

크루즈선박용 허니컴 패널의 차음 성능 해석

권현웅* · 홍석윤** · 노재욱*** · 송지훈****†

*, ** 서울대학교 조선해양공학과, *** 삼성중공업 **** 전남대학교 조선해양공학전공

Analysis of Sound Insulation Performance of Honeycomb Composite Panels for Cruise Ships

Hyun-Wung Kwon* · Suk-Yoon Hong** · Jae-Ouk Roh*** · Jee-Hun Song****†

*, ** Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

*** Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Daejeon, 137-857, Korea

**** Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea

요 약 : 본 연구에서는 허니컴 패널의 지배방정식을 이용하여 경계행렬식을 유도하였고, 이를 전달행렬법에 적용하여 허니컴 패널을 적용한 차음패널에 대한 해석 이론을 정립하였다. 또한, 허니컴 패널을 선박용 차음패널의 표면재로 적용하여 차음성능을 분석하였고, 철판을 표면재로 적용한 기존의 선박용 차음패널과 차음성능을 무게 당 감음량 기준으로 비교 분석하였다. 그 결과, 허니컴 패널의 차음성능이 0.35 mm 철판에 비해 STC 기준으로 2dB 높게 나와 허니컴 패널을 적용한 차음패널의 차음성능이 철판을 사용한 차음패널에 비해 무게 당 감음량을 고려할 시 우수하다는 것을 확인하였다. 또한, 허니컴 패널을 표면재로 사용한 차음패널의 면밀도가 철판을 사용한 차음패널에 비해 약 5.2 kg/m² 가볍게 나타났고, 이는 약 31.7% 무게 감소를 의미한다.

핵심어 : 허니컴, 차음패널, 경량, 전달행렬법, 음향투과손실

Abstract : In this paper, the interface matrix of honeycomb composite panel has been derived by the governing equation of a honeycomb sandwich panel. The interface matrix of honeycomb panel is added to the previously developed transfer matrix method, thus analysis of the multi-layered insulation composite panel with honeycomb is accomplished. Furthermore, predictions of sound transmission loss(STL) for the ship's insulation panel with honeycomb and mineral wool are presented. The insulation performance of the honeycomb used for skin of the ship's insulation panel is better than that of 0.35 mm steel panel by 2dB, approximately. Although honeycomb panel has inefficient insulation performance beside steel panel, honeycomb panel achieve improvements in the performance of weight reduction. The surface density of the panel with honeycomb is rather than with steel by 5.2 kg/m². It is decrease in weight by 31.7%.

Key Words : Honeycomb, Insulation panel, Light weight, Transfer matrix method, Sound transmission loss

1. 서론

대표적 고부가가치선박인 크루즈선의 경우 객실은 보통 1000~3000실로 건조원가(5~10억불)의 30% 이상을 차지하고 있어 이는 매우 중요한 설계 대상이 된다. 이에 따라 객실의 가장 중요한 설계 인자인 차음패널의 고효율 성능 개발 연구가 수행되어 왔다. 고효율 차음패널의 개발을 위한 두 가

지 방법으로는 차음성능 개선과 패널 경량화를 꼽을 수 있다. 하지만 최근 들어 선박용 차음패널의 고차음 성능 개발은 한계에 도달하여 차음패널의 차음성능 수준은 고착되어 있는 상황이다. 즉, 지금까지 대부분의 연구는 차음패널의 고차음 성능 개발을 위한 패널의 구조적 관점위주로 수행되어 왔고, 패널의 경량화 연구는 거의 수행되지 않고 있는 실정이다. 이에 선박용 차음패널의 경량화 연구의 필요성이 대두되었고, 차음패널의 무게에 가장 크게 영향을 끼치는 부재인 패널의 표면재에 대한 경량화 연구가 주목을 받게 되었다. 이러한 가운데 허니컴 패널은 높은 강도와 가벼운

* First Author : khw1@snu.ac.kr, 02-880-7331

† Corresponding Author : jhs@jnu.ac.kr, 061-659-7156

무게로 인해 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있어 선박용 차음패널의 표면재로 사용하여 패널 경량화를 가능하게 할 것이다.

선박용 차음패널의 기본 구조는 샌드위치 패널 형태의 3단 구조물로서 얇은 평판인 표면재와 상대적으로 두꺼운 중심재인 다공질재로 구성되어 있다. Biot(1956)에 의하면 다공질재를 프레임과 유체로 구분하여 응력-변형률의 구성방정식에서 상호 연성관계를 고려하였고 프레임과 유체의 파동방정식을 유도하였다. 이후에는 Allard(1993)와 Bolton et al. (1996)에 의해 연구가 발전되어 왔으며 다공질재 앞·뒷면의 평판을 추가한 샌드위치 패널에 대해 차음성능 해석이 수행되었다. Brouard et al.(1995)은 유체층, 탄성층 및 다공질층을 포함한 다층 구조의 차음성능을 예측하기 위하여 각 층에 대한 전달행렬을 이용하여 다층 구조의 표면 임피던스를 구하는 전달행렬법(Transfer Matrix Method)을 이용하여 수행하였다. Renji and Nair(1996)은 허니컴 코어를 갖는 샌드위치 패널에 대해 모드밀도 해석이 수행되었다. Wang et al.(2005)은 단일방향의 샌드위치 패널의 음향투과손실의 특성을 살펴 보았다. Wang et al.(2010)은 허니컴 코어를 갖는 무한한 직교이방성 샌드위치 패널의 운동방정식을 유도하고 이를 이용하여 음향투과손실의 특성을 살펴보았다. 따라서, Wang et al.은 허니컴 패널 및 허니컴 패널을 적용한 차음패널의 경계행렬식을 유도하지 않았고, 허니컴 패널을 선박용 차음패널의 표면재로 적용하여 차음성능을 분석하지 않았다.

본 논문에서는 허니컴 패널의 지배방정식을 이용하여 경계행렬식을 유도하였고, 이를 전달행렬법에 적용하여 허니컴 패널을 적용한 차음패널에 대한 해석 이론을 정립하였다. 또한, 허니컴 패널을 선박용 차음패널의 표면재로 적용하여 차음성능을 분석하였고, 철판을 표면재로 적용한 기존의 선박용 차음패널과 차음성능을 무게 당 감음량 기준으로 비교 분석하였다.

2. 이론

2.1 허니컴 패널

허니컴 패널이란 Fig. 1과 같이 허니컴 코어를 중심재로 하고 표면재로 얇은 박판이 감싸고 있는 샌드위치 패널이다. 허니컴 패널의 특징으로 내열성, 내화성 및 내마모성 등이 있지만 가장 큰 특징은 역학적으로 우수한 강도와 경량성이다. 우수한 강도를 가지는 허니컴 패널은 기존 선박용 차음패널의 표면재인 철판의 대체재로 충분한 가능성을 보이고 있다.

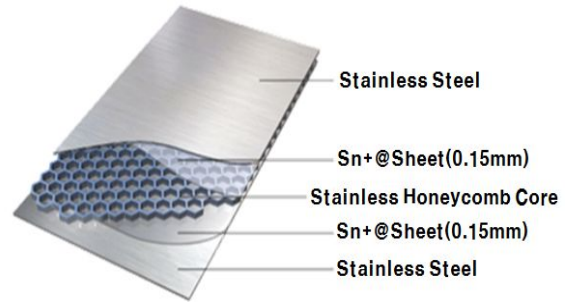


Fig. 1. Honeycomb panel.

2.2 허니컴 패널 지배방정식

Wang et al.(2010)은 Mindlin의 판 이론을 이용하여 대칭적이고 직교이방성인 박판을 가지는 직교이방성 허니컴 패널의 지배방정식을 유도하였다. 이때 지배방정식은 허니컴 패널의 박판이 서로 같은 재질이고 같은 두께라는 가정을 포함한다. 먼저 횡방향 전단 변형을 고려하지 않은 대칭성의 허니컴 패널의 굽힘에 대한 지배방정식은 아래와 같다.

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q \quad (1)$$

여기서, w 는 허니컴 패널의 수직변위, D_{ij} 는 박판의 굽힘강성, $\rho = 2\rho_{sheet}t + \rho_{core}h$ 는 허니컴 패널의 단위면적당 밀도, ρ_{sheet} 는 박판의 밀도, ρ_{core} 는 허니컴 코어의 밀도, t 는 박판의 두께, h 는 허니컴 코어의 두께, q 는 단위면적당 외력을 의미한다. Mindlin의 판 이론을 이용하여 횡방향의 전단 변형을 고려하면, 허니컴 패널의 평균전단회전(γ_{iz})은 다음과 같다.

$$\gamma_{xz} = \frac{Q_{xz}}{N_{xz}}, \quad \gamma_{yz} = \frac{Q_{yz}}{N_{yz}} \quad (2)$$

여기서, $N_{iz} = G_{iz}h(1+t/h)^2$ 는 허니컴 코어의 전단강성, Q_{iz} 는 단위너비당 내력, G_{iz} 는 코어의 전단계수를 의미한다.

식(1)과 (2)을 적용하면 횡방향 전단 변형을 고려한 허니컴의 지배방정식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \\ & - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{D_{11}}{N_{xz}} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{D_{22}}{N_{yz}} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \\ & = - \left(\frac{D_{11}}{N_{xz}} \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{D_{22}}{N_{yz}} \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) + q \end{aligned} \quad (3)$$

이때 허니컴 패널의 박판이 대칭이고 등방성이라면 식(3)은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{N_{xz}} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{N_{yz}} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{\rho}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = - \left(\frac{1}{N_{xz}} \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{1}{N_{yz}} \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) + \frac{q}{D} \quad (4)$$

여기서, 굽힘강성은 $D = D_{11} = D_{22} = D_{12} + 2D_{66}$ 이다.

2.3 허니컴 패널의 경계행렬식

허니컴 패널의 경계는 대체로 유체인 공기로, 유체 음장 벡터의 성분인 속도와 압력의 관계식으로 경계행렬식들을 유도할 수 있다.

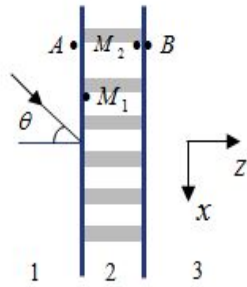


Fig. 2 Honeycomb panel modeling.

허니컴 패널을 2D 평면으로 모델링하면 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 허니컴 패널은 두 번째 층으로 하나의 모델로 되어 있고, 첫 번째 층과 세 번째 층은 각각 허니컴 패널로 입사되고 투과되는 공기층이다. Fig. 2에서 A지점에서의 V벡터의 성분은 다음과 같이 정의한다.

$$V^f(M) = [p(M), v_3^f(M)]^T \quad (5)$$

여기서, $p(M)$ 과 $v_3^f(M)$ 은 각각 A지점에서의 음압과 진행방향(x_3)의 입자속도이다.

2D 평면으로 모델링을 할 때 허니컴 패널이 y방향에 대해 무한 평판이라 가정하면 식(4)은 다음과 같이 간략해진다.

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = - \frac{D}{N_{xz}} \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + q \quad (6)$$

각 층간의 속도 관계식을 만들어 주기 위해 식(6)의 변위를 속도로 변환시켜 주어야 하는데 변위를 조화운동이라 가

정하면 속도와의 관계식은 다음과 같다.

$$w = \frac{1}{j\omega} v_3^s(M_1) = \frac{1}{j\omega} v_3^s(M_2) \quad (7)$$

식(7)을 식(6)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{D}{j\omega} \frac{\partial^4 v_3^s}{\partial x^4} - \frac{\rho}{N_{xz}} \frac{D}{j\omega} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial^2 v_3^s}{\partial x^2} \right) + \frac{\rho}{j\omega} \frac{\partial^2 v_3^s}{\partial t^2} = - \frac{D}{N_{xz}} \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + q \quad (8)$$

속도도 변위와 마찬가지로 조화운동이라고 가정하면 식(8)은 다음과 같이 정리된다.

$$v_3^s(M_1) \left[\frac{D}{j\omega} k_1^4 - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\omega^2}{j\omega} k_1^2 - \rho \frac{\omega^2}{j\omega} \right] = \left[\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right] q \quad (9)$$

이때, 외력 q 는 허니컴 패널의 양 끝에서의 압력차이므로 허니컴 패널의 경계에서의 관계식은 다음과 같다.

$$q = p(A) - p(B) \quad (10)$$

식(10)을 식(9)에 대입하여 속도와 압력간의 관계식으로 정리해주면 다음과 같다.

$$v_3^s(M_1) \left[\frac{D}{j\omega} k_1^4 - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\omega^2}{j\omega} k_1^2 - \rho \frac{\omega^2}{j\omega} \right] = \left[\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right] p(A) - \left[\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right] p(B) \quad (11)$$

허니컴 패널의 각 경계에서의 속도 관계식은 다음과 같다.

$$v_3^f(A) = v_3^s(M_1) = v_3^s(M_2) = v_3^f(B) \quad (12)$$

식(11)과 (12)을 허니컴 패널의 경계인 A와 B에서의 음장 벡터를 이용해 행렬식을 만들어 주면 다음과 같다.

$$I_{f,f} \cdot V_f(A) + J_{f,f} \cdot V_f(B) = 0 \quad (13)$$

$$[I_{f,f}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ - \left(\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right) \left(\frac{D}{j\omega} k_1^4 - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\omega^2}{j\omega} k_1^2 - \rho \frac{\omega^2}{j\omega} \right) & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$[J_{f,f}] = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ \left(\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right) & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서, $I_{f,f}$ 와 $J_{f,f}$ 는 허니컴 패널의 경계행렬식이다.

2.4 허니컴 패널을 적용한 선박용 차음패널의 경계행렬식

허니컴 패널이 선박용 차음패널의 표면재로 적용되면 Fig. 3과 같이 2D 모델링을 할 수 있다. 이와 같이 허니컴 패널의 양 끝 경계가 2.3절과 달리 다른 매체로 되어 있다면 경계행렬을 새롭게 유도해주어야 한다.

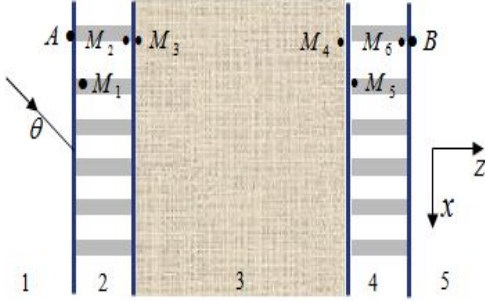


Fig. 3. Ship's insulation panel with honeycomb panel for skins modeling.

일반적인 선박용 차음패널의 경우 한 면이 중심재인 압면(Mineral wool)과 맞닿게 된다. Fig. 3에서 A지점에서의 V벡터의 성분은 다음과 같이 정의한다.

$$V^p(M) = [v_1^s(M), v_3^s(M), v_3^f(M), \sigma_{33}^s(M), \sigma_{13}^s(M), \sigma_{33}^f(M)]^T \quad (16)$$

여기서, $v_1^s(M), v_3^s(M)$ 과 $v_3^f(M)$ 는 각각 A지점에서의 압면 프레임과 유체의 입자속도이고, $\sigma_{33}^s(M), \sigma_{13}^s(M)$ 과 $\sigma_{33}^f(M)$ 는 각각 A지점에서의 압면 프레임과 유체의 응력이다.

이때 두 번째 층의 허니컴 패널에서 속도 관계식은 다음과 같다.

$$v_3^f(A) = v_3^s(M_1) = v_3^s(M_2) = v_3^s(M_3) = v_3^f(M_3) \quad (17)$$

$$v_1^s(M_1) = -v_1^s(M_2) = -v_1^s(M_3) \quad (18)$$

$$v_1^s(M_1) = \frac{h}{2} \frac{dv_3^s(M_1)}{dx_1} \quad (19)$$

허니컴 패널의 양 끝인 A와 M_3 간의 속도 관계식으로 정리하면 식(17)-(19)은 다음과 같이 정리된다.

$$v_3^f(A) = v_3^s(M_3) \quad (20)$$

$$v_3^f(A) = v_3^f(M_3) \quad (21)$$

$$v_1^s(M_3) = \frac{jk_1 h}{2} v_3^f(A) \quad (22)$$

외력 q 는 A와 M_3 에서 압력과 응력의 관계식으로 다음과 같이 표현된다.

$$q = p(A) + \sigma_{33}^f(M_3) + \sigma_{33}^s(M_3) \quad (23)$$

식(23)을 식(9)에 대입하면 다음과 같다.

$$v_3^s(M_1) \left[\frac{D}{j\omega} k_1^4 - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\omega^2}{j\omega} k_1^2 - \rho \frac{\omega^2}{j\omega} \right] = \left[\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1 \right] (p(A) + \sigma_{33}^f(M_3) + \sigma_{33}^s(M_3)) \quad (24)$$

식(10)-(22)과 (24)을 이용하여 A와 M_3 의 음장벡터의 관계식을 유도하면 다음과 같이 행렬식을 유도할 수 있다.

$$I_{f,p} \cdot V_f(A) + J_{f,p} \cdot V_p(M_3) = 0 \quad (25)$$

$$[I_{f,p}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{jk_1(h+2t)}{2} \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ -\left(\frac{D}{N_{xz}} k_1^2 + 1\right) \left(\frac{D}{j\omega} k_1^4 - \frac{\rho D}{N_{xz}} \frac{\omega^2}{j\omega} k_1^2 - \rho \frac{\omega^2}{j\omega}\right) \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$[J_{f,p}] = - \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 \\ 010 & 0 & 0 & 0 \\ 001 & 0 & 0 & 0 \\ 000 \left(\frac{D_{11}}{N_{xz}} k_1^2 + 1\right) & 0 & \left(\frac{D_{11}}{N_{xz}} k_1^2 + 1\right) \end{bmatrix} \quad (27)$$

여기서, $I_{f,p}$ 와 $J_{f,p}$ 는 허니컴 패널을 적용한 선박용 차음패널의 경계행렬식이다.

3. 수치 해석

3.1 허니컴 패널

허니컴 패널을 적용한 선박용 차음패널의 차음성능을 분석하기에 앞서 허니컴 패널의 차음성능을 확인해 보고 이를 기존의 표면재인 철판과 비교할 필요가 있다. 허니컴 패널의 물성치는 Table 1과 같고(Kim, 2009) 비교 대상인 철판의 물성치는 Table 2와 같다.

Table 1. Material property of honeycomb panel

Property	Name	Variables	Values
Sheet (CF1263)	Density	$\rho(kg/m^3)$	1,600
	Thickness	$t(m)$	0.8e-3
	Young's Modulus	$E(N/m^2)$	55.5e9
	Poisson Ratio	ν	0.099
Core (Honeycomb)	Density	$\rho(kg/m^3)$	55
	Thickness	$h(m)$	3.4e-3
	Shear Modulus	$G_{xz}(Pa)$	2.5e8

Table 2. Material property of steel

Property	Name	Variables	Values
Steel	Density	$\rho(kg/m^3)$	7,850
	Thickness	$t(m)$	0.6e-3
	Young's Modulus	$E(N/m^2)$	210e9
	Poisson Ratio	ν	0.3
	Loss Factor	η	0.003

허니컴 패널의 두께는 시중의 제품 중 가장 작은 두께인 5 mm로 하였고, 박판은 CF1263(탄소섬유/에폭시 면재)로 하였다. CF1263을 사용한 이유는 일반적인 알루미늄 박판에 비해 차음성능이 우수하기 때문이다.

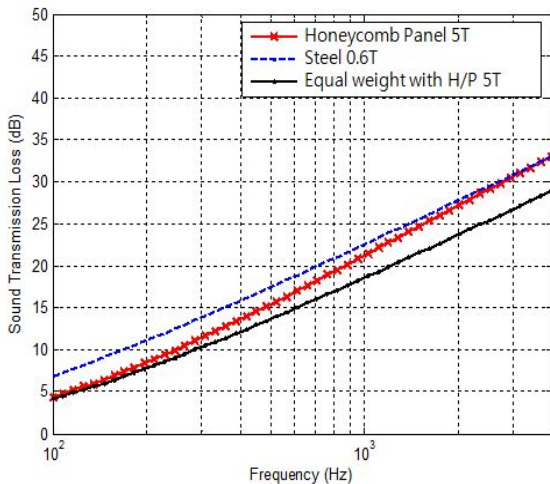


Fig. 4. Result of insulation performance of the honeycomb panel.

허니컴 패널의 차음성능은 Fig. 4와 같다. 허니컴 패널의 차음성능과 기존의 철판(0.6mm)의 차음성능을 비교해 보면 주파수가 증가함에 따라 차음성능이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 고주파수 대역에서는 허니컴 패널의 차음성

능과 철판의 차음성능이 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 이를 STC(Sound Transmission Loss) 기준으로 살펴보면 허니컴 패널이 철판에 비해 2dB 낮은 것으로 확인되었다. 여기서, STC 차음등급은 1/3 octave band의 중심주파수를 고려한 125 Hz ~ 4,000 Hz 범위에서 측정된 음향전달손실과 규정에서 정한 기준값을 비교하여 결정된다. STC 기준 값은 500 Hz에서 설정된 음향전달손실값을 기준으로 500 Hz 보다 저주파수인 경우에는 3dB씩 감소하고, 500 Hz 보다 고주파수인 경우에는 1250 Hz까지 1dB씩 감소하는 값을 갖는다. 반면에 5 mm 허니컴 패널의 무게는 0.6 mm 철판에 비해 면밀도 기준으로 1.96 kg/m² 가벼운데, 이는 기존대비 무게가 약 41.7% 감소한 것으로 허니컴 패널이 차음패널의 경량표면재로서 성능이 우수함을 의미한다. 그러나 단순히 질량법칙에 의한 결과라고 생각할 수 있으므로 철판의 무게를 철판의 5 mm 허니컴 패널의 무게와 동일하도록 철판의 두께를 0.35 mm로 줄여 차음성능을 분석하였다. 허니컴 패널과 동일 무게의 철판의 차음성능을 해석한 결과, 허니컴 패널의 차음성능이 0.35 mm 철판에 비해 STC 기준으로 2dB 높게 나온 것을 확인하였다. 즉, 허니컴 패널이 기존의 철판에 비해 무게 당 감음량을 고려할 시 차음성능이 우수하다는 결과를 얻었고 차음패널의 경량화를 가능하게 하는 표면재임을 확인하였다.

3.2 허니컴 패널을 적용한 선박용 차음패널

허니컴 패널을 표면재로 적용한 선박용 차음패널의 차음성능을 확인하고 기존의 철판을 표면재로 사용하는 선박용 차음패널의 차음성능과 비교하였다. 허니컴 패널을 표면재로 적용한 선박용 차음패널의 허니컴 패널의 물성치는 Table 1을 사용하였고, 중심재인 압면의 물성치는 Table 3과 같다 (Kang et al., 2000). 다만 선박용 차음패널의 두께는 50 mm를 기준으로 하기 때문에 허니컴 패널 표면재의 두께인 10 mm (5 mm 허니컴 패널 2개)를 제외한 40 mm를 중심재의 두께로 해석을 수행하였다.

허니컴 패널을 적용한 차음패널의 차음성능은 Fig. 5와 같다. 허니컴 패널을 적용한 차음패널과 기존의 선박용 차음패널의 차음성능을 비교해 보면 주파수가 증가함에 따라 경향이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이를 STC 기준으로 살펴보면 허니컴 패널의 차음성능은 선박용 차음패널에 비해 3dB 낮게 나왔다. 특히, 선박용 차음패널의 공진주파수 대역인 2,000 Hz 근처를 제외하고 모든 주파수 대역에서 차음성능이 낮게 나왔다. 반면에 허니컴 패널을 적용한 차음패널의 무게는 선박용 차음패널에 비해 면밀도 기준으로 5.16 kg/m² 가벼운데, 이는 기존대비 무게가 약 31.7% 감소한 것으로 허니컴 패널을 적용한 차음패널이 경량패널로서 성능이 우수함을 의미한다. 무게 당 감음량을 고려하기 위해 선박용 차음패널의 무게를 허니컴 패널을 적용한 차음패널과

동일하도록 하게 하여 차음성능을 해석한 결과, 허니컴 패널을 적용한 차음패널의 차음성능이 동일 무게의 선박용 차음패널 대비 STC 기준으로 3dB 높게 나온 것을 확인하였다. 즉, 허니컴 패널을 적용한 차음패널이 기존의 선박용 차음패널에 비해 무게 당 감음량을 고려할 시 차음성능이 우수하다는 결과를 얻었다.

Table 3. Material property of Mineral wool

Property	Name	Variables	Values
Mineral wool	Density	$\rho(kg/m^3)$	140
	Thickness	$d(m)$	48.8e-3
	Young's Modulus	$E(N/m^2)$	2.5e7
	Possion Ratio	ν	0.2
	Flow Resistivity	R_1	34e3
	Structure factor	χ	1.0
	Porosity	Y	0.955
	Loss factor	η	0.18
	Viscous characteristic dimension	$\Lambda(m)$	4e-5
	Thermal characteristic dimension	$\Lambda'(m)$	8e-5

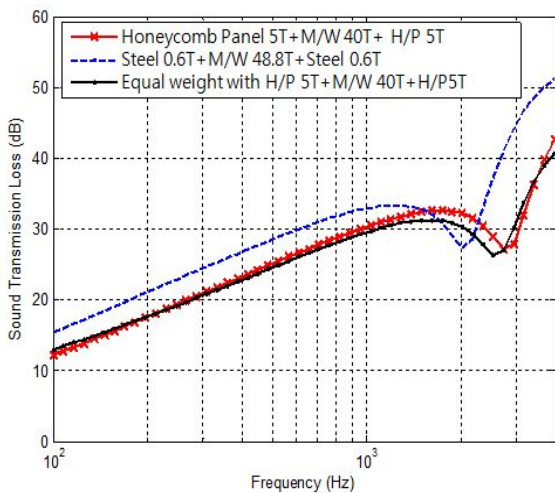


Fig. 5. Result of insulation performance of ship's standard insulation panel with honeycomb panel for skin.

4. 결론

본 논문에서는 허니컴 패널의 지배방정식을 이용하여 경계행렬식을 유도하였고, 이를 전달행렬법에 적용하여 허니컴 패널을 적용한 차음패널에 대한 해석 이론을 정립하였

다. 또한, 허니컴 패널을 선박용 차음패널의 표면재로 적용하여 차음성능을 분석하였고, 철판을 표면재로 적용한 기존의 선박용 차음패널과 차음성능을 무게 당 감음량 기준으로 비교 분석하였다.

허니컴 패널을 적용한 차음패널의 차음성능은 기존의 선박용 차음패널에 비해 STC 기준으로 3dB 낮게 나왔다. 선박용 차음패널의 공진주파수 대역인 2,000 Hz 근처를 제외하고 모든 주파수 대역에서 차음성능이 낮게 나왔다. 반면에 허니컴 패널의 무게는 기존의 선박용 차음패널에 비해 면밀도 기준으로 약 5.2kg/m² 가법고, 이는 기존대비 약 31.7% 무게 감소를 의미한다. 따라서, 경량화 관점에서 허니컴 패널을 적용한 선박용 차음패널이 기존의 철판을 표면재로 사용하는 선박용 차음패널에 비해 무게 당 감음량을 고려할 시 차음성능이 우수하다는 결과를 얻었다.

향후에는 FRP, 구속형제진합금판 등 다양한 허니컴 패널의 표면재에 대한 효과 분석, 허니컴 패널을 적용한 차음패널의 중심재인 암면을 대체할 수 있는 소재 연구 등의 추가 연구 수행이 요구된다.

후 기

이 논문은 2012년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Allard, J. F.(1993), Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials, Chapman & Hall, London, pp. 118-181.
- [2] Biot, M. A.(1956), Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid I. Low-frequency range II. Higher frequency range, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 28, pp. 168-191.
- [3] Bolton, S., N. M. Shiao and Y. J. Kang(1996), Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials, J. Sound Vib., Vol. 191, No. 3, pp. 317-347.
- [4] Brouard, B., D. Lafarge and J. F. Allard(1995), A general method of modeling sound propagation in layered media. J. Sound Vib., Vol. 183, No. 1, pp. 129-142.
- [5] Kang, H. J., J. S. Ih, J. S. Kim and H. S. Kim(2000), Prediction of the sound transmission loss through multi-layered panels by using Gaussian distribution of directional incidence energy, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 107, No. 3, pp.

1413-1420.

- [6] Kim, J. S.(2009), Compressive strength restoration evaluation of sandwich composite laminates repaired by scarf method, The Korean Society for Railway, Vol. 12, No. 1, pp. 110-114.
- [7] Renji, K. and P. S. Nair(1996), Modal density of composite honeycomb sandwich panels. J. Sound Vib., Vol. 195, No. 5, pp. 687-699.
- [8] Wang, S. C., Z. X. Deng and W. D. Shen(2010), Sound transmission loss characteristics of unbounded orthotropic sandwich panels in bending vibration considering transverse shear deformation, Composite Structures, Vol. 92, No. 12, pp. 2885-2889.
- [9] Wang, T., V. S. Sokolinsky, S. Rajaram and S. R. Nutt (2005), Assessment of sandwich models for the prediction of sound transmission loss in unidirectional sandwich panels, Applied Acoustics, Vol. 66, pp. 245-262.

원고접수일 : 2014년 01월 24일

원고수정일 : 2014년 03월 11일

게재확정일 : 2014년 04월 25일