

정방형 트랜스듀서의 방사임피던스에 의한 특성 변화

이기욱^{*}, 김무준^{**}, 하강열^{**}, 김천덕^{***}

^{*}부경대학교 대학원 음향진동공학과,

^{**}부경대학교 물리학과

^{***}부경대학교 전기·제어계측공학부

The Characteristics Variation of a Square Transducer as the Radiation Impedance

Gi-Wook Lee^{*} Moo-Joon Kim^{**} Kang-Lyeol Ha^{**} Chun-Duck Kim^{***}

^{*}Interdisciplinary Prog. of Acous. & Vib. Eng., Pukyong Nat'l Univ.

^{**}Dept. of Physics, Pukyong Nat'l Univ.

^{***}Faculty of Electrical & Control Eng., Pukyong Nat'l Univ.

E-mail: childlove@hanmail.net

※본 연구는 수중음향특화센터(UARC 00-31) 지원을 받아 수행한 것입니다.

요 약

트랜스듀서의 삽입손실과 임펄스 응답특성 등을 정확히 해석하기 위해서는 대상 주파수 대역에 대한 특성을 알아야한다. 방사임피던스는 주파수의 함수이기 때문에 이러한 특성을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 정방형 방사면을 가지는 트랜스듀서 이용하여, 무한배플에서의 방사임피던스를 고려한 삽입손실을 이론적으로 계산하고 무한배플로 근사할 수 있는 모델을 제작하고, 이를 실험으로 확인한 결과 좋은 일치율을 보이고 있어 본 연구에서 제안한 해석법의 타당성을 확인하였다.

I. 서 론

트랜스듀서는 음파를 이용하여 대상 목표물을 탐지,

추적, 식별하기 위한 센서로서 가장 중요한 설계 사양 중의 하나는 방사 특성이다. 이러한 방사특성은 대상 트랜스듀서의 방사임피던스에 의해 많은 영향을 받게 된다^{[1][2]}. 특히 일정 대역폭에 따른 삽입손실 특성은 트랜스듀서의 임펄스 응답특성을 결정하는 중요한 요인이 되므로 대상 주파수 대역의 정확한 방사임피던스 해석이 요구되어진다. 일반적으로 초음파 영역이나 파장에 비해 큰 방사면을 가진 경우 즉, 파수와 한 변의 길이의 곱이 큰 경우에 대해서는 방사임피던스가 주파수에 대하여 일정한 값을 가지지만 방사면의 한변의 길이가 작거나 사용주파수가 작은 영역에 대해서는 주파수에 따라 복소수의 방사임피던스를 가지게 되며 주파수에 따라라도 큰 변화를 갖는다. 이러한 경우의 예로는 수중소나용 트랜스듀서나 의료진단용 초음파 프로브의 한 요소를 들수 있다.

따라서 본 연구에서는 파수와 한변의 곱이 작은 정방형 방사면을 가진 트랜스듀서에 대해 주파수에 따른 삽

삽손실을 방사임피던스를 고려하여 이론적으로 해석하고 이를 실험적으로 확인하였다.

II. Mason 등가회로에 의한 해석

그림1과 같이 정방향 방사면을 가진 트랜스듀서를 물을 부하로 사용할 경우 그림2과 같이 Mason 등가회로로 나타낼 수 있다^[3].

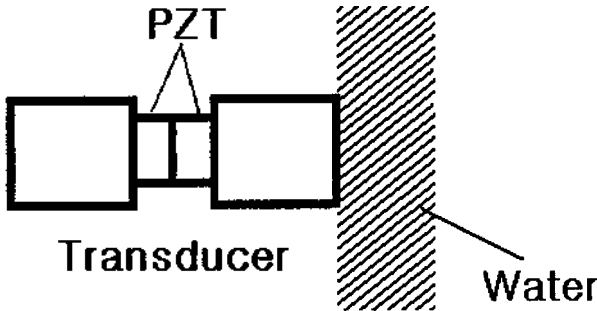


그림 1 트랜스듀서의 구조

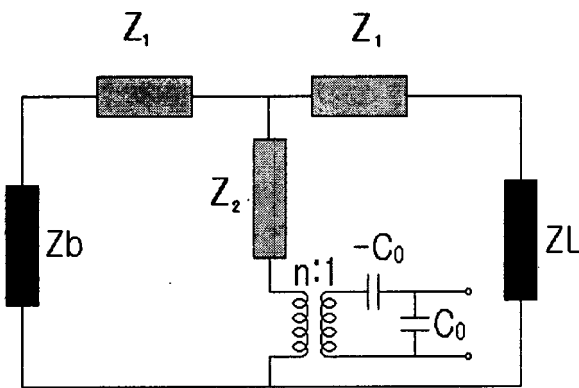


그림 2 Mason 등가회로에 의한 표현

Mason 등가회로는 3개의 단자로 나타내어지는데 하나의 전기단자와 2개의 기계적 단자가 있다. 기계적 단자 중 하나는 압전체 전면의 부하와의 관계를 나타내는데 물을 부하로 사용할 경우 이것은 방사임피던스에 해당한다. 또한 Mason 등가회로의 각각의 요소들은 다음과 같은 값을 갖게 된다.

Z_L = 부하의 음향임피던스,

Z_b = 배면체의 음향임피던스,

Z_0 = 트랜스듀서의 특성임피던스,

C_0 = 트랜스듀서의 제동용량, k_t = 결합계수

A = 방사면적, ϵ^s = 유전율

$$Z_1 = jZ_0 \tan\left(\frac{kd}{2}\right), \quad Z_2 = -j \frac{Z_0}{\sin(kd)}$$

$Z_B=0$ 인 경우 전기단에서 본 입력임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{IN} = \frac{Z_{eq} Z_C}{Z_{eq} + Z_C} \quad (1)$$

여기서 $Z_C = \frac{1}{j\omega C_0}$,

$$Z_{eq3} = \frac{Z_{eq2}}{n^2} - Z_C,$$

$$Z_{eq2} = Z_{eq1} + Z_2,$$

$$Z_{eq1} = \frac{(Z_L + Z_1) Z_1}{(Z_L + Z_1) + Z_1} \text{ 이다.}$$

트랜스듀서에 전원의 내부저항이 50Ω 인 전압 V_{IN} 을 인가하면 Z_L 에 걸리는 전압 V_{OUT} 은 다음과 같다.

$$V_{OUT} = \left(\frac{Z_C}{50 + Z_C}\right) \left(\frac{Z_{eq1}}{Z_{eq3} - Z_C}\right) \times \left(\frac{Z_{eq1}}{Z_{eq1} + Z_2}\right) \left(\frac{Z_L}{Z_L + Z_1}\right) n V_{IN} \quad (2)$$

식(2)에서 Z_L 은 주파수 및 형상에 따라 실수 및 허수 값을 가지게 되는데, 방사임피던스를 고려하여 회로를 해석하면 정확한 삽입손실을 계산할 수 있다.

III. 실험방법

그림3과 같이 $60\text{ cm} \times 90\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ 수조에 트랜스듀서를 수면에 접촉시키고 신호발생기를 이용하여 신호를 트랜스듀서에 인가하였다. 이때 동일한 트랜스듀서를 이용하여 수신된 신호를 디지털오실로스코프로 관찰하였다. 이를 이용하면 삽입손실을 측정할 수 있다.

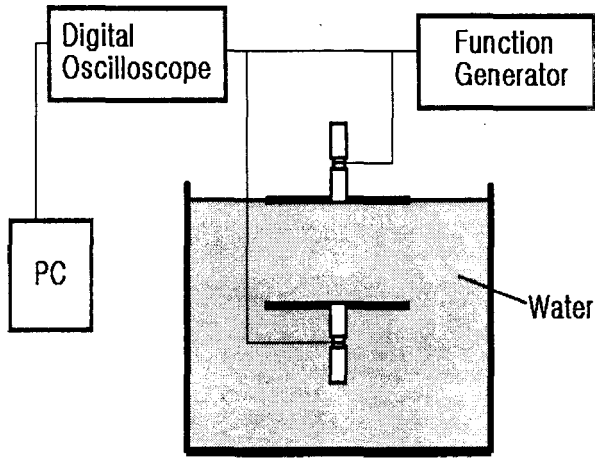


그림 3 실험 장치도

이때 무한배플에서의 방사임피던스를 고려하기 위하여 송신측과 수신측 모두 배플을 놓고 실험하였다. 이때 배플의 모델로는 임피던스가 42[Mrayls]로 비교적 큰 구리를 사용하여 제작하였으며, 그 크기는 가로세로의 길이가 30 cm×15 cm이다. 실험에 사용되어진 트랜스듀서에 사용된 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

IV. 이론적 해석 결과 및 실험결과

정방향 방사면을 가지는 트랜스듀서의 방사임피던스 밀도를 수열에 의한 계산방법^[4]을 이용하여 계산하면 그림4과 같다.

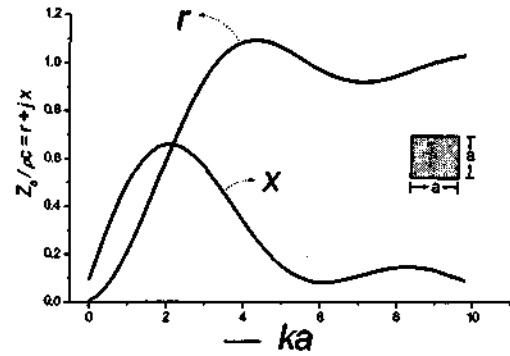


그림 4. 정방향 트랜스듀서의 방사임피던스 밀도

그림4에서 보는바와같이 ka 가 작은 영역에서는 실수값이 작은값을 가지고 허수값이 큰값을 가짐으로 삽입손실 해석시에는 주파수에 따른 방사임피던스 고려가 필요함을 알 수 있다. 따라서 주파수에 따른 방사임피던스 변화를 고려하여 삽입손실을 이론적으로 계산하고 이를 규격화 하여 실험결과와 함께 그림5에 나타내었다.

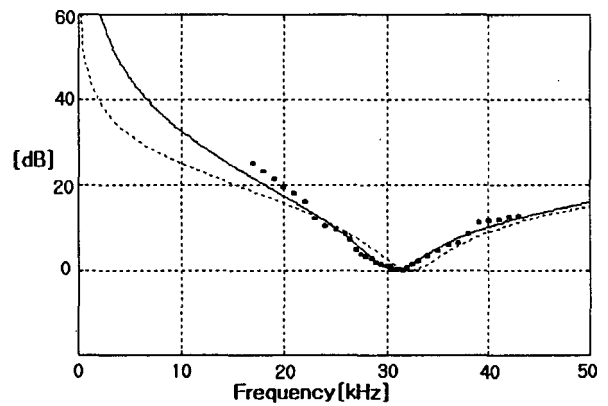


그림 5 삽입손실의 실험 결과와 시뮬레이션 결과

그림5에서 실선으로 나타낸 것은 복소 방사임피던스를 고려한 경우의 삽입손실에 대한 계산결과이고, 고려하지 않는 경우의 결과는 파선으로 나타내었다. 이때 점으로 나타낸 실험결과는 방사임피던스를 고려한 경우와 잘 일치함을 알 수 있다.

이론계산 결과를 보면, 공진 주파수가 방사임피던스를 일정한 값을 대입했을 때보다 주파수에 따른 방사임피

던스를 고려하였을 때가 더 낮은 쪽으로 천이 됨을 알 수 있다. 또한 공진 주파수보다 낮은 영역에서는 손실이 더 큼을 알 수 있다. 이러한 결과는 임펄스 응답의 시간 파형의 결정에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

V. 결 론

무한 배플에 놓인 정방형 방사면을 가진 트랜스듀서에 대해 삽입손실을 이론적으로 해석하고 이것을 실험으로 확인하였다. 이론해석 결과 방사임피던스의 변화가 큰 저주파영역에서 삽입손실의 변화가 크게 나타났고 실험 결과도 이러한 경향과 잘 일치하였다.

참 고 문 헌

1. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sadlers, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, New York, 1982.
2. Yoshimitsu K., Ultrasonic Transducer, Tokyo Univ., Tokyo 1969.
3. V. M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", JOHN WILLEY & Sons, New York, 1983
4. 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 18(1), pp. 20-26, 1999.