

배플의 유무에 따른 Tonpiliz형 트랜스듀서의 방사임피던스 변화

이기욱* 김무준** 하강열**
*부경대학교 대학원 음향진동공학과, **부경대학교 물리학과

The Variation of Radiation Impedance in Tonpiliz Type Transducer by Baffle

Gi-Wook Lee* Moo-Joon Kim** Kang-Lyeol Ha**
*Dept. of Acous. & Vib. Eng. in National Pukyong University.
**Dept. of Phys. in National Pukyong University.

I. 서론

음향 센서의 수중 음향방사로 인한 자기방사 임피던스의 연구는 실제 음향 트랜스듀서의 특성 해석에 있어 중요하다^[1-2]. 이러한 방사임피던스는 배플(baffle)의 유무에 따라 차이가 있어, 정확한 방사 임피던스를 고려하기 위해서는 배플의 영향을 무시할 수 없다.

일반적으로 사용되는 음향센서의 방사면은 원형 및 정방형인데 원형방사면을 가진 진동면의 방사임피던스는 무한배플(infinite baffle)이 있는 경우 비교적 많은 연구가 이루어져왔고^[3-4] 또한 배플이 없는 경우에 대해서도 방사임피던스가 계산되어져 있다^[4]. 정방형의 진동면에 대하여는 무한 배플의 경우 많은 계산 결과가 보고되어 있으나^[5-8], 배플이 없는 경우에 대해서는 그 연구가 충분하지 못하다.

따라서 본 연구에서는 정방형의 진동면을 가진 트랜스듀서의 배플이 없는 경우에 대해 방사 임피던스를 측정하고 이에 대한 타당성을 확인하였다.

II. 측정원리

진동자의 음향단자인 진동면이 공기중에 있을 때와 진동면에 진동모드에 영향을 주지 않을 정도의 작은 질량을 부착하였을 때, 그리고 진동면에 수중에 접촉시켰을 때의 공진주파수 부근의 동 어드미턴스를 측정하고 기계적 Q(Quality Factor) 혹은 동 어드미턴스를 측정하면 수중에서의 방사임피던스를 구할 수 있다^[9]. 즉 동 어드

미턴스 로커스의 직경변화로부터 기계임피던스의 저항성분을 구할 수 있고 공진주파수의 변화로부터 리액턴스 성분을 구할 수 있다. 구체적인 방사임피던스를 측정하기 위해 공기, 미소질량, 수중에서의 공진주파수 및 어드미턴스의 상대적 값을 비교하므로써 측정할 수 있다.

등가 스티프네스를 s , 등가질량을 m_0 , 미소질량을 m_k 라 하면 공기중에서의 공진주파수 f_0 와 기계단에 미소질량 m_k 를 추가하였을 때의 공진주파수 f_k 는 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m_0}}, \quad f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m_0 + m_k}} \quad (1)$$

이 두식으로부터 s 를 소거하면 m_0 는 다음과 같다.

$$m_0 = \frac{f_k^2}{f_0^2 - f_k^2} m_k \quad (2)$$

(2)식과 기계적 Q를 이용하면 진동자의 내부손실 r_0 는 다음과 같다.

$$r_0 = \omega_0 \frac{m_0}{Q_0} = \frac{2\pi f_0}{Q_0} \frac{f_k^2}{f_0^2 - f_k^2} m_k \quad (3)$$

또한 공기중에서 여진시킬때와 진동면을 물에 접촉시켜 여진하였을때의 동 어드미턴스 Y_{m0} , Y_m 는 다음과 같다.

$$Y_{m0} = \frac{A^2}{r_0}, \quad Y_m = \frac{A^2}{z_0 + z_x} \quad (4)$$

여기서 A 는 역계수이며 z_0 는 진동자 자체의 기계임

피던스, z_x 는 진동면에서의 물에 대한 방사임피던스이다. 따라서 방사임피던스의 저항성분을 r_x 리액턴스 성분을 jx_x 라 두면

$$z_x = r_x + jx_x \quad (5)$$

이 된다. (2)~(5)식을 이용하여 r_x , jx_x 를 구하면 다음과 같다.

$$r_x = \frac{(Y_{m0} - Y_m)}{Y_m} \frac{2\pi f_0}{Q_0} \frac{f_k^2}{f_0^2 - f_k^2} m_k \quad (6)$$

$$x_x = 2\pi \frac{f_k^2}{f_0^2 - f_k^2} \frac{f_0^2 - f_x^2}{f_x} m_k \quad (7)$$

III. 실험방법

본 실험에 사용된 트랜스듀서는 전면추(head mass)와 후면추(tail mass) 사이에 길이 방향으로 분극처리된 압전세라믹 링 2개가 병렬로 연결되어 있다.

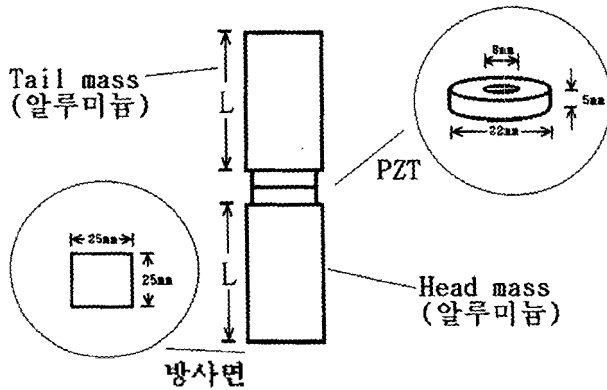


그림 1 사용된 트랜스듀서의 구조

그림1에서 보인바와 같이 전면추와 후면추는 알루미늄으로 제작되었고 사용되어진 세라믹 PZT의 경우 지름이 22mm, 내부에 볼트가 관통하는 8mm의 홈이 있는 두께 5mm의 PZT이다. 그리고 PZT의 물성치는 표1과 같다.

표 1. 세라믹 PZT의 물성치

Density	7500(kg/m ³)
k_{33}	0.72
d_{33}	290×10^{-12} [C/N]
$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$	1300

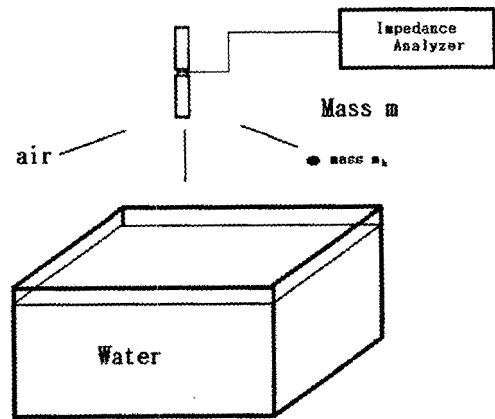


그림 2. 실험장치 구성도

그림 2와 같이 1m×0.8m×0.8m인 수조에 물을 채우고 제작된 정방형 방사면을 가진 트랜스듀서를 임피던스 분석기를 이용하여 특성을 측정하였다. 먼저 공기중에서 측정된 전기 입력 어드미턴스 특성으로부터 Y_{m0} , f_0 , Q 를 각각 측정하였다. 그 후 미소 질량 m_k 를 방사면에 부착한 경우에 대하여 f_k 를 측정하였으며, 부하가 물인 경우에 대하여 Y_m , f_x 를 측정하였다.

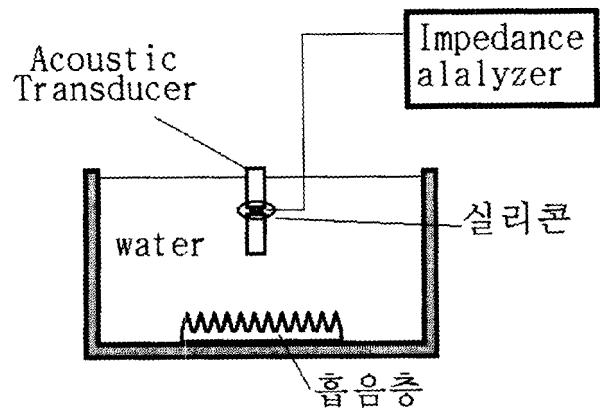


그림 3. 실험 측정원리

그림3과 같이 수중에서의 실험을 고려하여 전극부근은 실리콘으로 수밀 처리하였고, 반사파의 영향을 없애기 위해 수조바닥에는 흡음층을 놓았다. 수중에서 측정할 때 Tail mass쪽의 방사를 없애기 위해 방사면과 Tail mass의 면을 공기중으로 노출시켰고, 수면에 의한 반사의 영향을 줄이기 위해서 head mass의 방사면과 수면을 최대한 멀게하여 측정하였으며 이와 같은 실험을 공진주파수를 달리 하기위해 Head mass, 및 Tail mass의 길이L을 35, 55, 65mm로 달리하며 측정하였다.

IV. 결과 및 고찰

공기, 미소질량을 부가한 경우 및 수중에서 어드미턴스와 공진주파수를 측정 한 결과는 표2와 같다.

표 2. 어드미턴스 측정결과

L	65mm	55mm	35mm
f_0 [kHz]	16.607	18.961	24.261
Q	184	161	158
f_b [kHz]	16.569	18.929	24.252
f_x [kHz]	16.265	18.669	24.184
Y_m [mS]	2.609	2.554	1.886
Y_m [mS]	0.652	0.704	1.011
m_k [g]	5.360		

식(6)과(7)을 이용하여 r_x, jx_x 구한 뒤 ρcS (물의 특성임피던스×방사면적)으로 나누면 각각의 ka (파수×한변의 길이)에서 방사임피던스는 다음과 같다.

$$ka=1.74 \quad r_x=0.211, \quad x_x=0.541$$

$$ka=1.99 \quad r_x=0.328, \quad x_x=0.625$$

$$ka=2.54 \quad r_x=0.644, \quad x_x=0.746$$

정방향 방사면을 가진 진동체의 무한배플에서의 방사 임피던스는 그림4, 5와 같다. 그림4에서 실선은 이론계산 결과로, 무한배플에서 방사임피던스의 실수부를 나타내고 점은 배플이 없는 경우의 측정치를 나타내고 있다. ka 가 작은 영역에서는 무한배플의 경우보다 배플이 없는 경우의 측정치가 더 작은 값이 나타남을 알 수 있다.

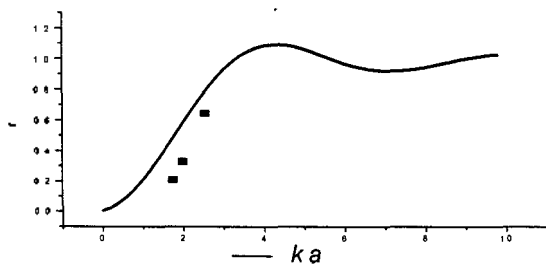


그림 4. 무한배플에서 정방향 방사면의 방사 저항

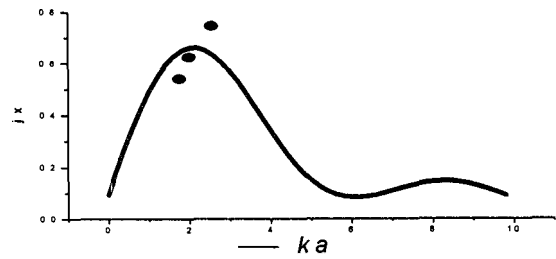


그림 5. 무한배플에서 정방향 방사면의 방사 리액턴스

그림5의 실선은 무한배플에서 방사임피던스의 허수부를 이론적으로 계산한 결과이고 점은 배플이 없는 경우의 측정치를 나타내고 있다. ka 가 1.74일 때는 배플이 없는 경우가 무한배플 있는 경우보다 작은 값을 나타내고 있으나, ka 가 2.54에서는 무한배플의 경우보다 더 큰 값을 나타내고 있다.

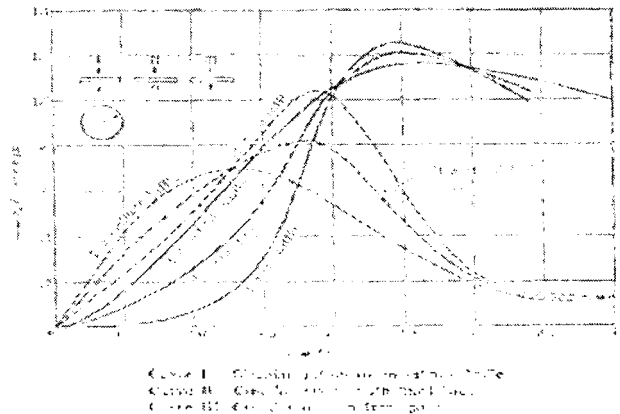


그림 6. 유무한 배플에서 원형 방사면의 방사임피던스

배플의 유무에 따른 방사임피던스의 비교는 방사면이 원형인 경우에 대해서는 계산결과들이 보고 되어 있으나 정방향의 경우 배플이 없는 경우에 대해서는 그 계산이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서의 결과를 방사면이 원형인 경우의 배플의 유무에 따른 경향과 비교해보기로 한다.

그림6은 원형 방사면에 대한 배플의 유무에 따른 방사 임피던스의 변화를 이론적으로 계산한 결과이다. 그림6에서 보인 바와 같이 ka 가 작은 영역(2이하)에서는 배플이 없는 경우가 무한배플인 경우보다 방사임피던스의 실수부가 작은 값을 가지고, ka 가 증가함에 따라 그 차이가 줄어들을 알 수 있다. 허수의 경우에 대해서는 ka 가 1.3보다 작은 경우 배플이 없는 경우가 배플이 있는 경우보다 더 작은 값을 가지나 ka 가 1.3이상 올라감에 따라 배플이 없는 경우가 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이와같은 경향은 정방향 방사면에 대한 결과인 그림4

및 그림5의 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 측정된 결과의 타당성을 확인할 수 있다.

V. 결론

트랜스듀서의 음향 방사특성을 결정하는 중요한 요소 중의 하나인 방사임피던스를 해석하는데 있어, 배플이 없는 경우에 대해 정방형방사면의 방사임피던스를 측정하였다. 측정된 결과를 원형에서 배플이 있는경우와 없는경우에 대해 비교해 본 결과 그 경향이 일치함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. D.G. Tucker and B.K. Gazey, *Applied Underwater Acoustics*, Pergamon Press, 1966.
2. H.A.Schneck, "Improved Integral Formulation for Acoustic Radiation Problems", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 44, No. 1, pp. 41-58, 1968.
3. Kinsler, L. E., Frey, A.R., Coppens, A, B., and Saders, J. V., *Fundamentals of Acoustics*, John Wiley & Sons, New York, 1982.
4. Yoshimitsu K., *ULTRASONIC TRANSDUCERS*, TOKYO UNIV., 1969.
5. Burnett, D. S. and Soroka, W. W., "Tables of Rectangular Piston Radiation Impedance Functions, with Application to Sound Transmission Loss through Deep Apertures", *The Journal of the Acoustical Society of America* Vol. 51(5), pp. 1618-1623, 1972.
6. Moon-Joon Kim, Chun-Duck Kim, "A New Calculation Method for the Radiation Impedance of Transducer with Regular Square Vibrating Surface.", *The Journal of the Acoustical Society of Korea* Vol. 18, pp. 20-26, 1999.
7. Arase, E.M., "Mutual Radiation Impedance of Square and Rectangular Pistons in a Rigid Infinite Baffle," *The Journal of the Acoustical Society of America* Vol. 36(8), pp. 1521-1525, 1964.
8. Levine, H., "On the Radiation Impedance of a Rectangular Piston", *Journal of Sound and Vibration* 89(4), pp. 447-455, 1983.
9. 奥島基良, *超音波技術便覽*, 日刊工業新聞社, pp. 477-479, 東京, 1991.