

다층형 압전세라믹 발전기 제작 및 capacitor 충전 특성

김형찬^{1,2}, 송현철¹, 이주영¹, 정대용¹, 김현재¹, 윤석진¹, 주병권²

¹한국과학기술연구원, ²고려대학교

Multilayer Piezoelectric Energy Harvester and Charging Property in Capacitor

Hyung-chan Kim^{1,2}, Hyun-cheol Song¹, Dae-yong Jeong¹, Ju-young Lee¹, Hyun-Jae Kim¹, Seok-jin Yoon¹, and Byeong-kwon Ju²

¹KIST, ²Korea Univ.

Abstract : Energy harvesting from the vibration through the piezoelectric effect has been studied for powering the wireless sensor node. For the driving wireless sensor node, the generated energy is required to store the capacitor or battery. For the rapid charging, higher voltage than battery's capacity voltage and a large current are necessitated. However, the piezoelectric energy harvester is generally featured as a high voltage and low current generator. As it is known that the generated current in the piezoelectric energy harvester is related to an area of electrode of piezoelectric ceramics, we fabricated the multilayer ceramics to increase effective area for the faster charging. The energy harvesting properties and charging characteristics of multilayer ceramics were investigated and discussed.

Key Words : multilayer, piezoelectric, energy harvesting, charging

1. 서 론

무선 센서 구동을 위한 에너지원으로서 최근 에너지 하베스팅이 주목을 받고 있으며, 압전 효과를 이용한 압전 에너지 하베스팅은 높은 에너지 밀도를 지니고 있어 많이 연구되고 있다. 센서를 구동하기 위해서는 생산된 전기 에너지를 배터리나 캐패시터에 저장해 두어야 하며, 이때 전압은 배터리나 캐패시터의 특정전압 이상이 필요하며, 생성되는 전류량이 클수록 충전시간이 짧아진다. 일반적으로, 압전 에너지 하베스터는 높은 전압과 적은 전류를 생산하여 전류량을 높이는 연구가 필요하다. 생성되는 전류량은 아래 식과 같이 표현되며, t 는 시간, Q 는 전하량, A 는 전극면적, P 는 폴라리제이션값이다.

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{A \Delta P}{\Delta t}$$

전류는 전하량에 비례하며, 전하량은 면적과 폴라리제이션 값에 비례하고, 시간에 반비례한다. 그러나 폴라리제이션 값은 재료 자체에서 정해지는 값이며, 시간은 진동원에서부터 주어지는 값이므로, 조절할 수 없다. 그래서 면적을 넓혀 전류량을 크게 하면, 충전 시간을 줄여 충전 효율을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 세라믹을 다층형으로 제작하여 전극면의 넓이를 변화 시키면서 압전 발전기를 제작했다. 제작한 압전 발전기에 외부에서 충격을 주어 충격에 대하여 생성되는 전류량을 측정하고 이를 캐패시터에 충전하여 충전시간을 비교했다.

2. 실험

그림 1은 적층세라믹의 분극방향과 이를 사용하여 제작한 압전 발전기의 모양을 나타낸 것이다. 실험에 사용한 압전 재료는 PZT 로써 PMW-PNN-PZT ($0.01\text{Pb}(\text{Mg}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3-0.41\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.35\text{PbTiO}_3-$

0.23PbZrO_3)를 기본조성으로 하였다.(d_{33} : 500pC/N, 전기기계 결합계수 :56, 기계적 품질계수: 73) 1급 시약을 사용하여, 파우더를 제작 후 제작한 파우더를 바인더(BD73210 : FERRO)와 질량비 7:3으로 섞었으며, 폴리프로필렌 용기에 지르코니아 불을 이용하여 24시간 혼합-분쇄하였다. 그 후, Tape Caster 를 사용하여 각각 200 μm , 100 μm , 40 μm 의 두께로 그린시트를 뽑아, 스크린 프린터를 사용하여 전극을 입힌 후, 각각 1층, 2층, 5층으로 적층하여 3200psi의 압력을 가한 후, 900 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 동안 소결하여 두께 200 μm 의 1층, 2층, 5층의 다층 세라믹을 제작하였다. 제작한 다층 압전 세라믹은 그림 1의 화살표 방향으로 분극처리 하였으며, 같은 방향으로 분극된 전극면을 각각 연결시켰다. 분극처리 된 세라믹은 유연한 PCB판 위에 붙여 압전 발전기를 제작하였다. 전하량을 계산하기 위하여 압전세라믹의 유전율을 측정하였으며, 동일 충격에서의 출력 전압을 저항의 변화에 따라 측정하였다.

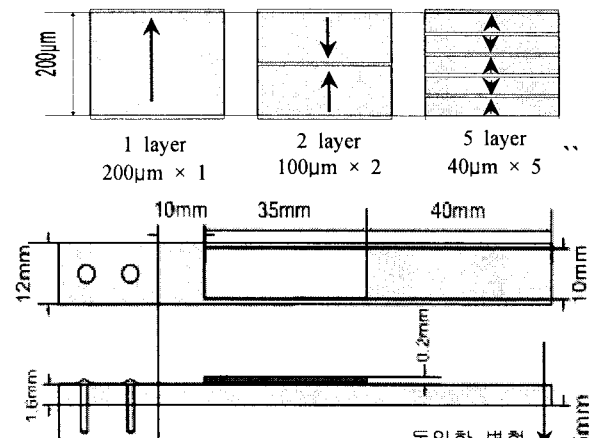


그림 1. 적층 세라믹의 분극방향과 압전 발전기의 모양

제작된 각각의 압전 발전기의 한쪽을 강하게 고정시킨 후 다른 끝에 동일한 충격을 주어 동일한 5mm의 변형을 가할 때, 압전 발전기에서 출력되는 전압을 측정하여, 계산하였다. 충격을 가하는 것에서의 생기는 오차를 줄이기 위하여 동일한 충격을 십 수번 반복하여 출력되는 평균 값으로 결과 값을 얻었으며, 압전 발전기에 가한 충격의 양은 측정량의 확실한 구분을 위하여 실제 진동보다 강한 충격을 주었다. 전극면을 넓게 했을 때 실제 생산되어 충전되는 전기에너지의 양을 비교하기 위하여, 진동기(Type 4809 : brüel & kjaer)로 압전 발전기에 동일 진동을 가하여 캐패시터에 충전하고, 충전시간을 비교하였다. 사용한 캐패시터는 5V-0.1F이었다.

3. 결과 및 검토

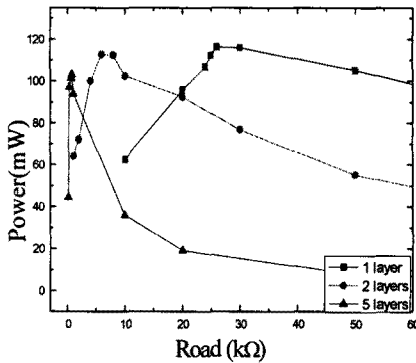


그림 2. 저항의 변화에 대한 압전 발전기의 출력파워

그림 2는 동일한 충격을 가하여 출력된 전압을 옴의 법칙을 사용하여 계산한 파워의 그래프이다. 각각의 캔틸레버형 압전 발전기는 압전 세라믹의 전극 면적이 각각 달라 유전율이 다르므로, 임피던스 매칭이 이루어지는 최대 파워지점에서의 파워를 서로 비교할 수 있다. 각각의 파워는 큰 차이를 보이지 않은 것으로 보아 동일한 파워가 가해졌음을 알 수 있다.

표 1. 각 layer의 matching 된 임피던스와 출력 전류

| | 1layer | 2layers | 5layers |
|--------------|--------|---------|---------|
| capacitance. | 40nF | 164nF | 998nF |
| cap. 비율 | 1 | 4.1 | 24.95 |
| matching R | 26kΩ | 6kΩ | 1kΩ |
| current | 2.1mA | 4.6mA | 9.7mA |

표 1은 압전 세라믹의 캐패시턴스와 그림 3에서 임피던스 매칭이 일어난 저항과, 임피던스 매칭시의 전류량을 나타낸 것이다. 한편, 식 $Q = CV$, $Z = \frac{1}{2\pi fC}$, $C = \epsilon_3^T \frac{A}{d}$ 에 의하여, $Q_n = nQ_1$, $C_n = n^2C_1$, $Z_n = \frac{Z_1}{n^2}$ 이 됨을 예상할 수 있으며, 이때, Q는 전하량이며, C는 캐패시턴스, V는 출력 전압이다. ϵ_3^T 는 유전율이며, A는 전극면적, d는 각 층의 두께이다. Z는 임피던스 매칭 된 저항이다. Q_n 은 n 층에서의 Q 값을 의미한다.

표 1의 측정결과는 계산한 값과 같이, capacitance는 압전 세라믹이 n층이 될 수록 n^2 에 비례하고 있으며, 임피던스 매칭이 이루어지는 저항은 $\frac{1}{n^2}$ 에 비례하는 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

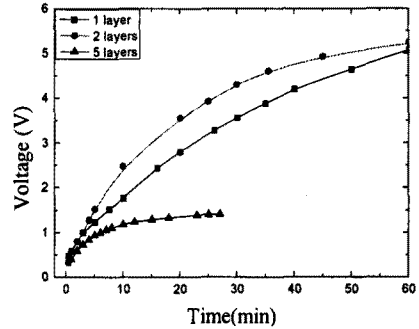


그림 3. 5V-0.1F 캐패시터에서 시간에 따른 충전량

그림 3은 진동기를 사용하여 130Hz, 13.5m/s²의 진동 환경에서 시간에 따라 슈퍼 캐패시터에 충전되는 전압을 측정하여 측정된 결과이다. 2층으로 하여 전류를 2배로 해준 압전 발전기에서 1층으로 만든 압전 발전기 보다 거의 2배에 가까운 충전 속도를 보여주었다. 그러나, 5층으로 만든 압전 발전기에서는 생성되는 출력전압이 캐패시터의 전압보다 작아져 캐패시터를 안전하게 충전시킬 수 없었다.

4. 결론

본 연구에서는 압전 세라믹을 다층형으로 만들어서 발생 전류량을 계산해 보고, 진동환경에서 캐패시터에서 충전시켜 보았다. 발생되는 전류량은 압전 세라믹이 n층이 될수록 n배로 증가하는 모습을 보여주었으며, 충전시간은 2층에서는 1층보다 거의 2배에 가까운 충전속도를 보여주었다. 이러한 결과는, 전압이 배터리나 캐패시터의 충전에 충분하다면 다층형으로 압전에너지 발전기를 제조하여 충전시간을 단축시킬 수 있음을 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구는 KIST 기관고유 (코드번호 2E19860)와 기초 기술이사회 정책연구(코드번호 2N30500)의 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사합니다.

참고 문헌

[1] H. C. Kim, D. Y. Jeong, S. J. Yoon and H. J. Kim, Kor. J. Mater. Res. Vol. 17 No. 2 2007.
 [2] H. C. Kim, H. C. Song, C. Y. Kang, H. J. Kim, D. Y. Jeong, S. J. Yoon, and B. k. Ju, Kor. Mater. Res. Soc. Spring Meeting, May 10-11, 2007, MUJU, Korea.
 [3] K. Lee, D.-K. Lee, S. Borodinas, P. Vasiljev, S. Nahm, and S.-J. Yoon, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., Vol. 51 No.11, p. 1508 2004.