

주파수 상향을 이용한 에너지 수집소자 설계 Energy Harvesting Device by Using Frequency-up Conversion

*김상현¹, 정석민², #윤광석³

*S. H. Kim¹, S. M. Jung², #K. -S. Yun(ksyun@sogang.ac.kr)^{1,3}

¹서강대학교 바이오융합기술 협동과정, ²삼성SDI, ³서강대학교 전자공학과

Key words : Energy Harvesting, Frequency up conversion, Buckling

1. 서론

MEMS/NEMS 기술을 이용한 마이크로디바이스의 소형화 추세에 반하여 이들 기기에 전원을 공급하는 배터리의 소형화 기술의 발전은 더딘 편이다. 이는 전자기기 및 무선센서 노드의 장기간 이용시 배터리의 교체 또는 충전을 위한 비용을 발생시키고, 전자기기의 소형화 및 집적도의 저하를 일으키는 원인이 되기 때문에, 최근 안정적이고 지속적인 전원 공급을 위한 방법으로 에너지 수집소자의 연구가 이루어지고 있다.[1]

압전식(piezoelectric) 에너지 수집소자의 경우, 정전식(electrostatic) 또는 전자기식(electromagnetic) 방법에 비하여 높은 출력 전압을 얻을 수 있는 장점이 있지만, 마이크로 스케일로 제작되는 경우에 캔틸레버의 공진 주파수가 수 kHz 이상의 공진 주파수를 가지게 된다.[2] 주위 환경에 존재하거나 사람의 움직임에 의해서 발생하는 진동에너지는 10 Hz이하의 낮은 주파수를 가지거나, 비주기적이기 때문에 기존의 캔틸레버를 이용한 에너지 수집 소자로 효율적인 에너지 수집이 힘들다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 주파수 상향 변환 기법을 이용한 에너지 수집 소자들이 발표되었다.[3,4] 하지만 기존의 주파수 상향 기법을 이용한 에너지 수집소자의 경우, 구조가 복잡하여 소형화가 어렵고, 기계적 마모를 일으키는 단점이 있다. 본 논문에서는 버클링(Buckling) 구조를 이용한 주파수 상향 기법을 통하여 낮은 주파수의 진동에너지를 효율적으로 수집할 수 있는 소자를 제안한다.

2. 소자 설계

제안하는 주파수 상향을 이용한 에너지 수집소자의 동작 원리는 그림. 1 과 같다. 에너지 수집소자는 버클링 현상을 유도하기 위한 슬렌더 브리지

(slender bridge) 구조와 진동에너지를 수확하기 위한 압전물질이 부착된 압전 캔틸레버로 이루어진다. 슬렌더 브리지는 제작과정에서 의도적으로 일정한 값의 스트레스를 가해주어 휘어지게 된다. 외부에서 진동에너지가 슬렌더 브리지의 스프링을 일으키는 임계값 이상을 가지게 되는 경우에, 슬렌더 브리지는 높은 가속도를 가지며 다른 평형 상태로 이동하게 된다. 이때 브리지에 달려있는 mass에 높은 가속도가 순간적으로 유도되고, mass에 붙어있는 압전 캔틸레버는 임펄스충격을 받은 것과 같이 공진주파수에서 진동하게 된다. 따라서 외부에서 주어진 낮은 주파수의 진동에너지가 압전 캔틸레버의 고유 진동 주파수로 상향변환 되게 되는 것이다. 따라서 제안된 구조가 마이크로 스케일로 제작되는 경우 수십 Hz 대역의 외부 진동주파수가 소형캔틸레버가 가지는 수 kHz의 공진 주파수로 변환되며 높은 효율로 에너지를 수확할 수 있게 될 것으로 예측된다.

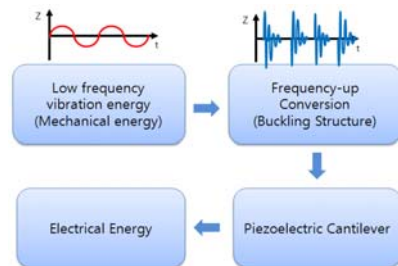


Fig. 1 Schematic of frequency-up conversion energy harvesting device

3. 실험결과

에너지 수집 소자의 슬렌더 브리지와 캔틸레버는 200 μm의 두께를 가지는 polyethylene terephthalate (PET)로 제작 되었으며 슬렌더 브리지의 크기는 각각의 빔 길이가 40mm, 너비가 1mm이며, 캔틸레

버의 크기는 $8 \times 4 \times 0.2 \text{ mm}^3$ 이다. 캔틸레버 위에는 캔틸레버와 동일한 면적을 가지며 양면에 ITO 전극이 증착된 $52 \mu\text{m}$ 두께의 PVDF 필름이 부착되었다. 에너지 수확 소자에 진동에너지를 가해주기 위하여 가진기를 신호발생기 (33220A, Agilent)를 이용하여 12 Hz에서 진동하도록 하였으며, 이때 가속도계 (333B32, PCB Piezoelectronics Inc.)를 가진기에 부착하여 가속도를 측정하였다. 압전 캔틸레버에서 발생하는 전압은 오실로스코프 (Wavesurfer 454, Lecroy)를 이용하여 측정하였다.

그림. 2는 제작된 에너지 수확 소자를 이용한 실험 결과이다. 빨간색 선은 외부에서 가해진 진동 주파수 (12Hz)를 나타내며, 파란색 선은 압전 캔틸레버에서 생성된 전압의 크기를 나타낸다. 그림. 2에서 확인할 수 있듯이, 외부 진동에너지가 낮은 주파수를 가지는 것에 비하여, 압전 캔틸레버에서 나오는 출력 전압의 주파수가 91 Hz로 높아진 것을 확인할 수 있다. 또한 그림. 3은 정류회로를 거친 후의 전압값으로 약 $2.85 \mu\text{W}$ 의 최대 평균 전력을 가지는 것을 확인하였다.

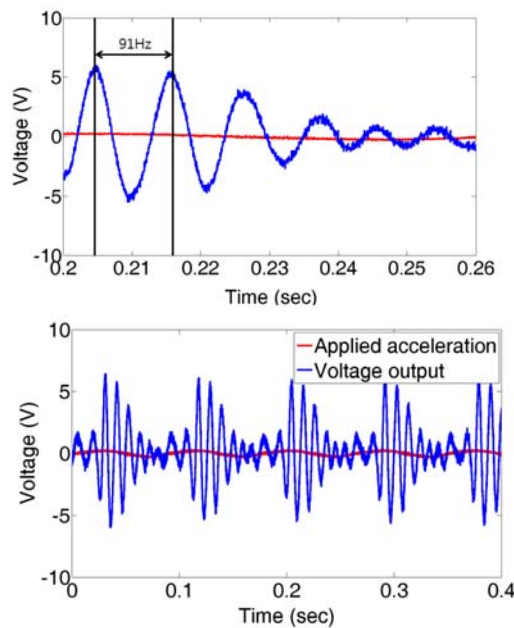


Fig. 2 Frequency-up conversion result of the fabricated device. Voltage output of piezoelectric cantilever beam

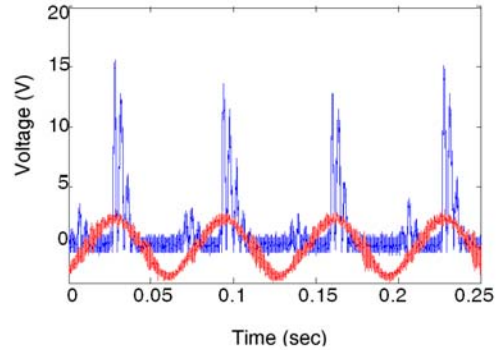


Fig. 3 Rectified voltage output of the piezoelectric cantilever beam

4. 결론

본 논문에서는 제안한 에너지 수집 소자를 제작하여, 낮은 주파수의 진동에너지를 버클링 구조를 이용하여 주파수 상향 변환 할 수 있음을 확인하였으며, 상향 변환된 진동에너지를 압전 캔틸레버를 이용하여 전기적 에너지로 수집할 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파ioni어 사업으로부터 지원받아 수행 되었습니다(과제번호-2010-0019313).

참고문헌

1. Jeon, Y. B., Sood, R., Jeong, J. -h. and Kim, S. -G., "MEMS power generator with transverse mode thin film PZT," *Sensors and Actuators A*, **122**, 16-22, 2005.
2. von Buren, T., Mitcheson, P. D., Green, T. C., Yeatman, E. M., Holmes, A. S. and Troster, G., "Optimization of Inertial micropower generators for human walking motion," *IEEE sensors Journal*, **6**, 6128-6138, 2006.
3. Kulah, H. and Najafi, K., "Energy Scavenging From Low-Frequency Vibrations by Using Frequency Up-Conversion for Wireless Sensor Applications," *IEEE sensors Journal*, **8**, 83261-83268, 2008.
4. Lee, D. -G., Carman, G. P., Murphy, D. and Schulenburg, C., "Novel Micro Vibration Energy Harvesting Device using Frequency Up Conversion," *Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Transducers 2007*, 871-874, 2007.