

압전팬의 제작과 평가

김대영, 최재업*, 정수태
부경대학교 전자공학과, 이노소닉*

Fabrication and evaluation of a piezoelectric fan

Dae-Young Kim, Jae-Eup Choi*, and Su-Tae Chung
Bukyong National Univ., Inosonic*

Abstract

Piezoelectric ceramics were made by a doctor blade method and piezoelectric fans were fabricated by sandwiched a slim and long metal between two layers of ceramics. A maximum displacement of piezoelectric fan occurs in the resonance frequency of a long metal and the resonance frequency of them is in inverse proportion to the square of a length of metal. The piezoelectric fan made from a wide and thin piezoelectric ceramics($13 \times 0.2 \times 30 \text{mm}^3$) showed a maximum displacement in all samples, and the maximum displacement was about 20mm in a commercial power (200V, 60Hz of sine wave).

Key Words : Piezoelectric fan, Doctor blade method, Displacement

1. 서 론

압전팬은 압전세라믹스를 두개 붙여서 전압을 인가함에 따라서 시편의 휘어짐을 이용한 bimorph 소자이며, 일단고정 bimorph의 굴곡 진동을 이용한 부채와 같다[1,2]. 이것은 모타 구동의 선풍기에 비하여 구조가 매우 간단하고, 장시간 구동에 의한 손실이 매우 적다. 그러나 기계적으로 그 크기가 제한되므로 대용량의 바람을 이용하는 곳에는 적합하지 않지만, 구동부에 자기적인 회로가 없으므로 전자파 유도장애가 없는 것이 가장 큰 장점이다. 압전팬이 세라믹스 사이에 존재하는 금속편의 진동을 이용한 것이므로 본 실험에서는 인가되는 전원의 전압 및 주파수에 대한 금속편의 변위 길이를 검토하였다. 그리고 220V, 60Hz의 가정용 전원에 주파수 변환기나 증폭기 또는 변압기 등의 보조장치 없이 작동하는 압전팬을 제작하고 압전세라믹스의 두께와 폭 그리고 금속편의 두께에 대한 변위특성을 비교하였다.

2. 실험

2.1 압전세라믹스의 제조

압전세라믹을 제조하는데 있어서의 조성은

$0.5[\text{Pb}(\text{Zr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6})\text{O}_3] + 0.25[\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3] + 0.25[\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3]$ (0.5PZT+0.25PNN+0.25PZN)을 기본으로 하고 조성비에 의해 물질의 양을 결정하였다. 먼저 ABO_3 구조의 B site에 해당하는 산화물 ZrO_2 , TiO_2 , $\text{NNO}(\text{NiNb}_2\text{O}_6)$, $\text{ZNO}(\text{ZnNb}_2\text{O}_6)$ 를 습식 혼합과정을 통해 950°C에서 3시간 하소하였다. 이러한 분말에 A site에 해당하는 PbO 를 1.03mol(0.03mol 과잉) 혼합하였다. 혼합된 분말은 800°C에서 2시간 하소하고 분말의 결정 크기가 일정하고 미세하도록 하기 위해 습식 혼합을 다시 행하였다.

이렇게 제작된 분말을 사용하여 slurry를 제작하였다. 사용된 solvent는 ethanol와 toluene를 혼합하여 사용했고, 분산제는 Empos PS-21A(1wt%), 결합제는 PVB(6wt%), 가소제는 Polyethylen glycol 400(2wt%)과 Dibutyl phthalate(2wt%)를 무게비로 환산하여 사용하였다. 균일한 slurry를 얻기 위한 제조 공정은 다음과 같다. 직경 15mm인 ZrO_2 ball(3ea)과 PZT분말, 분산제 및 용매를 polyethylene 용기에 담아 워싱턴((Pulverisett 6, FRITSCH)를 사용하여 250rpm, 1시간 혼합하고 다시 결합제와 가소제를 넣어 250rpm, 1시간 혼합하였다. 이러한 slurry를 SiO_2 가 코팅된 film위에 doctor blade 방법으로 tape casting하고 실온에서

건조하여 원하는 두께를 가진 green sheet를 얻었다. 건조된 green sheet를 폭(10, 15, 20, 25mm)×길이(40mm)로 잘라 소결(1000℃, 2시간)하였다. 표 1은 압전세라믹스의 압전특성을 나타낸 것이다.

표 1. 압전세라믹스의 압전특성.

Density (10^3kg/m^3)	7.43
Young's modulus (10^{10}N/m)	5.76
Curie point ($^{\circ}\text{C}$)	210
Mechanical Q	73.5
Dielectric constant	1490
Dielectric loss (1kHz)	0.02
k_{31}	0.37
k_p	0.54
d_{31} (10^{-12}m/V)	-176

2.2 압전팬의 제작 및 측정

두 세라믹스 사이에 0.1mm 또는 0.5mm의 인칭동을 삽입하여 압전팬을 제작하고 인가되는 전원의 전압 및 주파수에 대한 금속편의 변위 길이를 검토하였다. 그리고 220V, 60Hz에 있어서 압전팬의 변위특성을 비교하였다.

압전팬의 구성은 그림 1과 같이 두 부분(압전세라믹스, 진동편)으로 되어 있고, 이것을 한단에서 지지하고 있다. 여기에 전원을 연결하면 진동편이 진동을 하여 바람이 일어나는 부채와 같이 된다. 그림 2는 각각의 압전팬 치수를 나타낸 것이고, 표 2는 제작된 압전팬의 사양과 변위를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

압전팬은 압전세라믹스와 금속진동편의 진동을 이용한 것이다. 압전세라믹스가 진동하는 경우는 압전세라믹스가 쉽게 파손되거나 성능이 감쇄되어 바람직하지 않다. 그래서 진동편의 끝단만 진동하도록 공진주파수를 적절하게 선택하여야 한다. 압전팬의 풍량은 공진시에 최대의 풍량이 얻어지므로 금속진동편의 길이를 결정하는 것은 매우 중요하다. 한쪽편을 고정하고 다른편을 진동시켰을 때 진동편의 공진주파수, f_r 은 다음 식과 같다[2].

$$f_r = K \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{Y}{12\rho(1-\sigma^2)}} \quad \text{----- (1)}$$

여기서 t , l , ρ , σ , Y 는 각각 진동편의 두께, 길이, 밀도, 포아손비 및 탄성율이다. 그리고 K 는 비

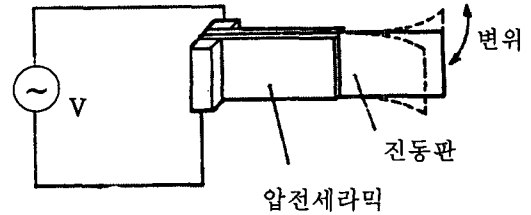


그림 1. 압전팬의 구조.

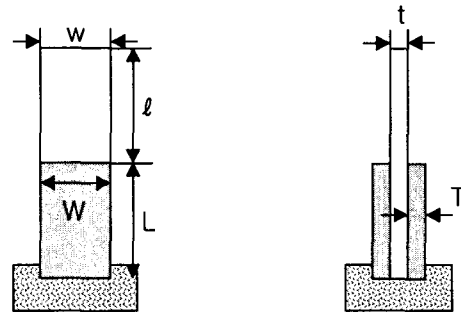


그림 2. 압전팬의 치수.

표 2. 압전팬의 사양과 변위 (전압 200V, [mm]).

Sample	T	L	W	t	l	w	x (변위)
S-1	0.2	30	13	0.1	31	13	22
S-2	0.2	30	13	0.05	28	13	14.5
S-3	0.32	30	13	0.1	31	13	12
S-4	0.2	30	8	0.1	25	8	11.2

례상수로써 이상적인 진동체는 $\pi/8$ (약 0.4)이나 그 형태에 따라서 다르다. 본 실험에 사용한 인칭동의 사양은 $t=0.1\text{mm}$, $\rho=8800\text{kg/m}^3$, $\sigma=0.33$ 그리고 $Y=107.8\text{nN/m}^2$ 이다. 이 값들을 식 (1)에 대입하면 다음 식과 같다.

$$f_r l^2 = 0.1066 K \quad \text{----- (2)}$$

즉 공진주파수와 진동편의 길이의 제곱은 일정하므로 서로 반비례적인 관계가 성립한다. 그림 3은 전원을 200V로 고정하고 금속 진동편의 공진주파수와 길이의 제곱을 나타낸 것으로 식 (2)와 같이 공진주파수와 길이의 제곱은 서로 반비례함을 나타내었고, 계산된 K 의 값은 약 0.54임을 알 수 있다. 이 값은 이상적인 진동체의 0.4 보다는 큰 값이지만 이론적으로 잘 성립함을 알 수 있고, 이러한 결과는 진동편의 폭(본 실험에서는 8mm와

13mm)에서는 큰 차이가 없었다. 그러므로 그림 3에서 60Hz의 전원주파수에 가장 적합한 금속편의 길이는 30mm이다.

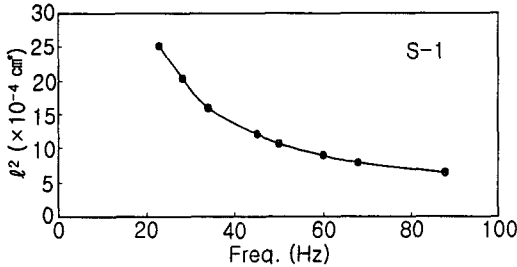


그림 3. 주파수와 동판의 길이(ℓ).

그림 4는 금속편의 길이가 30mm인 압전팬의 전원주파수 변화에 대한 진동편의 변위와 소비전력을 나타낸 것이다. 진동편의 변위는 60Hz에서 최대를 나타내었으며, 그 형태는 거의 대칭성을 보였다. 그러나 변위가 주파수에 매우 민감함을 나타내었다. 한편 소비전력은 주파수에는 큰 차이가 없음을 나타내었다. 이것은 압전팬이 금속편의 자유진동을 이용하기 때문에 금속편의 변위와는 무관하다.

그림 5는 전원전압에 대한 변위를 나타낸 것이다. 정지된 상태에서 전원전압을 증가시키면 약 100V까지는 매우 약하게 진동하다가 그 이상의 전압에서는 급격히 변위가 증가하고 175V 이상에서는 그 증가폭이 둔화되었다. 또한 진동을 하고 있는 중에 전원전압을 서서히 줄이면 변위는 그림과 같이 히스테리시스 현상을 나타내었고, 이것은 진동편의 관성에 의한 것으로 생각된다. 그리고 100V에서 변위가 급격히 증가하는 이유를 알아보자. 압전체에 나타나는 굽힘힘(bending force)은 다음과 같다[2].

$$F = \frac{3W T d_{31} V Y_c}{2L} \quad \text{----- (3)}$$

여기서 W, T, d_{31} , Y_c , L은 압전세라믹스의 폭, 두께, 압전상수, 탄성을 및 길이이고, V는 인가전압이다. 그러므로 식 (3)의 결과에서 변위의 폭은 인가전압에 따라서 비례관계가 성립하여야 한다. 그러나 압전상수 d_{31} 은 세라믹스의 항전계(600V/mm) 이상의 전계에서 급격히 증가하므로 진동체에 가해지는 힘이 급격히 증가하기 때문에 변위가 증가한다[3].

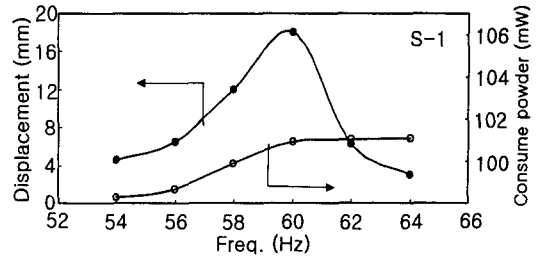


그림 4. 주파수에 따른 변위와 전력.
(V=200V, T=0.2mm, W=13mm, t=0.1mm, L=30mm)

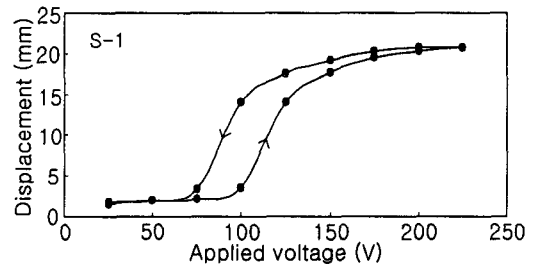


그림 5. 전압의 상승 및 하강에서의 변위.

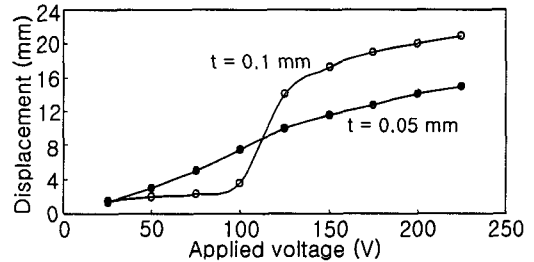


그림 6. 금속편의 두께에 대한 변위.

그림 6은 금속편의 두께에 대한 변위특성을 나타낸 것이다. 금속편의 두께 $t=0.05\text{mm}$ 의 압전 팬은 인가전압의 증가에 따라서 비례적으로 증가함을 보였으나, $t=0.1\text{mm}$ 의 팬은 비선형적으로 나타났다. 이러한 이유는 두꺼운 금속편이 얇은 금속편에 비하여 관성에너지가 크기 때문이다. 그리고 인가전압이 200V일 때 금속편의 변위는 $t=0.1\text{mm}$ 인 팬이 $t=0.05\text{mm}$ 인 팬보다 약 33% 증가한 20mm를 나타내었다. 이러한 차이는 진동편의 두께가 얇으면 길이가 상대적으로 짧아지기 때문에 동일한 에너지를 가하여도 진동편의 변위가 감소한다고 생

각된다. 한편 압전팬의 풍량은 다음 식과 같다[4].

$$Q = k f x^{1.4} l^{1.6} \quad \text{-----(4)}$$

여기서 k 는 비례상수, f 는 진원주파수, x 는 변위, l 은 진동편의 길이이다. 따라서 압전팬의 풍량을 크게 얻기 위해서는 변위가 크고 금속편이 길이 $t=0.1\text{mm}$ 인 것이 좋을 수 있다.

그림 7은 금속편의 폭에 대한 변위특성을 나타낸 것이다. (여기서 세라믹도 역시 금속편의 폭에 따라서 변화시켰음) 폭 $w=8\text{mm}$ 인 팬은 $w=13\text{mm}$ 인 팬보다 비교적 낮은 인가전압에서 변위량이 큰 반면에 200V의 전압에서는 오히려 $w=13\text{mm}$ 인 팬이 약 160% 증가함을 보였다. 이것은 금속편의 굽힘힘이 식 (2)에서와 같이 세라믹스의 폭에 비례하므로 폭이 넓은 팬이 좁은 팬보다 굽힘힘이 약 160%($13/8=1.62$) 증가하였기 때문이다. 따라서 압전세라믹스의 폭이 넓을수록 변위가 큰 것을 알 수 있다. 그러나 압전세라믹스의 폭이 길이에 대하여 넓어지면 길이방향의 진동이 일그러질 것으로 생각되며, 이에 대한 연구가 수행되어야 한다.

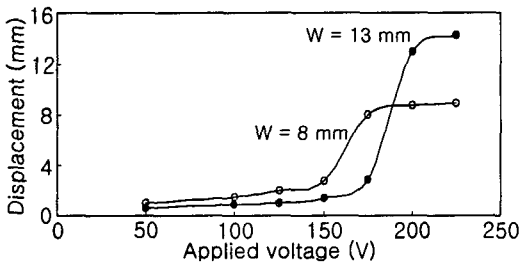


그림 7. 압전세라믹의 폭에 대한 변위.

그림 8은 압전세라믹스의 두께에 대한 변위특성을 나타낸 것이다. 압전세라믹스의 두께 $T=0.2\text{mm}$ 인 팬은 인가전압이 약 125V에서 변위량이 크게 증가하였고, 200V에서는 그 변위량이 20mm였다. 그러나 $T=0.32\text{mm}$ 인 팬은 약 180V에서 변위량이 크게 증가하였으며, 그 변위량은 200V에서 12.5mm였다. 변위량이 크게 증가하는 임계전압이 $T=0.32\text{mm}$ 인 팬 보다 $T=0.2\text{mm}$ 인 팬이 작은 것은 압전세라믹스에 가해지는 전계가 작기 때문이다. 그리고 압전세라믹스에 인가되는 전계의 차이에 대한 압전세라믹스의 굽힘력(식2) 때문에 두께가 얇은 세라믹스가 큰 변위를 나타냄을 알 수 있다.

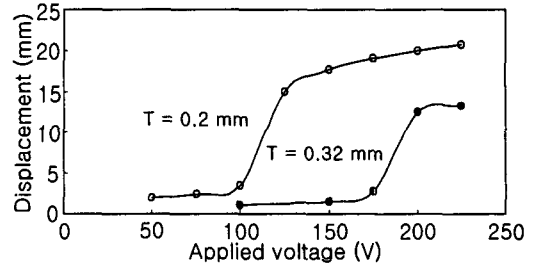


그림 8. 압전세라믹의 두께에 대한 변위.

4. 결론

다터브레이드 방법으로 만든 판상의 두 압전세라믹스 사이에 얇은 금속판을 삽입하여 압전팬을 제작하였다. 압전팬의 변위는 금속편의 공진특성을 이용한 것으로 공진주파수는 금속편 길이의 제곱에 반비례하였다. 그리고 압전세라믹스의 폭이 넓고, 두께가 얇은 압전팬이 큰 변위를 나타내었다. 200V, 60Hz의 정현파에서 압전세라믹스의 규격이 $13 \times 0.2 \times 30\text{mm}^3$ 일 때 압전 팬의 변위는 20mm를 나타내었다.

참고 문헌

- [1] T. Ogawa, A. Ando and K. Wakino, "Electrostrictive properties of monolithic bimorphous actuator", *Ferroelectrics*, Vol. 68, p. 249-256, 1986.
- [2] J. H. Yoo, J. H. Hong and W. Cao, "Piezoelectric ceramic bimorph coupled to thin metal plate as cooling fan for electronic devices", *Sensor and Actuators*, Vol. 79, p. 8-12, 2000.
- [3] 정수태, 남효덕, 조상희, "PNN-PZ-PT계 세라믹스의 압전변위특성", *한국요업학회지*, Vol. 26, No. 6, p. 802-810, 1989.
- [4] New glass series 편집위원회, "압전세라믹스의 응용", 학현사, p. 68-80, 1986.