

빔 타입과 스택 타입의 압전 에너지 하베스터 비교 연구

A Comparison Study on Cantilever-type and Stack-type Piezoelectric Energy Harvesters

정병창† · 허영철* · 문석준**

Byung Chang Jung, Young-Chul Huh and Seok-Jun Moon

1. 서 론

진동에너지 변환 압전 에너지 하베스터에 대한 연구는 에너지 변환 방식에 따라 (1)압전 소자의 31 모드를 이용하며, 간단한 구조로 작은 외부 가진에 대하여 큰 변형률을 발생시킬 수 있어 소형화가 가능한 장점이 있는 보 타입(Cantilever-type)과, (2)압전 소자의 33 모드를 이용하며, 얇은 압전 소자를 병렬로 쌓아서 압전 소자의 내부 저항을 낮추고, 더 큰 전류 및 전기에너지를 수확할 수 있는 스택 타입(Stack-type)⁽¹⁾, (3)큰 변형률이 존재하는 진동 구조물의 표면에 얇은 압전 소자를 직접 부착하여 에너지를 수확하는 스킨 타입(Skin-type), (4)압전 소자에 가해지는 하중을 증폭시키고, 31, 33 모드를 동시에 이용가능 하도록 고안된 Cymbal-type 에 대한 연구들이 이루어 지고 있다. 최근까지 수 milliwatt 레벨의 수확 전력량을 증가시키기 위한 연구가 다양하게 이루어 지고 있으며, 이에 따라 높은 에너지 변환 효율을 가지며, 상대적으로 가혹한 진동 환경에서 큰 전기에너지를 생산할 수 있는 스택 타입의 에너지 하베스터에 대한 연구가 최근 보고되고 있다⁽¹⁻²⁾. 스택형 압전 소자는 인장 강도보다 압축 강도가 상당히 커서 인장과 압축이 반복되는 공진을 이용하는 시스템 보다는 신발, 가방(backpack) 등 큰 압축 하중을 발생시킬 수 있는 시스템에 주로 응용되어왔다. 본 연구에서는 외부 진동에 대하여 스택형 압전 소자가 양방향 압축 하중만을 받도록 고안된 에너지 수확장치(Double Acting Energy Harvester, DAEH)를 제안하고, 수학적 해석 모

델을 이용하여 보 타입의 에너지 수확장치와 동적 인장/압축 강도를 고려한 최대 전력량, 내부 저항, 크기 등의 장·단점을 비교·고찰 하였다.

2. Double Acting Energy Harvester

2.1 DAEH 작동 원리

그림 1은 DAEH의 개념도를 보여준다. 외부 가진에 대하여 무게추(Mass)가 상하로 운동하며 스프링을 압축하게 되고, 이때 스택형 압전 소자는 1 사이클의 mass-spring 운동에 대하여 2 사이클의 양방향 압축 하중만을 받으며 전기에너지를 수확한다. 표 2는 압전 소자의 인장/압축에 대한 파단 강도를 보여준다. 스택형 압전 소자의 경우 인장 강도가 압축 강도보다 매우 작음을 알 수 있다. DAEH는 공진에 따른 하중 증폭이 가능하며, 압전 소자에 작용하는 압축 하중의 빈도를 2배 증가시켜, 내구성 및 전기 에너지 수확 효율의 향상이 가능하다.

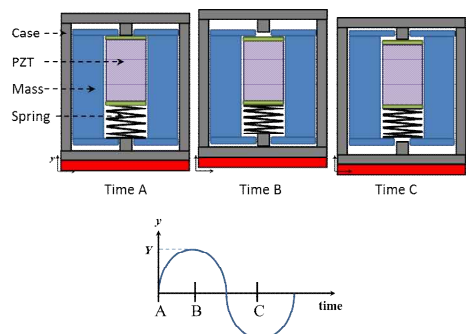


Fig. 1 Working mechanism of the DAEH

Table 1 Tensile and Compressive Strength of PZT

Material	Tensile Strength(MPa)		Compressive Strength (MPa)
	Static	Dynamic	
PZT-5A ⁽³⁾	75.8	27.6	517
PZT-5A ⁽⁴⁾	100	-	600
PZT-5H ⁽⁴⁾	-	14	-
PZT Stack ⁽⁴⁾	4.9	-	880

† 교신저자; 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

E-mail : bcjung@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7463, Fax : 042-868-7418

* 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

** 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

2.2 수확 전력량 예측 모델

DAEH는 mass-spring 시스템의 1 사이클 운동에 대하여, 스택형 압전 소자가 두 사이클의 압축/이완 운동을 한다. 압전 소자에 작용하는 최대 하중, F_d 는 mass-spring 시스템이 외부 가진에 대하여 공진 시 식 1과 같이 계산된다. k 는 스프링 상수, Y 는 최대 가진 변위, r 는 진동수비, ζ 는 감쇠비이다.

$$F_d = kY \cdot r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

하중을 받는 스택형 압전 소자의 전압은 압전 소자의 구성방정식과 1차원 운동방정식을 풀어 유도한 식 2의 state space equation을 풀어 계산되며, 최적 저항, R ,에 대하여 수확 가능한 전력량은 $P=v(t)^2/R$ 에 의해 계산된다⁽²⁾.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & A_{cs} & 0 \\ -\frac{1}{M_x} & Ls_{33,x}^E & -\frac{c_x}{M_x} & \frac{d_{33}^E A_{cs}}{M_x} \\ 0 & 0 & -\frac{d_{33}^E A_{cs}}{hs_{33,x}^E C_x} & -\frac{1}{RC_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ k_c \\ M_x \\ 0 \end{bmatrix} F_d(t) \quad (2)$$

3. 에너지 수확장치 비교 연구

동일 진동조건에서 같은 양의 압전 소자를 이용하여 허용 가능한 동적 인장/압축 강도를 고려하여 보 타입 에너지 수확장치와 DAEH를 설계하고, 최적 저항, 수확 전력량, mass의 크기 등을 비교하였다. 그림 2는 보 타입 하베스터의 해석 모델 및 하모닉 가진 시 응력 결과이며, 그림 3은 DAEH A 설계 안의 압전 소자에 작용 하중 및 이때 수확 가능한 전력량을 보여준다. 표 2에 해석 결과를 비교하였다. 동일한 진동 조건에서 동일한 전력을 수확 시 DAEH A는 Bimorph보다 내부 저항은 79배 작아지나, 106g의 무게추를 위한 추가 공간이 필요하다. Bimorph의 경우 최대 동적 응력(14MPa)이 도달하여 전력량을 증가시킬 수 없으나, DAEH B는 허용 압축 응력인 88MPa까지(압축 강도의 10% 가정) 변형하도록 하중을 가할 경우 919mW까지 수확 가능하다.

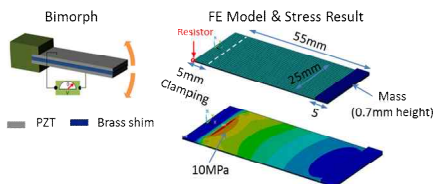


Fig. 2 FE Model and Analysis Results of the Bimorph

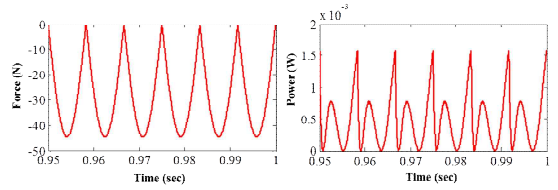


Fig. 3 Power Prediction of the DAEH A

Table 2 Results of Comparison Study

Material	1. Bimorph	2. DAEH A	3. DAEH B
PZT Size[mm]	25x55x0.127, 2 layers	5x5x0.127, 110 layers	5x5x0.127, 110 layers
Excitation	60 Hz, 0.43g	60 Hz, 0.43g	60 Hz, 0.43g
Allowable Max. Stress	14 MPa	2.02 MPa	88 MPa
Force(peak)	-	44.5 N	1930 N
Opt. Resistance	88 kΩ	1.13 kΩ	1.13 kΩ
Peak Voltage	±9.3 V	-1.3~0.93V	-58~40V
Harvestable Power	0.49mW	0.49mW	919mW
Damping ratio	1.98%	1%	1%
Weight of Mass	0.8g	106g	3.37kg
Size of Tungsten Mass[mm]	25x5x0.33	17.7x17.7x17.7	56x56x56

4. 결 론

본 연구에서는 시험을 통한 검증 이전 단계로 해석 모델을 이용하여 DAEH의 특성을 보 타입의 에너지 수확장치와 비교, 분석하였다. DAEH는 상대적으로 가혹한 진동 환경에서 Cymbal-type 에너지 수확장치와 같은 추가적인 하중 증폭 메커니즘과 조합하여 사용할 경우, 보다 작은 사이즈로 수~수십 mW 정도의 유의미한 전력 수확이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 주요사업(SC0930)의 지원을 받아 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) T. Xu, et al., "Energy harvesting using a PZT ceramic multilayer stack," Smart Materials and Structures, Vol.22, 2013
- (2) A. J. Lee, et al., "Energy Harvesting of Piezoelectric Stack Actuator From a Shock Event," Journal of Vibration and Acoustics, Vol.136, 2014.
- (3) www.morganelectroceramics.com
- (4) www.piezo.com