

음향원도우 영향을 고려한 방사임피던스의 계산

김정순, 김무준, 김천덕, 하강열
부경대학교

Calculation of Radiation Impedance in Consideration of Acoustic window

JungSoon Kim, MooJoon Kim, ChunDuck Kim and KangLyeol Ha
Pukyong National University, kimmj@pknu.ac.kr

요약

본 연구에서는 방사임피던스의 계산에 있어서, 음향원도우의 물질상수 및 두께의 변화에 따른 영향을 고려하였다. 전송 선로형 등가회로를 방사면과 음향 매질 사이에 삽입함으로써 방사면에서 본 자기 방사임피던스의 변화를 평면 및 곡면 배플에 대하여 계산하고 그 결과를 고찰하였다.

1. 서론

수중음향센서에 대한 방사임피던스의 계산은 수중소나 시스템 등의 설계에 있어서 매우 중요한 사항 중의 하나이다⁽¹⁾. 따라서 이에 대한 연구는 오래 전부터 많은 학자들에 의해 수행되어졌고 그 결과가 보고되어 있다⁽²⁻⁴⁾. 수중음향센서에 있어서 음향원도우의 역할은 주로 외부 충격이나 유체매질로부터의 센서 보호 등이었으며 음향매질인 물과 유사한 음향임피던스를 갖는 물질을 선택하였다. 그러나 최근 광대역 특성을 갖는 수중 소나 시스템의 개발이나 사용주파수에 대한 임피던스정합의 효과를 얻기 위하여 물과 음향임피던스가 상이한 물질을 선택해야 하는 경우가 적지 않으며 이러한 경우에 대한 방사임피던스의 계산이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 음향매질과 상이한 유한 길이의 매질이 진동면과 음향매질사이에 삽입되어 지는 경우에 대하여 배플의 형상을 달리하며 진동면에서 본 방사임피던스의 계산을 수행하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 이론

그림 1에 나타낸 것과 같이 강체 배플에 고정된 음향센서의 방사면에 음향원도우를 접한 한 경우 음향센서의 방사 면으로부터 보는 방사임피던스는 음향매질만 있을 경우와는 달리 원도의 영향을 고려하여야만 한다. 이때 자기 방사임피던스는 그림 2와 같은 등가 모델을 통하여 기존에 계산된 음향매질에 대한 방사임피던스를 이용하여 구할 수 있다. 그림 2에 나타낸 등가 임피던스 Z_1 및 Z_2 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$Z_1 = jZ_{0w} \tan(\omega l / 2v_w), Z_2 = -jZ_{0w} / \sin(\omega l / v_w) \quad (1)$$

여기서 $Z_{0w} = \rho_w v_w S$: 음향원도우 재질의 고유음향임피던스, v_w : 음향원도우 재질의 음속, ρ_w : 음향원도우 재질의 밀도, $\omega = 2\pi f$: 각진동수, l : 음향원도우의 두께, $k_w = \omega / v_w$: 음향원도우에서의 파수.

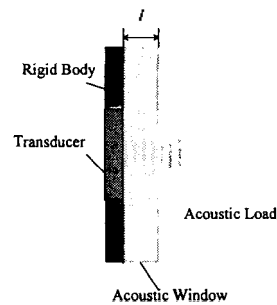


Fig. 1 Transducer with an acoustic window

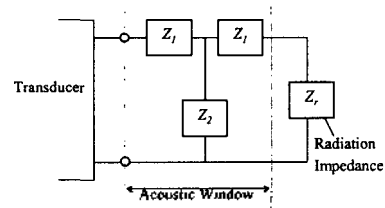


Fig. 2 Equivalent circuit of the acoustic window between a transducer and an acoustic medium

이것을 음향센서의 음향단으로부터 계산된 방사임피던스로 나타내면 그림 3 및 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{rw} = \frac{Z_1^2 + 2Z_1 Z_2 + Z_r(Z_1 + Z_2)}{Z_1 + Z_2 + Z_r} \quad (2)$$

원도우의 감쇠를 고려하지 않는 경우 음향매질의 방사

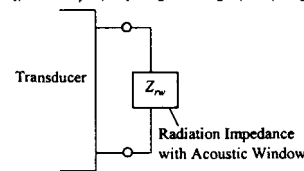


Fig. 3 Radiation impedance with an acoustic window
임피던스는 $Z_r = Z_{re} + jZ_{im}$ 과 같이 실수부와 허수부를 가진다. 또한 규격화된 방사임피던스와의 결함을 위해 음향매질에 대한 물리량을 다음과 같이 두었다.
 $Z_{0a} = \rho_a v_a S$: 음향매질의 고유음향임피던스, v_a : 음향매질의 음속, ρ_a : 음향매질의 밀도, $\omega = 2\pi f$: 각진동수, a : 방사면의 한 변의 길이, $k_a = \omega / v_a$: 음향매질에서의

파수. 즉, $Z_{0w} = Z_{0a} \rho_w v_w / \rho_a v_a$. $Z_{0a} = 1$ 로 규격화한 경우 $Z_{0w} = \rho_w v_w / \rho_a v_a$, $k_w = k_a v_a / v_w$ 이므로 식(1)의 임피던스들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

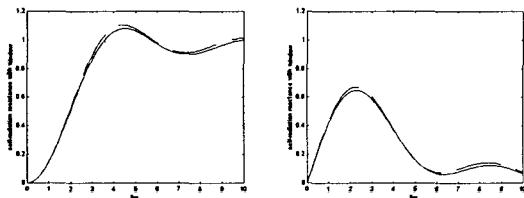
$$Z_1 = j \frac{\rho_w v_w}{\rho_a v_a} \tan \left(\frac{v_a k_a a}{v_w} \frac{l}{2a} \right).$$

$$Z_2 = -j \frac{\rho_w v_w}{\rho_a v_a} \frac{1}{\sin \left(\frac{v_a k_a a}{v_w} \frac{l}{a} \right)}$$

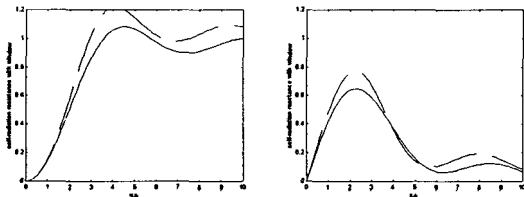
3. 계산결과

음향원도우의 영향을 알아보기 위하여 아래와 같은 조건으로 자기방사임피던스의 결과를 각각의 경우에 대하여 계산하였다. 계산에 사용된 음향원도우의 재질 및 음향매질의 물질상수를 아래 표에 나타내었다.

	음향원도우 폴리우레탄	음향매질 물
밀도 [kg/m ³]	1040	1000
음속 [m/s]	1500	1480



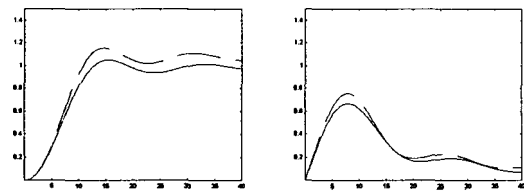
(a) $l/a = 1 \times 10^{-2}$



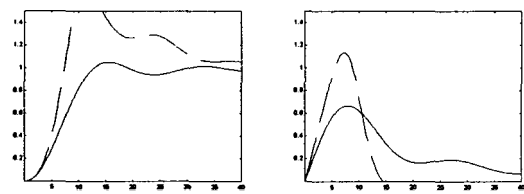
(b) $l/a = 5 \times 10^{-2}$

(b) $l/a = 5 \times 10^{-2}$

Fig.4 Self-radiation impedance by the thickness change of an acoustic window (the fixed sensor on an infinite baffle)



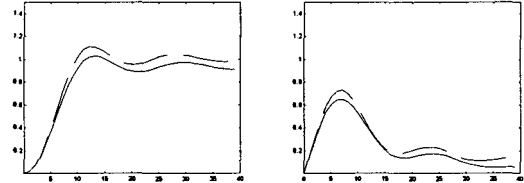
(a) $l/a = 1 \times 10^{-2}$



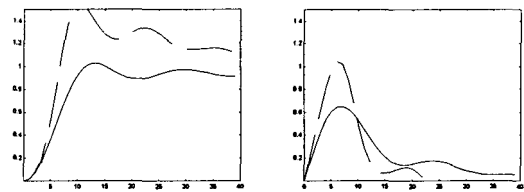
(b) $l/a = 5 \times 10^{-2}$

Fig.5 Self-radiation impedance by the thickness change of an acoustic window (the fixed sensor on a spherical baffle)

그림 4에서 l/a 는 진동자의 한변의 길이 a 와 음향원도우 두께 l 의 비, 그림 5에서는 구의 반경 a 와 음향원도우 두께 l 의 비, 그림 6에서는 원통의 반경 a 와 음향원도우 두께 l 의 비를 각각 나타낸다. 위의 계산에서, 구형과 원통형의 배플에 고정된 센서의 경우 방사면의 크기는 10도로 고정된 경우의 계산결과는 나타나고 있다. 이상의 결과로부터 음향원도우의 두께가 두꺼워짐에 따라 방사임피던스의 값에는 비교적 많은 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었으며 평면 배플의 경우보다는 원



(a) $l/a = 1 \times 10^{-2}$



(b) $l/a = 5 \times 10^{-2}$

Fig.6 Self-radiation impedance by the thickness change of an acoustic window (the fixed sensor on a cylindrical baffle)

통형 배플 및 구형 배플에 고정된 센서의 경우가 매우 큰 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 방사리액턴스의 성분이 큰 $ka=3$ 부근에서의 영향이 크게 나타나는 것은 위상의 변화에 따라 그 변화가 급격한 영역이기 때문으로 생각된다.

4. 결론

수중음향센서의 방사임피던스의 계산에 있어서 음향원도우의 영향을 고려하기 위하여 방사면과 음향매질 사이에 삽입된 윈도우 재질을 전송선로 형 모델을 이용하였다. 진동면에서 본 자기 방사임피던스의 결과는 평면 배플에 고정된 센서의 경우보다 구 및 원통형 배플에 고정된 센서의 경우가 많은 영향을 받음을 확인하였고 음향원도우의 두께 따른 변화도 적지 않음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제안된 해석 모델은 금후 수중 소나 시스템의 설계에 유효하게 사용될 것이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 수중특화연구센터(UA-31) 연구비에 의해 지원 받았음.

참고문헌

- 1) E. M. Arase: J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 36 (1964) 1521.
- 2) M. Kim, C. Kim, and K. Ha: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) 3174.
- 3) J. Lee and I. Seo: J. Sound and Vibration, Vol. 198 (1996) 299.
- 4) A. Miyazaki, S. Miyoshi, T. Yokoyama, and A. Hasegawa: Proceeding of Spring Conference on Acoustics of Japan (2001) 1053.