

# 동흡진 압전 에너지 수확장치: 해석적 고찰

## A new dynamic vibration absorbing piezoelectric energy harvester: Analysis

김재은† · 김윤영\*

Jae Eun Kim and Yoon Young Kim

### 1. 서론

압전 진동 에너지 수확장치는 생활 환경 주변의 어디에나 존재하는 진동에 의한 에너지를 압전 물질의 특성을 이용, 수집하여 유용한 전기 에너지로 변환하는 기술을 말한다. 이러한 압전 진동 에너지 수확 장치는 다른 에너지 변환 수단에 비해 상대적으로 높은 에너지 변환 효율 및 구성의 간단함, 소형화의 장점으로 인해 많은 연구가 되고 있다<sup>(1)</sup>. 그러나, 아직은 생성되는 전기 출력의 양 및 생성 주파수 대역이 좁아서 많은 응용 분야에 적용되기까지는 관련 연구가 더욱 필요하다.

이러한 배경하에 본 연구에서는 넓은 가진 주파수 대역에서도 의미 있는 전기 출력을 발생시키기 위해 동흡진기 (Dynamic Vibration Absorber, DVA) 이론을 적용한 새로운 압전 에너지 수확 장치를 제안하였고, 해석을 통해 이에 대한 전기 출력 특성을 알아보았다.

### 2. 동흡진 압전 에너지 수확 장치

#### 2.1 동흡진 압전 에너지 수확 장치의 개념

본 연구에서 제안하는 동흡진기 이론을 적용한 압전 에너지 수확 장치 (동흡진 압전 에너지 수확 장치: Dynamic Vibration Absorbing Piezoelectric Energy Harvester, DVA-PEH)는 Fig. 1 과 같이 기존의 외팔보 압전 에너지 수확 단위와 가진 기저 사이에 등가 스프링-질량 계가 존재한다 ( $m_h, k_h, c_h$ )<sup>(2, 3)</sup>. 따라서, 등가 스프링-질량 계 및 외팔보 압전 에너지 수확 단위의 고유 진동수를 일치시킴으로써 등가 스프링-질량 계의 진동은 압전 에너지 수확 보로 흡수된다. 또한, 새로이 생성된 2 자유도계는 동흡진기 이론에 의해 각 자유도에 해당하는 구성 계의 등가 질량

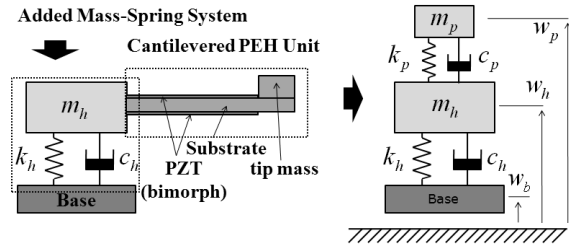


Fig. 1 Proposed concept of the DVA-PEH

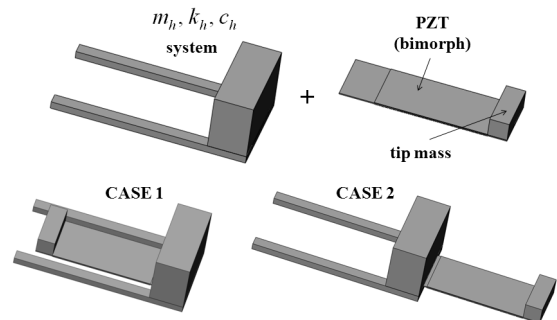


Fig. 2 New candidate designs of DVA-PEH

비율에 따라 다음과 같이 일정한 주파수 대역을 생성한다<sup>(3)</sup>.

$$(\omega_1, \omega_2) = \omega_h \sqrt{\frac{2 + \mu \pm \sqrt{\mu(\mu + 4)}}{2}} \quad (1)$$

위 식에서  $\omega_1, \omega_2$  는 새로운 2 자유도계의 고유 진동수이고,  $\omega_h^2 = k_h/m_h$  및  $\mu = m_p/m_h = k_p/k_h$  이다.

#### 2.2 동흡진 압전 에너지 수확 장치의 구성

Fig. 1 의 개념을 바탕으로 본 연구에서는 우선 Fig. 2 와 같은 형태의 동흡진 압전 에너지 수확 장치를 고려하였다. 먼저 CASE 1 및 CASE 2 의 각각의 경우에 대해 폐회로 고유 진동수 및 고유 모드를 해석하였다. 해석에는 외부 등가 저항이 부착된 압전 변환기의 해석이 가능한 ANSYS 를 사용하였다. Fig.2 의 상단 그림에 보인 각각의 구성 단위의 고유 진동수는 80 Hz 가 되도록 설계하였다. Fig. 3 에는 Case 1 및 Case 2 에 대한 해석 결과를 나타내었으며, 이를 통해 비록 외팔보 압전 에너지 수확 단위의 형태 및 치수는 동일하지만, 추가 등가 스프링-질량계에 대한 상대적인 부착 위치에 따라 동특성이 매우

† 김재은; 서울대학교 정밀기계설계 공동연구소  
E-mail : jekim@idealab.snu.ac.kr  
Tel : (02) 880-7130, Fax : (02) 872-5431  
\* 서울대학교 기계항공공학부  
차세대 자동차 연구 센터

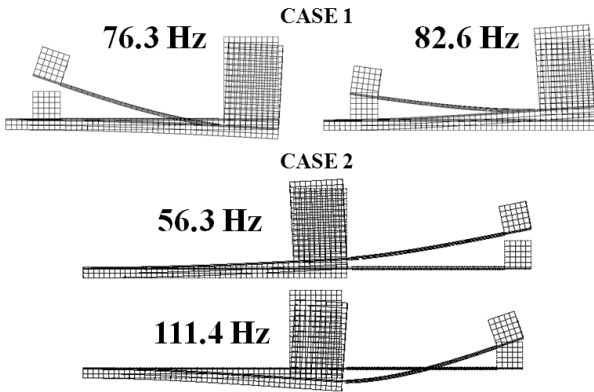


Fig. 3 Modal properties of Cases 1 and 2

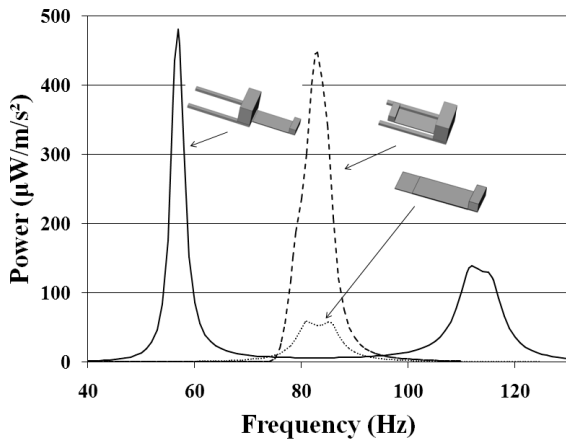


Fig. 4 Comparisons of output power at optimal impedance

다름을 알 수 있으며, 이는 결과적으로 매우 다른 전기 출력 양상을 나타내게 된다.

일반적인 동흡진의 이론대로 Case 2의 경우에는 각 자유도를 구성하는 단위간의 등가 질량비에 따라서 적절한 고유 진동수의 분리가 이루어 졌으며, 새로이 생성된 2개의 고유 진동수에서 전기 출력 양이 증가되어 나타남을 알 수 있다 (Fig. 4). 이와는 달리 Case 1의 경우는 고유 모드의 순서가 Case 2와는 반대가 되어 (180° 위상 차) 나타나며, 고유 진동수의 분리가 잘 이루어 지지 않는다. 이러한 동특성의 차이로 인해 전기 출력에 있어서도 Case 2의 경우와는 달리 원래의 고유 진동수 (80 Hz) 부근에서만 전기 출력 양이 매우 증가함을 볼 수 있다.

Fig. 4의 결과를 바탕으로 이 두 가지 구조를 적절히 조합하면 새로이 형성된 고유 진동수에서 뿐만 아니라 각 구성 단위의 원래의 고유 진동수에 해당하는 가진 주파수에서도 상당한 양의 전기 출력 양을 얻을 수 있으리라 예상할 수 있다. 이로써 원하는 주파수 대역 폭에서 실질적으로 향상된 전기 출력 양을 얻을 수 있을 것이다. 예로서 이를 고려한 설계 형상과 함께 전기 출력 해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 압전 물질이 부착된 각각의 외팔보

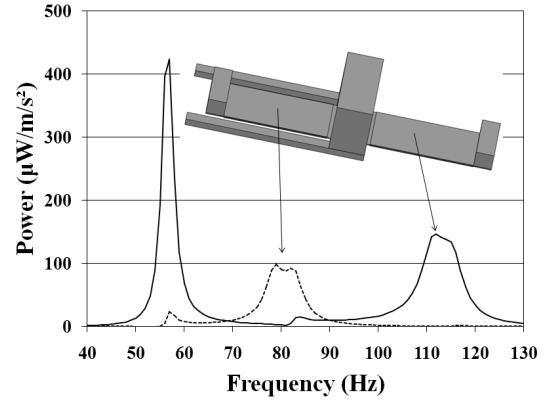


Fig. 5 Power output of the DVA-PEH composed of Cases 1 and 2 at optimal impedance

압전 에너지 수확 단위에서 생성되는 전기 출력은 위상이 같지 않은 교류이므로 정류 회로를 통해 얻은 각각의 출력 양이 합해져야 한다. 그러나, 이에 대한 해석은 ANSYS에서 가능하지 않으므로 Fig. 5의 결과는 각각의 수확 단위에서 생성되는 전기 출력 양을 제시한 것이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 전기 출력 양의 증가 뿐만 아니라 의미 있는 전기 출력이 생성되는 주파수 대역을 증가시키기 위해, 동흡진 이론을 적용한 압전 에너지 수확 장치를 제안하고 해석적으로 검증하였다. 추가적인 등가 스프링-질량 계에 부착되는 외팔보 압전 에너지 수확 단위의 위치에 따라 주파수 대역 및 전기 출력 양의 특성에 있어서 서로 다른 양상을 나타냄을 보였으며, 이 두 가지 특성이 결합된 새로운 압전 에너지 수확 장치를 제안하였다.

### 후 기

본 연구는 교육 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제번호: 2009-0083279)과 WCU (과제번호: R31-2009-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Priya, S. and Inman, D. J., 2009, "Energy Harvesting Technologies", Springer Science+Business Media, LLC.
- (2) Kim, J. E., Ryu J. C., Ma, P. S. and Kim, Y. Y., 2009, "Energy harvester," Korea Patent Application No. 10-2009-0096895.
- (3) 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, California, March 7-11, 2010.