

# 광대역 저주파수 진동에너지 수확을 위한 PVDF 외팔보 어레이

## A PVDF Cantilever Array For Wide Bandwidth Vibration Energy Harvesting In Low Frequency Domain

\*조성은<sup>1</sup>, #김용준<sup>1</sup>, 김명수<sup>1</sup>

\*S. E. Jo<sup>1</sup>, #Y. J. Kim(yjk@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>, M. S. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 기계공학과

Key words : Energy harvesting, PVDF, cantilever array, low frequency, wide bandwidth

### 1. 서론

주변환경의 진동을 전기에너지로 변환하는 에너지 수확기술은 무선 센서노드의 주요 전력원인 배터리의 수명한계를 극복할 수 있는 대안중의 하나이다[1]. 인체는 일상 생활에서의 대표적인 진동원으로, 인체에서 발생한 진동은 electrostatic, electromagnetic, piezoelectric 방식 등을 통해 전기에너지로의 변환이 가능하다[2]. 이중, piezoelectric 방식은 간단한 소자 구조와 높은 에너지 변환 효율 측면의 장점을 가지고 있으나, 최대의 변환 효율을 얻기 위해서는 수확소자의 공진주파수를 진동원의 주파수에 근접하게 조정해야 한다. 따라서, 인체 진동의 낮은 주파수 특성상, piezoelectric 방식으로 인체 진동으로부터 효율적으로 전기에너지를 생산하기 위해서는 수확소자의 공진주파수가 수십 Hz 이하의 낮은 주파수 영역에 존재해야 한다. 또한, 인체의 진동은 임의의 주파수에서 불규칙적으로 발생하므로 보다 넓은 대역폭에서 공진할 수 있는 수확소자가 요구된다. 이러한 관점에서 piezoelectric 폴리머 기반의 에너지 수확소자는 PZT와 같은 세라믹 기반의 수확소자보다 인체적용에 더 유리하다. Young's modulus가 작은 폴리머를 사용한 수확소자의 경우 단단한 세라믹을 사용한 경우보다 구조의 최적화를 통해 공진주파수를 낮추기가 더 용이하기 때문이다.

본 논문에서는 piezoelectric 폴리머인 PVDF(Polyvinylidene-fluoride) 기반의 에너지 수확소자를 제안한다. 수십 Hz 이하의 공진주파수를 갖는 여러 개의 PVDF 외팔보로 구성된 수확소자를 통해 낮은 주파수 영역에서 보다 넓은 대역폭의 진동을 전기에너지를 변환하고자 하였다.

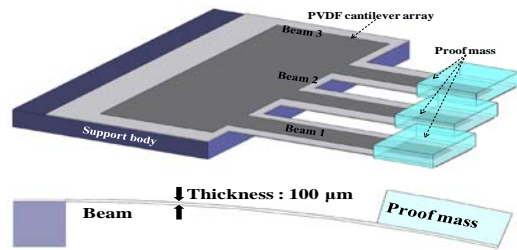


Figure 1: Structure of the proposed device

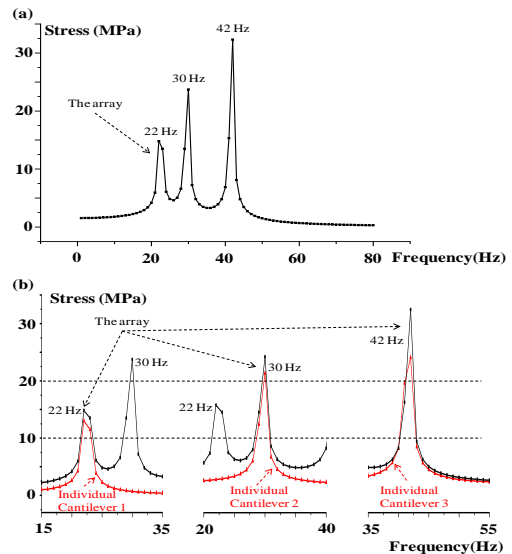


Figure 2: (a) Simulation result of the proposed device, (b) the comparison with individual cantilevers

### 2. 설계 및 제작

그림 1 과 같이 3 개의 서로 다른 PVDF 외팔보가 array를 구성하는 형태의 수확소자가 설계되었다. 설계된 수확소자의 주파수에 따른

진동 특성 시뮬레이션(ANSYS)을 수행한 결과, 소자는 3 개의 공진주파수를 가짐을 확인할 수 있었다( $f_1=22\text{Hz}$ ,  $f_2=30\text{Hz}$ ,  $f_3=42\text{Hz}$ ). 또한, 각 공진주파수에서 설계된 수확소자가 외팔보 변형에 따라 받는 stress의 강도는 array를 구성하지 않을 경우의 개별적인 외팔보가 받는 stress의 강도보다 더 큼을 확인할 수 있었다(그림 2). Piezoelectric 소자의 출력전압은 stress의 강도에 비례하므로 설계된 소자는 보다 넓은 주파수 영역의 진동으로부터 효율적으로 전력을 생산할 수 있다.

설계된 소자는 PVDF 를 기반으로 제작 되었다. 금속 전극이 표면에 스크린 프린팅으로 증착된 PVDF 막이 외팔보 array 형성을 위해 기계적으로 절단 되었다. 진폭을 극대화하기 위한 PDMS 재질의 proof mass 가 외팔보 말단에 부착되었다(그림 3).

### 3. 실험 및 결과

가진기를 통한 진동 인가에 따른 수확 소자의 에너지 변환 성능을 평가하였다. 소자의 출력은 오실로스코프를 사용하여 측정되었다. 소자는 시뮬레이션 결과와 같이 3 개의 주파수에서 출력의 peak 를 보여주었으며(그림 4), 40Hz 의 진동에서 가장 큰 전력을 생산하였다. 그림 5 는 제안하는 array 형태의 소자와 단일 외팔보로 구성된 소자의 전력 생산량을 비교한 결과이다. 제안하는 소자는 최대 5.59 $\mu\text{W}$  의 전력을 생산하였으나, 개별 외팔보 소자의 생산 전력은 1 $\mu\text{W}$  이하임을 확인하였다. 제안하는 소자가 각각의 출력 peak 에서 2 $\mu\text{W}$  이상의 전력을 생산한 것으로 미루어볼 때, 제안하는 소자는 보다 넓은 주파수 영역에서 효율적으로 전력을 생산할 수 있는 것으로 판단되었다.

### 4. 결론

수십 Hz 이하의 저주파 진동을 전기 에너지로 변환하기 위한 PVDF 외팔보 array 를 제작하였다. 제작된 소자는 넓은 주파수 영역에서 효율적으로 전력을 생산할 수 있었으며, 40Hz 의 진동에서 최대 5.59 $\mu\text{W}$  의 전력을 생산하였다.

### 후기

본 연구는 한국연구재단의 미래유망 융합기술 파ioni어 사업(2010-0019313) 및 대학중점 연구소 사업(2009-0093823)의 지원으로 수행됨

### 참고문헌

1. J.T. Scruggs, "An optimal stochastic control theory for distributed energy harvesting networks", Journal of Sound and Vibration, Vol 320, No. 4-5, 6 March 2009, pp. 707-725
2. H.C. Song, et al., "Multilayer piezoelectric energy scavenger for large current generation", J Electroceram (2007) , Vol. 23, pp. 301-304

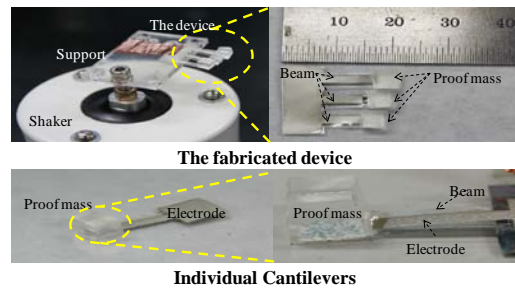


Figure 3: The fabrication device

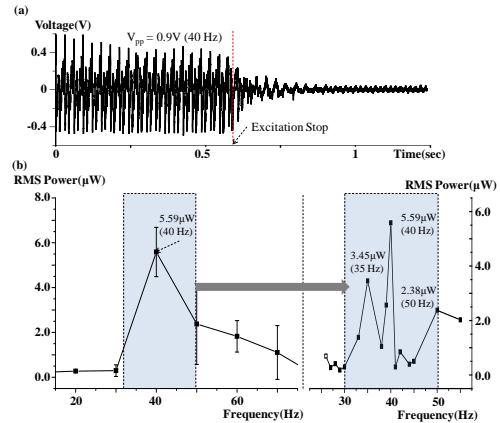


Figure 4: (a)The output voltages when the vibration was applied and (b)output power of the proposed device as the excitation frequencies

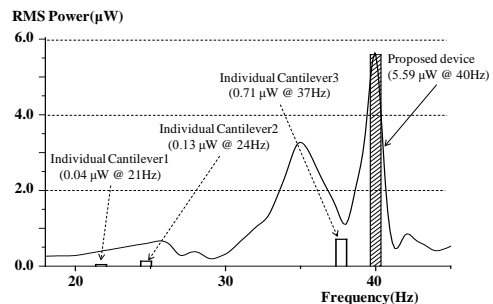


Figure 5: Comparison of maximum output power of individual cantilevers and the proposed device