

발전 가능한 진동수 영역 확대를 통한 에너지 수확장치의 효율 개선

Study for efficiency improvement of the energy harvesting devices through wide bandwidth

김인호* · 정형조† · 장선준**

In-Ho Kim, Hyung-Jo Jung and Seon-Jun Jang

1. 서 론

$$P = \frac{1}{2R} \times \frac{\left(\frac{2k_{31}t_c}{k_2}\right)^2 \frac{c_p}{\epsilon} A_n^2}{\left[\frac{\omega_n^2}{\omega RC_b} - \omega\left(\frac{1}{RC_b} + 2\zeta\omega_n\right)\right]^2 + \left[\omega_n^2(1+k_{31}^2) + \frac{2\zeta\omega_n}{RC_b} - \omega^2\right]^2} \quad (1)$$

토목 구조물의 노후화에 따른 유지관리의 중요성이 부각되면서 무선센서 기반의 건전도 모니터링에 대한 연구와 함께 토목 분야에서 에너지 하베스팅(energy harvesting)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 에너지 하베스팅이란 시설물 주위의 태양에너지, 풍력에너지, 진동에너지를 이용하여 전기에너지로 변환 시키는 기술을 말한다. 본 연구에서는 진동 에너지를 이용한 에너지 하베스팅 시스템을 개발하였다. 일반적으로 진동기반의 에너지 하베스팅 방법은 크게 압전 방식과 전자기 유도 방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 압전 방식을 이용하여 효율적인 발전 시스템에 대한 연구를 수행하였다.

여기서, ω 는 가진주파수, ϵ 는 유전율, ω_n 은 고유진동수, R 과 V 는 각각 저항과 전압을 나타낸다. 또한 c_p , C_b , k_{31} 는 압전재료와 관련된 계수들이고 t_c 는 압전 재료의 두께를 나타낸다. 식(1)에서 나타낸 바와 같이 얻을 수 있는 최대 전력은 가진 주파와 공진 주파수가 일치하는 지점에서 얻게 된다. 그러나 실제 환경에서 가진주파수와 공진주파수를 일치시키는 것은 어렵고 일치가 된다 하더라도 좁은 대역폭을 가지기 때문에 효율적인 측면에서 어려운 단점이 있어 진동기반의 에너지 하베스팅 방법에서는 발전가능한 주파수 대역을 확장시키는 방법을 찾는 연구가 필요하다.

2. 에너지 하베스팅 시스템

2.1 기존 진동기반 발전 시스템

일반적인 진동기반 압전 에너지 하베스터는 캔틸레버 빔의 끝 단에 질량체를 단 형태이다. 이러한 시스템은 외부진동에 의해 가진될 때 빔에 부착되어 있는 압전재료가 인장 및 압축력을 받게되어 전기를 발생시킨다. 이때 압전재료의 성질에 의해서 전력이 발생되는데 발생하는 전력은 다음과 같다.

2.2 개선된 진동기반 발전 시스템

기존 압전 발전 시스템의 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 구조가 간단하면서도 가진 주파수 변화에 대해 발전효율의 변화가 적으며 크기 및 무게에 비해 발전 효율이 높고 마찰에 의한 에너지 손실이 적은 시스템을 제안하였다.

(1) 2자유도 발전 시스템

그림 1과 같은 2자유도 발전 시스템은 부피 및 무게 면에서 효율적인 수동형 에너지 하베스팅 장치이다.

† 교신저자; 정회원, 한국과학기술연구원
E-mail : hjung@kaist.ac.kr
Tel : 042-350-3626 , Fax : 042-350-3610
* 한국과학기술원
** 한국과학기술연구원

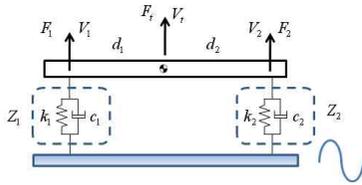


Fig.1 Schematic of 2DOF energy harvesting

2자유도 발전 장치는 수직방향과 회전방향으로 두 개의 자유도를 갖게 되어 두 개의 공진 주파수를 갖게된다. 이러한 공진 주파수의 크기를 적절히 배열하면 진동에너지에 대한 발전 효율을 높일수 있다. 그림 2는 압전기반의 기존 단자유도 시스템의 발전 영역과 2자유도 시스템의 발전 영역을 비교한 그래프이다.

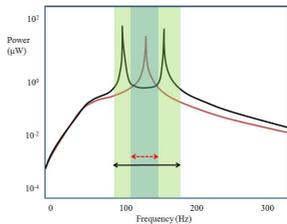


Fig.2 Comparison of SDOF and MDOF system

여기서 붉은색으로 표시된 구간은 단자유도 (SDOF) 시스템을 이용할 때의 발전 가능영역이고 검은색으로 표시된 구간은 2자유도 시스템의 발전 가능 구간이다. 그림에서 공진 주파수 2개를 적절히 배치하여 발전가능 영역이 확대된 것을 확인할 수 있다.

(2) 2자유도 발전 시스템의 성능 평가

제안된 시스템의 성능 평가를 위해 수치적/실험적으로 성능을 검증하였다. 그림 3은 2자유도 시스템의 실험 set-up을 나타낸다.

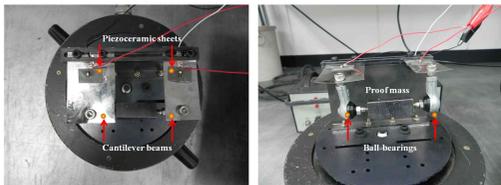


Fig.3 Experimental Set-up

2자유도 시스템은 캔틸레버빔 2개와 PZT 그리고 질량으로 구성되어있고 웨이커를 통해 가진실험을 수행하였다. 시스템의 설계는 최적화 변수를 통해 두 개의 주파수를 타겟으로 하여 시행되었다. 그림 4는 2자유도 시스템의 수치해석과 실험결과를 비교한 결과이고 그림 5는 단자유도 시스템과 2자유도 시스템의 결과를 비교한 그림이다.

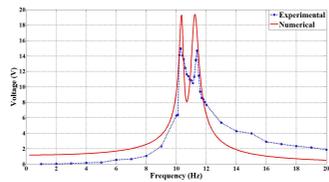


Fig.4 Results of Proposed system

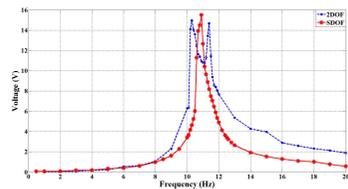


Fig.5 Experiment result of SDOF and MDOF system

실험 결과에서 2자유도 시스템은 단자유도 시스템에 비해 넓은 주파수 영역에서 발전이 가능함을 확인하였다. 따라서 제안된 시스템은 발전가능한 진동수 영역 확대를 통한 에너지 하베스팅 발전시스템의 효율을 효과적으로 증대시킬 수 있는 개선된 시스템임을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서 제안된 시스템은 발전가능 영역확대를 할수 있는 효율적인 진동기반 발전 시스템으로 기존 압전 기반 시스템에 비해서 넓은 영역의 공진 주파수를 가지기 때문에 좋은 성능과 효율을 가질 수 있는 시스템이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 건설교통기술연구개발사업의 연구비 지원(07high Tech A01)에 의해 수행되었습니다.