

공진 주파수 저역 변환을 이용한 소형 압전 진동 에너지 수확 장치의 성능 연구

Performance Study on a Miniaturized Piezoelectric Vibration Energy Harvester by Resonant-Frequency Down Conversion

선경호† · 김영철* · 김재은**

Kyung Ho Sun, Young-Chul Kim and Jae Eun Kim

1. 서 론

대부분의 압전 진동 에너지 수확 장치는 장치의 공진 주파수가 외부 가진 주파수와 일치할 때 최대 전력을 발생시키는 공진형이다. 따라서, 에너지 수확 장치의 작동 주파수 영역을 넓히기 위해 배열 구성 (array configuration), 주파수 조정법 (frequency tuning method), 비선형 진동 현상 (non-linear vibration) 및 외부 가진 주파수 고역 변환 (frequency-up conversion) 등이 연구되어 왔다⁽¹⁾. 또한, 진동 에너지 수확 장치의 전기 출력에 대한 공진 특성은 압전 진동 에너지 수확 장치의 크기를 제한한다. 즉, 일반적인 외부 진동 환경에서 가진 주파수 대역이 수백 Hz 이하인 것을 고려하면 수백 Hz 이상의 고유 진동수를 갖는 소형의 에너지 수확 장치는 사용될 수 없다. 따라서, 의료, 군사 분야 및 빌딩 자동화를 위한 무선 센서 네트워크 등 응용 분야의 특성상 소형의 에너지 수확 장치가 필요한 경우 그 대책이 필요하다. 이를 위해 저역의 외부 가진을 충격 형태로 변환하여 고유 진동수가 높을 수 밖에 없는 초소형 진동 에너지 수확 장치의 설계에 이용하기도 하지만, 이는 별도의 장치가 필요하며, 외부 가진 에너지가 넓은 주파수 대역으로 분포된 후 실제로는 고유 진동수 부근의 감소된 가진 에너지만 사용하는 단점이 있다.

본 연구에서는 낮은 공진 주파수 대역을 갖는 소형 압전 진동 에너지를 설계하기 위한 또 다른 방

법으로서 동흡진기의 고유 진동수 분리 현상을 이용하였다. 선행 연구로서 크기 $39 \times 20 \times 6.9 \text{ mm}^3$, 폐회로 고유 진동수 100 Hz의 압전 진동 에너지 수확 장치를 설계하였으며, ANSYS를 이용하여 출력 전압 및 전력에 대한 성능 해석을 수행하였다.

2. 소형 압전 진동 에너지 수확 장치

진동 에너지 수확 장치의 설계에 있어서 동흡진 현상의 이용은 앞서 기술한 바와 같이 작동 주파수 대역을 넓히기 위한 방법으로서 연구된 바 있다^(2,3). 이러한 압전 진동 에너지 수확 장치는 고유 진동수가 일치하는 2개의 질량-스프링 계가 연결된 형태로서 원래의 고유 진동수는 저역과 고역으로 분리된다 (Fig. 1(a)). 그러나, 이를 구현하기 위해 축 방향이 같도록 연결된 2개의 외팔보는 적지 않은 공간을 차지하기 때문에 소형의 진동 에너지 수확 장치를 구성하기에는 어려움이 있다. 따라서, 이를 극복하기 위해 Fig. 1(b)에 보인 바와 같이 구성 단위들의 부착 방향을 서로 반대로 할 수 있다. 그러나,

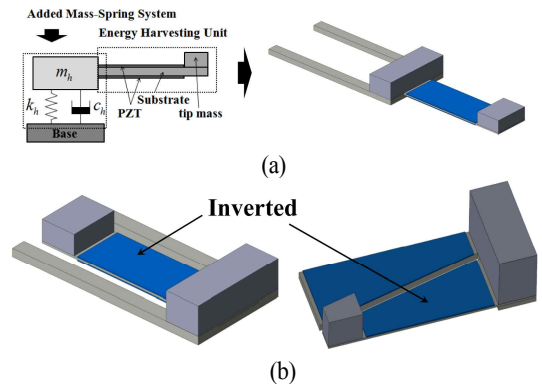


Fig. 1 Two methods of attaching two frequency-tuned components: (a) normal and (b) inverted attachments

† 교신저자; 한국기계연구원 시스템다이내믹스실

E-mail : sunkh@kimm.re.kr

Tel : (042) 868-7247, Fax : (042) 868-7440

* 한국기계연구원 시스템다이내믹스실

** 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

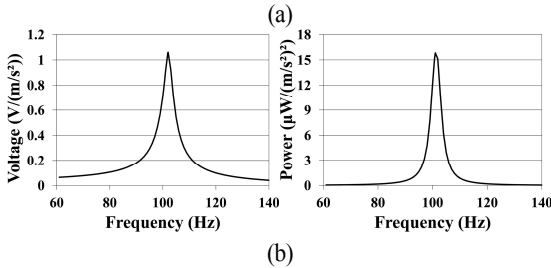
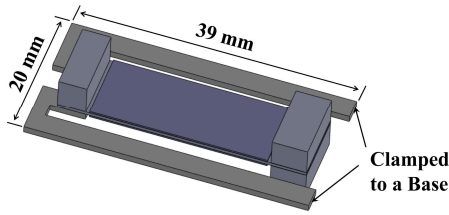


Fig. 2 (a) The proposed configuration and (b) output voltage/power

이 경우 고유 진동수 분리 현상이 거의 일어나지 않음이 연구된 바 있다.^(4,5)

따라서, 본 연구에서는 Fig. 1(a)의 구성에서와 같이 유효한 고유 진동수 분리가 일어나면서도 최소의 공간을 차지하도록 Fig. 2(a)와 같은 형태의 소형 압전 진동 에너지 수확 장치를 설계하였으며, Fig. 2(b)에 이에 대한 전기 출력 성능을 나타내었다. 출력 전압 및 전력은 압전 진동 에너지 수확 장치에 부착된 외부 저항 값이 장치의 내부 임피던스의 크기와 같은 경우의 출력 값을 나타낸 것이다. 기저의 가진 가속도는 $1m/s^2$ 이며, 역학 감쇠비로 0.015를 사용하였다. Fig. 2(a)에 보인 압전 진동 에너지 수확 장치에 있어서 개별 구성 단위는 약 218 Hz의 고유 진동수를 가지며, 연결 후 100 Hz의 고유 진동수를 갖는다.

3. 결 론

본 연구에서는 동흡진 현상을 기반으로 새로운 구성의 소형 압전 진동 에너지 수확 장치를 설계하였다. 제안된 구성으로 인해 소형이면서도 100 Hz 근처의 고유 진동수를 갖는 압전 진동 에너지 수확 장치를 설계하는 것이 가능하였다. 설계된 소형 압전 진동 에너지 수확 장치에 대해 유한 요소 해석을 통해 출력 성능을 분석하였다. 추가로 실험을 통해 제안된 구성이 압전 진동 에너지 수확 장치의 소형화에 효과적으로 활용될 수 있음을 검증하고자 한다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 (No. 2012-0003494) 및 한국기계연구원 자체사업 (KM2840) 지원을 받아 수행된 것임.

참 고 문 헌

- (1) Tang, L., Yang, Y. and Soh, C. K., 2010, "Toward Broadband Vibration-based Energy Harvesting", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 21, pp. 1867~1897.
- (2) Ma, P. S., Kim, J. E. and Kim, Y. Y., 2010, "Power-amplifying strategy in vibration-powered energy harvesters", *Smart Structures /NDE (SPIE)*, San Diego, CA.
- (3) Aldraihem, O. and Baz, A., 2011, "Energy Harvester with a Dynamic Magnifier", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 22, pp. 521~530.
- (4) Kim, J. E., 2011, "Development of a New Piezoelectric Vibration Energy Harvester for Improved Output Power: Analytical Verification", *Proceedings of the KSNVE Fall Annual Conference*, pp. 595~595.
- (5) Kim, J. E. and Kim, Y. Y., 2012, "Power enhancing by reversing mode sequence in tuned mass-spring unit attached vibration energy harvester", *Applied Physics Letters*, in review.