

# SSHI 기법을 이용한 압전 소자로부터의 에너지 회수에 대한 연구

## A Study on the Piezoelectric Energy Harvesting using SSHI technique

남윤수<sup>1</sup>, \*박종수<sup>2</sup>, 박해군<sup>2</sup>, 장후영<sup>2</sup>

Y. S. Nam<sup>1</sup>, \* J. S. Park(fkrndy@dreamwiz.com)<sup>2</sup>, H. G. Park<sup>2</sup>, H. Y. Jang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 <sup>2</sup> 강원대학교 대학원 기계·메카트로닉스공학부

Key words : Energy Harvesting, Piezoelectric Material, Synchronized Switching Harvesting with Inductor

### 1. 서론

전원 공급 장치로 주로 의존하고 있는 배터리는 수명에 한계가 있고 부피가 크며, 충전 횟수가 유한하다. 또한 무선 기술의 발달로 전자 기기나 센서들이 서로 먼 곳에 위치하게 되었고, 최근에는 MEMS 기구의 급격한 발달 등으로 기계적 진동을 전기적 에너지로 변환할 수 있는 압전 소자가 배터리의 대안으로 떠오르고 있다.

압전 소자는 액추에이터와 같이 전기적 에너지를 가하여 기계적 에너지를 얻어낼 수 있고, 반대로 발전기와 같이 기계적 에너지를 가하여 전기적 에너지를 만들어 낼 수 있는 물질이다. 일상 생활에서 에너지로 변환되지 않고 버려지는 기계적 에너지는 많이 찾을 수 있다. 그러나 압전 소자를 이용한 전력 생성 방법은 대부분의 전자 기기에 사용하기에는 소자에서 생성되는 전력이 너무 작다는 문제가 있다.

압전 소자를 이용하여 전력을 변환시키는 선행 연구로는 Lesieutre<sup>1</sup>는 진동 구조물로부터 기계적 에너지를 제거하면, 즉 에너지 회수 시 필수적으로 나타나는 감쇠 현상에 대한 연구를, Ottman<sup>2</sup>은 비 연속 진동 모드에서 Step-down 변환기를 사용하여 에너지 회수를 최적화 시키는 연구를 발표하였다. 또 다른 연구로 Ottman<sup>3</sup>은 DC-DC 변환기에서 적응 제어기를 최적의 전력이 전송되도록 연속적으로 수행하여, 배터리에 의해 저장되는 전력을 최대화 시키는 전력 변환 회로 및 적응 제어기를 제안하였다.

그러나 이와 같은 선행 연구들은 실제의 구조물에 응용하려 할 때, 작은 양의 변환된 전력을 제어기 작동 전력으로 소비하여야 한다는 문제가 있다. 본 연구에서는 Lefeuvre<sup>4</sup>가 제안한 인덕턴스를 가진 동기화 스위칭 에너지 회수법(SSHI)을 사용하여 저주파수로 가진하는 압전 소자에 적용한다. 그 결과 실제 구조물에서의 적용이 가능한지 타당성을 검토한다.

### 2. 변환 회로

선행 연구에서 Lefeuvre는 압전 소자를 질량, 스프링, 댐퍼 시스템으로 모델링하여 얻을 수 있는 최대 전력을 구하였다.<sup>4</sup> 동기화 스위칭 에너지 회수법(SSHI) 중 인덕턴스 및 스위치 회로가 압전 소자와 병렬로 연결된 방식인 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 Fig. 1에 도시하였다.

이 그림에서 인덕턴스 및 스위치 회로가 생략된 기준 회로의 경우 기계적 변위의 크기를  $U_M$ 이라 하였을 때 최대 전력은 식 (1)과 같다.

$$P_{MAX} = \frac{\alpha^2 \omega}{2\pi C_0} U_M^2 \quad (1)$$

인덕턴스 및 스위치 회로가 그림과 같이 위치한 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 적용하였을 때의 최대 전력은 전기적 특성요소를  $Q_i$ 라 하면 식 (2)와 같다.

$$P_{MAX} = \frac{\alpha^2 \omega}{\pi C_0 (1 - e^{-\pi/2Q_i})} U_M^2 \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon_{33}^S$  : Clamped permittivity  
 $e_{33}$  : Piezoelectric coefficient

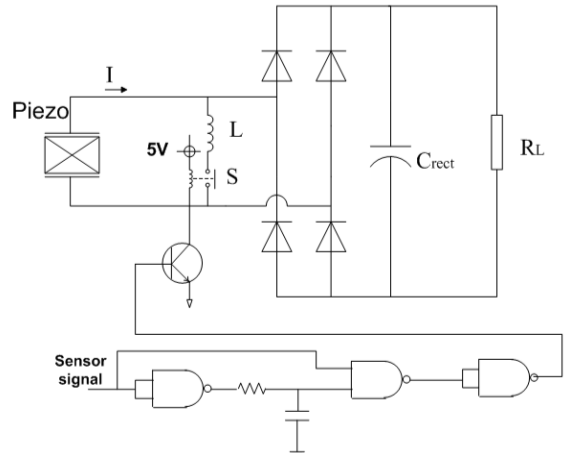


Fig. 1 Parallel-SSHI interface circuit

$$C_0 = \frac{\epsilon_{33}^S A}{L}, \quad \alpha = \frac{e_{33} A}{L}$$

위의 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법에서 스위치는 변위가 양 변곡점에 위치할 때를 제외하고는 항상 열려 있어야 한다.

### 3. 실험 장치

본 연구에서는 전기에너지 회수를 위한 압전 소자로서 NASA가 개발하고 FACE사가 상용화시킨 THUNDER 제품 중 TH7-R을 사용하였다. TH7-R의 외형은 Fig. 2와 같이 아취형상이며, 평판 위에 놓고 위에서 눌러 압축과 이완을 반복하는 단순보 형태로 사용할 수도 있고, 기관 한 쪽을 고정시키고 다른 끝이 흔들리 운동을 하는 외팔보 형태로 사용할 수도 있다.<sup>5,6</sup>

실험을 위하여 먼저 Fig. 3과 같은 가진기(Vibrator)를 설계, 제작하였다. dSPACE™ DS 1104에 의해 제어되는 12V의 DC 모터로 4개의 돌출부를 가진 사각 캠을 회전 운동시킨다. 이 캠에 의해 압전 소자 설치대는 상하 운동을 반복한다. 이와 같이 압전 소자 설치대가 상하 운동을 하면 Fig. 2와 같은 아취형의 압전 소자는 설치대 위의 투명 아크릴로 제작한 고정구와 설치대 사이에서 압축과 이완을 반복하게 된다. 사각 캠의 돌출부의 높이가 아취 형태의 압전 소자를 누르는 행정이 되는데, 행정은 4mm가 된다.

압전 소자 설치대의 왕복 속도, 즉 압전 소자를 진동하는 가진 주파수(Hz)를 측정하기 위하여 반사형 광 화이버 센서를 설치하였다. 또한 이 광 화이버 센서의 출력 신호는 Fig. 1 아래의 펄스 발생 회로에 입력되면 짧은 펄스를 발생한다. 이 펄스에 의해 가진기 변위의 상하 변곡점에서 아주 짧은 시간 동안 인덕턴스에 연결된 스위치를 닫는다.

### 4. 실험 결과

본 연구에서는 실제의 구조물에서 쉽게 얻을 수 있는 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz와 4 Hz 4가지의 주파수로 가진기를 구동하

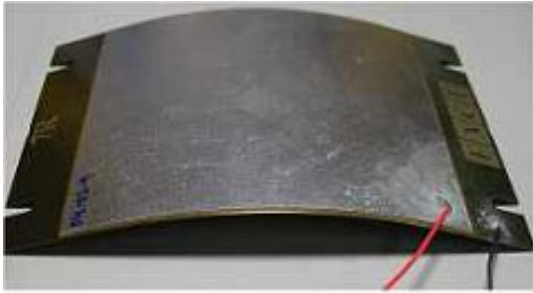


Fig. 2 A configuration of the THUNDER (TH7-R) PZT

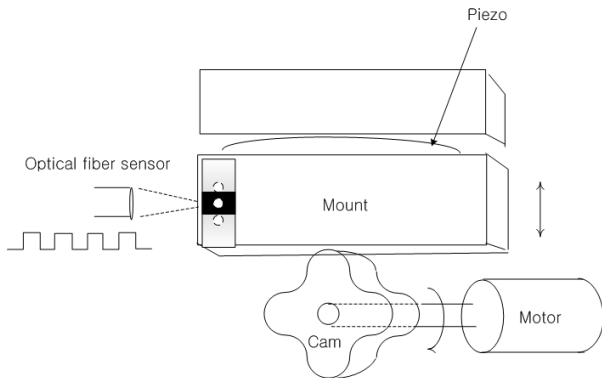


Fig. 3 Experimental setup

었다. 그리고는 먼저 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용하지 않은 기준 회로와 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 경우에 개회로 전압을 측정하였다.

Fig. 4 는 기준 회로에서 얻어진 1200 개의 이산화 데이터를 처리하여 에러 바 차트로 표시하였다. 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용한 경우의 개회로 전압의 에러 바 차트는 Fig. 5 이다. 각 주파수 모두에서 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 때가 기준 회로의 경우보다 전반적으로 개회로 전압이 상승했음을 알 수 있다.

압전 소자를 2Hz 로 가진하고 부하 저항  $R_L$  을 변화시키면서, 기준 회로와 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 때의 회수 전력을 Fig. 6 에 비교하여 표시하였다. 점선은 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용하지 않은 기준 회로에 대한 결과이고, 실선은 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용한 회로에서 얻어진 회수 전력이다. 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 때의 회수 전력이 기준 회로에서 얻어진 전력 보다 다소 컸다. 그리고 그 결과는 부하 저항이 클 경우 확인하였다.

#### 4. 결론

압전 소자를 저주파수로 가진 시 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 때가 기준 회로의 경우보다 전반적으로 개회로 전압이 상승했음을 알 수 있었다. 또한, 부하 저항이 가해질 경우에 얻어진 회수 전력도 기준 회로의 경우 보다 병렬 동기화 스위칭 에너지 회수법을 사용했을 때가 다소 증가 하였다.

#### 후기

이 논문은 2006 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-521-D00033).

#### 참고문헌

1. Lesieutre, G. A., Ottman, G. K., and Hofmann, H. F., "Damping as a result of piezoelectric energy harvesting", *Journal of sound and vibration*, 269, 991-1001, 2004.

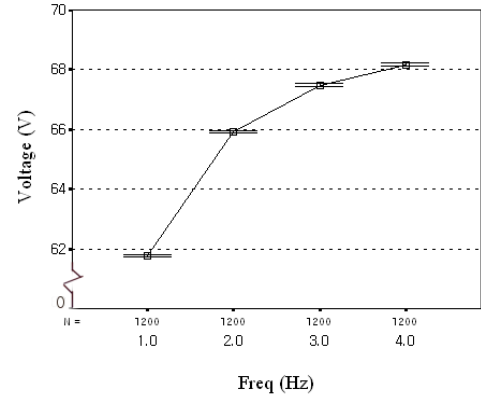


Fig. 4 The error bar chart of the open circuit voltage not using the SSHI technique

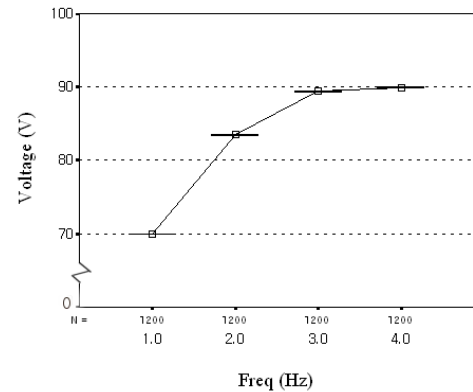


Fig. 5 The error bar chart of the open circuit voltage using the SSHI technique

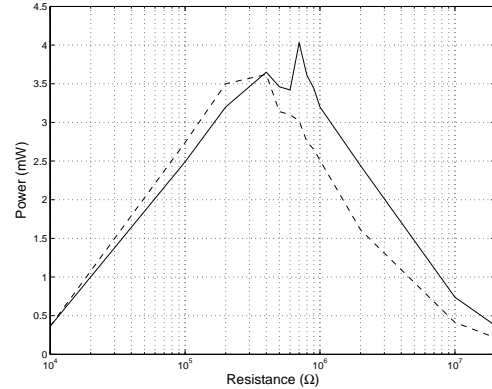


Fig. 6 Harvesting power

2. Ottman, G. K., Hofmann, H. F., and Lesieutre, G. A., "Optimized Piezoelectric Energy Harvesting Circuit Using Step-Down Converter in Discontinuous Conduction Mode", *IEEE Transactions on power electronics*, 18, 2, 696-703, 2003.
3. Ottman, G. K., Hofmann, H. F., Bhatt, A. C. and Lesieutre, G. A., "Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wireless Remote Power Supply", *IEEE Transactions on power electronics*, 17, 5, 669-676, 2002.
4. Lefeuvre, E., Badel, A., Richard, C., Petit, L. and Guyomar, D., "A comparison between several vibration-powered piezoelectric generators for standalone systems", *Sensors and Actuators A*, 126, 405-416, 2006.
5. Face International Co., THUNDER White Paper, 1st Edition, Face International Co, 9, 2001.
6. Face International Co., APPLICATION NOTES White Paper, 1st Edition, Face International Co, 2-6, 2002.