

캔틸레버 구조해석을 통한 압전소자의 최대 전력량 산출

임근수 · 조성식 · 김수현 · 박우태[†]

서울과학기술대학교 기계 · 자동차공학과

Cantilever Structural Analysis for Optimal Piezoelectric Power Harvesting

Geunsu Lim, Sungsik Joe, Suhyun Kim and Woo-Tae Park[†]

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-Gu, Seoul 139-743, Korea

(2013년 12월 5일 접수: 2013년 12월 19일 수정: 2013년 12월 27일 게재확정)

초 록: 외팔보의 형상적인 해석과 압전효과에 의거하여, 최대 전력량 산출을 위한 에너지 수확기를 설계하였다. 두 가지의 외팔보 형상으로 에너지 수확기의 구조가 설계되었다. 에너지 수확기의 성능을 좌우하는 주요 변수는 외팔보 형상과 끝단에 부착된 질량이다. 수확되는 전하량은 압전재료의 압전상수와 외팔보의 기계적인 변형량에 비례한다.

Abstract: Based on the structural analysis of cantilever and the piezoelectric effect, we propose a new design of piezoelectric cantilever to harvest maximum vibration energy. Geometric parameters of piezoelectric cantilever are optimized according to two different types of cantilever structure. The main factors that affect the harvesting performance of the cantilever was the shape of the cantilever and the load at the free end. The amount of charge is affected by piezoelectric constant and mechanical strain of the cantilever.

Keywords: Energy Harvesting, Vibration, Piezoelectric, Cantilever energy harvester

1. 서 론

토목구조물이나 각종 플랜트들의 기계적인 건전성평가에 분산된 센서 네트워크가 각광을 받고 있다.¹⁾ 이러한 센서 네트워크의 전력을 조달하기 위하여 배터리를 사용할 수도 있겠지만, 넓은 지역에 분산된 센서모듈들을 관리하기가 매우 어려우며 비용이 많이 든다. 이러한 센서 네트워크에 에너지원으로 에너지 수확장치가 제안되고 있다.^{2~4)}

에너지 수확의 에너지원으로는 진동 에너지, 태양광 에너지, 전자기적 에너지, 열 에너지 등이 있고, 이 중에서도 에너지 수확기로서 가장 대표적인 에너지원은 진동에너지이다. 진동에너지를 회수하는 방법으로는 압전소자, 정전용량 소자, 전자기적 소자 등이 있는데, 이중 가장 큰 전력을 수확할 수 있는 소자는 압전소자이다.

진동에너지를 회수하는 방법 중 하나인 압전소자⁵⁾⁶⁾를 이용한 기계적인 구조는 수확기의 효율 개선에 중요한 요

소로서, 직사각형 캔틸레버(외팔보) 구조가 MEMS 기반 압전 수확기에서 가장 많이 사용된다. 하지만 지난 2004년 Shad Roundy 는 직사각형보다는 사다리꼴이, 그리고 사다리꼴보다는 삼각형 캔틸레버 범이 큰 변형에 견디고 적분되는 변형량 또는 응력이 최대가 되어, 캔틸레버 전방에 압전소자가 있다면 삼각형이 최대 출력을 갖는다는 것을 이론적으로 보여주었다.⁷⁾

본 연구에서는 Roundy가 제시한 캔틸레버의 형상에 따라 압전소자에서 발생하는 전력량을 비교/분석하기 위해 우선 Solidworks 프로그램을 이용하여 소자의 최대 변형을 위한 최적 형상의 보를 설계하고, 상용 압전소자를 이에 결합시켜 발생하는 전력량을 비교하면서 사다리꼴 캔틸레버가 압전 에너지 수확(Piezo Energy Harvesting)의 가장 효과적인 압전 캔틸레버임을 실제 적용 환경에 대한 주파수 특성을 고려한 진동시스템을 설계하여 전력량을 실험적으로 증명해 보겠다.

[†]Corresponding author
E-mail: wtpark@seoultech.ac.kr

© 2013, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 설계 내용

이번 연구에서는 기존에 연구되었던 캔틸리버의 길이 및 추의 무게에 직접적으로 의존하지 않고 캔틸리버의 구조적 형상에 따라 상용 압전소자(PI사의 DuraAct)로부터 최대의 전력을 산출하는 것이 목적이다. 따라서 직사각형과 사다리꼴 구조를 Solidworks의 변형률 해석을 통해 표면의 변형률을 확인하였다.

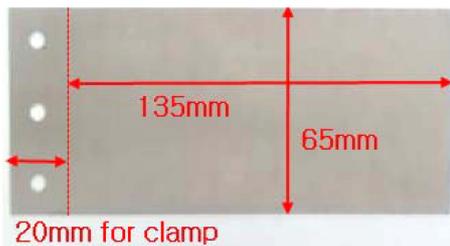
2.1. 캔틸레버 설계 변수 설정

캔틸레버의 재료는 Aluminum 5052로 정했으며, 두께는 0.8 mm, 길이는 135 mm, 그리고 폭은 65 mm의 동일한 크기로 설정했으며 사다리꼴 구조는 삼각형과 최대한 가깝도록 무게추 부착을 위한 10 mm만 남겨놓았다. 전체적인 캔틸레버 크기는 사용되는 DuraAct 압전소자의 크기에 맞춰 선정되었다. 두 가지 캔틸레버의 형상은 Fig. 1 와 같다.

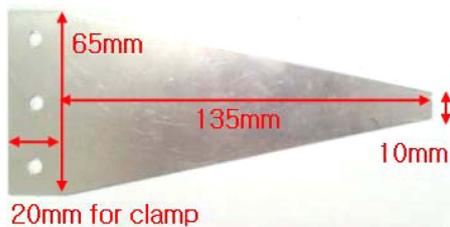
2.2. Solidworks 변형률 해

Solidworks 프로그램을 활용하여 압전소자가 부착될 캔틸리버 표면의 길이방향 변형률을 분석해 보았다. 표면 변형률을 평균적으로 분석하기 위해 캔틸리버 중심점 노드를 각각 비교해 보았다. Fig. 2의 색깔에 따른 표면 변형률을 직접 비교하기가 힘들므로 Fig. 3에서 그래프로 Fig. 2에 표시된 방향대로 표면에 변형율을 나타내었다.

Fig. 3의 그래프를 보면 알수 있듯이 직사각형 캔틸레버보다 삼각형에 가까운 사다리꼴 캔틸레버가 더 많은 표면 변형량을 보였고, 이 표면상에 압전소자가 있다면 더 많은 전력량을 수확할 수 있을 것이다. 이러한 결과에 기대를 하여 같은 형상으로 캔틸레버를 제작하여 에너지 수



(a)



(b)

Fig. 1. Geometry of the two cases of cantilevers. (a) Type 1 is the rectangular shape, (b) Type 2 is trapezoidal shape.

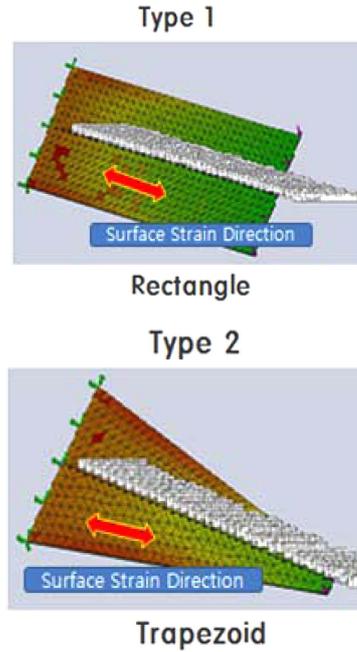


Fig. 2. The two cantilever geometries analyzed using Solidworks. Surface strain is shown in color.

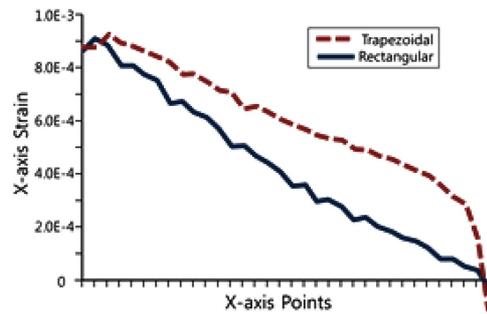


Fig. 3. The strain value across the center line of the cantilever geometries analyzed by Solidworks.

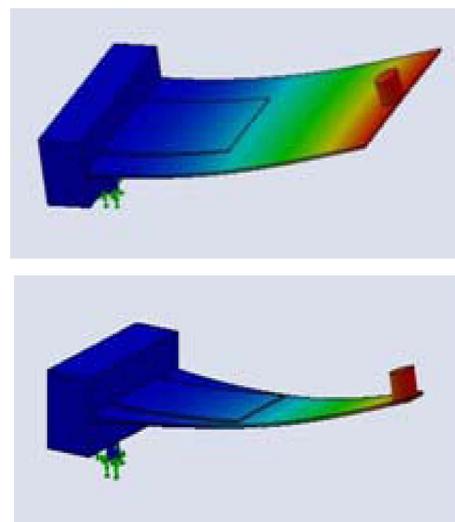


Fig. 4. Solidworks resonance simulation for resonant frequency prediction.

Table 1. Natural frequency of each cantilever with different weights

구분	Type1	Type2
10 g	29.55 Hz	28.76 Hz
20 g	22.77 Hz	20.92 Hz

확에 대한 실험을 계획하였다.

2.3. Solidworks 고유 진동수 해석

Solidworks 해석 프로그램을 통해서 켈틸리버의 고유진동수를 예측하였다(Fig. 4). 그리하여 실험시 Shaker를 통해 진동을 발생시킬 때 실험 횟수를 최소화하며 켈틸리버가 최대로 진동할 수 있는 주파수를 찾을 수 있었다. 더불어 켈틸리버 자유단에 추(10 g, 20 g)를 설치함으로써 고유진동수를 낮출 수 있었다.

3. 실험 내용

Shaker, 데이터 수집기와 LABVIEW 프로그램을 활용하여 Shaker의 진동에 의해 반응하는 Type 1, Type 2의 켈틸리버에 부착되어진 압전소자(Dura act)로부터 발생하는 전력량을 분석하는 것이 실험의 목적이다.

3.1. 실험 재료

Shaker는 The Modal Shop사의 KE2007E1 Smart Shaker를 사용하였다. Shaker와 켈틸리버를 연결하기 위해 알루미늄(5052)을 가공하여 클램프를 제작하였다. 또한, Shaker로부터 발생하는 진동에너지를 모두 전달할 수 있도록 견고하게 체결할 수 있는 볼트체결방식을 선택하였다. 압전소자(PI사 Dura Act, PL140.10, 45×11×0.6 mm)를 켈틸리버 표면에 부착 시에는 에폭시 접착제를 사용하여 플라스틱 소재로 제작된 압전소자(Dura Act)의 손상을 최소화시켰다. 진동실험 셋업에 관한 사진은 Fig. 5와 같다.



Fig. 5. Piezoelectric cantilever set up on top of electromagnetic shaker.

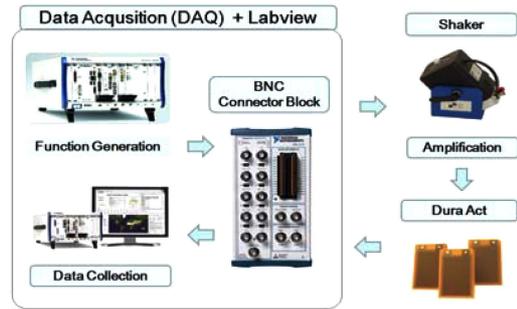


Fig. 6. Block diagram of experiment set up.

3.2. 실험 BLOCK DIAGRAM

진동실험에 관한 block diagram은 Fig. 6와 같다. Input과 Output 데이터는 Labview 프로그램을 활용하여 컨트롤했으며 output signal로는 기본적으로 Sine Function을 기본 함수로 하였고 진동수는 고유진동수 값을 포함하는 5~100 Hz를 입력시켰다. 데이터 회수는 National Instruments사의 NI PXI-6251 (16bit, 1 MS/s) 데이터 회수(OAQ)를 사용하였다. DAQ를 통해 얻은 데이터로는 Voltage RMS, 고유진동수와 전력이다. 따라서 이를 통해 Type 1과 Type 2의 전력발생량을 효과적으로 비교할 수 있었다.

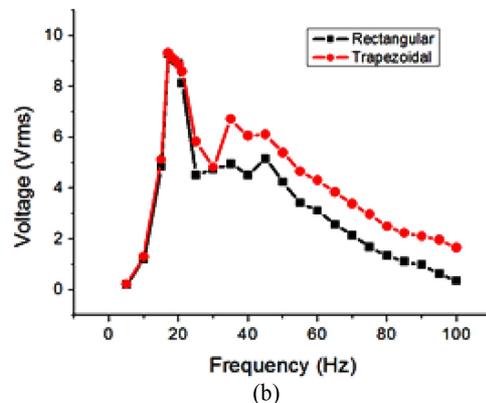
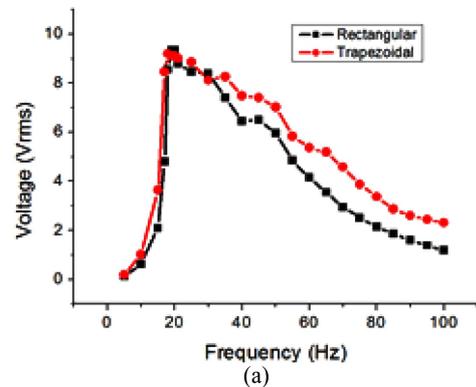


Fig. 7. (a) Voltage collected from rectangular (squares) and trapezoidal (circles) cantilever with 10 g mass. (b) Voltage collected from rectangular (squares) and trapezoidal (circles) cantilever with 20 g mass.

Table 2. The result of experiment.

구분	10 g		20 g	
	Type1	Type2	Type1	Type2
Output Voltage	9.47 V	10.32 V	9.29 V	9.32 V
Frequency	19 Hz	20 Hz	15 Hz	15 Hz

4. 실험 결과

Fig. 7과 Table 2에서 확인할 수 있듯이 삼각형에 가까운 사다리꼴 형상(Type 2)일수록 압전소자(Dura act)에서 수확되는 에너지의 양이 비교적 많은 것을 확인할 수 있었다. 그리하여 캔틸리버 구조를 활용하여 압전소자로부터 전력을 수확할 때 직사각구조보다 삼각형에 가까운 사다리꼴 구조가 더욱 효과적인 것을 알 수 있었다. 또한 저주파수 대역보다는 고주파수 대역에서 그 차이가 더 확연하다는 것을 실험적으로 볼 수 있었다.

5. 결 론

이번 연구를 통해 진동에너지를 추출하는 압전소자 에너지 수확기(Energy Harvester)를 개발하는데 있어서 기하학적인 형태 변화를 통해 캔틸리버를 더욱 효율적으로 변형시켜 압전소자로부터 더 많은 전력을 생산하는 것을 목표로 하였다. 따라서 기존의 직사각형 캔틸리버를 기준으로 한 길이변화에 따른 연구에 국한되지 않고 기하학적으로 변화된 구조설계를 바탕으로 한 새로운 디자인을 제시함으로써 앞으로의 압전 연구에 있어서 하나의 방향을 제시하는 바이다. 본 연구의 결과에서 고주파에서는 확연히 차이가 나타나지만 최대 전압이 생산되는 주파수 영역(20 Hz)에서는 거의 차이가 안 나타났다. 이는 본 실험에서 사용된 Dura Act 압전소자의 모양이 캔틸레버 길이 전반에 걸치지 못한 이유를 생각할 수 있다. 후속연구에서는 캔틸레버 길이 전반에 걸쳐서 압전소자가 위치할 수 있도록 설계하여야 할 것이다.

본 연구에서 고안된 압전에너지 수확기를 활용하여 생활 주변에서 빈번하게 발생하는 소량의 진동에너지를 축적하여 무선 센서노드, LED조명, 알람 램프 및 화재용 비상등의 예비전력으로 활용될 수 있다. 설치 예로는 덕트, 발전기 및 건물 출입문 등에 설치하여 소량의 진동에너지를 지속적으로 저장하여 사용함으로써 매우 친환경적이고 반영구적으로 사용할 수 있는 강점을 가지고 있다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. J. P. Lynch and K. J. Loh, "A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring", *Shock Vib. Dig.*, 38, 91 (2006).
2. S. Roundy, P. K. Wright and J. M. Rabaey, "Energy scavenging for wireless sensor networks with special focus on vibrations", Kluwer academic publishers, 219, Norwell (2004).
3. S. Lee, B. D. Youn and B. C. Jung, "Robust segment-type energy harvester and its application to a wireless sensor", *Smart Mater. Struct.*, 18(9) 12 (2009).
4. Y.-J. Yoon, W.-T. Park, K H Li, YQ Ng, Y. Song, "A study of piezoelectric harvesters for low-level vibrations in wireless sensor networks", *IJPEM (International Journal of Precision Engineering and Manufacturing)*, 14(7), 1257 (2013).
5. J.-R. Yoon, C.-B. Lee and B.-C. Woo, "Fabrication and Electrical Properties of Piezoelectric Inverter Module using Piezoelectric Transformer", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 16(1) 39, (2009).
6. J. S. Koh, Y. H. Kim, H. S. Kim, S. H. Cho and S. C. Choi, "Ultrasonic Spray Nozzle with Piezoelectric Device for Chemical Dispersion", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 10(4) 65 (2003).
7. S. Roundy, E. S. Leland, J. Baker, E. Carleton, E. Reilly, E. Lai, B. Otis, J. M. Rabaey, P. K. Wright, V. Sundararajan, "Improving power output for vibration based energy scavengers", *IEEE Pervas. Comput.* 5, 28 (2005).