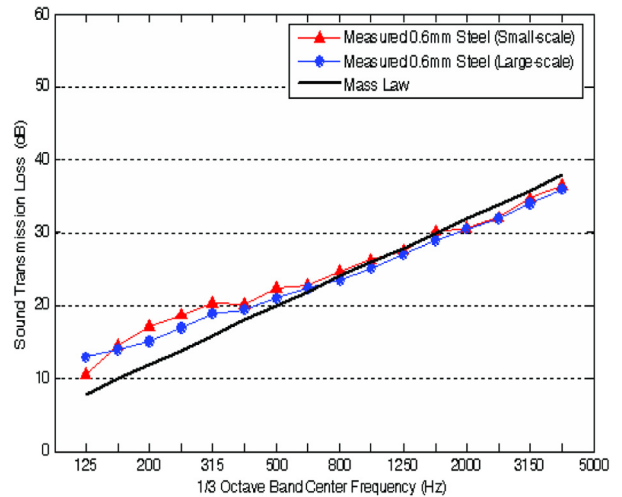


Fig. 3 Comparison of STL measurement using small and large scale reverberation chambers to calculated mass law for 0.6mm steel

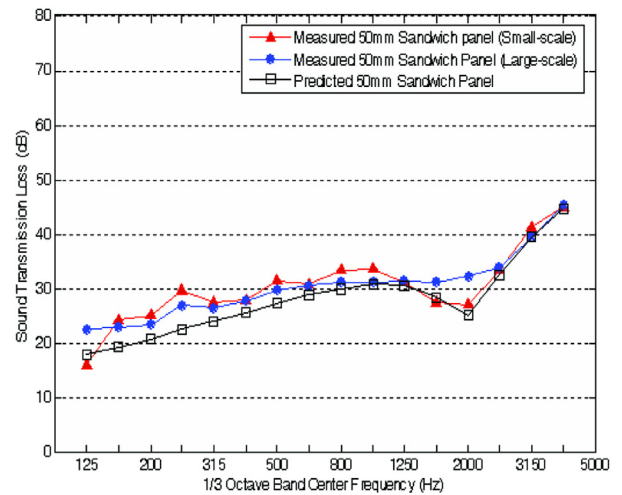


Fig. 4 Comparison of STL measurement using small and large scale reverberation chambers to calculated STL for ship's 50mm sandwich panel.

질량법칙(Mass-law)에 따른 결과와 비교하였다(ASTM, 2008).

$$STL = 20 \log_{10}(mf) - 47.7 \text{ (dB)} \tag{10}$$

여기서, m 은 단판의 질량, f 는 주파수를 의미한다. 성능 검증 시험 결과는 Fig. 3과 같다. 대형 잔향실의 결과와 전 주파수 대역에서 2dB 이하의 차이를 갖고 있으며 질량 법칙에 따른 결과와는 400Hz 이상에서 잘 부합되고 있다. 이러한 결과를 통해 본 연구를 위해서 설치된 축소 잔향실의 성능이 대형 잔향실의 결과와 매우 유사한 결과를 나타내고 있으며 저주파수를 제외한 400Hz 이상에서 매우 높은 신뢰성을 갖는다고 판단할 수 있어 해석 결과의 검증 및 패널 개발의 성능 검증 용도로 높은 활용성을 예상할 수 있다. 또한, Fig 5와 같은 50mm 선박용 샌드위치 패널을 대상으로 차음성능 해석 및 축소 잔향실 실험을 수행하였고

결과를 비교하였다. 해석에 사용된 물성치는 Table 1과 같다. 해석 및 실험결과는 Fig. 4와 같으며 해석결과와 축소 잔향실의 결과가 대형 잔향실의 결과와 유사한 결과를 나타내는 것을 확인하였다.

3. 선박용 차음패널의 전달손실 분석

선박용 차음 패널은 주로 25mm와 50mm 두께의 샌드위치 패널로써 양쪽의 표면재(Skin)는 얇은 철판을 사용하고 다공질재(Core)는 고밀도 암면(High density mineral wool)으로 구성된다. 선박용 차음 패널의 음향 특성을 파악하기 위해 다공질재 및 표면재의 물성치 변화에 따른 차음 성능의 변화를 분석하기 위해 먼저 기준 시편을 선정하였다. 기준 시편은 Fig. 5와 같은 구조를 가지며, 물성치는 Table 1과 같다.

3.1 다공질재의 밀도 변화

다공질재의 밀도가 차음성능에 어떤 영향을 미치는지 분석하기 위해 다공질재의 밀도만 달리하고 동일한 크기와 표면재를 가진 두 시편에 대해 실험과 해석을 수행하였다. 다공질재의 밀도 영향만 반영하기 위해서 다른 물성치들은 모두 동일하게 두

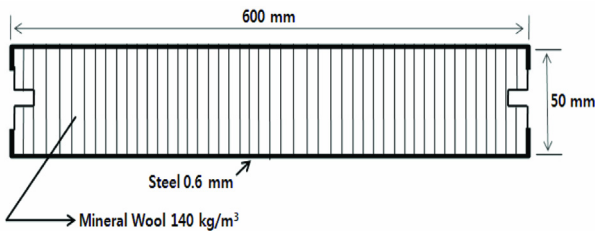


Fig. 5 Schematic of sound attenuation panel

Table 1 Material properties of ship's 50mm sandwich panel

Property	Name	Variables	Values
Skin	Density	$\rho(\text{kg/m}^3)$	7850
	Thickness	$t(\text{m})$	0.6e-3
	Young's Modulus	$E(\text{N/m}^2)$	2.1e11
Skin	Poisson Ratio	ν	0.3
	Damping loss factor	η	0.003
	Density	$\rho(\text{kg/m}^3)$	140
Core	Thickness	$d(\text{m})$	50e-3
	Young's Modulus	$E(\text{N/m}^2)$	2.5e7
	Poisson Ratio	ν	0.2
Core	Flow Resistivity	$R_f(\text{mks rayls/m})$	34e3
	Structure factor	X	1.0
	Porosity	γ	0.955
	Damping loss factor	η	0.18
	Viscous characteristic dimension	$A(\text{m})$	4e-5
Core	Thermal characteristic dimension	$A'(\text{m})$	8e-5

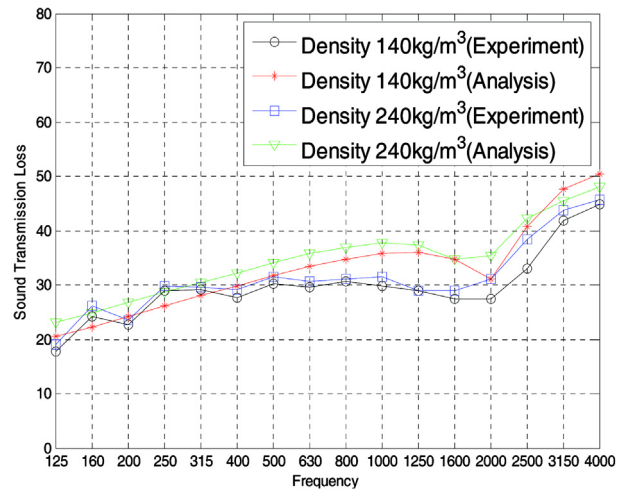


Fig. 6 Comparison of density of mineral wool

었고 다공질재의 밀도는 가장 널리 쓰이는 고밀도 암면의 밀도인 140kg/m³과 240kg/m³로 두고 비교하였다. 해석 및 간이 잔향실 실험결과는 Fig. 6과 같으며, 2,000Hz 부근에서 샌드위치 패널의 Mass-spring-mass 시스템에 따른 공진 효과가 나타났다. 240kg/m³ 고밀도 암면의 경우가 140kg/m³ 고밀도 암면에 비해 낮은 공진 주파수를 가지며 공진주파수 이전 영역에서 차음성능이 약 2dB 정도 상승함을 확인할 수 있다.

3.2 다공질재의 두께 변화

다공질재의 두께가 차음성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 다공질재의 두께만 달리하고 동일한 크기와 표면재를 가진 두 시편에 대해 실험과 해석을 수행하였다. 다공질재의 두께는 선박용 차음 패널로 가장 많이 쓰이는 50mm와 100mm에 대해 비교하였다. 해석 및 간이 잔향실 실험결과는 Fig. 7과 같으며, 1250Hz 부근에서 샌드위치 패널의 Mass-spring-mass 시스템에 따른 공진 효과가 나타났다. 100mm 고밀도 암면의 경우가 50mm 고밀도 암면에 비해 낮은 공진주파수를 가지며 이로 인해 1600Hz 이상 영역에서 차음성능이 향상되는 효과를 확인할 수 있다.

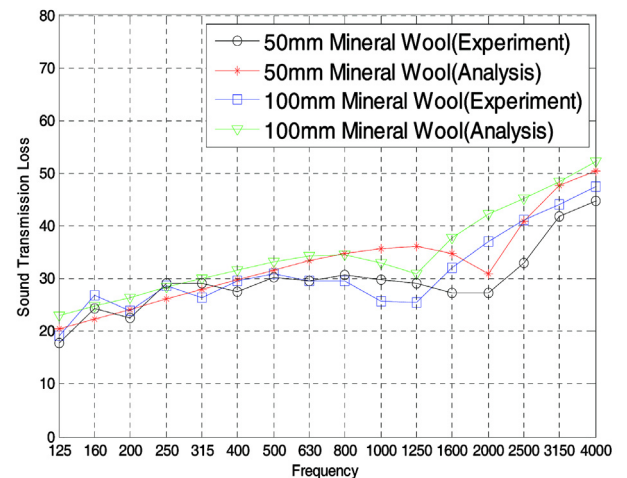


Fig. 7 Comparison of thickness of mineral wool

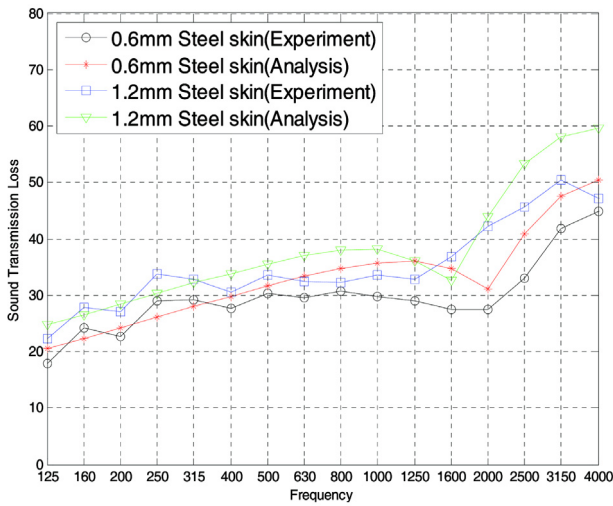


Fig. 8 Comparison of thickness of skin plate

3.3 표면재의 두께 변화

표면재의 두께가 차음성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 표면재의 두께만 달리하고 동일한 크기와 다공질재를 가진 두 시편에 대해 실험과 해석을 수행하였다. 표면재의 두께는 선박용 차음 패널로 가장 많이 쓰이는 0.6mm와 1.2mm에 대해 비교하였다. 해석 및 간이 잔향실 실험결과는 Fig. 8과 같으며, 1.2mm 표면재의 경우가 0.6mm 표면재에 비해 낮은 공진주파수를 가지며, 전체적으로 차음성능이 향상되는 효과를 확인할 수 있다.

3.4 천공판 삽입 효과

고성능 차음 패널의 경우 일반 차음 패널과 달리 Fig. 9와 같은 천공판이 패널의 표면 또는 다공질재 내부에 삽입되어 있는 경우가 많다. 따라서 천공판이 차음성능에 미치는 영향을 분석해 보았다. 평면파를 가정할 경우 균일한 매질에서 일반적으로 전달행렬 이론을 적용하여 흡음계수를 쉽게 구할 수 있다. 식 (11)은 경험식으로써 공기층과 공기층 사이의 경계조건으로 적용한다. (Lee and Kwon, 2004)

$$[P] = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_0 c_0 \zeta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\zeta = [7.337 \times 10^{-3} + j \times \delta \times 2.2245 \times 10^{-5} (1 + 51t)(1 + 204d)f] / \sigma \quad (12)$$

여기서, ζ 는 정규화된 천공판의 음향 임피던스, σ 는 공극률, t 는 판의 두께(mm), d 는 천공의 직경(mm), f 는 주파수(Hz), 그리고 $\delta=1.3$ 이다. 경험식을 경계조건으로 전달행렬에 적용할 경우 비

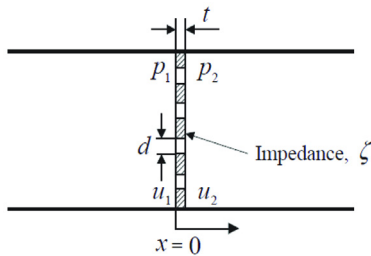


Fig. 9 Schematic of perforated plate

Table 2 Material properties for perforated plate

Case	d (mm)	t (mm)	Unit mass (kg/m ²)	Porosity (%)
Case 1 (steel)	2	0.6	4.18	7.92
Case 2 (steel)	5	0.6	2.925	14.85

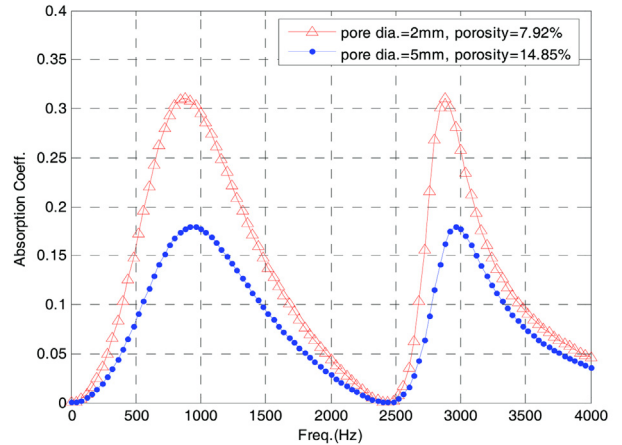


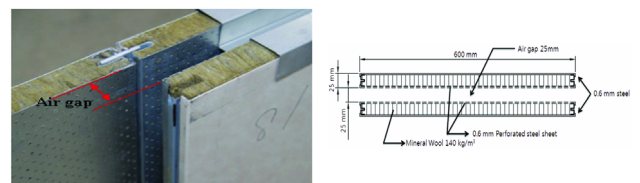
Fig. 10 Comparison of perforated plate analysis

교적 쉽게 흡음계수를 구할 수 있다.

천공판은 현재 선박용 차음 패널에 사용되는 두가지 형태의 천공판에 대해 판 뒷면에 70mm 공기층과 강체 벽면이 있다고 가정하고 해석하였다. 천공판의 물성치는 Table 2와 같다. 해석 결과는 Fig. 10과 같으며, 천공 지름이 작아짐에 따라서 공진주파수 대역이 저주파수 대역으로 이동하고, 공진주파수에서 흡음성능이 높아짐을 확인할 수 있다. 즉, 차음 성능이 향상되는 결과를 확인할 수 있다. 따라서 천공의 크기와 개공률을 조정하여 차음성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

3.5 공기층 두께의 영향

최근에는 차음성능을 더욱 향상시키기 위해 단일 구조의 패널이 아닌 Fig. 11과 같은 이중 샌드위치 구조의 패널의 개발이 이루어지고 있다. 이는 이중 샌드위치 패널의 가운데 삽입된 공기층이 차음성능 향상에 영향을 주기 때문이다. 따라서 간이 잔향실을 이용해 Fig. 11의 이중 샌드위치 패널에 다른 물성치는 동일하게 두고 공기층의 두께만 10mm, 15mm, 25mm, 50mm, 75mm로 변화하여 공기층의 영향을 비교해 보았다. Fig. 12를 보면 공기층의 두께를 크게 하는 것이 차음성능을 향상시키는 것을 아니라는 것을 알 수 있고, 양쪽 패널이 25mm의 두께를 가질 경우에는



(a) Cross section of double sandwich panel (b) Schematic of double sandwich panel
Fig. 11 Double sandwich panel with inside perforated plates

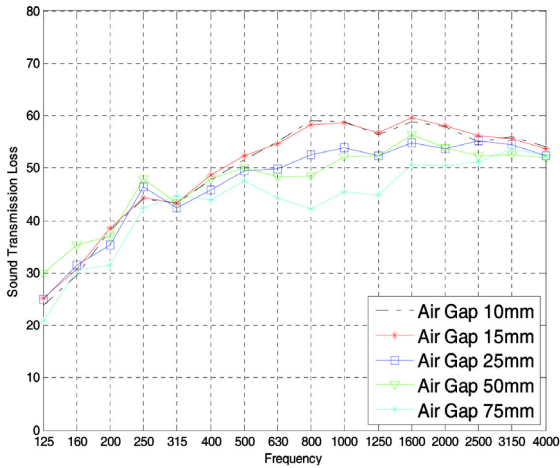
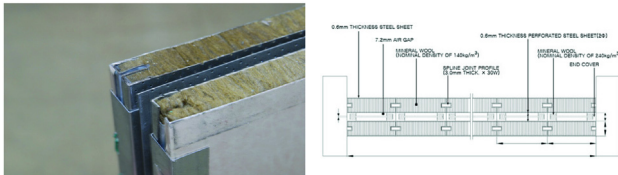


Fig. 12 Comparison of air gap effect



(a) Cross section of proposed panel (b) Schematic of proposed panel

Fig. 13 Improvement of double sandwich panel

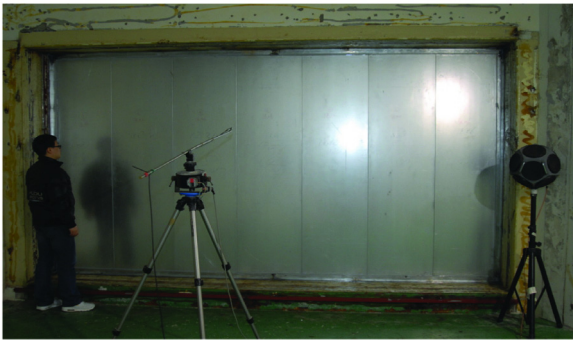


Fig. 14 Picture of installed panel

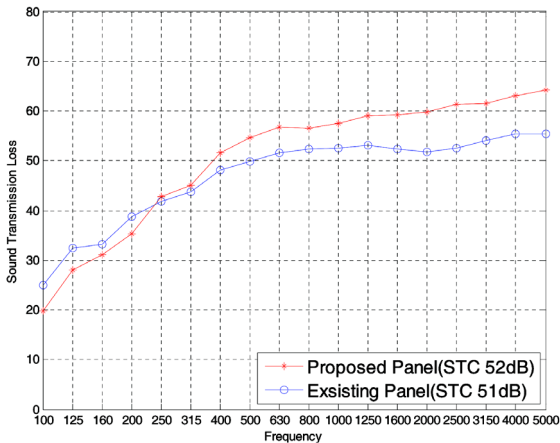


Fig. 15 Transmission loss performance of proposed panel

15mm의 공기층을 두는 것이 가장 차음성능이 좋음을 알 수 있다.

4. 개선된 성능의 고부가치선 선실용 차음패널 개발

가장 좋은 차음성능을 얻으면서 패널의 총 두께를 줄이고자 Fig. 13과 같이 이중 샌드위치 패널 사이에 15mm의 공기층을 두고 그 사이에 지름 2mm의 천공판을 삽입한 패널을 개발하였다. 개선된 차음 패널은 수 차례에 걸친 간이 잔향실 차음성능 실험에서 가장 높은 차음성능을 보여준 패널이며, 이에 대한 성능 검증을 위해 Fig. 14에서 보는 바와 같이 공인 기관인 한국기계연구원의 실 잔향실에서 차음성능 실험을 수행하였다. 차음성능 실험은 국제 규격인 ISO 140-3에 의거하여 수행되었으며 시편의 크기는 폭 4,200mm, 높이 2,400mm, 두께 65mm이다.

실험 결과는 Fig. 15와 같으며 차음성능은 STC 52dB를 얻었다. 이는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 상용 복합패널 중 가장 우수한 기존 이중 샌드위치 패널 대비 차음성능 STC 기준으로 1dB 증가된 값이고, 질량은 단위 패널당 2kg 감소하고 두께는 10mm 감소한 결과이다. 전체적으로 보면 315Hz 이하, 즉 저주파에서는 기존 패널에 비해 차음성능이 약간 감소되었지만 315Hz 이상 고주파에서는 최대 8dB까지 현저히 차음성능이 증가된 결과를 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 차음 해석 이론을 정립하고 패널 개발에 있어 비용과 시간 면에서 효율적인 간이 잔향실 실험 시설을 확충하였다. 기본 샌드위치 모델의 해석적 방법과 구축된 간이 잔향실 실험 시설을 이용하여 구성요소인 중심재의 밀도와 두께, 표면재의 두께를 변화시켜가며 차음성능 변화를 분석하였다. 또한, 선박용 복합패널의 성능 개선을 위해 내부 천공판 효과 및 내부 공기층 변화를 통해 성능 향상을 위한 선박용 복합패널의 두께를 선정하였다.

이를 바탕으로 시편을 제작하여 간이 잔향실에서 패널간 상대적 비교를 통해 가장 우수한 시편을 선정하였고 시편의 성능 확인을 위해 공인인증기관의 대형 잔향실에서 최종 성능을 검증하였다. 이에 추가적으로 내화성, 내연성 등 고부가가치선에서 요구하는 규정에 대한 실험과 연구가 이루어진다면 실제 고부가가치선의 선실용 패널로 사용 될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (2011-0023027)

참 고 문 헌

Acoustics (1995). Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements Part 3: Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Ele-

- ments, International Standard ISO 140-3: 1995, International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland.
- Allard, J.F. (1993). *Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials*, Chapman & Hall, London.
- ASTM (2008). *Standard Specification for Reference Specimen for Sound Transmission Loss*, American Standard ASTM E 1289-08.
- Biot, M.A. (1956). "Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-saturated Porous Solid. I. Low-frequency range. II. Higher Frequency Range", *Journal of Acoustical Society of America*, Vol 28, pp 168-191.
- Bolton, J.S., Shiau, N.M. and Kang, Y.J. (1996). "Sound Transmission Through Multi-panel Structures Lined with Elastic Porous Materials", *Journal of Sound and Vibration*, Vol 191, No 3, pp 317-347.
- DNV (1995). *Rules for Classification of Ships - Part 5 Chapter 12 : Comfort Class Tentative Rules*.
- HSE OFFSHORE (2005). *Operations Notice 62-Goals for The Provision of Accommodation on Offshore Installations*.
- Lee, D.H. and Kwon, Y.P. (2004). "Estimation of The Absorption Performance of Multiple Layer Perforated Panel Systems by Transfer Matrix Method", *Journal of Sound and Vibration*, Vol 278, pp 847-860.
- NORSOK STANDARD (1997). C-001 Living Quarter Area.
- NORSOK STANDARD (2006). C-002 Architectural Components and Equipment.
- Pallett, D.S., Pierce, E.T. and Toth, D.D. (1976). "A Small-scale Multi-purpose Reverberation Room", *Applied Acoustics*, Vol 9, pp 287-302.
- Rajaram, S., Wang, T. and Nutt, S. (2009) "Small-scale Transmission Loss Facility for Flat Lightweight Panels", *Noise Control Engineering Journal*, Vol 57, No 5, pp 536-542.
- Tsui, C.Y., Voorhees, C.R. and Yang, J.C.S. (1976). "The Design of Small Reverberation Chambers for Transmission Loss Measurements", *Applied Acoustics*, Vol 9, pp 165-175.

2012년 2월 29일 원고 접수

2012년 5월 2일 심사 완료

2012년 6월 21일 게재 확정