

## $\pi$ -type 압전 하베스터의 출력 특성 연구

이병하<sup>1</sup>, 정성수<sup>1</sup>, 천성규<sup>1</sup>, 하용우<sup>1</sup>, 박태곤<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 전기공학과

### A Study on Output Characteristics of the $\pi$ -type Piezoelectric Harvester

Byeong-Ha Lee<sup>1</sup>, Seong-Su Jeong<sup>1</sup>, Seong-Kyu Cheon<sup>1</sup>, Yong-Woo Ha<sup>1</sup>,  
and Tae-Gone Park<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electric Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received September 26, 2014; Revised November 17, 2014; Accepted November 24, 2014)

**Abstract:** Generating output characteristics of a  $\pi$ -type piezoelectric harvester depending on size of the ceramic and the elastic body were studied. The  $\pi$ -type piezoelectric harvester consists of a rectangular piezoelectric ceramic and a  $\pi$  shaped elastic body. If the tensions is applied at both ends of an elastic body legs, the piezoelectric effect occurs at the ceramics through the form change of the elastic body. The structure of this  $\pi$ -type harvester can be used in a various area than an existing type generator, because it prevent from direct pressure to the ceramic. Generating characteristics of the harvester were analyzed by using finite element method program. The piezoelectric harvester was fabricated on the basis of analyzed results and attached on a frequency controllable vibrator to measure the output characteristics. And generating characteristics were defined by comparing analysis results and experimental results. The highest output voltage was obtained when the ceramic length, thickness were 20 mm, 0.5 mm in the analysis result. And experiment was performed by analysis results at low frequency region, output voltage was generated about 6 V.

**Keywords:** Piezoelectric harvester, Tension,  $\pi$ -type

#### 1. 서론

기존 산업의 주요 자원인 화석연료가 발생시키는 온실가스로 인한 환경오염은 최근 십여 년간 세계적인 문제로 다루어져 왔다. 화석연료의 고갈이 가까워짐에 따라 새로운 대체에너지 개발에 대한 필요성이 증가되고 있으며 소형 센서 및 소형 전자기기를 구동

할 수 있는 소형에너지 발전에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 소형 전자기기를 안정적으로 구동하기 위해서는 안정된 전원공급 장치가 필요한데 배터리를 사용하면 소형 전자기기의 에너지원으로 손쉽게 사용할 수 있으나 배터리를 주기적으로 교환해야 하며 배터리 교체에 의한 비용 및 공해문제가 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 현재 에너지 하베스팅 기술이 제안되고 있다 [1-4].

에너지 하베스팅 기술은 태양, 바람, 압력, 진동, 열 등 자연적인 에너지를 전기적인 신호로 바꾸어 재생산하는 것이다. 그 중에서도 압전 하베스터에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 압전 하베스

a. Corresponding author; [tgpark@changwon.ac.kr](mailto:tgpark@changwon.ac.kr)

터는 압전 세라믹스에 기계적인 힘을 가하면 전기적인 출력을 일으키는 압전 정효과를 이용하는 것이다 [5-9].

본 논문에서는  $\pi$ -type의 압전 하베스터를 제안하였다. 선행된 압전 하베스터 연구에서는 직접적인 압력을 이용한 방식들이 주를 이루고 있으며 사용 범위가 한정되어 있는데 이를 보완하기 위해 제안된 압전 하베스터는 장력을 이용한 하베스터이므로 활용 범위를 넓힐 수 있다고 사료된다. 또한, 세라믹이 직접적인 힘을 받지 않아 충격으로부터 세라믹을 보호할 수 있는 장점이 있다.  $\pi$ -type 압전 하베스터는 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 탄성체와 세라믹의 변수에 따라 출력 특성을 해석하고 실험을 진행할 것이며 [10], 그 후 제작된 결과와 실험 결과를 비교 분석하고, 출력 특성을 파악하여 이를 통해  $\pi$ -type 압전 하베스터의 가능성을 확인하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 유한요소해석 및 실험

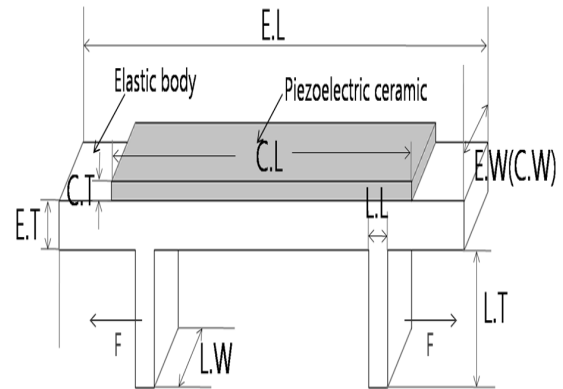
#### 2.1.1 유한요소해석

$\pi$ -type 압전 하베스터를 시뮬레이션 하기 위해 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하였다.

그림 1은 압전 하베스터의 구조와 파라미터를 보여준다. 그리고 초기 모델의 크기는 탄성체 길이와 두께, 폭 각각 50 mm, 1 mm, 10 mm, 다리 길이와 두께, 폭 각각 5 mm, 10 mm, 10 mm이다. 모델링이 끝난 후, 탄성체의 양 다리에 수평의 힘이 가해졌을 때 세라믹에 힘을 효과적으로 전달할 진동모드를 찾기 위해 모달 해석을 진행하였다. 여러 가지 진동 중에서도 압전 하베스터의 양 끝 부분의 진동이 대칭적이며 세라믹의 굽힘 진동이 일어나는 진동을 선택하였다.

그림 2는 선정된 압전 하베스터의 확대된 진동형상을 보여준다.

그림 3은 세라믹 길이에 따른 압전 하베스터의 출력 전압을 나타내는 하모닉 해석 결과이다. 다리 양 끝에 인가된 힘은 1.5 N이며, 세라믹 길이만 변화를 주어 해석을 진행하였다. 최고 출력 전압은 세라믹의 길이가 20 mm일 때 나타났다. 그리고 세라믹의 길이가 길어질수록 출력 전압 값이 줄어들었다.  $\pi$ -type



Parameters			
E.L	Elastic Length	L.W	Legs Width
E.T	Elastic body Thickness	L.T	Legs Thickness
E.W, C.W	Elastic body(Ceramic) Width	F	Force
C.L	Ceramic Length	Materials	
C.T	Ceramic Thickness	Elastic Body	Brass
L.L	Legs Length	Piezoelectric Ceramic	PZT4

Fig. 1. Structure and parameters of the harvester.

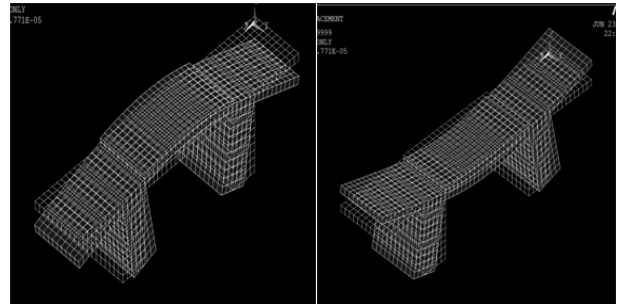


Fig. 2. Vibrating pattern of the harvester.

압전 하베스터는 탄성체 양 다리 끝에 일정한 힘을 가하면 세라믹이 부착된 탄성체가 굽힘 진동을 하면서 세라믹에 응력이 집중되는 원리를 가지고 있다.

세라믹 길이가 10 mm일 때는 세라믹에 응력분포가 골고루 분배되거나 세라믹의 면적이 세라믹 길이 20 mm보다 작으므로 출력전압이 줄어들었고 세라믹의 길이가 30 mm 이상일 때는 세라믹의 길이가 다리사이 길이를 초과하게 되면서 생기는 면적에 의해 응력

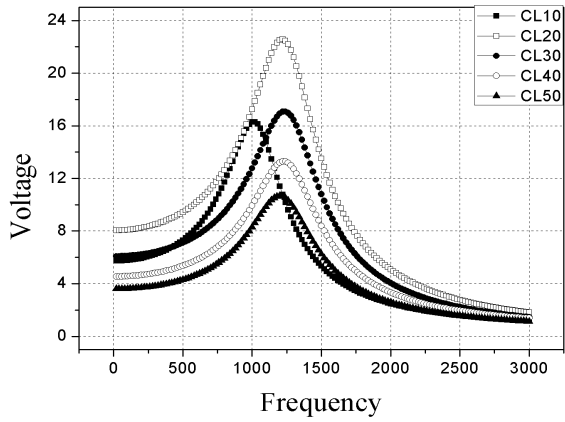


Fig. 3. Voltage depending on the ceramic length.

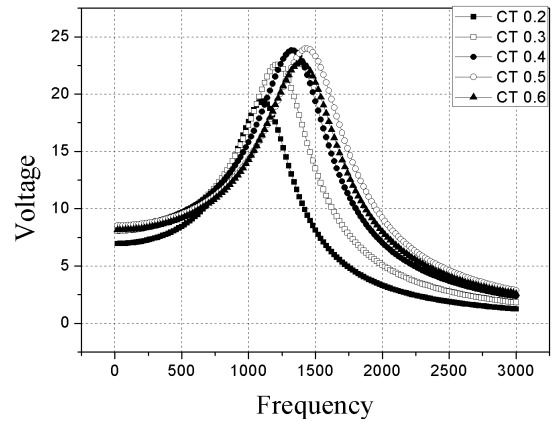


Fig. 5. Voltage depending on the ceramic thickness.

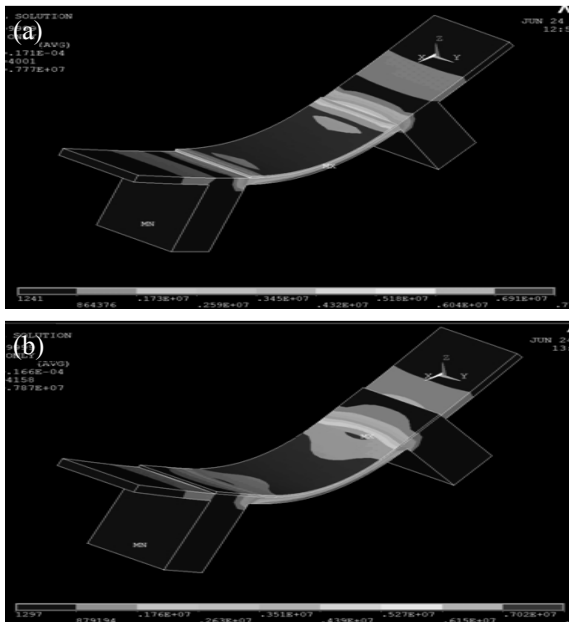


Fig. 4. Stress depending on the ceramic length. (a) CL 20 mm and (b) CL 30 mm.

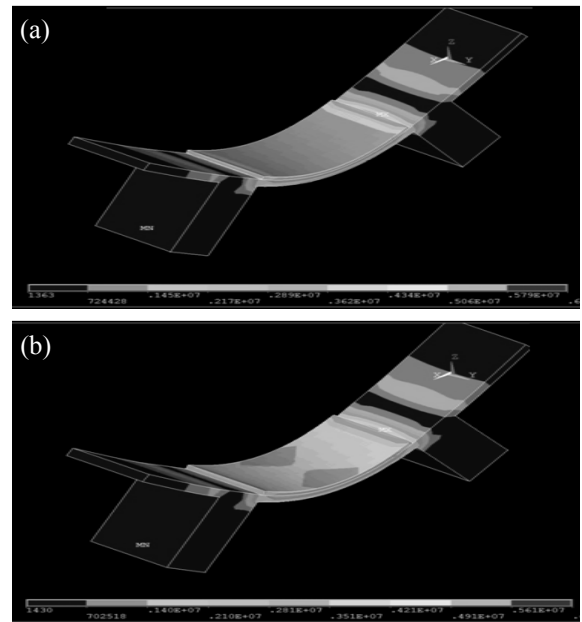


Fig. 6. Stress depending on the ceramic thickness. (a) CT 0.5 mm and (b) CT 0.6 mm.

의 분포가 세라믹에 집중되지 못하고 분산되어 출력 전압이 줄어들었다. 인가되는 힘은 1.5 N으로 고정되어 있기 때문에 세라믹의 길이가 길어질수록 인가되는 힘에 의한 탄성체의 진동변위가 작아지게 된다. 그림 5(b)에서 세라믹 길이가 다리 사이 길이보다 긴 30 mm일 때 응력이 분산됨을 보여준다. 세라믹의 길이가 20 mm 이상일 때 더 큰 출력 전압을 얻기 위해서는 탄성체의 길이 및 다리 사이의 길이 조절을 통해 획득할 수 있을 것이다.

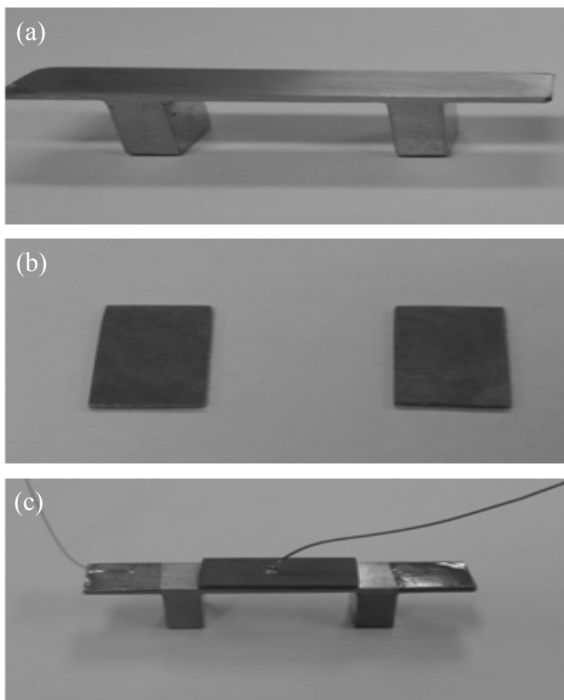
그림 5에서는 세라믹의 두께에 따른 출력 전압을 나타내었다. 모델의 크기는 탄성체 길이와 두께, 폭 각각 50 mm, 1 mm, 10 mm, 다리 길이와 두께, 폭 각각 5 mm, 10 mm, 10 mm이며 앞에서 수행된 해석에서 최고 전압을 나타낸 세라믹의 길이 20 mm에서 세라믹 두께를 변화하여 해석하였다. 세라믹 두께가 증가할수록 출력 전압은 증가하였다. 최고 출력 전압은 세라믹의 두께가 0.5 mm일 때 나타났고 0.5 mm 이상의 두께에서는 출력 전압 값이 감소하였다. 앞에서 언

굽한 바와 같이  $\pi$ -type 압전 하베스터는 굽힘 진동을 이용한다. 그리고 이 굽힘 진동은 분극과 같은 방향이며 분극방향과 힘의 방향이 같은 d33모드에서는 세라믹의 두께가 증가할수록 전압이 상승한다 [11]. 하지만 0.6 mm에서는 전압이 줄어들었는데 이는 앞서서 수행된 해석과 유사하게 세라믹의 두께가 두꺼워지면 세라믹에 응력이 골고루 전달되지 못하여 전압이 줄어들었기 때문이다.

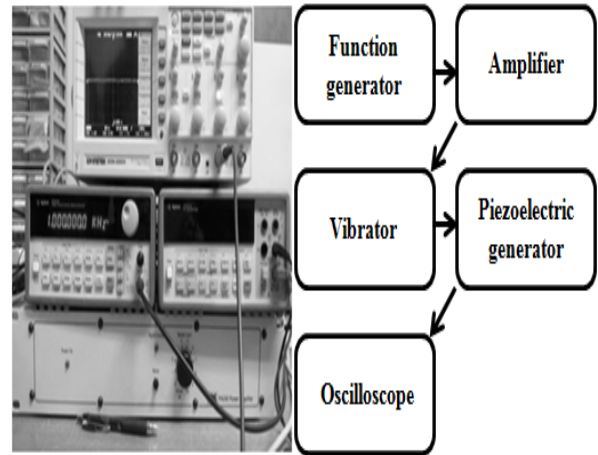
그림 6에서 세라믹의 두께가 0.6 mm일 때 응력의 분포가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 두꺼운 세라믹에 힘을 많이 전달하기 위하여 세라믹이 부착된 탄성체 부분의 두께를 줄이거나 인가된 힘을 증가시키면 0.6 mm 이상의 세라믹에서도 더 큰 응력을 확인할 수 있을 것이라 사료된다.

## 2.2 제작 및 실험

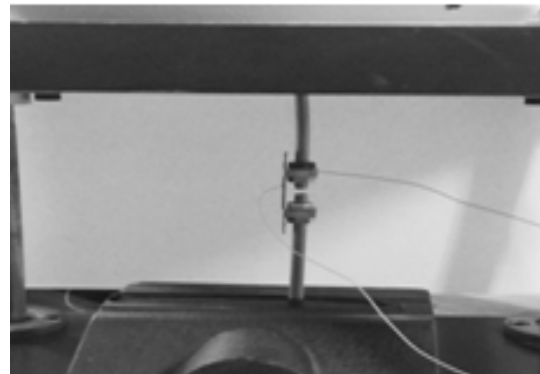
유한요소해석을 통해 선정된 모델은 탄성체 길이와 두께, 폭 각각 50 mm, 1 mm, 10 mm, 다리 길이와 두께, 폭 각각 5 mm, 10 mm, 10 mm이며, 세라믹 길이와 두께는 20 mm, 0.5 mm 제작되었다. 탄성체는 황동을 사용하였고 압전 세라믹은 PZT를 사용하였다.



**Fig. 7.** Fabrication of the harvester (a) elastic body, (b) piezoelectric ceramics, and (c) device.



**Fig. 8.** Experimental setup.



**Fig. 9.** Vibrator for applying the tension on the harvester.

그림 7은 압전 하베스터의 제작 과정을 보여준다. 그림 7(a)는 세라믹이 부착되기 전 탄성체의 모습이며, 7(b)는 정밀 가공을 위해 다이아몬드 커팅을 통해 절단된 압전 세라믹의 모습이다. 그림 7(c)는 탄성접착제를 이용하여 탄성체에 세라믹을 부착한 뒤 출력선을 연결한 모습이다.

그림 8은 실험 장비와 전체적인 알고리즘을 보여준다. 함수발생기에서 신호를 발생시킨 다음 앰프를 통해 증폭된 신호를 가진기로 전달한다. 이때 홀더에 고정된 가진기는 신호의 주파수와 세기에 따라 진동을 생산하여 압전 하베스터에 진동을 전달하게 된다. 마지막으로 압전 하베스터의 출력 특성을 측정하기 위해 오실로스코프와 디지털 멀티미터를 사용하였다.

그림 9는 가진기를 이용하여  $\pi$ -type 압전 하베스터에

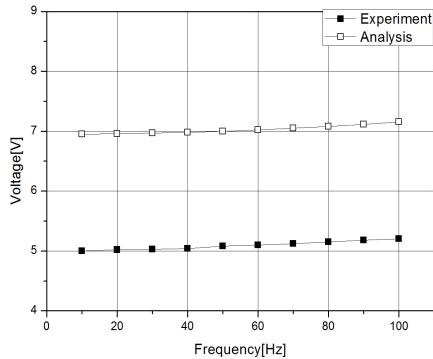


Fig. 10. Experiment results and analysis results at 0~100 Hz.

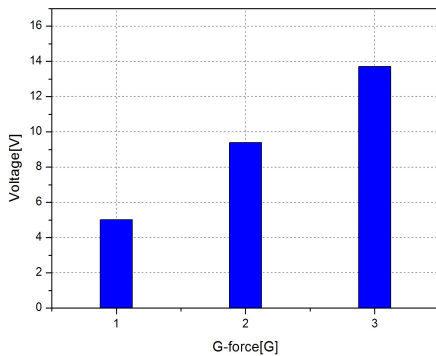


Fig. 11. Experiment results depending on G-force.

진동을 가하는 모습이다. 가진기와 연결된 압전 하베스터의 한쪽 다리에 진동을 발생시키고 남은 다리는 움직이지 않도록 고정시켜 탄성체에 굽힘 진동을 발생시켰다.

그림 10은 주파수 0~100 Hz로 가진된 하베스터의 출력전압 특성을 보여준다. 실제 해석의 주파수 범위는 0~3,000 Hz이지만, 이 주파수 범위는 1차 굽힘 진동이 일어나는 영역에서의 경향성을 확인하기 위해 수행되었고, 실제로 이용하고자 하는 주파수는 고주파수 대역의 공진주파수가 아닌 저주파수 대역의 주파수이므로 실험은 0~100 Hz에서 수행하였다. 그림 10은 해석과 동일한 조건에서 0~100 Hz까지의 출력을 측정하였다. 100 Hz를 기준으로 해석의 출력전압과 실험의 출력 전압을 비교하면 각각 약 7 V, 5 V로 2 V 정도 차이가 난다. 이는 압전 하베스터의 탄성체 가공과 양쪽으로 동일한 힘을 인가하는게 아닌 한쪽은 고정되어 진동의 변위를 감소시킨 것에 대한

손실로 사료된다. 그리고 가진력이 증가하면서 출력 전압이 증가하는 것을 확인하였으며, 이를 그림 11에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 논문에서는  $\pi$ -type 압전 하베스터를 제안하였고 유한요소해석과 실험을 통하여 출력 특성을 파악하였다. 유한요소해석을 통한 출력전압은 세라믹의 길이가 20 mm일 때 약 23 V로 가장 큰 전압을 획득하였다. 세라믹의 두께는 최고 전압이 발생한 0.5 mm까지 두꺼워질수록 증가하였고, 0.6 mm에서는 감소하였다. 그리고 세라믹에 작용하는 응력을 확인해본 결과 세라믹의 길이와 두께가 길어지거나 두꺼워질수록 응력이 세라믹과 탄성체에 고르게 분포되지 않음을 확인할 수 있었다. 실험을 통한 출력 전압은 가진기의 가속도가 증가할수록 전압도 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 유한요소해석과 시제품 제작을 통해  $\pi$ -type 압전 하베스터의 가능성을 확인하기 위해서 연구되었고, 최적화를 통해 출력 특성을 향상시키고 직류로 정류한다면 실생활에서도 사용 가능할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신 창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014H1C1A1066941).

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2011-0030058).

### REFERENCES

[1] S. Roundy, P. K. Wright, and J. Rabaey, *J. Computer Communications*, **26**, 1131 (2003).

- [2] S. J. Choi, *KIPE Magazine*, **18**, 31 (2013).
- [3] T. H. Ng and W. H. Liao, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, **16**, 785 (2005).
- [4] K. Uchino, J. Giniewicz, *Micromechatronics* (Marcel Dekker Inc., Japan, 2003).
- [5] C. H. Park, J. W. Kim, S. S. Jeong, M. H. Kim, T. G. Park, and H. H. Chong, *Appl. Mec. Mat.*, **217**, 110 (2011).
- [6] J. H. Lim and T. G. Park, *J. Electroceramic*, **10**, 1007 (2012).
- [7] H. I. Jun, S. S. Jeong, H. H. Chong, T. G. Park, and M. H. Kim, *J. KIEEME*, **22**, 360 (2009).
- [8] T. G. Park, B. J. Kim, M. H. Kim, and K. Uchino, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 7139 (2002).
- [9] C. H. Park, J. W. Kim, S. S. Jeong, M. H. Kim, T. G. Park, and H. H. Chong, *Applied Mechanics and Materials*, **110-116**, 217 (2012).
- [10] H. Allik and J. R. Hughes, *Int. J. Numerical Methods of Eng.*, **13**, 151 (1970).
- [11] D. Y. Cha, S. J. Lee, and S. P. Chang, *J. KIEEME*, **24**, 416 (2011).