

원판형 유니몰프타입 압전 트랜스듀서의 발전특성 연구

박충호¹, 김종욱¹, 정성수¹, 정현호², 김명호³, 박태곤^{1,a}

¹ 창원대학교 전기공학과

² 한국전기연구원

³ 창원대학교 세라믹공학과

A Study on Generating Characteristics of Circular Unimorph-Type Piezoelectric Transducer

Choong-Hyo Park¹, Jong-Wook Kim¹, Seong-Su Jeong¹, Hyon-Ho Chong²,
Myong-Ho Kim³, and Tae-Gone Park^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

² Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-120, Korea

³ Department of Ceramic & Science Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received May 14, 2010; Revised November 9, 2010; Accepted December 6, 2010)

Abstract: On this paper, a circular unimorph-type piezoelectric transducer was proposed and studied. The transducer was fabricated by attaching a circular-shaped PZT ceramic to a circular plate of brass and output characteristics of the fabricated transducer were then analyzed and measured by changing driving points where the mechanical vibrations were applied. Two conditions depending on the location of vibration were respectively defined as a center forced model and an edge forced model. The resonance frequency and output voltage of the models were simulated by using ANSYS, a FEM(finite element method) program. Based on the results of the analyses, the vibration experiment was conducted and the output characteristics then measured through measurement equipment. As a result, the maximum output characteristics of two models were respectively generated at each resonance frequency and the resonance frequency of the center forced model was lower than the edge forced model.

Keywords: Piezoelectric transducer, Unimorph, Circular type, FEM analysis

1. 서 론

물리적인 외력을 이용하여 전기 에너지를 생산하는 압전체의 사용은 무공해 신재생에너지란 점에서 각광 받고 있는 연구 분야이며, 현재 발전기 뿐만 아니라 센서 및 액추에이터의 여러 분야에 적용하여 사용되

고 있다. 이와 동시에 버려지고 있는 에너지를 재사용이 가능한 에너지로 수확하는 에너지 하베스팅 기술 (energy harvesting technology, EHT)도 함께 많은 개발이 이루어지고 있는 추세이다 [1-4]. 본 논문에서는 원판형 유니몰프 타입 압전 트랜스듀서를 제작하고, FEM 프로그램인 ANSYS를 통하여 출력특성을 시뮬레이션한 후 진동 실험을 통해 두 결과를 비교 및 분석하였다.

a. Corresponding author : tgpark@changwon.ac.kr

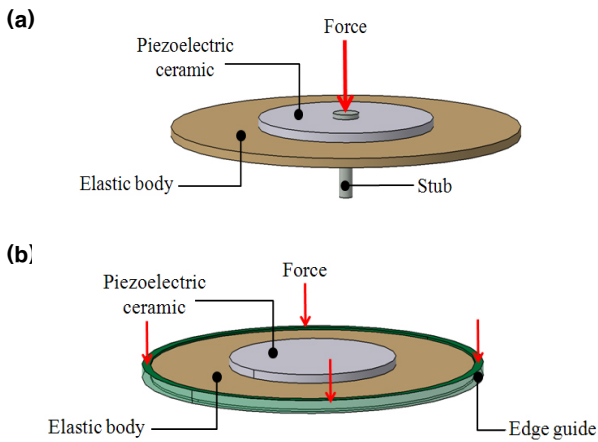


Fig. 1. The shapes of the transducer depending on location of the vibration. (a) Center forced model (b) Edge forced model

2. 실험 방법

압전성은 물질에 응력을 가할 때 발생하는 전기, 즉 전기분극 (electric polarization)을 생기게 하는 성질 또는 이 전기 자체를 의미하는 것이다. 압전 현상은 응력에 의하여 이 물질 자체의 전기분극이 변하는 압전효과와 물질에 전계를 인가할 때 기계적 왜형이 생기는 압전역효과가 있다. 이 두 효과를 합쳐서 압전 현상 또는 압전 효과라 한다. 압전 세라믹의 경우 그 자체만으로도 발전이 가능하지만 내구성과 효율 등을 고려하여 압전 세라믹에 탄성체를 부착하여 제작한다 [8]. 기본적인 탄성체 부착 방법에는 유니몰프 (unimorph) 형태와 바이몰프 (bimorph) 형태가 있다. 유니몰프 형태는 탄성체의 한쪽 면에 세라믹을 부착하는 형태이고, 바이몰프 형태는 탄성체의 양쪽 면에 세라믹을 부착하는 형태이다. 유니몰프 형태는 바이몰프 형태에 비해 낮은 고유주파수를 가지기 때문에 낮은 주파수의 외력이 인가될 시에도 공진현상이 발생하여 최대변위가 생성된다. 바이몰프의 경우 세라믹이 양쪽 면에 부착되어 굴곡변형으로 인해 큰 전압이 출력되지만 유니몰프에 비해 작은 외력에 반응하는 것이 어려우며 유니몰프에 비해 높은 공진주파수를 갖는 차이점이 있다 [5,6]. 본 논문에서는 원관형 유니몰프 타입 압전 트랜스듀서를 제작하고, 진

Table 1. Physical properties and size of the transducer.

Elastic body	Material	Brass	Density	8270 [kg/m ³]
	Radius	45 [mm]	Young's Modulus	92 [GPa]
	Thickness	0.2 [mm]	Poisson's ratio	0.33
Piezoelectric Ceramic	Material	PZT4	Density	7700 [kg/m ³]
	Radius	25 [mm]	Poisson's ratio	0.34
	Thickness	0.2 [mm]	Constant of d ₃₃	400 [pC/N]

Table 2. Resonance frequencies of two model depending on vibration conditions.

The models depending on location of vibration	Resonance frequency	Applied force
Center forced model	350 [Hz]	Mag. : 0.1 [N] Freq. : 10 ~ 800 [Hz]
Edges forced model	750 [Hz]	

동 위치에 따른 출력특성을 해석 및 측정된 후 두 모델의 결과를 비교하였다. 그림 1은 진동 위치에 따른 모델의 형상을 나타낸 것으로써 중심 진동 모델과 가장자리 진동 모델로 구분하였다.

3. 제작 및 실험

3.1 유한요소해석 시뮬레이션

트랜스듀서의 전체 요소는 solid 5로 지정하였고, 탄성체인 brass와 압전 세라믹인 PZT4의 물성치를 각각 정의하여 모델링하였다 [7]. 표 1은 모델링된 트랜스듀서의 사이즈와 물성치를 나타내었다.

표 1의 사이즈로 ANSYS의 Modal 해석을 통해 각 진동 조건에 따른 두 모델의 공진주파수를 해석한 결과를 나타내었다.

Modal 해석된 결과를 바탕으로 변위량에 관한 harmonic 해석을 수행하였다. 그림 2는 각 모델의 각 수평변위를 나타낸 그래프이다. 각 모델의 최대변위는 공진주파수에서 발생하였으며 중심 진동 모델의 경우 공진주파수인 350 [Hz]에서 발생되었다. 그리고 가장자리 진동 모델에 비해 변위크기가 크게 발생하였다.

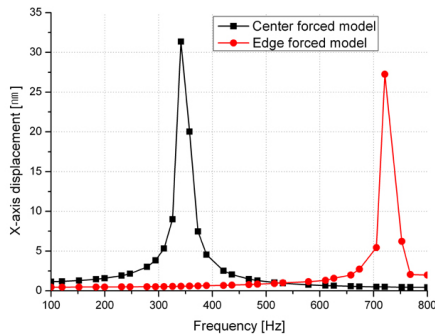


Fig. 2. Horizontal displacements depending on location of the vibration.

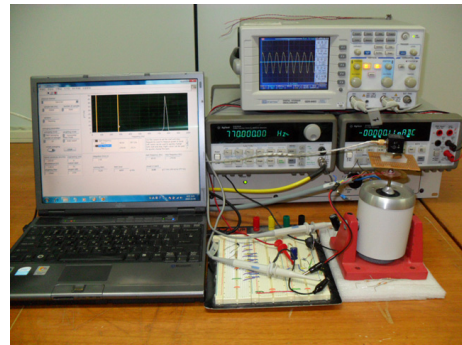


Fig. 4. Equipment for vibration experiment.

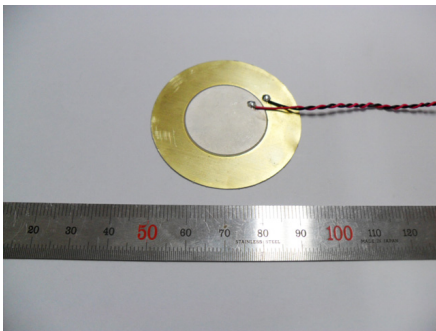


Fig. 3. The fabricated circular type transducer.

3.2 트랜스듀서 제작

해석 결과의 검증을 위해 본 트랜스듀서를 직접 제작하여 진동 실험을 하였다. 와이어 커팅된 직경 45 [mm], 두께 0.1 [mm]의 brass 원판에 직경 25 [mm], 두께 0.2 [mm]인 원형 PZT 세라믹을 탄성접착제를 사용하여 접착하였다. 용된 접착제는 탄성접착제인 에폭시 (Epoxy 353ND, USA)가 사용되었다. 접착제의 특성상 상온에서 접착력이 감소하는 것을 보완하기 위하여 트랜스듀서를 건조오븐에서 130도의 온도로 1시간 동안 가열건조 하였다. 접착이 완료된 트랜스듀서에 분극방향으로 전선을 결선하여 그림 3과 같은 원판형 유니폴프 타입 압전 트랜스듀서를 제작하였다. 2.1 절의 내용을 입력하여 주십시오.

3.3 특성 실험

그림 4는 출력특성을 측정하기 위한 실험장치이다.

신호발생기 (33120A, USA)에서 진동의 주파수와 진폭을 설정한 후 전력증폭기 (PA25E, Denmark)에 신호를 인가하였다. 인가된 신호는 전력증폭기를 통해 증폭되며, 증폭된 신호는 셰이커 (V201, Denmark)에 인가되어 진동을 발생시켰. 신호발생기를 이용하여 주파수를 가변함으로써 주파수에 따른 트랜스듀서의 발생전압 특성과 트랜스듀서의 진동 영역에 따른 특성을 각각 측정하였다. 두 개의 트랜스듀서 중 하나는 세라믹의 중심에 진동을 인가하고 다른 하나는 탄성체의 가장자리 네 부분에 인가였다. 트랜스듀서에 인가되는 외력의 크기는 3축 가속도센서 (8762A50, Korea)를 이용하여 인가되는 외력의 가속도를 측정하였으며 전체 질량과 곱하여 산정한 결과, 약 0.2 [N]이 인가되었다. 회로는 다이오드와 캐패시터를 이용하여 정류·평활 회로를 구성하였다. 트랜스듀서의 출력단에서 오실로스코프 (GDS-840C, Taiwan)로 발생전압을 측정하였고. 캐패시터와 100 [Ω] 저항을 병렬 연결한 후 멀티미터 (34401A, UDA)로 정류된 전류를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

제작된 트랜스듀서를 임피던스 분석장치 (HP8757, USA)를 통해 임피던스 곡선을 정의하였고, 이를 ANSYS에서 해석한 결과값과 비교하였다. 그림 5는 가장자리 진동 모델의 임피던스 곡선을 비교한 그래프이다. 해석 결과와 측정 결과 모두 표 2의 modal 해석 결과의 공진주파수에서 임피던스가 가장 낮았다. 그림 6은 가장자리 진동 모델과 마찬가지로 방법으

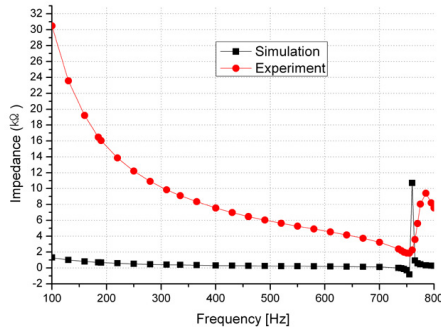


Fig. 5. Impedance characteristic curve of the edge forced model.

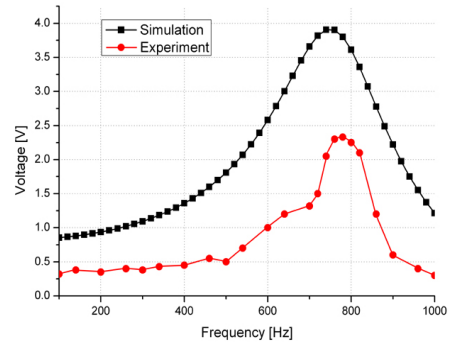


Fig. 7. Generating voltage characteristics of the edge forced model.

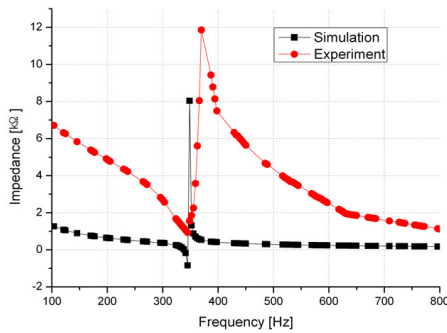


Fig. 6. Impedance characteristic curve of the center forced model.

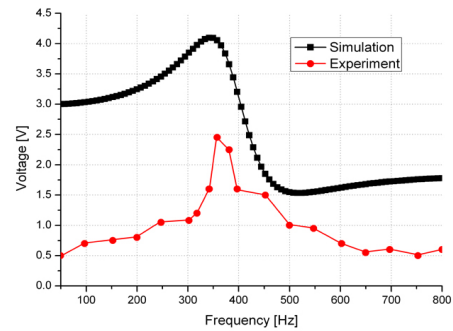


Fig. 8. Generating voltage characteristics of the center forced model.

로 중심 진동 모델의 임피던스 특성곡선을 그래프로 나타내었다. 해석 결과와 측정 결과 모두 표 2의 modal 해석 결과의 공진주파수에서 임피던스가 가장 낮았다. 그림 6은 가장자리 진동 모델과 마찬가지로 방법으로 중심 진동 모델의 임피던스 특성곡선을 그래프로 나타내었다.

modal 해석 결과와 마찬가지로 350 [Hz] 근처에서 임피던스 값이 가장 낮았다. 그림 7은 가장자리 진동 모델의 발생 전압량을 나타낸 값이다.

ANSYS의 harmonic 해석을 통한 시뮬레이션 값과 진동 실험을 통해 측정된 값을 비교하였다. 시뮬레이션 외력의 크기는 0.1 [N]으로 설정하였고, 진동실험을 외력은 가속도센서로 측정된 결과 약 0.2 [N]의 크기가 인가되었다. 해석과 실험 결과 모두 공진주파수인 750 [Hz] 부근에서 최대 전압이 출력되었고, 실험 시 그 값은 2.33 [V]로 측정되었다. 임피던스의 특

성곡선과 반대로 임피던스가 가장 낮을 때 최대 전압이 출력되었다. 그림 8은 중심 진동 모델에 같은 외력을 인가하여 발생하는 전압량을 나타낸 그래프이다.

해석 및 측정 결과 모두 350 [Hz] 근처에서 최대 전압이 발생하였으며 그 크기는 약 2.45 [V]였다. 두 모델을 비교하여 중심 진동 모델이 발생 전압량이 크게 나타났다. 그림 9는 각 모델에서 발생하는 전류량을 멀티미터로 측정된 그래프이다. 두 모델에 같은 외력을 인가하였고, 정류된 전류량을 큰 변화폭으로 명확히 측정하기 위해 비교적 낮은 저항인 100 [Ω]을 연결한 후 전류량을 측정하였다.

각 모델의 공진주파수에 최대 전류가 출력되었고 그 크기 역시 발생 전압량과 비례하여 발생하였다. 최대 전류는 중심 진동 모델의 공진주파수에서 약 2.25 [mA]가 출력되었다. 그림 10은 발생하는 전압과

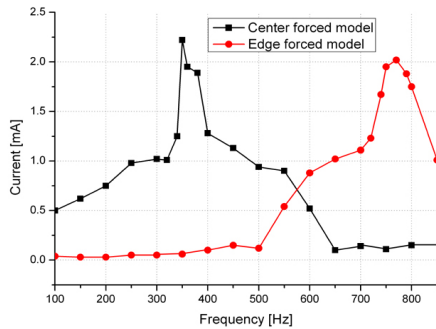


Fig. 9. Measurement of generating current characteristics of two models.

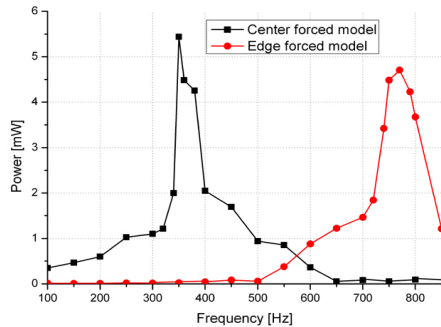


Fig. 10. Generating power characteristics of two models.

전류량을 산정하여 출력되는 전력량을 나타낸 그래프이다.

5. 결론

본 논문에서는 원판형 유니몰프타입 압전 트랜스듀서를 제작하고, FEM 프로그램을 통한 해석과 가진기를 이용한 진동실험을 통해 특성을 비교 및 측정하였다. 두개의 트랜스듀서 중 하나는 중심에 진동을 인가하고 다른 하나는 탄성체의 가장자리에 진동을 인가하였다. 가장자리를 진동한 트랜스듀서의 경우 최대변위 지점이 750 [Hz]였으며, 고정을 하지 않은 모델과 공진주파수 지점이 일치하였다. 하지만 중심을 고정하여 진동한 트랜스듀서의 경우 최대 변위지

을 고정함으로써 압전세라믹의 수직확장을 제한한 것이 공진주파수가 감소된 원인으로 생각되어진다. 두 트랜스듀서에 동일한 수직응력을 인가했을 때, 중심을 진동한 경우의 수평 확장변위 및 발생 전압이 가장자리를 진동한 결과값보다 높게 측정되었다. 가장자리의 고정에 의해 압전세라믹의 수평변위가 억제되므로 발생하는 전압량이 낮은 것으로 생각되어진다. 멀티미터를 통해 발생하는 전류량을 측정된 결과 각 공진주파수에서 최대 전류가 발생되었고 발생하는 전압과 전류를 산정하여 발생전력을 측정하였다. 가장자리에 진동하는 모델에 비해 중심을 진동하는 모델은 공진주파수를 낮출수 있으며 수평변위도 더 크게 발생하여 효율적인 발전 방식으로 사료되어진다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

또한 이 연구에 참여한 연구자는 “2단계 BK21” 사업의 지원비를 받았습니다.

REFERENCES

- [1] J. L. Gonzalez, A. Rubio, and F. Moll, *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resource*, 7 (2001).
- [2] H. I. Jun, *J. KIEEME* 9, 315 (2008).
- [3] J. Kymissis, C. Kendall, J. Paradiso, and N. Gershendeld, *Second IEEE International Conference on Wearable Computing*, (1998) p. 34.
- [4] T. G. Park, B. J. Kim, M. H. Kim, and K. Uchino, *Jpn. J. Appl. Phys.* 41, 7139 (2002).
- [5] K. Uchino, *Piezoelectric Actuators and ultrasonic motors* (Kluwer Academic Publishers, USA, 1997) p. 129.
- [6] Phillips Components, *Piezo Ceramic Products* (Technical information, USA, 2000) p. 3.
- [7] ANSYS, Inc., *ANSYS Theory Manual* all.
- [8] H. W. Kim, Ph.D. *Thesis*, (Pennsylvania State University, Pennsylvania, 2006) p. 27.