

# 전하 펌프 기반의 정전 에너지 수확기를 이용한 충격 감지 센서

김인겸,<sup>1,2)</sup> 박욱,<sup>2,3)\*</sup> 김대원<sup>2,3)\*</sup>

<sup>1)</sup>경희대학교 전자정보융합공학과,

<sup>2)</sup>경희대학교 웨어러블융합전자연구소,

<sup>3)</sup>경희대학교 전자공학과

inkyum.kim@khu.ac.kr, \*parkwook@khu.ac.kr, \*daewon@khu.ac.kr

## Impact sensing device based on charge pumping triboelectric energy harvester

Inkyum Kim,<sup>1,2)</sup> Wook Park,<sup>2,3)\*</sup> Daewon Kim<sup>2,3)\*</sup>

<sup>1)</sup> Department of Electronics and Information Convergence Engineering, Kyung Hee University,

<sup>2)</sup> Institute for Wearable Convergence Electronics, Kyung Hee University,

<sup>3)</sup> Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University

### 요 약

본 논문은 전하 펌프 기반의 정전 기반 에너지 수확기를 이용하여 전기적 출력을 향상시키고, 하나의 입력을 통해 작동할 수 있다는 장점을 이용하여 충격 센서로 사용 가능성을 실험적으로 확인하였다. 제작한 소자를 사용하여 추후 통신 기능을 갖춘 센싱 시스템의 구현에 이바지할 수 있을 것으로 예상되는 기술이다.

### I. 서 론

작은 IoT 통신을 위한 전자기기들과 사람과 프로세서를 연결시켜줄 수 있는 웨어러블 기기의 사용이 늘어나며 위 기기를 구동 시키기 위한 전력원에 대하여도 관심이 높아진 상태이다. 이 수요를 기존의 에너지 공급에 사용하던 배터리로만 충당하기 위하여는 수많은 배터리 제작이 필요할 뿐만 아니라 이를 충전시키기 위한 에너지 및 사용자의 수고로움이 수반된다. 추후 이러한 통신 또는 생체 신호 확인을 위해 필요한 작은 전자기기를 친환경적으로 구동하기 위하여는 자연에서 버려지는 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 사용할 필요가 있다. 이 개념으로부터 도출된 기술이 에너지 수확 기술이다.[1] 그 중에서도 외부의 기계적 에너지를 높은 효율로 수확하는 정전 기반 에너지 수확기에 대한 관심이 높아지고 있다.[2] 외부에서 가해지는 힘에 따라 전력을 발생시켜 자가 발전 센서를 구현하는 것이 가능한 기술 중 하나이다. 이 연구에서는 하나의 입력으로부터 작동하는 전하 펌프를 이용하여 출력이 향상된 정전 기반 에너지 수확기를 제안하며 구조적으로 외부의 충격을 입력으로 사용할 수 있는 장점을 통해 외부 전력이 필요 없는 충격 센서로 사용이 가능함을 확인한다. 실험적으로 출력을 확인할 수 있는 환경을 구현하였으며 전기적 출력을 통한 최적화 과정을 포함하여 소자의 특성을 분석하였다.

### II. 본론

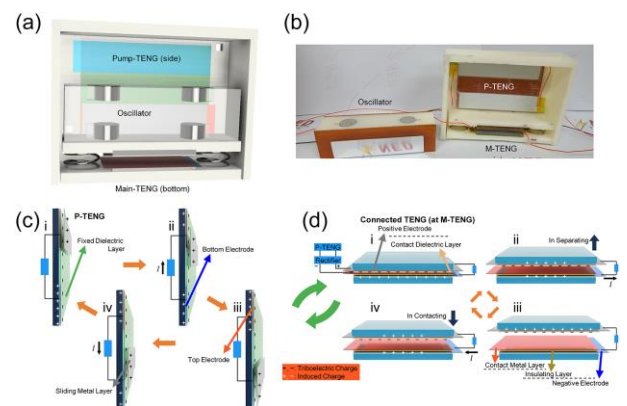


Fig. 1. 정전 기반 에너지 수확기의 구조 및 작동 원리.

본 논문에서 제안하는 정전 기반 에너지 수확기는 Fig. 1a 에 나온 것과 같이, 크게 전하 펌프 역할을 하는 Pump-TENG (P-TENG)와 이 전하 펌프가 연결된 Main-TENG (M-TENG)로 구성되어 있다. 중간에 위치한 진동자 (oscillator)가 외부의 힘에 의하여 위/아래로 움직이게 되면 P-TENG 와 M-TENG 가 동시에 작동하며 전력을 발생시킨다. 구조는 Fig. 1b 와 같은 구조를 가졌으며, 3d 프린팅을 통해 구현되었다. 전극은 알루미늄 테이프, 대전이 되는 유전층은 폴리테트라플루오로에틸렌 (PTFE) 또는 폴리이미드 (PI)로 구성되어 있다.

위 수확기의 출력 발생 메커니즘을 확인하기 위하여 먼저 Fig. 1c에서는 P-TENG의 작동 과정에 대하여 나타내고 있다. 진동자 내측에 있는 알루미늄 층이 틀 내부의 PTFE 층을 왔다 갔다 하는 상태로, PTFE 층 내부에 진동자 내측 알루미늄 층의 높이와 같이 패터닝된 두 개의 전극 사이를 왕복 운동하며 전하 펌핑을 수행한다. 알루미늄 층이 P-TENG의 위쪽 전극 옆으로 올라올 때는, PTFE 층과의 대전을 통해 발생한 알루미늄 층의 양전하가 위쪽 전극에 있던 양전하를 아래쪽 전극으로 밀어내는 정전기 유도 현상을 통해 부하 저항에서 아래쪽으로 전류를 발생시킨다. 반대로 내려가는 경우 전류는 아래쪽 전극에서 위쪽 전극으로 발생하게 된다.

P-TENG에서 발생한 두 방향의 전류는 정류 회로를 통해 단 방향의 전류로 바뀐 뒤, 아래에 위치한 M-TENG의 접촉 금속 층 (contact metal layer)로 인가된다. Fig. 1d에서는 위 과정 이후에 M-TENG의 작동 과정을 설명하고 있다. 위 아래 두 부분이 붙은 상태에서, 접촉 금속 층에 인가된 음전하는 위쪽 부분에 위치한 접촉 유전 층 (contact dielectric layer)으로 대전되고, 전하 중성을 맞추기 위하여 위쪽 전극에서 아래쪽 전극으로 양전하가 유도된다. 반대로 두 부분이 떨어지게 되면 반대 방향의 전류가 발생하게 된다.

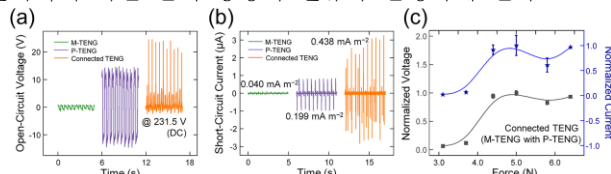


Fig. 2. 정전 기반 에너지 수확기의 기본 출력 및 변화 경향.

먼저 Fig. 2a의 경우, 소자의 연결 상태에 따른 개방 회로 전압을 나타낸다. M-TENG의 경우 1 V, P-TENG의 경우 13 V의 출력을 보이나, 두 개의 소자를 연결한 경우 전하 펌핑을 통해 231 V의 출력을 보인다. Fig. 2b에서는 폐 회로 전류를 나타내고 있으며, 앞선 개방 회로 전압의 경우와 같이 두 개를 연결한 경우 3  $\mu$ A로 가장 높은 출력을 보였으며, 이 때, 전극 면적으로 위 폐 회로 전류의 피크 값을 나누었을 때, 0.4  $\text{mA m}^{-2}$ 의 전류 밀도 값을 보였다.

가하는 힘을 센서를 통해 확인하며 변화시켰을 때 발생하는 출력을 Fig. 2c에 표시하였다. 가해지는 힘이 강해질수록 접촉 세기의 증가로 출력이 증가하다가 5에서 6 N 사이에서는 출력이 잠시 감소하는 경향을 보였는데, 이는 이 힘 대역에서의 진동자 움직임과 외부틀의 움직임이 유사해짐에 따라 전하 펌핑을 하는 시점의 변화로 인한 출력 감소로 볼 수 있다.

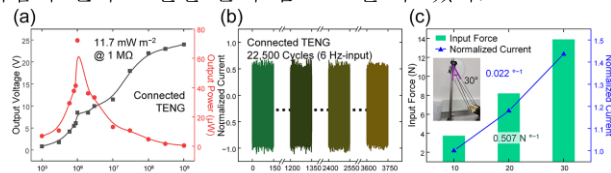


Fig. 3. 정전 기반 에너지 수확기의 전력 및 센서로의 특성.

P-TENG와 M-TENG가 연결된 경우의 최대 피크 전력을 확인하기 위하여, 부하 저항을 변화시키며 측정된 개방 회로 전압과 이를 계산을 통해 피크 전력으로 변환한 결과가 Fig. 3a에 표시되어 있다. 1 MΩ에서 최대 피크 전력 값 70  $\mu$ W를 확인할 수 있었으며, 이 저항 값의 경우 소자의 내부 저항과 같다.

소자 출력의 안정도를 확인하기 위하여 22,500 번의 지속적인 입력을 주었을 때, Fig. 3b에서 확인할 수 있는 결과로 초기의 출력 전류와 비교하여 98%의 값으로 일정한 출력이 발생함을 확인할 수 있었다.

실제 상황을 가정하여 단일 입력을 주었을 때의 출력 경향성을 확인하여 보았다. 줄로 소자를 연결한 뒤 기준점에서 10, 20, 30°의 각도 변화를 준 뒤, 놓았을 때의 충격을 확인하는 실험 환경을 구현해 주었다. Fig. 3c에 나온 결과로 입력으로 준 각도가 클수록 큰 힘과 그에 비례하는 전기적 출력이 나오는 것을 확인할 수 있었다. 측정된 값을 통해 얻은 정전 기반 센서의 입력 각도에 대한 민감도는 0.022  $^{\circ}$ 의 값을 얻어낼 수 있었다. 이를 통하여 외부 충격 센서로 제안하는 소자를 사용 가능함을 실험적으로 증명하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 전하 펌프를 이용하여 전기적 출력을 향상시킨 정전 기반 에너지 수확기 소자를 제안하고 외부 충격을 감지할 수 있는 센서로의 역할이 수행 가능함을 확인하였다. 소자의 구조와 동작 원리를 그림과 전하 움직임을 통하여 설명하였으며, 전위계를 통해 측정된 개방 회로 전압과 폐 회로 전류를 확인하였으며, 전하 펌프를 연결하였을 때, 가장 큰 값의 출력이 발생하였다. 입력 힘에 대하여 두 전기적 출력이 증가하는 경향성을 확인하였으며, 해당 수확 소자의 피크 전력과 내부 저항을 확인하였으며 그 값은 각각 70  $\mu$ W와 1 MΩ임을 실험적으로 얻어낼 수 있었다. 지속적인 입력을 통해 소자가 센서로 사용하기에 적합함을 보였다. 실제 충격 상황을 가정하여 입력을 주었을 때, 힘과 동일하게 변하는 전기적 출력을 통해 입력 각도에 따른 경향성을 확인하여 센서로 사용할 때의 민감도를 성공적으로 얻었다. 추후 접촉 대전 효과를 이용한 무 전원 센서 시스템을 구현하기 위한 기반 기술로 사용되어 저전력 시스템 구현에 도움을 줄 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. NRF-2021R1C1C1014004). This work was supported by the Technology Innovation Program (RS-2022-00154983, Development of Low-Power Sensors and Self-Charging Power Sources for Self-Sustainable Wireless Sensor Platforms) funded By the Ministry of Trade, industry & Energy(MI, Korea)

### 참 고 문 헌

- [1] Babayo A. A., Anisi M. H., Ali I. "A Review on energy management schemes in energy harvesting wireless sensor networks." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 76, pp. 1176-1184.
- [2] Xu, L., Bu, T. Z., Yang, X. D., Zhang, C., Wang, Z. L. "Ultrahigh Charge Density Realized by Charge Pumping at Ambient Conditions for Triboelectric Nanogenerators." *Nano Energy*, 2018, 49, pp. 625- 633.