

## 압전형 음향변환기의 제작과 음향특성

### Fabrication and Acoustic Characteristics of the Piezoelectric Acoustic Transducer

김현철\*, 고영준\*, 남효덕\*\*, 장호경\*\*\*

(Hyun-Chool Kim\*, Young-Jun Go\*, Hyo-Duk Nam\*\*, Ho-Gyeong Chang\*\*\*)

#### Abstract

In this study, the physical properties of the acoustic element and case with metal-piezoelectric ceramics were analyzed. The dielectric and piezoelectric properties of 0.5 wt% MnO<sub>2</sub> and NiO doped 0.1Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.45PbTiO<sub>3</sub>-0.45PbZrO<sub>3</sub> ceramics were investigated aiming at acoustic transducer applications. The vibration characteristics for the laminated circular plate was analyzed for the various thickness and diameter of the piezoceramic layer and metal layer. Also, the acoustic characteristics for the geometrical form of case have been investigated. The design and fabrication method worked in this paper can be utilized in development of actuator and acoustic device.

**Key Words(중요용어)** : metal-piezoelectric ceramics, acoustic transducer

#### 1. 서론<sup>1)</sup>

최근 전자산업이 급격히 발전됨에 따라 전자부품의 고성능화, 초소형화, 초고주파화 및 고신뢰성 등이 절실하게 요구된다. 전자부품에 대한 이러한 시대적 배경은 재료의 개발과 제조기술의 진보를 통해서 이루어 질 수 있다. 강유전체 세라믹스에서 나타나는 압전효과는 전기기계 결합에너지의 상호변환을 가능하게 한다. 압전 세라믹스를 사용한 응용상품은 초음파기기, 영상기기, 음향기기 그리고 센서등 광범위한 분야에 걸쳐 있다.<sup>1)</sup> 압전세라믹스는 1947년 티탄산바륨 (BaTiO<sub>3</sub>)의 압전성의 발견 이래 연구가 진행되어, 2성분의 PZT계, 또는 3성분의 PCM등과 같은 새로운 압전재료가 많이 개발되고

있다.

압전세라믹스를 이용한 압전음향소자에 관한 연구는 1960년대부터 공중 및 수중에서의 초음파영역에서 응용을 시작하였으나 양산성이나 경제성, 제조성 등에서 다소 어려운 점이 있었다. 최근에는 압전재료의 가공기술 및 제조공정이 크게 향상되어 압전음향소자가 주목을 받게되었다. 이러한 압전음향소자는 분극화된 원형상의 얇은 압전세라믹스재료에 금속의 진동판을 부착시킨 진동기 구조로써 전기음향 변환효율이 우수해서 맑고 깨끗한 음의 발생이 가능하고 작고 가벼우며, 낮은 소비 전력으로도 구동이 가능하기 때문에 최근에는 sounder, 압전부저, 전화기의 송·수화기, 압전 스피커 등의 넓은 분야에 응용되고 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 압전세라믹스와 금속판의 접합으로 이루어진 원형의 음향소자를 고려하였다. 금속판의 종류를 Aluminum, Stainless Steel, Brass로 다양하게 변화시켜가며 지름 및 두께의 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 알아보고, 각각의 금속판에 따른

\* : 영남대학교 대학원 센서 및 시스템공학과

\*\* : 영남대학교 전기전자공학부

(경북 경산시 대동 214-1, Fax: 053-813-8230,

E-Mail : hdnam@yucc.yeungnam.ac.kr)

\*\*\* : 경산대학교 자연과학부

감도지수를 구하였다. 헤름홀츠 공진기를 기초로 음향변환기 케이스의 주파수 방정식을 유도하고 케이스의 높이와 케이스 구멍의 반경에 따른 공진 주파수의 변화를 알아보았다.

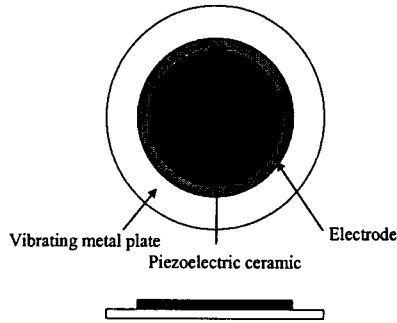


그림 1. 음향소자  
Fig 1. Acoustic element

## 2. 이론 및 수치해석

### 2.1 공진주파수

압전 세라믹스의 진동은 여러 가지의 진동이 있으나, 본 연구에서는 경방향 진동의 진동모드를 가지는 압전 세라믹스를 고려한다. 원형 평판의 압전 세라믹스의 경방향 진동의 공진 주파수 공식은 <sup>3)</sup>

$$f_r^{(n)} = \frac{n_n}{\pi D} \sqrt{\frac{Y_{11}^E}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad (1)$$

이다. 여기서  $\sigma$ ,  $Y_1$ ,  $\rho$ ,  $D$ 는 각각 압전세라믹스의 포아손비, 영률, 밀도 및 직경을 의미한다.  $n_n$ 은 포아(poisson)비를 포함하는 bessel함수의 근이다. 그리고, 경방향진동 압전세라믹스에 금속판이 접합되면 위의 공진주파수식은 다음의 식 (2)와 같이 나타난다.<sup>4,5)</sup>

$$f = \frac{a_m^2 h_1}{2\pi b^2 \beta} \sqrt{\frac{E_1}{3\rho_2(1-\sigma_2^2)} \left(1 - \frac{3}{2}\zeta + \frac{3}{4}\zeta^2\right)} \quad (2)$$

여기서,  $a_m$ 은  $m$ 차 공진에 대한 지지방식의 기준정수이다. 여기서  $\zeta$ 는  $\frac{1-\alpha\beta^2}{1+\alpha\beta}$  이고,  $\alpha$ 는 금속판과 압전 세라믹스의 영률(Young's modulus)비로써  $E_1/E_2$ 이며,  $\beta$ 는 금속판과 압전세라믹스의 두께비로써  $h_1/h_2$ 이다.

### 2.2 감도지수

감도지수는 입력전압에 대한 음향소자의 음압으로

나타난다. 압전세라믹스의 포아손비( $\sigma_1$ )는 0.32이고, 금속진동판의 포아손비도 이와 차이가 거의 없으므로 압전세라믹스와 금속진동판의 포아손비를 같다( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ )고 가정할 수 있다. 이때의 음압은 다음과 같이 나타낸다.

$$P_r = (1-\sigma^2) \left( \beta^2 + \frac{3}{2}\beta\zeta + \frac{3}{4}\zeta^2 \right) \alpha\beta + 2\sigma(1-\sigma) \left( 1 + \frac{3}{2}\zeta + \frac{3}{4}\zeta^2 \right) \quad (3)$$

그리고, 감도지수는 다음과 같이 주어진다.<sup>3),4)</sup>

$$S \equiv \frac{\alpha(1+\beta)^{3/2}\sqrt{\beta}}{1+\alpha\beta} \times \left( \frac{\eta[3+\sigma-\eta^2(1+\sigma)]}{(1+\sigma)P_r + \eta[(1-\sigma)P_r + 2(1-\sigma^2)\left(1 - \frac{3}{2}\zeta + \frac{3}{4}\zeta^2\right)]} \right) \quad (4)$$

### 2.3 음향변환기 케이스

공기와 압전세라믹스와의 음향임피던스는 약 5000 배 정도의 차이가 나므로 큰 음압 레벨을 얻기 위해서는 공진기(resonator)가 필요하다. 이 공진기는 PZT/Metal로 구성된 음향변환소자와 공기층과의 진동경계면상에서 음향임피던스의 정합(matching)을 실현시킴으로써 음압을 증대시켜, 결국 음향변환기의 전기음향변환효율을 배가시키는 목적으로 사용된다. 또한, 진동된 음의 위상을 생각할 때 스피커 소자의 중앙부와 외주부, 및 전면과 이면에서 위상이 180° 다르므로 공기의 진동이 상쇄되어 음이 작게 나타나게된다. 따라서 음을 크게 하기 위해서는 음향변환소자를 적당한 케이스에 넣고 위상이 180° 다른 음을 음향적으로 제거함으로써 위상에 의한 상대성분을 감쇄시키고 케이스에 음향 공동을 만들어 특정주파수의 음압을 높이는 방법을 취하고 있다. 헤름홀츠공진기의 공진주파수는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \times \sqrt{\frac{A_0}{Vl}} \quad (5)$$

헤름홀츠공진기를 기초로 설계한 음향변환기 케이스의 공진주파수는 다음과 같이 나타난다.<sup>4),5)</sup>

$$f_{case} = \frac{C_a}{2\pi} \frac{a_c}{b_c} \sqrt{\frac{1}{h_c(t_c + 1.42 a_c)}} \quad (6)$$

여기서  $C_a$ 는 음속이고,  $a_c$ 는 공동의 반지름,  $b_c$ 는 케이스의 반지름, 그리고  $h_c$ 와  $t_c$ 는 각각 케이스의 높이와 두께이다.

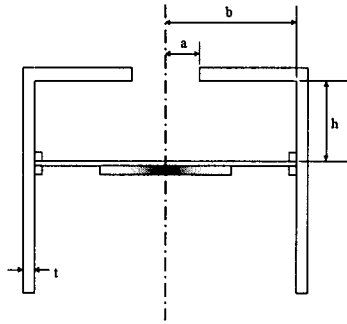


그림 2. 음향변환기 케이스의 구조  
Fig 2. The structure of acoustic transducer cases

### 3. 결과 및 고찰

#### 1. 압전세라믹스의 제작

압전세라믹스는 PZT 계열을 사용하여 조합한 원료를 지르코니아 볼(zirconia ball)과 함께 플라스틱 용기에 넣고 24시간 습식혼합한 후에 건조된 분말을 알루미늄(alumina) 도가니를 사용하여 800℃에서 2시간 하소하였다. 하소한 분말을 2차 볼밀링(ball milling)하고 10wt% PVA(PolyVinyl Alcohol #2000)를 사용하여 과립으로 제조한 다음 1 ton/cm<sup>2</sup> 압력을 가하여 원판형으로 성형하였다. 소결시에 탈지(binder burnout)를 위하여 500℃에서 3시간 유지하고, 1200℃까지 승온한 후에 2시간 정도 유지하였다. 소결된 시편을 연마, 세척하고 양면에 은전극(silver paste)을 스크린 인쇄한 후에 600℃에서 열처리하여 전극을 부착하였다.

본 연구에서 제조된 압전세라믹스의 재료특성은 포아슨비가 0.32, 영률은 8.2×10<sup>10</sup>N/m<sup>2</sup>, 밀도는 7.7×10<sup>3</sup>Kg/m<sup>3</sup>이며, 알루미늄의 재료특성은 포아슨비가 0.34, 영률은 7×10<sup>10</sup>N/m<sup>2</sup>, 밀도는 2.7×10<sup>3</sup>Kg/m<sup>3</sup>이다. 값들을 식(1)에 대입하여 계산하면, 직경에 의한 경방향 공진주파수는 약 200kHz이다.

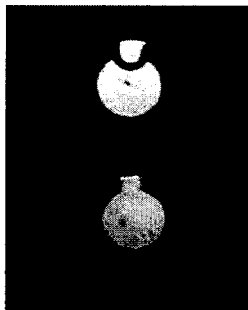


그림 3. 제작된 압전세라믹스  
Fig 3. The piezoceramic

그림 3은 계산한 결과를 적용하여 제작한 압전 세라믹스의 사진이다. 압전세라믹스의 경방향 공진주파수는 204kHz이고 임피던스는 3.8Ω으로 측정되었다.

음향변환소자의 금속판을 Aluminum, Stainless Steel, Brass로 다양하게 변화시키면서 금속판의 두께에 따른 공진주파수를 계산하였다. 그 결과 각각의 금속판의 종류와는 관계없이 금속판의 두께가 증가할수록 공진주파수가 증가함을 알 수 있었다. 이는 식(2)에서 나타나는 금속판과 압세라믹스의 두께의 비인 β가 감소하기 때문이다. 세 종류의 금속판 중 Aluminum이 가장 얇은 두께에서 200kHz의 공진주파수를 나타냄을 확인할 수 있었다.

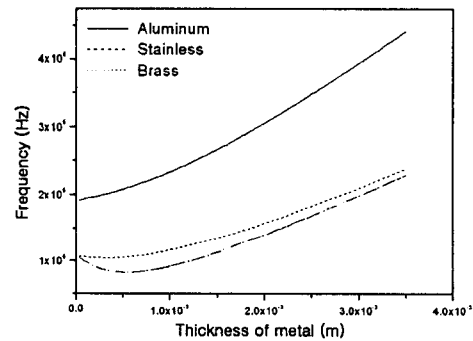


그림 5. 금속진동판의 두께에 따른 고유진동수 분석

Fig. 5 Natural frequency vs. metal thickness for the vibrating metal plates.

그림 6은 금속판의 지름 변화에 따른 압전 음향소자의 감도지수의 변화를 나타낸 것이다. 감도지수는 식 (6)에서와 같이 금속진동판과 압전세라믹스의 반지름의 비인 η 값에 의해 정해진다. 따라서 압전세라믹스의 반지름이 5mm 일 때, 금속진동판의 종류에 따른 압전 음향소자의 감도지수는 그림 6과 같으며, Brass를 진동판으로 사용하였을 때 가장 좋은 감도지수를 나타내었다.

감도지수는 지름의 증가에 따라 급속히 증가하였다가 서서히 감소하는 모양을 나타내었으며, 세 종류의 금속판 중 황동이 가장 좋은 감도지수를 나타내었다. 이는 식 (4)에서의 금속판과 압전세라믹스의 지름의 비인 η 값으로 인한 것이다.

표 1. 200kHz에서의 감도지수

Table 1. Sensitivity Factor of Resonant Frequency 200kHz

	Thickness ratio ( $\beta$ )	Radius ratio ( $\eta$ )	Resonant frequency ( $f_r$ : kHz)	Sensitivity factor (S)
Aluminum	3.86	0.44	200.03	0.92
Brass	0.57	0.69	200.50	1.84
Stainless steel	0.76	0.72	200.05	1.64

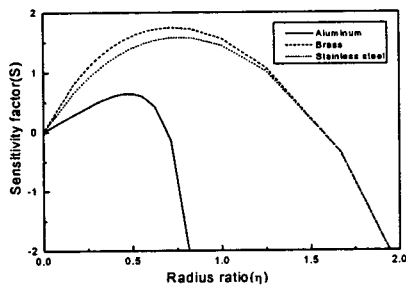


그림 6. 압전발음체 소자의 반경비에 따른 감도지수

Fig. 6 Sensitivity factor of the piezoelectric sounder for the radius ratio.

변환기 케이스의 공진주파수는 케이스의 높이가 높아짐에 따라서는 감소하였으나, 공동의 반지름이 증가함에 따라서는 같이 증가함을 알 수 있었다. 이는 식 (6)에서 나타나듯이 변환기 케이스의 공진주파수가 h의 제곱에는 반비례하고 a의 제곱에는 비례하기 때문이다.

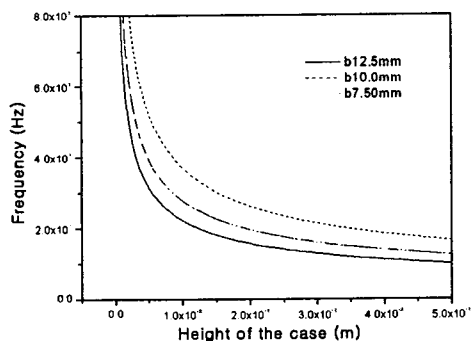


그림 7. 높이에 따른 케이스의 공진주파수

Fig 7. Resonant frequency for the various height of the case

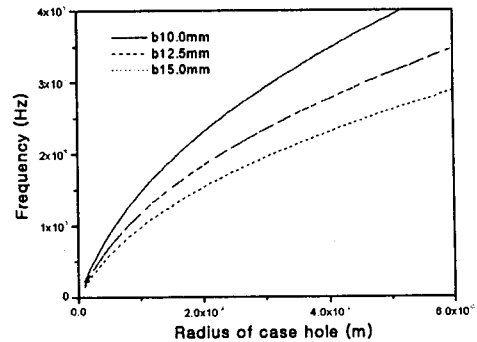


그림 8. 반지름에 따른 케이스의 공진주파수

Fig 8. Resonant frequency for the various radius of case hole

#### 4. 결 론

본 연구에서는 압전형 음향변환기의 음향소자의 금속판을 Aluminum, Stainless Steel, Brass로 변화시켜 각각의 금속의 두께에 따른 공진주파수의 변화를 알아보았다.

압전형 음향소자가 공진주파수 200kHz를 만족할 때 Aluminum, Stainless Steel, Brass의 세 가지 금속 중 감도지수는 Brass가 가장 우수하게 나타났지만, 얇은 두께를 가지고 제작특성이 우수한 Aluminum이 가장 적합한 음향소자로 선정되었다.

또한 음향변환기 케이스의 높이와 공동의 반지름에 따른 공진주파수를 해석해보고, 음향변환기의 케이스 설계를 위해 공진주파수를 계산한 결과 케이스의 높이가 증가함에 따라 공진주파수는 감소함을 확인할 수 있었다. 그리고, 케이스 구멍 반경의 증가에 따라 공진주파수가 증가함을 알 수가 있었다.

#### 참고문헌

- [1] G. Caliano, N. Lamberti, A. Iula & M. Pappalardo, "A piezoelectric bimorph static pressure sensor," Sensor and Actuators A, vol. 46, pp. 176-178 (1995)
- [2] Report of America Technology Coporation, "Introduction to Hypersonic Sound Technology" America Technology Coporation, 1997
- [3] 박창엽, "전기전자용 압전세라믹스", 반도체출판사, 1995
- [4] 當出, 山口, "壓電形 受話器の検討", 通研實報, 第 14卷, 第 4号, 1965
- [5] ニューケラスシリーズ編輯委員會 編, 壓電セラミックスの應用, pp.150-154學廠社,1989