

## 공기-물과 접한 평판의 방사효율해석 II

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

김현실† · 김재승\*, 김봉기\*, 김상렬\*, 이성현\*

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

#### 1. 서 론

방사효율(radiation efficiency)은 판과 같은 구조물의 진동으로 인해 소음이 발생하는 현상을 설명하는 가장 중요한 물리적 변수로 한쪽은 물, 다른 쪽은 공기에 접한 직사각형 평판의 방사효율은 선박이나 해양구조물의 수중방사소음해석에 가장 기본적인 정보이다. 2012 춘계학회 발표논문(공기-물과 접한 평판의 방사효율해석)에서는 강체배플지지된 평판에 대해 평판의 거동과 수중 압력이 연동된 지배방정식을 제시하고 모드의 전개를 사용하여 구한 해를 제시하였다. 예제로 크기가 910 x 1410 mm, 두께가 10 mm인 접수 강판의 방사효율을 계산하고 기존 문헌에 제시된 측정값과 비교하였는데 해석시 계산량을 줄이기 위해 대각선 항만 고려하였다. 본 논문은 춘계발표에 이은 후속편으로 대각선 항만 고려한 해와 모든 항을 고려한 해를 비교하였으며 진동은 크로스 모드에서 몇 개 또는 몇 십 개의 처음 모드가 주로 지배한다는 점에 착안하여 전체 매트릭스 식을 푸는 대신 밴드 매트릭스를 풀어 근사적인 결과를 얻는 방법에 대해 기술하였다.

#### 2. 방사효율 계산 및 측정값과의 비교

한쪽은 공기, 다른 쪽은 물에 접해 있고 주변은 무한 배플에 의해 단순지지된 사각형 평판의 크기가

$a \times b$ , 두께가  $h$ 라고 가정하고 방사효율은 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma = \frac{W}{\rho c S <v^2>} \quad (1)$$

여기서  $S=ab$ ,  $c$ 는 수중에서의 음파의 전파속도이며  $<v^2>$ 는 속도의 제곱을 평판에 대해 평균한 값이다. 판의 거동과 수중 음압이 연성된 지배방정식에서 음압에 대한 식을 제거하면 지배방정식은 매트릭스 식으로 다음과 같다.

$$[\mathbf{H}]\vec{A} = \vec{F} \quad (2)$$

벡터  $\vec{A}$ 와  $\vec{F}$ 는 판의 거동과 가진력을 나타내고, 매트릭스  $[\mathbf{H}]$ 의 계수는 다음과 같이 주어진다.

$$m = r, n = s: H_{mnmn} = \frac{S m_p}{4} [\omega_{mn}^2 - \omega^2] - \frac{\rho \omega^2}{2\pi} Z_{mnmn}$$

$$m \neq r \text{ or } n \neq s: H_{mnr s} = -\frac{\rho \omega^2}{2\pi} Z_{mnr s} \quad (3a,b)$$

음향파위와 평균속도  $<v^2>$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$W = \frac{\rho \omega^3}{4\pi} \sum_m \sum_n \sum_r \sum_s A_{mn}^* A_{rs} \text{Re}\{iZ_{mnr s}\} \quad (4)$$

$$<v^2> = \frac{\omega^2}{8} \sum_m \sum_n |A_{mn}|^2 \quad (5)$$

방사효율은 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma = \frac{2k}{\pi S} \frac{\sum_m \sum_n \sum_r \sum_s A_{mn}^* A_{rs} \text{Re}\{iZ_{mnr s}\}}{\sum_m \sum_n |A_{mn}|^2} \quad (6)$$

여기서  $Z_{mnr s}$ 는

$$Z_{mnr s} = \int_0^b \int_0^a \int_0^b \int_0^a \phi_m^x \phi_n^y \phi_r^x \phi_s^y \frac{e^{-ikR}}{R} dx' dy' dx dy \quad (7)$$

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

\* 한국기계연구원

Radiation 임피던스 계수  $Z_{mnrs}$ 는 4중 적분이지만 좌표변환을 이용하면 2중 적분으로 차수를 2단계 낮출 수 있다.  $\sigma$ 의 계산시  $Z_{mnrs}$ 를 구하는데 대단히 많은 시간이 소요되는 것이 가장 큰 단점이다. 음장이나 진동을 모드의 무한 급수의 합으로 전개할 때 각 모드가 최종 값에 대등하게 기여하는 것은 아니며 일반적으로 크기가 작은 공간이나 구조물의 경우 크로스 모드는 초기 몇 개, 또는 몇 십 개의 모드가 전체 레벨을 대부분 결정한다. 따라서 크로스 모드는 처음  $L$ 개의 항만 고려하고 이보다 큰 모드의 기여도는 무시할 수 있으며 이점에 근거하여 식 (2)의 전체 매트릭스 식을 푸는 대신 다음과 같이  $L$ 개의 크로스 모드만 사용하여 반복하여 계산하도록 알고리즘을 고안하였다.

$$A_{mn}^{(j+1)} = \frac{1}{H_{mn}} \left[ F_{mn} + \frac{\rho\omega^2}{2\pi} \sum_{r=1}^L \sum_{s=1}^L Z_{mnrs} A_{rs}^{(j)} \right] \quad (8)$$

Fig. 1에는 크기 910 x 1410 mm, 두께가 10 mm인 접수 강판에 대해 모든 모드를 고려한 방사 효율  $\sigma_{full}$ 과  $L$ 개의 크로스 모드 밴드를 고려한 방사 효율  $\sigma_{band}$ 를  $L=8$ 과  $L=12$  두가지 밴드에 대해 비교하였는데 대략 3000 Hz까지  $\sigma_{full}$ 과  $\sigma_{band}$ 는 잘 일치하며 그 이상부터는 약간의 차이를 보임을 알 수 있다.

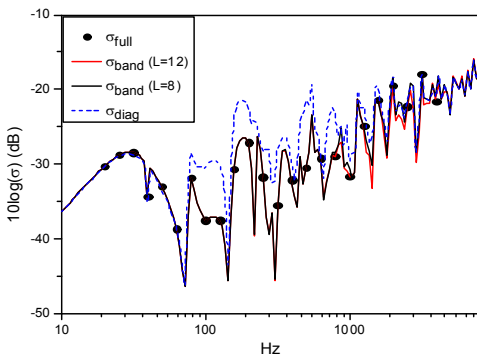


Fig. 1 Comparison of radiation efficiency of a steel plate in water:  $\sigma_{full}$ ,  $\sigma_{band}$ ,  $\sigma_{diag}$   
( $a=1.41$  m,  $b=0.91$  m,  $h=10$  mm)

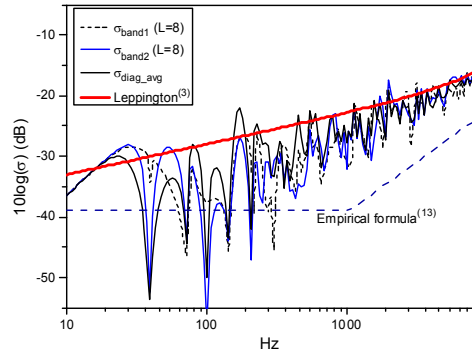


Fig. 2 Comparison of radiation efficiency of a steel plate in water:  $\sigma_{band}$ ,  $\sigma_{diag}$ , empirical formula (Uchida et al., Bulletin of the Society of Naval Architectures of Japan, 1986)

Fig. 2에는 Fig. 1에서 고려한 강판에 대해 대해  $\sigma_{band}$  ( $L=8$ ), 가진위치에 대해 평균한 값  $\sigma_{diag\_avg}$ 과 근사식을 비교하였다.  $\sigma_{band1}$ 과  $\sigma_{band2}$ 는 가진 위치가 각각 (0.7 m, 0.01 m), (0.6 m, 0.35 m)에 해당한다.  $\sigma_{band}$ 와  $\sigma_{diag}$ 는 중간 주파수대역을 제외하고는 대체로 서로 대등하며 근사식은 방사효율을 과장되게 예측함을 알 수 있다. Fig. 2에는 경험식도 비교하였는데 해석결과보다 낮게 예측한다.

### 3. 결 론

수중에 있는 판은 물과 판의 연성거동을 동시에 풀어야만 정확한 방사효율을 구할 수 있는데 이를 위해서는 모든 크로스 모드를 고려해야 한다. 본 논문에서는 판의 거동과 수중 압력은 대각선 항외에 크로스 모드는 초기 몇 개, 또는 몇 십 개의 모드가 전체 레벨을 대부분을 결정하는 점에 착안하여 크로스 모드 일부만 포함하는 밴드 매트릭스를 고려하여도 충분히 정확한 방사효율을 구할 수 있음을 보였다. 또한 주파수가 커지면 대각선 항만 고려한 방사효율은 밴드를 고려한 결과와 대등함을 보였다. 공기중 판에 대해 유도된 근사식에 물의 밀도와 음속을 대입한 결과는 방사효율을 과도하게 예측하지만 오차는 고주파수로 갈수록 작아진다.