[단 신] 한국재료학회지
Kor. J. Mater. Res.
Vol. 17, No. 2 (2007)

에너지 하베스팅용 압전 캔틸레버의 위치에 따른 파단점 분석

김형찬 · 정대용 · 윤석진 · 김현재†
한국과학기술연구원 박막재료연구센타

Analysis of the Failure Position in the Unimorph Cantilever for Energy Harvesting

Hyung-Chan Kim, Dae-Yong Jeong, Seok-Jin Yoon and Hyun-Jai Kim†
Thin Film Materials Research Center, Korea Institute of Science & Technology, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

(2006년 12월 28일 받음, 2007년 1월 22일 최종수정본 받음)

Abstract Energy harvesting from the vibration through the piezoelectric effect has been studied for powering the wireless sensor node. As piezoelectric unimorph cantilever structure can transfer low vibration to large displacement, this structure was commonly deployed to harvest electric energy from vibrations. Piezoelectric unimorph structure was composed of small stiff piezoelectric ceramic on the large flexible substrate. As there is the large Young's modulus difference between the flexible substrate and stiff piezoelectric ceramic, flexible substrate could not homogeneously transfer the vibration to stiff piezoelectric ceramic. As a result, most piezoelectric ceramics had been broken at the certain point. We measured and analyzed the stress distribution on the piezoelectric ceramic on the cantilever.

Key words Energy harvesting, Piezoelectric, Cantilever.

1. 서 론

무선 통신 기술이 발달함에 따라 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 통한 주위환경을 감지(sensing), 모니터하는 것이 큰 관심사로 떠오르고 있다.[1-3] USN을 구축함에 있어서 임의의 넓은 장소에 배치될 센서노드(sensor node)에 전선을 연결하거나 주기적으로 배터리를 교환하면서 전원을 공급하는 것은 매우 어렵다. 따라서 센서노드를 효과적으로 동작하기 위해서는 센서와 무선 송신부를 외부로부터 전선연결이나 배터리교환 없이 자체 발생된 전원에 의해 동작될 수 있어야 한다. 이에 따라 버려지고 있는 환경에너지로부터 쓸모 있는 전기에너지를 얻는 에너지 하베스팅(harvesting)에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.[1-6]

압전체는 기계적 진동을 전기 에너지로 변환하는 특성을 가지고 있어 센서, 마이크로폰등에 응용되어 왔으며, 또한 전기장이 인가되면 변형이 발생하는 특징을 이용하여 액츄에이터, 모터등에 이용되고 있다.[7,8] 대표적인 세라믹 압전재료는 $Pb(ZrTi)O_3$가 있으며 폴리머 압전재료는 Polyvinylidene difluoride [PVDF]가 있다. 일반적으로 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 효율은 전기-기계 결합계수(k)에 비례하며, PZT의 전기-기계 결합계수는 k=0.5로 PVDF의 k=0.2보다 크다.[9] 그러나 세라믹의 경우 폴리머에 비해 단단하여 적은 진동에서 에너지를 발생할 수 없으며, 또한 충격에 약하여 큰 변형에는 사용할 수 없는 단점이 있다.

따라서, 세라믹의 깨짐을 방지하고 적은 진동에서도 큰 변위를 얻기 위해 세라믹을 유연한 기판에 붙여 만든 캔틸레버형이 일반적으로 에너지 하베스팅에 이용되고 있다.[4-6] 본 연구팀은 에너지 하베스팅을 위해 제작한 유니몰프형 캔틸레버가 Fig. 1에서와 같이 항상 비슷한 위치에서 파괴되는 것을 관찰하였다. 이 결과는 캔틸레버에 인가된 힘이 세라믹에 고르게 전달되지 않고 세라믹의 위치에 따라 다르게 분포되는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 세라믹의 전극을 각 부분별로 나눠 각 부위의 최대 출력 전압의 차이를 측정하여, 각 지점에서 받는 힘의 크기를 비교해 보고자 한다.

2. 실험 방법

Fig. 2는 실험에서 사용한 유니몰프형 캔틸레버의 모

†Corresponding author
E-Mail : kimhj@kist.re.kr (H.-J. Kim)

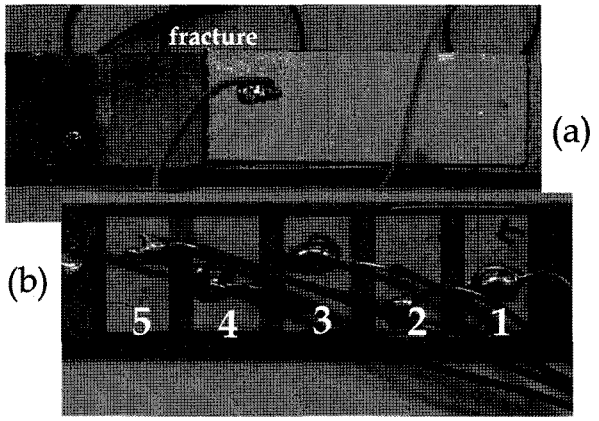

Fig. 1. Photographs of (a) fractured and (b) partitioned cantilever.

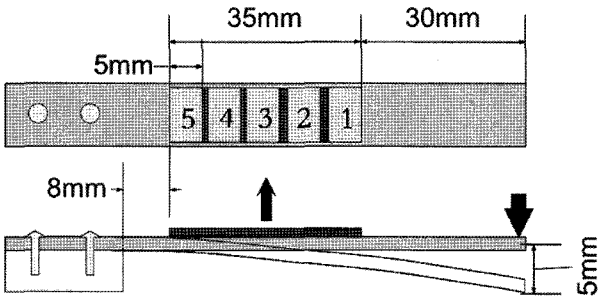

Fig. 2. Schematics of unimorph cantilever.

식도이다. 캔틸레버의 왼쪽을 고정하고 오른쪽 끝에서 힘을 가했다. 사용된 세라믹은 PZT계 세라믹으로 (경원훼라이트, kp10, piezoelectric constant=430 pC/N) 크기가 $10\times35\times0.5\ mm^3$이며 각 부분(1-5)의 전극의 면적은 $10\times5\ mm^3$이다. 사용한 유연한 기판은 PCB 동판으로 크기는 $12\times95\times1.6\ mm^3$이다. Fig. 1의 (a)는 실험중 파괴된 캔틸레버 세라믹이다. 흰색 부분은 전극을 입힌 세라믹이며, 왼쪽의 뿌연부분이 깨져 떨어져 나간 세라믹이 붙어 있던 위치이다. Fig. 1의 (b)는 Fig. 1의 (a)에서 사용한 동일한 세라믹을 같은 크기로 나누어 전극을 만들어 놓은 실제 사진이다. 1-5 위치별 측정된 정전용량은(capa-citance) 1.63 ± 0.03 nF이다.

캔틸레버에 힘을 가하기 위해서 Fig. 2에서와 같이 캔틸레버 끝을 힘점으로부터 5 mm 정도 내렸다 놨으며, 캔틸레버가 위로 강하게 튕기면서 발생한 전압을 오실로스코프로 측정했다. Fig. 3은 측정한 전기회로의 모식도로, 측정 시 외부 전체저항 1 MΩ를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 나눠진 각 위치별 측정된 최대 전압의 크기

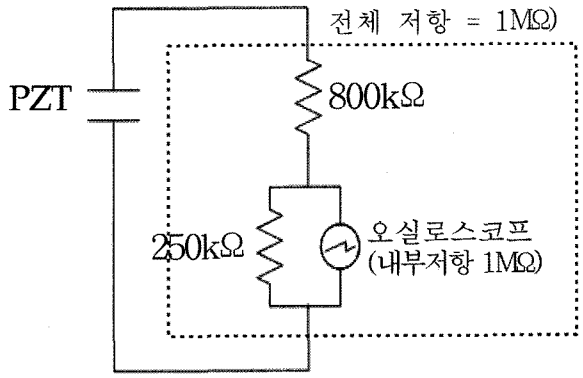

Fig. 3. Electrical circuit for measurement.

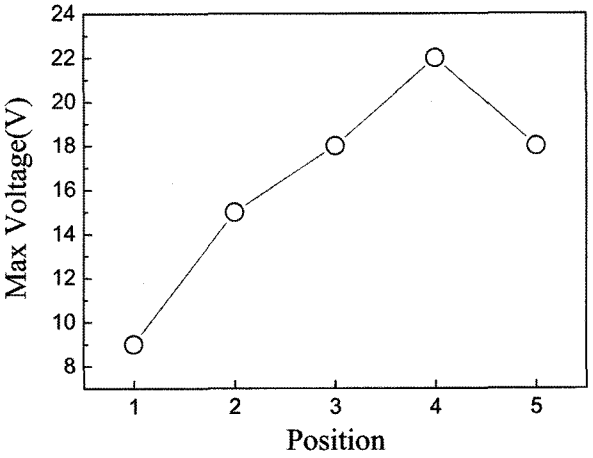

Fig. 4. Measured output voltage according to the position.

를 나타낸 그림으로 세라믹의 위치에 따라 다른 값을 나타내고 있다. 힘을 가해주는 곳과 가까운 1번 위치부터 전압이 증가하다가 4번 위치에서 최대 전압을 나타내었으며 5번 위치에서 다시 전압이 감소하였다. 최대 전압을 보인 Fig. 1(b)의 4번 위치는 Fig. 1(a)의 파단면과 일치함을 알 수 있다.

압전체에 가해주는 응력과 발생하는 전압의 크기는 다음과 같이 표현된다.[9]

$$V/t = g \cdot T \tag{1}$$

여기에서 V는 발생하는 전압, t는 세라믹의 두께, g는 압전전압상수, T는 가해주는 응력이다. 식 (1)에서 발생하는 전압은 가해주는 응력에 비례하므로, 파괴가 일어난 4번 위치에 걸리는 실제 응력은 변형이 가장 적게 일어나는 1번 위치에 비해 2.44배가 큼을 알 수 있다. 저항 R에서 전력(power)로 표현되며, Fig. 4의 측정한 전압으로부터 외부 전체저항 1 MΩ에 대해서 계산한 전력

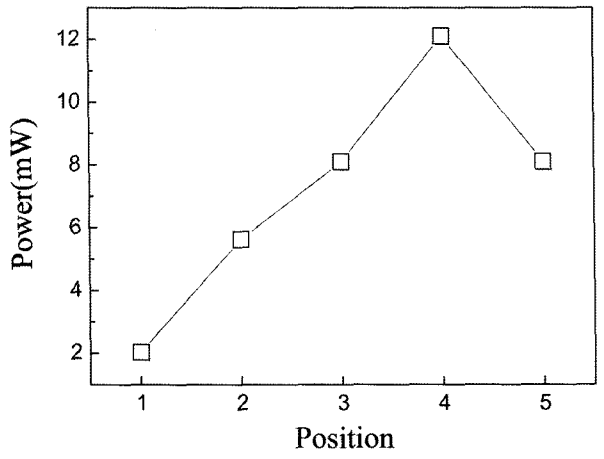

Fig. 5. Harvested power for the 1 MΩ load.

을 Fig. 5에 나타내었다. 4번 위치에서 생성된 전력은 12 mW로 변형이 가장 적은 1번 위치의 2 mW에 비해 약 6배 큰 값을 나타내었다. 한편, 압전체에 응력을 가하면 변형이 일어나며, 변형된 재료는 전하량의 변화를 유도하여 외부저항에 전류를 흐르게 한다. 이때 발생하는 전력은 식 (2)로 나타내어진다.[4)]

$$P = \frac{T^2 \cdot k^2 \cdot \omega}{4c} \quad (2)$$

T는 가해주는 응력, k는 재료의 전기-기계 결합계수, ω는 가해주는 응력의 주파수, c는 재료의 elastic stiffness이다. 식 (2)에서 얻어지는 전력은 가해주는 응력의 제곱에 비례하므로 세라믹의 각 부분에서 다른 크기의 전력을 발생한 것으로 판단된다.

일반적으로 캔틸레버는 Young's modulus가 큰 세라믹을 비교적 유연한 금속판이나 폴리머 판위에 고정하여 제작한다. 캔틸레버를 액츄에이터로 이용할 경우, 세라믹 표면에 고르게 분포된 전극에 인가된 전압은 세라믹을 길이방향으로 균일하게 변형시키며, 이때 균일하게 변형된 세라믹은 Young's modulus가 적은 기판을 쉽게 변형시키게 된다. 따라서 Young's modulus가 큰 세라믹은 Young's modulus가 적은 기판에 영향을 받지 않아 길이방향으로는 균일한 변형을 나타내며, 단지 두께 방향으로 다른 변형을 나타낸다.[10)] 반면, 캔틸레버를 에너지 하베스팅에 이용할 경우, 외부에서 전달된 응력이 Young's modulus가 적은 기판을 먼저 변형시키나, Young's modulus가 작은 기판은 Young's modulus가 큰 세라믹을 균일하게 변형시키지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 세라믹은 길이 방향으로 다른 변형을 보이며 Fig. 1에서와 같이 특정부위에서 가장 큰 응력이 걸리는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 에너지 하베스팅에 응용하기 위해서 제작한 캔틸레버형 압전체가 특정부분에서 파괴되는 것을 관찰하고 이를 분석하였다. 발생하는 전압은 압전체의 위치에 따라 다르게 나타났으며, 출력전압이 가장 큰 부분에서 가장 큰 응력을 받아 깨지는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 캔틸레버형 압전체를 파괴없이 안전하게 사용하기 위해서는 최대전압이 나오는 부분의 파괴응력보다 적은 환경에 적용되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 KIST의 기관고유(코드번호 2E19390) 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. M. Rabaey, M. J. Ammer, J. L. da Silva Jr, D. Patel and S. Roundy, Comput., **33**(7), 42 (2000).
2. P. Smalser, U.S. Patent, 5703474 (1997).
3. S. Roundy, P. K Wright and J. M. Rabaey, Energy Scavening for Wireless Sensor Networks with special Focus on Vibrations, Kluwer Academic Pub. (2004).
4. K. Ren, Y. Liu, X. Geng, H. F. Hofmann and Q. Zhang, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., **53**(3), 631 (2006).
5. H. W. Kim, A. Batra, S. Priya, K. Uchino, D. Markley, R. E. Newnham and H. F. Hofmann, Jpn. J. Appl. Phys. **43**(9), 6178 (2004).
6. G. K. Ottman, H. F. Hofmann and G. A. Lesieutre, IEEE Trans. Power Electron., **18**(2), 696 (2003).
7. T. Sashida and T. Kenjo, An Introduction to Ultrasonic Motors, Oxford Univ. Press, Clarendon (1993).
8. K. Lee, D.-K. Lee, S. Borodinas, P. Vasiljev, S. Nahm and S.-J. Yoon, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., **51**(11), 1508 (2004).
9. K. Uchino and J. R. Giniewicz, Micromechatronics, Marcel Dekker, Inc., New York (2003).
10. S. Kim, Low Power Energy Harvesting with Piezoelectric Generator, Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh, (2002).