

액체 전극 기반의 진동 에너지 회수 소자

A Vibration Energy Scavenger Based on a Liquid Electrode

*최동훈, 한창훈, 김현문, #윤준보

*D. -H. Choi, C. -H. Han, H. -D. Kim, #J. -B. Yoon (jbyoon@ee.kaist.ac.kr)

한국과학기술원

Key words :vibration, energy scavenger, low frequency, human motion

1. 서론

유비쿼터스 시대에 우리는 수많은 센서로 이루어진 무선 센서 네트워크(wireless sensor network) 환경에서 생활하게 될 것이다. 하지만, 배터리 및 전력선을 바탕으로 전력을 공급하는 방법은 센서의 수가 증가함에 따라 환경 및 유지비용에 있어서 큰 문제를 가진다. 따라서 우리 주변에 산재되어 있는 폐열, 빛 및 진동 에너지로부터 영구적인 에너지를 생산할 수 있는 에너지 회수 소자에 대한 연구가 최근 활발히 진행 중이다 [1].

그 중 진동 에너지를 이용한 에너지 회수 소자는 움직이는 물체로부터 손쉽게 전력을 생산해 낼 수 있기 때문에, 착용식 컴퓨터(wearable computer) 및 인체 영역 네트워크(body area network)에 손쉬운 적용이 기대 된다. 하지만, 기존 개발된 진동 에너지 회수 소자는 대부분 기계적인 스프링의 공진 현상을 이용하기 때문에 수백 Hz 이상의 동작 주파수를 가지고 있다 [1]. 즉, 수 Hz의 인간의 물리적 움직임에 적용하기에는 어려움을 가지고 있다 [2].

따라서, 본 논문에서는 수 Hz 범위의 진동 주파수를 가지는 인간의 물리적 움직임에서도 높은 전력 생산 효율을 가지는 정전기 방식의 에너지 회수 소자를 구현하고자 한다.

2. 제안된 에너지 회수 소자

정전기 방식의 에너지 회수 소자가 큰 에너지를 발전시키기 위해서는 외부 진동에 의해서 커패시턴스의 변화가 매우 큰 소자를 개발하는 것이 중요하다 [3]. 따라서 본 연구 그룹은 점성이 낮은 액체 전극을 이용하여 낮은 진동 에너지에서도 큰 커패시턴스의 변화를 가지는 에너지 회수 소자를 제안하고자 한다.

그림 1은 제안된 소자의 개념도 및 그 구동 원리

이다. 제안된 소자는 금속 상판, 금속 하판, 금속 상판 상에 형성된 절연막, 격벽, 그리고 액체 전극으로 이루어져 있다. 액체 전극은 전기적으로 금속 하판과 연결되어 있기 때문에 유동 전극과 같은 역할을 하게 된다. 구동 원리를 살펴보면, 초기에 소자의 커패시턴스는 두꺼운 공기층 d_2 로 인하여 낮은 커패시턴스를 가지게 된다 (그림 1(b)). 하지만, 외부 움직임에 의해 액체 전극은 흔들리게 되고, 금속 상판 하면에 형성된 절연막과 접촉이 일어나게 된다 (그림 1(c)). d_1 은 d_2 보다 훨씬 얇기 때문에 액체 전극의 흔들림으로부터 야기되는 커패시턴스의 변화는 매우 크게 된다. 정전기 방식의 에너지 회수 소자의 발전량은 커패시턴스의 변화 범위와 비례하기 때문에 제안된 소자는 에너지 회수 소자로서 높은 가능성을 가지고 있을 것이라 생각된다.

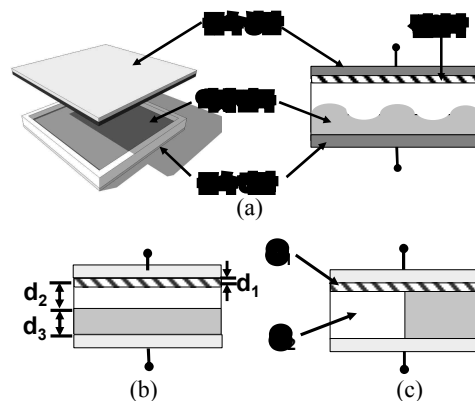


Fig. 1 (a) Concept of proposed energy scavenger (b) non-contact stage (c) contact stage

2. 시제품 제작 및 측정 결과

그림 2는 제안된 에너지 회수 소자의 가능성을 알아보기 위한 시제품이다. 제작된 소자는 액체

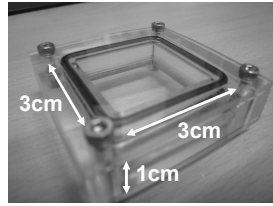


Fig. 2 Prototype of proposed energy scavenger (It has a cavity of 9cm^3 -volume)

전극을 위한 $3 \times 3 \times 1\text{cm}^3$ 의 공동(cavity)를 가지고 있으며, 액체 전극은 K^+ 와 Cl^- 로 포화된 용액을 사용하였다. 금속 상판과 하판은 실리콘 기판위에 형성된 금 박막을 이용하였으며, $30\mu\text{m}$ 의 접착식 폴리머가 절연층으로 사용되었다.

그림 3은 2.5cm의 peak-to-peak를 가지는 정현곡선의 외부 움직임에 따른 커패시턴스의 변화를 나타낸 그래프이다. 3Hz의 주파수를 가지는 외부 움직임에서 제안된 소자는 매우 높은 커패시턴스의 변화를 보였다. 소자의 최소 및 최대 커패시턴스는 각각 14pF과 185pF으로 커패시턴스의 변화는 170pF이상이었다. 하지만, 1Hz와 4Hz와 같은 주파수에서는 일정한 커패시턴스에서 변화하지 않는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과를 분석하기 위해 우리는 초고속 카메라를 통해 제작된 소자 내에서 액체 전극의 움직임을 관측하였다 (그림 4). 관측 결과, 제안된 소자는 오직 3Hz에서만 접촉 상태(contact stage)와 비접촉 상태(non-contact stage)가 확실히 구분되며, 1Hz와 4Hz에서는 하나의 상태로 유지되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 원인은 여러 가지가 있겠지만, 주된 원인은 액체 전극과 절연막 사이의 표면 장력으로 생각된다. 하지만, 이러한 원인은 절연층 및 격벽의 소수성 표면 처리 및

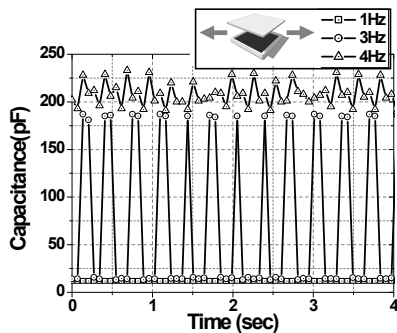


Fig. 3 Capacitance variation according to horizontal and sinusoidal motion with a peak value of 2.5cm

구조의 변화를 통해 해결 될 수 있을 것이라 기대된다.

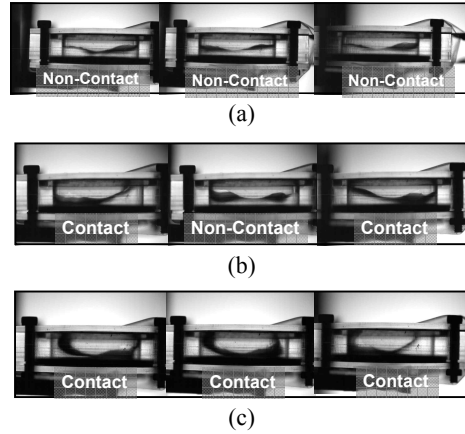


Fig. 4 Photographs of moving liquid electrode in cavity observed by a high speed camera (a) 1Hz-external motion (b) 3Hz-external motion (c) 4Hz-external motion

3. 결론

본 논문에서 제안한 에너지 회수 소자는 매우 낮은 주파수인 3Hz에서 170pF의 커패시턴스 변화를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 계산한 결과 50V의 보조 전압이 있을 경우 이론적으로 $0.64\mu\text{W}$ 의 전력을 발생시킬 것이라 기대된다. 이러한 재생 에너지를 이용한 영구적인 에너지 회수 소자는 인체 영역 네트워크와 같은 유비쿼터스 시대에 무선 센서 네트워크의 등장을 앞당길 것이다.

후기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파이오니어사업으로부터 지원 받아 수행되었습니다 (과제번호-2010-0019313).

참고문헌

1. Mitcheson P. D. *et al*, "Energy harvesting from human and machine motion for wireless electronic devices," *Proc.IEEE*, **96**, 1457-86, 2008
2. Büren T. V. *et al*, "Optimization of inertial micro-power generators for human walking motion," *IEEE Sensor Journal*, **6**, 28-38, 2006
3. Meninger S. *et al*, "Vibration-to-Electric Energy Conversion," *IEEE Trans. Very Large Scale Integration Systems*, **9**, 64-76, 2001