

공기-물과 접한 평판의 방사효율해석

An analysis of radiation efficiency of the plate exposed to air on one-side and water on the other side

김현실† · 김재승*, 김봉기*, 김상렬*, 이성현*

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Bong-Ki Kim, Sang-Ryul Kim and Sung-Hyun Lee

다.

1. 서 론

방사효율(radiation efficiency)은 판과 같은 구조물의 진동으로 인해 소음이 발생하는 현상을 설명하는 가장 중요한 물리적 변수이다. 판의 진동과 소음의 발생에 대한 이론은 이미 잘 정립이 되어있는데 무한 평판의 경우는 진동 변위 및 음압의 엄밀해를 구할 수 있으나 유한한 판에 대해서 정의되는 방사효율을 설명하는데는 별로 도움이 되지 않는다. 가장 단순한 구조로 무한 배플로 지지된 사각형 판을 고려할 수 있는데 방사효율은 다중 적분형태로 제시되며 효율적인 계산방법 탐색에 많은 연구결과가 발표되었다. 판이 공기중에 있을 때에는 공기저항이 판의 진동에 미치는 영향을 무시할 수 있으며 판과 공기의 지배방정식의 분리가 가능해지며 방사효율식도 크게 단순화된다. 선박의 수중소음해석에서 한쪽은 물, 다른 쪽은 공기에 접한 평판의 방사효율을 알아야 하는데 이 경우 판의 진동은 물에 의한 저항에 큰 영향을 받으며 공기와 판의 거동이 연성된 방정식을 풀어야 한다.

2. 방사효율 계산 및 측정값과의 비교

Fig. 1처럼 한쪽은 공기, 다른 쪽은 물에 접해 있고 주변은 무한 배플에 의해 단순지지된 사각형 평판을 고려하면 지배방정식은 식 (1)과 같이 주어진다.

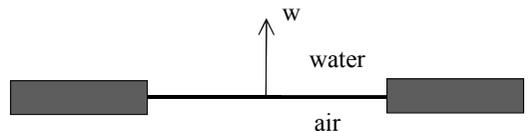
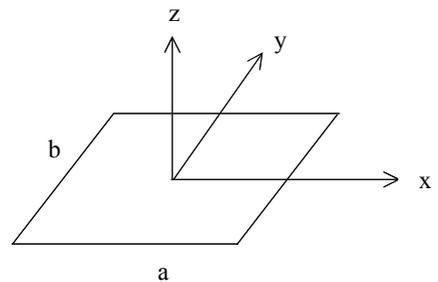


Fig. 1 A baffled plate exposed to air below ($z < 0$) and water above ($z > 0$).

$$D \nabla^4 w + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -p_{z=0} + F_0 \delta(x - x_0, y - y_0) \quad (1)$$

여기서 $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, $m = \rho_p h$

단, E , ρ_p , h 는 판의 탄성계수, 밀도, 두께이며 w 는 판의 변위, p 는 압력, F_0 는 위치 (x_0, y_0) 에 가해지는 집중 힘을 나타낸다. 경계조건은 다음과 같다.

$$\text{At } z=0: \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

여기서 ρ 는 물의 밀도이다. 한편, 물에 방사되는 음파는 파동방정식을 만족한다. 무한 배플에 의해 지지되는 평판의 경우 방사되는 압력은 다음과 같이 Rayleigh 적분으로 표현된다.

† 김현실, 한국기계연구원
E-mail : hskim@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7461, Fax : (042) 868-7440

* 한국기계연구원

$$p = \frac{i\omega\rho}{2\pi} \int_S v_n \frac{e^{-ikR}}{R} dS \quad (2)$$

여기서 $R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2}$.
파워는 다음과 같다.

$$W = \frac{1}{2} \int_S \text{Re}\{p^* v\} dS \quad (3)$$

수중에서 평판의 방사효율은 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma = \frac{W}{\rho c S \langle v^2 \rangle} \quad (4)$$

여기서 $S = ab$, c 는 수중에서의 음파의 전파속도이며 $\langle v^2 \rangle$ 는 속도의 제곱을 평판에 대해 평균한 값이다.

판의 진동변위와 표면에서의 압력 p_0 를 다음과 같이 가정하고

$$w = \sum_m \sum_n A_{mn} \phi_m^x \phi_n^y \quad (5a)$$

$$p_0 = \sum_m \sum_n B_{mn} \phi_m^x \phi_n^y \quad (5b)$$

$$\phi_m^x = \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right), \quad \phi_n^y = \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \quad (5c)$$

식 (5a)-(5c)를 식 (1)-(3)에 대입한 후 $\phi_r^x \phi_s^y$ 를 곱하고 적분하고 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} A_{rs} \frac{ab}{4} \left[D \left[\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right] - m\omega^2 \right] \\ = - \frac{ab}{4} B_{rs} + F_0 \phi_r^x(x_0) \phi_s^y(y_0) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{단, } \frac{ab}{4} B_{rs} = - \frac{\rho\omega^2}{2\pi} \sum_m \sum_n A_{mn} Z_{mnr s}$$

$$\text{여기서 } Z_{mnr s} = \int_S \int_S \phi_m^x \phi_n^y \phi_r^x \phi_s^y \frac{e^{-ikR}}{R} dS dS'$$

$Z_{mnr s}$ 는 radiation impedance matrix이며 방사효율을 계산하는데 가장 중요한 요소이다. 만일 공기중이라면 B_{rs} 를 무시할 수 있지만 수중이라면 반드시 고려해야 한다. 식 (4)의 방사효율은 특정 가진 위치에 대한 것으로 분자와 분모항을 모든 가진 위치에 대해 평균값을 구하여야 물리적으로 의미있는 방사효율이 된다. 공기중이어서 B_{rs} 를 무시하는 경우 Xie 등(Journal of Sound and Vibration, 2005)은 방사효율을 모든 가진 위치에 대해 평균하면 $Z_{mnr s}$ 는 대각선 항만 남게 됨을 보였는데 이는 $m=r, n=s$

에 해당한다. 본 논문에서는 수중인 경우에도 대각선 항이 중요하고 off-diagonal 항의 기여는 서로 상쇄된다는 가정하에 방사효율을 계산하여 기존 측정결과와 비교하였다. 측정시스템은 Fig. 2에 보였으며 판은 강판으로 두께 10mm, 크기는 910 x 1410 mm이며 측정은 8 포인트의 평균값이다. 본 논문에서 가진위치는 (0.4m, 0.5m)이다.

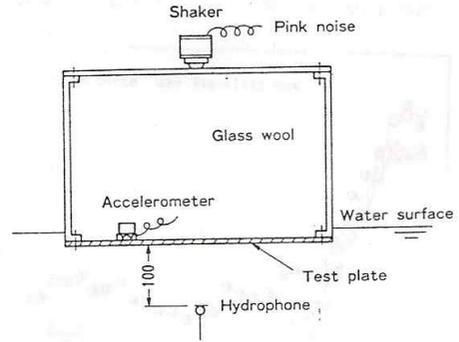


Fig. 2 Measurement system for radiation efficiency (Uchida et al., Bulletin of the Society of Naval Architectures of Japan, 1986)

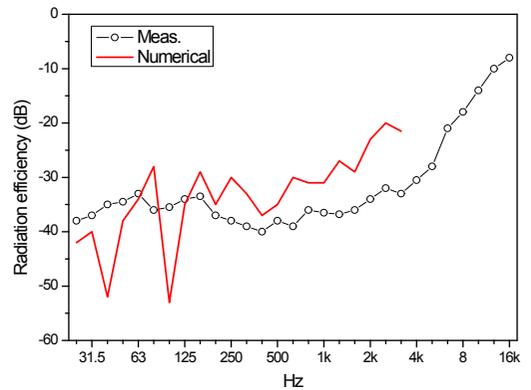


Fig. 3 Comparison of radiation efficiency between measurement and numerical prediction.

3. 결 토

추후 연구에서는 여러 가지 경우에 대해 가진위치를 변화시켜가며 평균한 값을 기존 측정결과와 비교할 예정이며 또한 off-diagonal 항을 포함한 경우도 고려할 예정이다.