

# 전기-기계 커플방정식을 이용한 Piezoelectric Energy Harvesting 시스템 출력 전압 예측

김진수\* · 정운창\* · 이선훈\* · 노정준\* · 오재웅†

Jin-Su Kim, Un-Chang Jeong, Sun-Hun Lee, Jeong-Joon Roh and Jae-Eung Oh

## 1. 서 론

최근 친환경 에너지에 대한 관심의 증대로 에너지 수확기술을 실용 가능한 수준으로 발전시키기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 또한 기계구조물의 경우 필연적으로 발생하는 진동을 제어하는 연구의 필요성이 제기되고 있다. 압전소자 장치의 경우, 공간변화가 적고 저주파 영역에서의 제어효과가 탁월하다. 이에 따라 크기에 비해 강성이 아주 작고, 일정한 힘으로 인한 평균 변형률이 가장 큰 외팔보를 이용하여 에너지 수확장치를 구축하고, 저항과 커패시턴스를 이용하여 최대 전력을 출력할 수 있는 회로를 설계해 보았다.

## 2. 압전소자의 에너지 수확장치 모델링

### 2.1 기계 - 전기 모델링

(1) 진동원의 전력변화

외팔보를 질량-스프링-댐퍼로 모델링하고, 진동에너지에서 전기에너지로 변환될 때의 전기-기계 커플링 계수를 고려하면 식(2.1)을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) + \alpha V(t) &= F(t) \\ \alpha x(t) - c_p v(t) &= -Q(t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2) 에너지 변환

식(2.1)를 시간의 함수에서 주파수 함수로 변경하고, 외부 회로에 연결된 부가 저항이 일정한 값을 가질 경우 변위식과 전력식은 식 (2.2)와 같이 구할 수 있다.

$$X(\omega) = \frac{1}{(\alpha_l^2 - \omega^2 + j2\zeta\omega)\left(\frac{1}{R} + j\alpha_r\omega\right) + j\frac{\alpha^2\omega}{m}} \left(\frac{1}{R} + j\alpha_r\omega\right) \frac{1}{m} F \quad (2.2)$$

$$V(\omega) = \frac{j\omega}{(\alpha_l^2 - \omega^2 + j2\zeta\omega)\left(\frac{1}{R} + j\alpha_r\omega\right) + j\frac{\alpha^2\omega}{m}} \frac{\alpha}{m} F$$

식(2.3)에서  $A$  가 일정하다 하면 일률은 주파수에 반비례한다. 그러므로, 에너지 수확장치가 낮은 주파수에서 공진하도록 설계해야 한다.

### 2.2 압전소자 및 회로 모델링

앞서 유도된 식 (2.2)로부터 압전소자의 형상 변화에 따른 전력 값의 변화를 확인하기 위하여 simulation을 진행하였고, 길이와 두께의 변화에 대한 출력 전압을 Fig.1,2에 나타내었다.

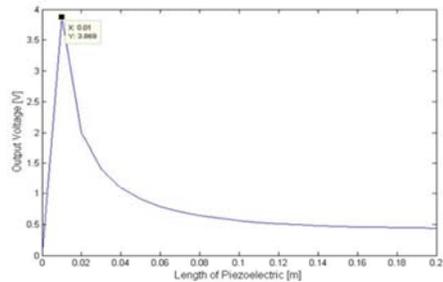


Fig.1 Output voltage according to the change in length of piezoelectric

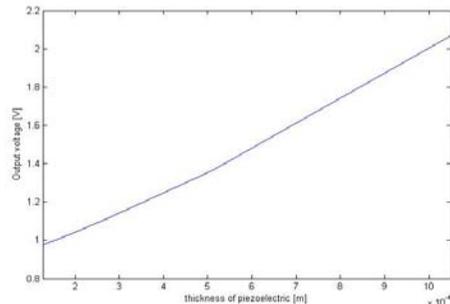
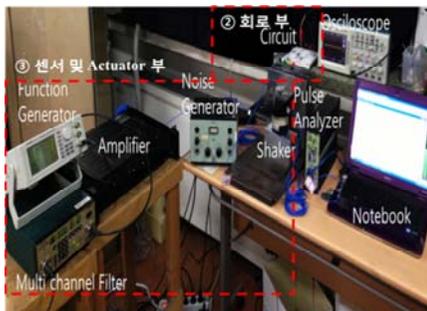


Fig.2 Output voltage according to the change in thickness of piezoelectric

† 교신저자: 한양대학교 기계공학부  
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr  
Tel : (02) 2220-0452 , Fax : (02) 2299-3153  
\* 한양대학교 기계공학과

### 3. 회로에 따른 에너지 수확장치 실험

#### 3.1 압전소자 에너지 수확 장치 실험 구성



**Fig. 3** Diagram of experimental system

압전소자의 위치는 Abaqus를 이용하여 구조물의 변형률을 해석한 후 최대 변형률이 일어나는 곳에 부착하여 실험하기로 한다

Function Generator와 Noise Generator에서 각각 사인파와 White noise를 생성하고, 사인파는 Filter를 통해 100Hz이하의 값만 통과시킨다. Filter를 통과한 사인파와 White noise를 Amplifier를 통해 증폭시킨다. 가진된 외팔보의 변형으로 인해 압전소자와 회로로부터 출력되는 전압을 측정하기 위해 오실로스코프를 연결한다.

### 4. 결과 및 고찰

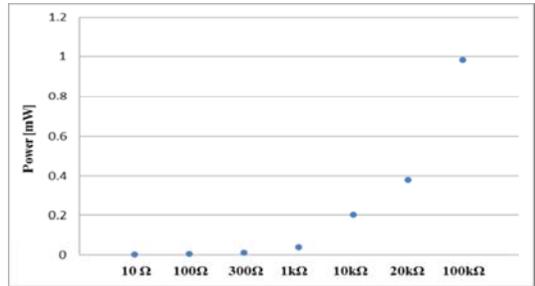
#### 4.1 회로소자 값에 따른 출력 전력의 이론 값과 실험 값 비교

Table 1로부터 외부저항값이 증가하면 출력 전력이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

하지만 오차 값이 크기는 55%까지 발생했음을 알 수 있는데, 이는 너무 미세한 전류로 인해 정확한 측정이 불가하여 오차가 생기게 된 것으로 사료된다.

이 오차를 줄이기 위해서는 정확한 전압과 전류의 측정이 필요하다.

Fig.3을 보면 소자값에 따른 전력을 알 수 있는데 출력 전력의 값은 저항이 제일 큰 100kΩ 일 때 최대로 확인되었다. 이 또한 저항 값이 커질수록 출력 전력 값이 커짐을 알 수 있다.



**Fig. 3** Experimental value of the output power according to the change of load resistance

**Table 1** Theoretical value and experimental value of electrical power

저항 (kΩ)	4.7	10	20	100	350
이론값 (mW)	0.04	0.13	0.23	0.71	2.2
실험값 (mW)	0.09	0.15	0.3	0.8	1.3
오차 (%)	55.6	13.3	28.1	11.3	27.8

### 5. 결 론

압전소자를 이용한 에너지 수확 장치를 모델링함으로써, 전기-기계 모델의 에너지 변환 수식을 유도하였다. 저항 회로소자를 변경하며 전력의 최대 출력값을 확인하였다.

- 저항 값 1 kΩ까지는 전력 값에 큰 변화가 없으나 10 kΩ 이상 부터 전력 값이 비선형 적으로 상승함을 알 수 있음
- 저항 값이 클수록 Piezo로 부터 많은 전력 값을 얻을 수 있음

### 후 기

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 (재)한국연구재단의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

(연구과제번호 : 2012R1A1A2043208)