

압전형 음향변환기용 음향소자 및 케이스의 설계

Design of Acoustic Element and Case for the Piezoelectric Acoustic Transducer

김현철*, 고영준*, 박재성**, 남효덕**, 장호경***

(Hyun-chool kim*, Young-Jun Go*, Jae-Sung Park**, 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% MnO₂ and NiO doped 0.1Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.45PbTiO₃-0.45PbZrO₃ 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. 서 론

압전세라믹스는 1947년 티탄산바륨 (BaTiO₃) 의 압전성의 발견이래 연구가 진행되어, 2성분의 PZT 계, 또는 3성분의 PCM등과 같은 새로운 압전재료가 많이 개발되고 있다. 압전세라믹스와 금속의 접합물은 이미 많은 곳에 사용되고 있으며, 특히 초음파 및 각종 진동체의 재료로 광범위 한 부분에 사용되고 있다. 금속-압전세라믹스 복합평판 형태의 구조물은 해군이나 해양공학장치의 전기음향 변환기나 압전진동효과에 의한 초음파 모터에 적용된다. 압전세라믹스의 각종 전기음향 변환소자로 사용은 초기에는 공중 및 수중에서의 초음파영역에서 응용을 시작을 하였으나 곧이어 가청 주파수 영역에도

의 이점으로 압전스피커의 재료로써도 사용되고 있다. 압전세라믹스는 그 자체로만은 음향소자로써의 이용은 힘들지만 압전세라믹스와 금속의 접합물은 음향소자로써 많은 곳에 사용되고 있다.

압전세라믹스를 이용한 압전음향소자에 관한 연구는 1960년대부터 활발히 이루어졌는데, 처음에는 양산성이나 경제성, 제조성 등에서 다소 어려운 점이 있었으나 최근에는 압전재료의 가공기술 및 제조공정이 크게 향상되어 압전음향소자가 더욱 주목을 받게되었다. 이러한 압전음향소자는 분극화된 원형상의 얇은 압전세라믹스재료에 금속의 진동판을 부착시킨 진동기 구조로써 전기음향변환효율이 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.¹⁾

본 연구에서는 압전세라믹스와 금속판의 접합으로 이루어진 원형의 음향소자를 고려하였다. 이 음향소자의 진동운동방정식을 유도하고, 접합시킨 금

* : 영남대학교 대학원 센서 및 시스템공학과

** : 영남대학교 전기전자공학부

(경북 경산시 대동 214-1, Fax: 053-813-8230,

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

*** : 경산대학교 자연과학부

속판의 종류를 Aluminum, Stainless Steel, Brass로 다양하게 변화시켜가며 지름 및 두께의 변화에 따른 공진주파수의 변화를 알아보고, 각각의 금속판에 따른 감도지수를 구하였다. 헤름홀츠 공진기를 기초로 음향변환기 케이스의 주파수 방정식을 유도하고 케이스의 높이와 케이스 구멍의 반경에 따른 공진주파수의 변화를 알아보았다.

2. 이론 및 수치해석

음향소자로 사용되는 압전세라믹에는 고유전율, 높은 전기기계 결합계수, 적절한 전기회로와의 임피던스 정합, 그리고 안정된 물질특성을 가진 PZT계열을 사용하였다. 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/cm² 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. 측정에 사용된 시편은 직경이 10mm, 두께는 1mm이다.

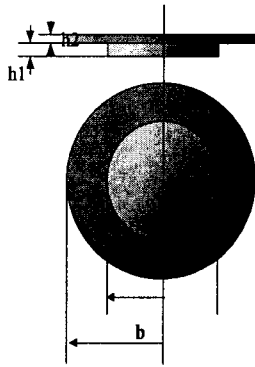


그림 1. 음향소자
Fig.1. Acoustic element

2.1 공진주파수

압전 세라믹스의 진동은 여러 가지의 진동이 있으나, 본 연구에서는 경방향 진동의 진동모드를 가

지는 압전 세라믹스를 고려한다. 원형 평판의 압전 세라믹스의 경방향 진동의 공진 주파수 공식은²⁾

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

이다. 여기서 σ , Y_i , ρ , 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.^{3),5)}

$$f = \frac{a_m^2 h_1}{2\pi b^2 \beta} \sqrt{\frac{E_1}{3\rho_{21}(1-\sigma_2^2)} \left(1 - \frac{3}{2}\zeta + \frac{3}{4}\zeta^2\right)} \quad (2)$$

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

표 1. 금속판과 압전체의 물성

Table 1. Properties of metal plates and piezoceramic

	Density (Kg/m ³)	Young's modulus (N/m ² ×10 ¹⁰)	Poisson
Piezoceramic	7,700	8.2	0.32
Aluminum	2,690	7.0	0.34
Stainless steel	7,900	19.0	0.30
Brass	8,390	10.1	0.35

표 2. 지지방식에 의한 주파수 정수

Table 2. The value of frequency with respect to support type

Frequency constant	Nodal mount	Circumferential support	Circumferential fix
a ₁	2.22	3.00	3.20
a ₂	5.45	6.20	6.31
a ₃	8.61	12.52	9.43

2.2 감도지수

감도지수는 입력전압에 대한 음향소자의 음압으

로 나타난다. 압전세라믹스의 포아슨비(σ_1)는 0.32 이고, 금속진동판의 포아슨비도 이와 차이가 거의 없으므로 압전세라믹스와 금속진동판의 포아슨비를 같다($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$)고 가정할 수 있다. 이때의 음압은 다음식으로 나타난다.

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

그리고, 감도지수는 다음과 같이 주어진다.^{3),4)}

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

2.3 음향변환기 케이스

압전음향소자만으로는 음압이 대단히 적으므로 이를 보상하기 위하여 케이스에 음향공동을 만들어 특정주파수의 음압을 높여줄 필요가 있다. 헬름홀츠 공진기의 공진주파수는 다음과 같다.

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

음향변환기 케이스의 공진주파수는 다음과 같이 나타난다.^{3),5)}

$$f_{case} = \frac{C_a}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi a^2}{(16 a / 2\pi + l) b^2 \pi h}} \quad (6)$$

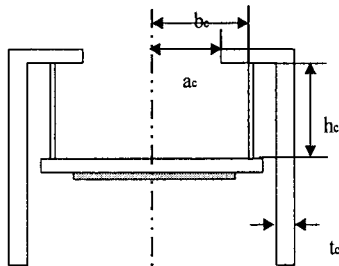


그림 2. 음향변환기 케이스의 구조

Fig. 2. The structure of acoustic transducer cases

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제조된 압전세라믹스의 재료특성은 포아슨비가 0.32, 영률은 $8.2 \times 10^{10} \text{N/m}^2$, 밀도는 $7.7 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$ 이며, 알루미늄의 재료특성은 포아슨비가 0.34, 영률은 $7 \times 10^{10} \text{N/m}^2$, 밀도는 $2.7 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$ 이다. 값들을 식(1)에 대입하여 계산하면, 직경에 의한 경방향 공진주파수는 약 200kHz이다. 설계된 규격에 따라 제작된 압전소자를 택하여 임피던스 분석기를 이용하여 소자의 임피던스 특성을 측정하여 그림 (3)으로 나타내었다. 압전세라믹스의 경방향 공진주파수는 204kHz이고 임피던스는 3.8Ω 으로 측정되었다.

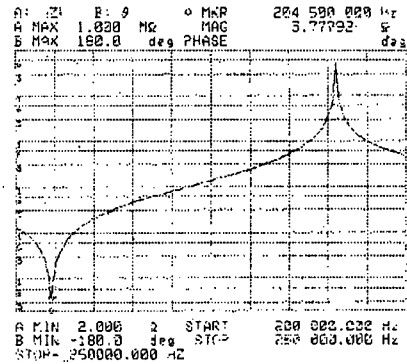


그림 3. 압전소자의 임피던스 특성

Fig. 3. Impedance characteristic of the piezoelectric ceramics

음향변환소자의 금속판을 알루미늄, 황동, 스테인리스로 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 압전세라믹스의 두께의 비인 β 가 감소하기 때문이다. 세 종류의 금속판 중 알루미늄이 가장 얇은 두께에서 200kHz의 공진주파수를 나타냄을 확인할 수 있었다.

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.

변환기 케이스의 공진주파수는 케이스의 높이가 높아짐에 따라서는 감소하였으나, 공동의 반지름이 증가함에 따라서는 같이 증가함을 알 수 있었다. 이는 식 (6)에서 나타나듯이 변환기 케이스의 공진주

파수가 h의 제곱에는 반비례하고 a의 제곱에는 비례하기 때문이다.

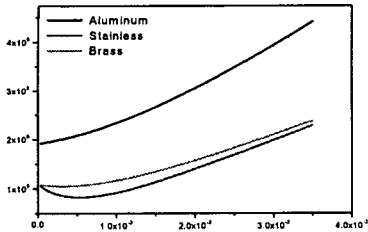


그림 4. 음향소자의 주파수변화
Fig 4. The frequency of acoustic element

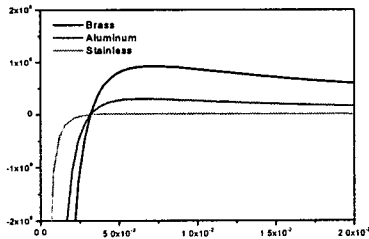


그림 5. 감도지수
Fig 5. The sensitivity factor

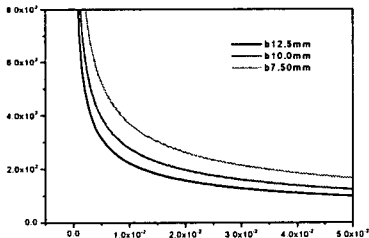


그림 6. 높이에 따른 케이스의 공진주파수
Fig 6. Resonant frequency for the various height of the case

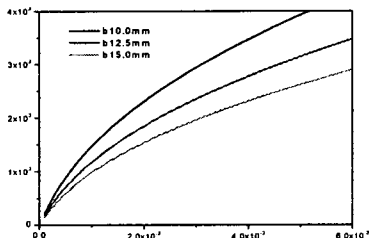


그림 7. 반지름에 따른 케이스의 공진주파수
Fig 7. Resonant frequency for the various

radius of case hole

4. 결 론

본 연구에서는 압전형 음향변환기의 음향소자의 금속판을 알루미늄, 황동, 스테인리스로 변화시켜 각각의 금속의 두께에 따른 공진주파수의 변화를 알아보았다.

압전형 음향소자가 공진주파수 200kHz를 만족할 때 알루미늄, 황동, 스테인리스의 세 가지 금속 중 감도지수는 황동이 가장 우수하게 나타났지만, 얇은 두께를 가지고 제작특성이 우수한 알루미늄이 가장 적합한 음향소자로 선정되었다.

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

참고문헌

- [1] Report of America Technology Coporation, "Introduction to Hypersonic Sound Technology" America Technology Coporation, 1997
- [2] 박창엽, "전기전자용 압전세라믹스", 반도체출판사, 1995
- [3] 당출, 山口, "壓電形 受話器의 檢討", 通研實報, 第 14卷, 第 4号, 1965
- [4] ニューケラスシリーズ編輯委員會 編, 壓電セラミックス의 應用, pp.150-154學廠社, 1989
- [5] 당출, 山口, "壓電形 受話器", 通研實報, 第 8卷, 第 7号, 1959