

바람에 의해 구동되는 압전에너지 수집 장치 개발 Development of Piezoelectric Energy Harvesting Device activated by Wind

이 행우*·곽문규†·양동호**·이 한동***

Haeng Woo Lee, Moon K. Kwak, Dong Ho Yang, Han Dong Lee

Key Words : Piezoelectric Energy Harvesting Device(압전에너지수집장치), Wind Energy(풍력 에너지)

ABSTRACT

This paper is concerned with the development of the piezoelectric energy harvesting(PEH) device using Wind. In this study, the piezoelectric energy harvesting system consisting of a cantilever with a pinwheel and piezoelectric wafer was investigated in detail both theoretically and experimentally. The power output characteristics of the PEH was then calculated and discussed. Theoretical and experimental results showed that the PEH was able to charge a battery with ambient vibrations but still needed an effective mechanism which can convert mechanical energy to electrical energy and an optimal electric circuit which dissipates small energy.

1. 서 론

최근에 무선 센서 노드에 대한 관심이 높아지고 있다. 무선 센서 노드는 구조물의 안전진단, 무기체계, 방재 시스템, 동물의 이동 등에 사용될 수 있는 초소형 데이터 수집 및 발송 장치를 가리킨다. 무선 센서 노드는 서로 데이터의 교환이 가능하고 대량의 무선 센서 노드를 살포하여 근거리 무선 통신을 구현하기 때문에 무선 통신으로 인한 전력소모를 극소화할 수 있다. 그러나 전력 소모를 극소화한다고 해도 전지 소모 자체를 없앨 수 없기 때문에 태양광, 열 변화, 인간의 동작, 신체의 열, 진동, RF 에너지, 바람 등과 같은 주위 에너지원들로부터 에너지를 수집하여 전지의 수명을 연장하는 방법에 대한 연구 결과들이 많이 있다⁽¹⁻⁷⁾.

압전소자를 이용한 에너지 수집 개념⁽¹⁾에 대해서는 과거 수십 년간 많은 연구가 진행되어왔다. 압전소자는 기계적인 운동이나 힘을 전기적인 에너지로 또는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 교환할 수 있는 변환기이다. 이 재료를 이용하면 기계적 진동을 다른 장비의 전원으로 사용되거나 저장할 수 있는 전기적인 에너지로 변환하는 메카니즘으로써 사용할 수 있다. 이 재료의 거동에 대한 모델 및 압전 효과에 대해서는 참고문헌⁽⁸⁻⁹⁾을 참조하기 바란다. 최근에 Sodano⁽¹⁾와 duToit 등⁽¹⁰⁾은 압전소자를 이용한 에너지 수집기에 대한 연구 결과를 재검토하였다.

Ramsey and Clark⁽¹¹⁾은 압전 소자를 이용하여 사람의 행동이나 동물의 움직임에서 에너지를 획득하기 위한 연구를 수행하였다. 이 연구에서 비록 구조물의 진동에 종속된 약한 에너지 수집 장치로는 구조물의 센서 노드에 필요한 전원을 지속적으로 공급할 수 없지만 간헐적인 에너지원으로써 압전소자의 잠재적인 가능성을

입증하였다. 더욱이 수집한 에너지를 이용해 무선 데이터 송신이 가능함을 입증한 결과는 자가 발전 무선 센서 분야의 많은 연구가에게 주목을 받았다. Roundy et al.⁽¹²⁾은 무선 센서 노드의 전력원으로서 압전 소자를 외팔보에 부착한 장치를 제시하였다. 이 장치를 전자레인지에 부착하고 전자레인지가 작동하는 경우에 발생하는 진동을 이용하는 경우 압전 소자가 약 70 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 전원 밀도를 생성하는 것으로 보고되었다.

Roundy and Wright⁽¹³⁾의 에너지 수집 장치는 공진주파수에서 반응하도록 설계되어야 한다고 주장하였는데 집중질량을 갖는 외팔보 형태가 산출 전력을 극대화하는 구조임을 보여주었다.

주변 진동을 이용해 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환하여 수집하는 방법 중 또 다른 방법으로 전자기 시스템이 있다^(14,15). 전자기 시스템은 코일과 스프링에 부착된 영구자석으로 구성되어 있다. 진동에 의해서 야기된 자석의 기계적 거동은 코일단에서 전압을 유도한다. 이 에너지는 전기 부하로 전달될 수 있다.

본 연구에서는 Kwak⁽¹⁶⁾등의 이론 모델링을 바탕으로 풍력 에너지를 전기 에너지로 변환하는 방법을 제시한다.

2. 압전 에너지 수집 장치 모델

Fig. 1 과 같은 외팔보에 집중 질량이 끝단에 부가된 시스템을 고려해보자. 외팔보의 변위를 가정모드와 무차원 일반좌표를 도입해 표현하면 다음과 같다.

$$u(x,t) = u(\xi,t) = \Phi(\xi)q(t) \quad (1)$$

여기서 $\xi = x/L$, $\Phi(\xi) = [\Phi_1(\xi) \Phi_2(\xi) \cdots \Phi_n(\xi)]$ 는 허용함수로 구성된 $1 \times n$ 행렬이며 $q(t) = [q_1(t) q_2(t) \cdots q_n(t)]^T$ 는 일반좌표계로 구성된 $n \times 1$ 벡터를 나타낸다. n 은 이산화를 위해 사용된 허용함수의 총 개수를 나타낸다. 이를 이용해 운동 방정식을 유도하면 식(2)와 같다.

† 교신저자: 동국대학교 기계공학과, 정회원

E-mail : hangwoo32@naver.com

Tel:(02) 2260-8581, Fax:(02)2263-9379

* 동국대학교 기계로봇에너지학과

** 동국대학교 기계로봇에너지학과

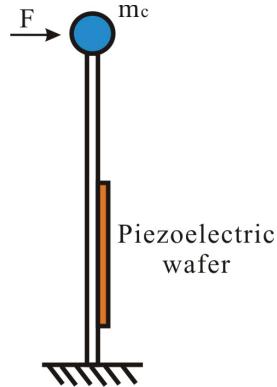


Fig. 1. Schematics of Cantilever-type Piezoelectric Energy Harvesting Device with a Tip Mass

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq = F \quad (2)$$

여기서 M, C, K 는 각각 질량, 감쇠, 강성 행렬을 나타내며, F 는 외력을 나타낸다. 보의 변위로 인해 압전 웨이퍼에 변형이 일어나게 되면 압전 효과로 인해 전하가 발생한다. 전하에 대한 식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{E_p w_p d_{31} t_p}{2} \int_{x_p}^{x_p + l_p} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx = b_p \Phi'_p q \quad (3)$$

여기서 E_p , w_p , t_p 는 압전세라믹 웨이퍼의 영율, 폭과 두께를 나타내며, d_{31} 은 압전 상수를 나타낸다. 외팔보의 경우 응력이 가장 크게 발생하는 고정 근처에 압전 웨이퍼를 부착하게 된다. 식 (3)으로부터 알 수 있듯이 압전 웨이퍼에 의한 에너지 수집 효율은 압전 웨이퍼의 물성치와 부착 위치에 의해 좌우된다. 전하의 시간 변동은 전류로 바뀌며 이 미소 전류에 의한 전기 에너지를 수집하여 사용하는 것이 본 장치의 목적이다.

3. 압전 에너지 수집 실험

이전에 개발된 압전 에너지 수집 장치는 이 장치가 부착된 구조물의 진동으로부터 에너지를 수집하는 형태이다. 따라서 대상 구조물에 에너지 수집 장치를 가진할 수 있는 충분한 진동이 있어야 하며 가진 진동수 또한 어느 정도 대역폭을 유지하고 있어야 에너지 수집 장치의 효율이 높아진다. 이러한 형태의 에너지 수집 장치와 달리 본 연구에서 개발한 에너지 수집 장치는 끝단에 불균형 질량을 바람개비에 부착하여 가진력을

유발시키고 이로 인한 진동으로부터 에너지를 수집하는 장치이다. 그림 2는 본 연구에서 제작한 압전 에너지 수집 장치를 보여주고 있으며 그림 3은 이와 연결된 전자 회로를 보여주고 있다.



Fig. 2 Piezoelectric Energy Harvesting Device for Wind Energy

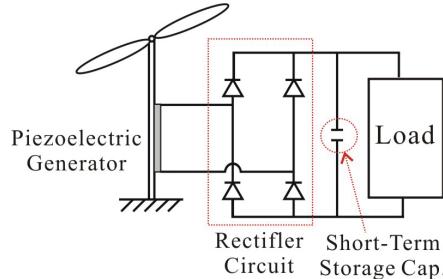


Fig. 3 Electrical Circuit for Piezoelectric Energy Harvesting Device

그림 3에서 알 수 있듯이 압전 웨이퍼에서 발생한 전하의 변화량은 렉티파이어 회로를 통해 AC에서 DC 전류로 변환되고 이를 단기 저장 장치인 캐패시터를 이용 에너지를 필요로 하는 장치에 전력을 공급하게 되어 있다. 실험에서는 선풍기를 이용하여 바람을 발생시키고 외부 장치로 LED를 사용하였다. 실험을 통해 본 연구에서 개발한 에너지 수집장치가 LED에 불이 들어오게 하는 충분한 전력을 만들어 낼 수 있음을 보여주었다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 풍력 에너지를 압전 웨이퍼를 이용해 전기 에너지로 변환하는 에너지 수집 장치를 개발하였다. 실험 결과는 풍력에 의해 유발된 진동으로부터 전기 에너지로의 변환이 가능함을 보여준다.

차후 실제 현장에서 에너지원으로 사용하기 위한 신뢰성과 효용성에 대한 연구가 진행될 예정이다.