

물탱크를 통한 엔진실 소음의 수중소음 방사해석

An Analysis of the Underwater Radiated Noise from Engine Noise via a Water Tank

김현실†·김재승*, 이성현*, 서운호*

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Seong-Hyun Lee and Yun-Ho Seo

1. 서론

해양조사선이나 함정과 같이 수중소음이 중요한 선박에서는 소음발생을 줄이기 위해 많은 노력을 하고 있는데 저속에서는 프로펠러 소음보다 엔진이나 발전기같은 장비소음이 더 중요하다. 엔진실의 공기소음이 수중소음에 영향을 주는 경로는 두 가지로 구분되는데 공기소음이 선체 외판을 가진하여 구조소음을 발생하고 외판은 수중에 음파를 방사(Radiation)하는 경로가 있으며 두 번째는 공기소음이 선체외판을 투과하여 수중에 전파하는 경로이다. 첫 번째 경로에서 외판의 단성은 중요한 역할을 하나 두 번째 경로에서 외판은 밀도가 가장 중요한 림프 판(Limp plate)으로 작용한다.

엔진실 하부와 벽쪽에는 많은 경우 물탱크 또는 연료탱크가 설치되는데 본 논문은 엔진실 공기소음이 엔진실과 선체외판사이에 설치된 물탱크를 통과하여 수중에 소음을 발생하는 과정에 대해 통계적에너지해석법(SEA)을 사용하여 해석하였다.

2. 엔진실과 물탱크의 SEA 모델링

Fig. 1과 같이 엔진실과 선체 외판사이에 물탱크가 있는 경우를 4개의 세부시스템으로 이루어진 모델로 단순화하며 소음전파는 오직 물탱크 벽과 선체 외판을 통해서만 이루어진다고 가정한다.

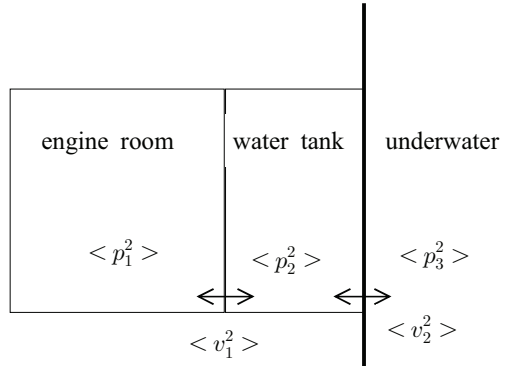


Fig. 1 SEA model of an engine room-water tank-hull-underwater

Element 1: noise inside the engine room

$$E_1 = \langle p_1^2 \rangle V_1 / \rho_1 c_1^2$$

Element 2: vibration of the inner wall

$$E_2 = \langle v_1^2 \rangle A h_1 \rho_p$$

Element 3: noise inside the water tank

$$E_3 = \langle p_2^2 \rangle V_2 / \rho_2 c_2^2$$

Element 4 vibration of the hull

$$E_4 = \langle v_2^2 \rangle A h_2 \rho_p$$

여기서 $\langle p_1^2 \rangle$ 과 $\langle p_2^2 \rangle$ 는 엔진실과 물탱크내부의 공기소음, V_1 과 V_2 는 엔진실과 물탱크의 체적, ρ_1 , c_1 과 ρ_2 , c_2 는 공기와 물의 밀도와 음속을 나타낸다. $\langle v_1^2 \rangle$, $\langle v_2^2 \rangle$ 과 h_1 과 h_2 는 엔진실과 물탱크 벽의 진동레벨과 두께를 나타내며 재질은 강판으로 되어있고 ρ_p 는 강판의 밀도를 나타낸다. A 는 판의 면적이다. SEA 식은 다음과 같이 주어진다.

† 김현실; 한국기계연구원

E-mail : hskim@kimm.re.kr

Tel : (042) 868-7461, Fax : (042) 868-7440

* 한국기계연구원

$$W = A\rho_2 c_2 \sigma_2 < v_2^2 > \quad (8)$$

$$(\eta_1 + \eta_{12} + \eta_{13})E_1 - \eta_{21}E_2 - \eta_{31}E_3 = W_0/\omega \quad (1)$$

$$-\eta_{12}E_1 + (\eta_2 + \eta_{21} + \eta_{23})E_2 - \eta_{32}E_3 = 0 \quad (2)$$

$$-\eta_{13}E_1 - \eta_{23}E_2 + (\eta_3 + \eta_{31} + \eta_{32} + \eta_{34})E_3 - \eta_{43}E_4 = 0 \quad (3)$$

$$-\eta_{34}E_3 + (\eta_4 + \eta_{43})E_4 = 0 \quad (4)$$

여기서 η_i 는 i th 세부시스템의 손실계수(loss factor), η_{ij} 는 i th 세부시스템에서 j th 세부시스템으로의 에너지전파와 관련된 결합손실계수(coupling loss factor)를 나타내며 W_0 는 엔진실의 음향과위, ω 는 주파수이다. 식 (1)-(4)에서 엔진공기소음과 선체외관은 에너지의 직접적인 전파가 없으며 물탱크 벽과 선체외관사이에도 상관관계가 없다고 가정하였다.

$$\begin{aligned} \eta_1 &= c_1 S_1 / 4\omega V_1, \quad \eta_2 = c_2 S_2 / 4\omega V_2 \\ \eta_{21} &= \rho_1 c_1 \sigma_1 / \omega h_1 \rho_p, \quad \eta_{23} = \rho_2 c_2 \sigma_1 / \omega h_1 \rho_p \\ \eta_{13} &= c_1 A \tau_1 / 4\omega V_1, \quad \eta_{31} = c_2 A \tau_1 / 4\omega V_2, \\ \eta_{43} &= \rho_2 c_2 \sigma_2 / \omega h_2 \rho_p, \quad \eta_{34} = \eta_{43} n_4 / n_3 \end{aligned}$$

여기서 σ_1, σ_2 는 물탱크 벽과 선체외관의 방사효율이다. 식 (2)-(4)에서 E_2, E_3, E_4 를 E_1 의 함수로 표현할 수 있다.

$$E_2 = (B_3 \eta_{12} + \eta_{13} \eta_{32}) E_1 / \Delta \quad (5)$$

$$E_3 = (B_2 \eta_{13} + \eta_{23} \eta_{12}) E_1 / \Delta \quad (6)$$

$$E_4 = \eta_{34} (B_2 \eta_{13} + \eta_{23} \eta_{12}) E_1 / \Delta (\eta_4 + \eta_{43}) \quad (7)$$

여기서 $\Delta = B_2 B_3 - \eta_{23} \eta_{32}$

$$B_2 = \eta_2 + \eta_{21} + \eta_{23}$$

$$B_3 = \eta_4 (\eta_3 + \eta_{31} + \eta_{32} + \eta_{34}) + \eta_3 \eta_{43} + \eta_{31} \eta_{43} + \eta_{32} \eta_{43}$$

3. 수중소음해석

외관의 진동 $< v_2^2 >$ 은 수중에 소음을 방사하며 이때의 음향과위는 다음과 같이 된다.

선체로부터 멀리 떨어진 곳에서는 외관을 점음원으로 볼수 있으며 음향에너지는 반 무한 공간에 구면파로 전파한다고 가정할 수 있다. 가상 점음원로부터 1 m 떨어진 곳에서의 음압은 다음과 같이 주어진다.

$$< p_3^2 > = A \rho_2^2 c_2^2 \sigma_2 < v_2^2 > / 2\pi \quad (9)$$

한편 물탱크안의 음압은 선체외관을 투과하여 수중으로 전파하며 음파의 전달률은 입사각이 ϕ 라던 다음과 같이 주어진다.

$$\tau = |p_3|^2 / |p_2|^2 = 4 |\tilde{z}_{wf}|^2 / (2\tilde{z}_{wf} + \tilde{z}_p)^2 \quad (10)$$

여기서 물과 외관의 임피던스는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \tilde{z}_{wf} &= \rho_2 c_2 / \cos \phi \\ \tilde{z}_p &= -j(Dk_2^4 \sin^4 \phi - m\omega^2) / \omega \end{aligned}$$

$$\text{단, } D = Eh_2^3 / 12(1 - \nu^2), \quad m = \rho_p h_2, \quad k_2 = \omega / c_2$$

음파의 전달률은 입사각도에 대해 적분해야되나 여기에서는 수직입사에서 5 dB를 빼준 값을 사용하였다. 수중으로 발생하는 음압은 다음과 같이 외관의 방사와 물탱크내의 음압이 외관을 투과한 성분을 더해주면 된다.

$$< p_3^2 > = J_{rad} < v_2^2 > + J_{trans} < p_2^2 > \quad (11)$$

최종적으로 외관의 진동과 물탱크내의 음압을 식 (6)과 (7)을 사용하여 엔진실 공기소음으로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$< p_3^2 > / < p_1^2 > = 10^{K/10} + 10^{G/10} \quad (12)$$

여기서 K 와 G 는 선체외관의 방사와 외관을 통한 음의 투과에 의한 전달손실을 나타낸다.