

## 에너지 절약형 압전팬의 특성에 관한 연구

### A Study on the Properties of Piezoelectric Fan with Energy- Saving

류 주현, 홍 재일\*

세명 대학교, 대유 전문대학교\*

#### 1. 서론

압전 바이폴프형 액츄에이터에 진동판을 부착한 압전팬은 압전 바이폴프의 굴곡 진동을 이용한 요동식 팬으로, 코일식 모터 팬에 비해 구조 및 풍량의 조절이 간단하고 미소량의 풍량 (1m/s)을 일으킬 수 있다. 또한 電磁적인 잡음이 발생치 않는다. 수명이 재래 전자팬은 5,000-10,000시간인데 비해 약 25,000시간으로 길며 압전체이기 때문에 대응한 전자석 로타리 팬 전력의 1/15mw이하의 저 소비 전력을 갖는등의 잇점을 가지고 있다. [1] 또한, AC 110, 220V, 60Hz에서 사용 가능하기 때문에 별도의 회로를 갖추지 않아도 된다. 따라서, 정보화 사회에서 의컴퓨터가 각 가정 및 회사에서 필수품이 되고 있는 만큼 컴퓨터의 수요는 더욱 증가할 것이며, 이에 따른 컴퓨터부품 냉각용으로 이용될수 있는 압전팬도 수요의 증가를 예상할 수 있다. 이외에도 압전팬은 설계 및 제작조건에 따라 다르지만 진동판선단의 변위가 약 10-40mm까지 가능하기 때문에 방향기용팬, 유해 기체 배기용팬 으로도 이용될 수 있고, 진동판의 길이를 축소하면 미소변위 조정 액츄에이터용으로 이용될 수 있는 만큼 연구개발이 절실하다 하겠다. 본 연구에서는 이와같은 필요성에 부응하여 압전 d상수가 큰 PZT-5 원료물질을 사용하여 세라믹스기판을 소성한후, 압전팬을 여러 가지 변수를 두어 제작하고 진동판 재질 및 크기가 진동판의 공진주파수 및 선단 변위, 풍속특성에 미치는 영향을 측정하였다.

#### 2. 실험

본 실험에서는 PZT-5 원료분말을 사용하여 세라믹 기판을 제조 하였다. 소성이 끝난 시편은 연마 및 가공하여 전극을 형성한 후 세라믹스소자는 3.3kV/mm 에서 30분간 분극처리를 하여 압전팬용 세라믹기판으로 완성하였다. 제조된 소

자를 사용하여 그림1처럼 3가지 타입으로 인칭동판 및 황동판을 심으므로하여 압전 바이몰프형으로 압전팬을 작하였다.

표 1 및 2는 본 실험에서 제작된 압전 세라믹스, 진동판의 치수이며, 또한 그림 1은 제작된 압전팬의 형태를 보인 것으로, (a)는 진동판의 모양에 변화를 준 형태이고,(b)는 세라믹스 소자 및 진동판의 폭을 일정하게 유지한 형태이며, (c)는 세라믹스 소자 4개를 사용하고 진동판의 재질을 변화시킨 형태이다. 또한 이들의 단면을 공통으로 (d)에 도시 하였다.또한 표 1,2 에서 d는 전체두께,L은 세라믹스 소자길이,W는 세라믹스 소자의폭, w는진동판의 폭 l 은 진동판의 길이이다.

표 1 병렬형 압전팬의 크기에 따른 분류

Table 1 Classification of parallel type piezoelectric fans with scale

No.	전체 두께 d(mm)	세라믹스소자길이 L(mm)	세라믹스 소자 폭 W(mm)	진동판의 길이 l (mm)	진동판 의 폭 w(mm)	모양
S1-p	0.73	32.7	12.7	35	12	Fig1 (b)
S2-p	0.85	30	12	50	12	
S3-p	0.84	30	13	60	12	
S4-p	0.85	32	12.4	70	12	
S5-p	0.78	32	12	28.6	12	Fig1 (c)
S6-p	0.75	31	25.7	28	22	
S7-p	0.70	11	25	26	22	
S8-p	0.81	20	26	26.5	22	

병렬형 압전팬은 표 1 과 같은 치수로 제작하였으며 직렬형 압전팬은 표2와 같은 치수로 하였다. 진동판은 인칭동판, 황동판 이외에 알루미늄판을 사용하였다. 주파수 계수기와 신호 발생기를 사용하여 진동판의 공진주파수를 측정하였으며, 또한 병렬형 압전팬의 선단 변위는 110 V, 60Hz에서 측정하였다. 이때 길이는 버니어 캘리퍼스로 육안 및 사진을 찍어 측정하였다. 또한 직렬형 압전팬의 선단변위는 220 V, 60Hz 에서 같은 방법으로 측정하였다. 또한 압전팬의 풍속은 풍속계(testo-vent 4000)으로 최대한 풍속계와 압전팬을 접근시켜 측정하였다.

표 2 직렬형 압전팬의 크기에 따른 분류

Table. 2 Classification of series type piezoelectric fan with scale

Sample No.	전체두께 d(mm)	세라믹소자 길이 L(mm)	세라믹소자 폭 W(mm)	진동판의 길이 l (mm)	진동판의 폭 v(mm)	모양
S1-s	0.79	30	12.7	28.5	12	Fig.1 (b)
S2-s	0.81	35	13	26.6	22	Fig.1 (a)
S3-s	0.81	21.5	13.3	28.4	22	Fig.1 (a)
S4-s	0.97	35	13.3	46.1	13.1	Fig.1 (b)
S5-s	0.89	34	13.3	28.4	13.7	Fig.1 (b)
S6-s	0.88	34	13.5	31	12.8	Fig.1 (b)
S7-s	0.79	35	13.3	28.2	13.2	Fig.1 (b)
S8-s	0.84	34	12.5	27.4	22	Fig.1 (a)
S9-s	0.87	34	25.2	47	22	Fig.1 (c)
S10-s	0.81	32	26.3	29.1	22	Fig.1 (c)
S11-s	0.80	32.5	25.7	28	22	Fig.1 (c)
S12-s	0.80	33	25.8	31.8	22	Fig.1 (c)
S13-s	0.81	16.5	25.3	28.1	22	Fig.1 (c)

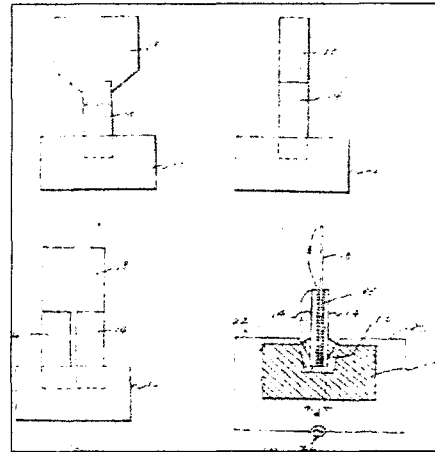


그림 1 제작된 압전팬의 모양

(10: 지지대, 12, 16: 탄성접착재, 14: 세라믹기판, 18: 진동판, 20: AC전압, 22: 리드선)

Fig.1 Structure of fabricated piezoelectric fans

(10: Support, 12, 16: Elastic Adhesive, 14: Ceramic Substrate, 18: Vibrating Plate, 20: AC Voltage, 22: Lead Wire)

### 3 결과 및 고찰

본 실험에서는 병렬형 압전팬의 진동판 공진 주파수를 정확히 측정하기 위하여 실제 상용 110 V, 60Hz에서 사용할 수 있는 설계조건을 찾고자 하였다. 표 1에서 나타낸 것 처럼 S1-p, S2-p, S3-p, S4-p, S5-p는 압전 세라믹스 소자 길이 (L)를 30 - 32mm 로 일정하게 유지하고, 진동판 길이 (l)를 28-70mm까지 변하게 하게 하였다. 진동판길이 l 을 점차 증가한 샘플의 경우, 진동판의 공진 주파수는 점차 감소하였으며, 진동판의 길이가 28.6mm인 S5-p 샘플에서 공진주파수는 60Hz였다. [2] 또한, 본 실험에서는 또한 압전 세라믹스 소자를 진동판 전후에 2개씩, 총 4개를 부착하여 세라믹스의 폭을 넓게 또한 두께도 두껍게 설계하였는데, 이는 진동판의 굴곡 진동력을 증가시키기 위한 것으로, 진동하는 힘은 압전 바이몰프 진동자 선단에서의 힘에 비례하기 때문이다. 압전 바이몰프에서의 선단의 힘F는

$$F = 3Wtd_{31}VE/2L \text{ (Kg)} \quad [3] \text{-----(1)}$$

여기에서, L: 압전 세라믹스의 소자길이, V: 인가 전압(V),  $d_{31}$ : 압전 정수(m/v), t: 바이몰프의 두께(m), W: 폭(M), E: 영률(Kg/m<sup>2</sup>)이다.

그러나, 세라믹스의 소자의 폭을 크게하여 진동판의 폭을 계속 증가시키면 진동판이 금속판이기 때문에 굴곡 진동시 소리가 많이 나게되므로 곤란하다. 따라서, 본 연구에서는 이를 감안하여 진동판 전후에 그림1(c) 처럼 2개씩 총 4개의

세라믹스 소자를 사용하였다. 즉, 병렬형 압전팬과는 달리 진동판 재질, 진동판의 길이( $l$ ) 및 모양을 변수로 두었으며, 세라믹스 소자 4개를 사용하여 제작된 S9-s~S13-s 샘플 모두 공진주파수를 60Hz로 조절하였다. 이때 표 3 에서 처럼 진동판 종류, 두께, 세라믹 소자 두께(거의 0.35mm로 조정)에 따라 제반 설계조건이 다소 다른 것을 알 수 있었다. 그림 2는 병렬형 압전 세라믹스의 소자길이를 거의 일정하게 (30-32mm) 유지하고 진동판 길이를 변화게 하였을때의 AC 110V, 60Hz에서의 선단 변위특성이다.

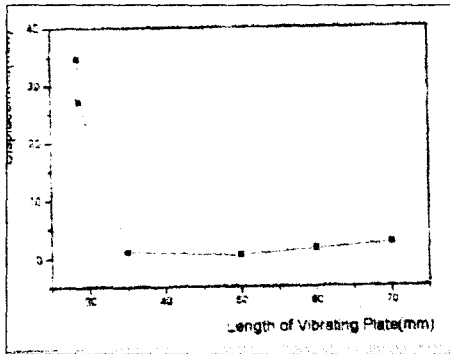
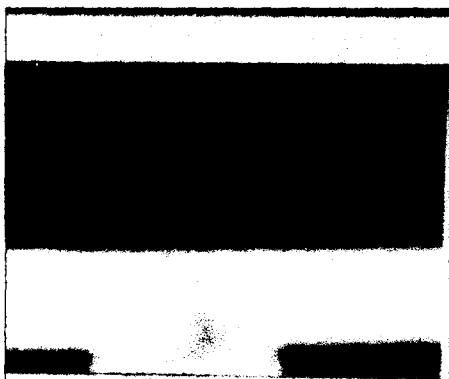


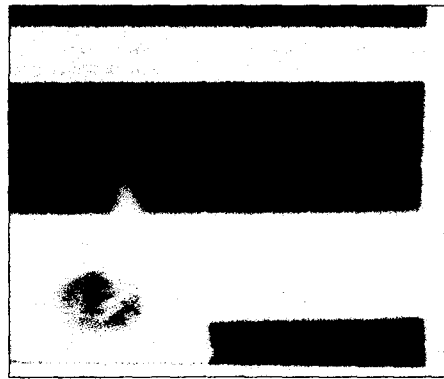
그림 2 진동판 길이에 따른 선단 변위

Fig.2 Displacement with the vibrating plate length

진동판 길이가 28.6mm 인 경우 (S5-p 샘플)에서 선단 변위가 가장 큰 34.7mm 를 나타내었으며, 점차 진동판 길이가 50mm 이후에서 다시 증가하는 이유는 제 2 공진 주파수가 60Hz인 진동판 길이 조건에 접근하기 때문이다. 사진 1 는 진동판 길이가, 28.6mm 및 69mm 일때에 샘플 S5-p에 AC 110 V, 60Hz를 인가하여 촬영한 진동 특성이다. 69mm일때, 진동판이 정재파 모양으로 진동하는 양상을 보이고 있다.



(a)  $l=69\text{mm}$



(b)  $l=28.6\text{mm}$

사진 1 S5-p 샘플의 진동 특성. Photo.1 Vibration properties of S5-p sample 압전팬을 사용하는 금속판의 종류 및 두께에 따라 변위 특성이 크게 달라진다. 본 연구에서는 진동 금속판으로서 세 종류를 사용하여 비교하였다. 진동판의 재

질에 따른 선단 변위를 측정해 본 결과 샘플 S12-s(진동판: 인칭동판)이 35.5mm로 가장 크게 나타났다. 또한 샘플 S9-s(진동판: 알루미늄)이 샘플 S10-s(진동판: 황동) 보다 다소 선단변위가 높게 나타났다. 또한 진동판의 두께에 따른 영향은 같은 진동판 재질을 사용한 샘플 S11-s(t=0.08mm)와 S12-s(t=0.1mm)를 비교하여 보면 S12-s(t=0.1mm)가 선단변위가 높게 나타났다. 이는 60Hz 공진 조건이 진동판의 두께가 증가 하면 진동판 길이(ℓ)도 증가하기 때문으로 ℓ이 28mm에서 31.8mm로 증가하였기 때문이다.

표 3 진동판 재질의 성질  
Material properties of vibrating plate

properties material	young's moduli (x1011 N/M2)	hardness (HRD)	thermal expansion coefficient(10 <sup>-6</sup> / °C)	density (g/cm3)
bronze	1.101	105-175	20	8.5
phosphor copper	1.137	above 170	18	8.8
aluminium	0.688	-	22.5	2.7

표 4 진동판의 모양에 따른 선단 변위  
Displacement with the shapes  
of vibrating plate

Types	Displacement (mm)
S2-s(Fig.1(a)type)	18.7
S7-s(Fig.1(b)type)	33.3
S8-s(Fig.1(a)type)	26.3
S11-s(Fig.1(c)type)	32.3

표 3에서 알 수 있듯이 인칭판은 도전성 스프링, 전자통신 기기용 재료로 주로 이용되는 기계적 성질이 좋고 탄성이 풍부한 재질이다. 이는 영률 및 밀도가 다른 황동이나 알루미늄 보다 높기 때문이다. 진동판의 공진 주파수는

$$f_r \approx \frac{t}{\ell} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [4]$$

이므로 (여기서, ρ=밀도, E=영률, ℓ=진동판 길이, t=진동판 두께이다)

샘플 S4-s과 S9-s가 황동판을 사용한 경우보다 다소 변위가 큰 이유가 설명 가능하다. 이는 인장강도가 낮지만 밀도가 작아 무게가 가벼워(밀도가 2.7 g/cm<sup>3</sup>) 진동판 길이가 길어지기 때문이다. 또한 그림 1(a) 형태에서, 인칭동판을 진동판으로 사용한 경우 세라믹스 소자는 2개를 사용하고 진동판의 하부(바이몰프에 포함된 부분)와 상부(진동판)의 진동판 넓이를 다르게 하였다. 이 경우에도 60Hz 공진 조건을 찾을 수 있었다.

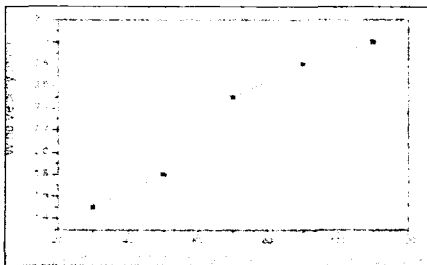


그림 3 S5-p 샘플의 인가 전압에 따른 풍속 특성

Fig.3 Wind Velocity Properties in S5-p with Applied Voltage

또한 그림 3은 전압 증가에 따른 풍속의 변화를 나타낸 것으로 역시 전압 증가에 따라 압전 세라믹스의 왜형이 증가하여 선단 변위가 더욱 증가하기 때문에 풍속이 증가한 것으로 생각된다. 또한, 표 5 은 직렬형 압전팬의 선단변위와 풍속 특성을 정리한것이다. 풍속은 선단변위가 클수록 풍속이 증가하였다. 따라서, 병렬형 압전팬에서는 AC 110 V에서 S5-p 샘플에서 최대로 3.0%의 풍속을 나타냈으며, 직렬형 압전팬에서는 AC 220V에서 S12-s 샘플에서 최대로 3.1%의 풍속을 나타냈다. 이 압전팬을 몇 개 조합하여 제작하면 비교적 큰 풍량을 낼 수 있으므로 공기도입용, 방향기용 및 전자부품 냉각용팬으로 응용 가능하리라고 생각된다.

Sample No.	Displacement (mm)	Wind Velocity(m/s)
S1-s	30.6	2.3
S2-s	18.7	2.0
S3-s	5	1.1
S4-s	23.3	1.9
S5-s	11.1	1.0
S6-s	29.4	2.2
S7-s	33.3	2.3
S8-s	26.3	2.2
S9-s	13.4	1.4
S10-s	12.3	1.4
S11-s	32.3	2.8
S12-s	35.5	3.1
S13-s	11.6	1.1

표 5 병렬형 팬의 선단변위 및 풍속 특성

Table 5 Displacement and Wind Velocity of Series Type Fans

#### 4. 결 론

1. 진동판 길이가 28.6mm인 병렬형 압전팬 S5-p 샘플의 경우 AC 110V, 60Hz에서 선단 변위가 34.7mm로 가장 큰 값을 나타냈으며 진동판 길이를 증가함에 따라 선단 변위는 감소하였다. 또한, 직렬형 압전팬에서는 S12-s 샘플의 경우 AC 220V, 60Hz에서 선단변위가 35.5mm로 가장 큰 값을 나타내었다.
2. 동판을 인칭동판, 황동판, 알루미늄판을 선택하여 각각 선단변위를 측정 한 결과 인칭동판을 사용한 경우 영률이 큰 관계로 가장 큰 값을 나타내었다.
3. 선단 변위 특성이 우수한 샘플에 대한 풍속은 병렬형 압전팬에서는 S5-p 샘플이 110 V, 60Hz에서 3% 로 가장 큰 값을 나타냈으며 직렬형 압전팬에서는 S12-s 샘플이 220 V, 60Hz에서 풍속이 3.1m/s로 가장 높았다. 또한 전압 증가에 따른 선단 변위는 증가하여 풍속도 증가하였다.

## 참고 문헌

- 1) 神原治口 ,et al., " 壓電 ハイモルフ 型 アクチエ-タ 와 壓電 ファン", 壓電セラミックス의 應用(學獻社) pp.68-74 ,1989
- 2) 川口清司 ,et al., "壓電 ファン", 壓電セラミックス의 應用(學獻社) pp. 75-80 ,1989
- 3) Jan G. Smits, Susan I, " The constituent equations of Piezoelectric bimorphs" Sensors and Actuators A, 28,pp.41-61,1991
- 4).朝倉,信一 "Small Type Fan" JP. patent, 51 Int.CL.F04D p p.273-277,1993