

인체 착용을 위한 압전에너지 융합형 촉각센서 어레이

박지욱, 안용호, 윤광석
서강대학교

Wearable touch sensor array integrated with energy harvester

Jiwook Park, Yongho Ahn, Kwang-Seok Yun
Sogang University

Abstract - 본 연구에서는 촉각 센서와 에너지 수확소자가 한 소자에 융합되어있는 구조를 제안한다. 이 소자는 압전 스트랩과 유연한 튜브, 폴리머 필름으로 구성되어있으며, 유연하며 잘 늘어나는 직물구조를 갖는다. 완성된 소자에 수평방향의 인장 및 수축 힘이 가해지면 전압이 발생하여 에너지 수확소자로 동작하며, 수직방향의 힘이 가해지면 정전용량이 변화하여 촉각센서로 동작한다. 제작한 소자가 에너지 수확소자로 동작할 때 최대 36.6 V의 출력 전압이 측정되었으며, 소자를 누르는 수직힘이 증가할수록 정전용량이 커지는 것을 확인하였다.

구조는 가로, 세로 압전 스트랩이 교차하는 부분마다 생기며, 이는 센서 어레이를 형성한다. 추가로 각 압전 스트랩은 튜브의 위, 아래를 지나가면서 구부러지게 되는데 이 부분에 폴리머 필름이 부착된다. 완성한 소자는 유연하며 수평방향으로 잘 늘어나는 특징을 가진다. 그러므로 그림 1 과 같이 팔꿈치 등의 신체 관절에 적용하기 용이하다. 제작한 소자의 상세 크기는 표 1 에 표기되어 있다.

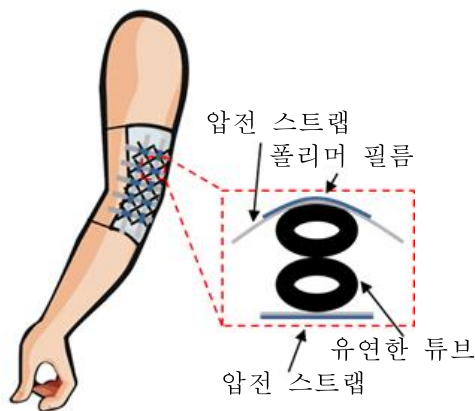
1. 서 론

최근 사용자와 전자제품 간의 연결을 언제 어디서든 가능하게 만들어 주는 착용형 장치들에 대한 관심이 급증하면서, 착용 가능한 센서 및 이에 필요한 전력을 공급하기 위한 에너지 수확소자에 대한 연구가 진행되고 있다 [1, 2]. 착용 가능한 센서를 구동시키기 위해서는 외부 전원이 별도로 필요한데, 현재는 대부분 전지를 사용한다 [3]. 그러나 이는 교체나 충전을 해주어야 한다는 단점을 가진다. 이러한 전기 대신 반영구적으로 사용이 가능한 착용형 에너지 수확소자가 센서에 융합되는 것이 가장 이상적이다 [4]. 이와 관련된 직물형태의 압전 에너지 수확 소자가 연구되었다 [5].

본 연구에서는 정전용량 촉각 센서와 압전 에너지 수확소자가 하나의 소자에 융합되어있는 구조를 제안한다. 제안하는 소자에 수평방향의 인장과 수축이 가해지면 압전 물질에 의하여 전기적인 에너지가 발생하며, 수평방향의 힘이 가해지면 정전용량이 변화하므로 센서로서 활용할 수 있다. 즉, 하나의 소자로 에너지 수확과 촉각 감지를 동시에 할 수 있다. 또한 소자는 직물과 같은 구조를 가지며, 유연하고 대면적 제작이 가능하여 신체에 적용하기 용이하다.

2. 본 론

2.1 소자의 구조 및 원리



<그림 1> 제안하는 소자의 개념도

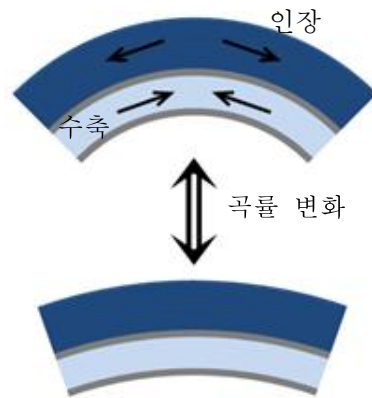
그림 1 은 제안하는 소자의 개념도를 나타낸다. 완성된 소자는 유연한 튜브가 직조된 직물 구조에 양면에 전극이 증착된 압전 스트랩이 튜브와 45° 각도를 갖도록 다시 한 번 직조된 구조를 갖는다. 이때 삽입된 가로 압전 스트랩과 세로 압전 스트랩이 튜브를 사이에 두고 교차하는 부분이 생기고, 이로 인해 커패시터 구조가 형성된다. 이러한 커패시터

<표 1> 제작한 소자의 상세 크기

소자의 전체 크기	90 × 90 mm ²
압전 스트랩의 크기	120 × 5 × 0.11 mm ³
튜브의 외경	3 mm
튜브의 내경	1.5 mm
폴리머 필름의 크기	10 × 5 × 0.1 mm ³

2.1.1 에너지 수확 원리

그림 2 는 하나의 압전 스트랩에서 유연한 튜브에 의해 곡률이 형성된 부분을 확대한 그림이다. 초기 상태에서는 압전 스트랩이 큰 곡률을 가지며, 상부 폴리머필름과 하부 압전 물질은 큰 스트레스를 받는다. 소자에 수평방향의 당겨지는 힘이 가해지게 되면 형성된 곡률이 작아지게 되고, 그 결과 폴리머 필름에 의해 생성된 압전 물질의 스트레스가 작아진다. 이렇게 압전 물질에 가해지는 스트레스가 달라지면 압전 물질 위, 아래에 증착되어 있는 전극에 전하가 형성된다. 이로 인해 소자에 수평방향의 인장, 수축 힘이 주기적으로 가해지게 되면 교류전압이 출력된다. 제안하는 소자는 여러 개의 압전 스트랩을 가지므로 각 스트랩의 출력을 합치면 보다 높은 출력 에너지를 얻을 수 있다. 제작한 소자를 팔꿈치에 적용하면 팔꿈치가 구부러지면서 소자가 당겨지게 되고 이때의 출력 에너지를 수확할 수 있다.

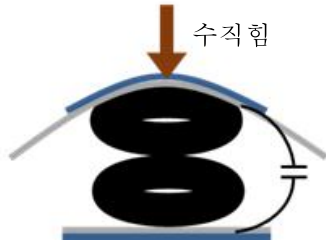
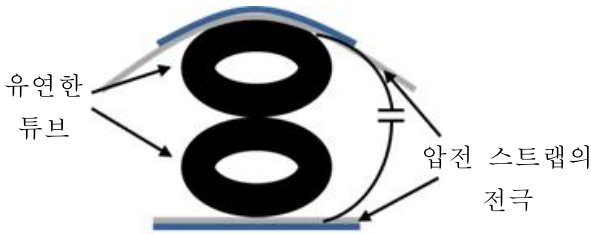


<그림 2> 에너지 수확 원리를 나타내는 소자의 단면도

2.1.2 촉각 감지 원리

그림 3 은 가로, 세로 압전 스트랩에 의해 형성된 평판 커패시터 구조를 나타낸다. 가로 압전 스트랩과 세로 압전 스트랩은 교차된 튜브의 위, 아래에 각각 배치되면서 면적이 겹치는 부분이 생기게 된다. 따라서 위쪽 압전 물질의 하부 전극과 아래쪽 압전 물질의 상부 전극 사이에 정전용량이 형성된다. 소자에 수직하 힘이 가해지면 유연한 튜브가 눌리면서 두 전극 사이의 간격이 좁아지게 되고, 이로 인하여 정전용량 값이

증가한다. 즉, 두 전극 사이의 정전용량 값을 측정함으로써 누르는 수직으로 누르는 힘의 크기를 검출할 수 있으며, 가로 및 세로로 배열된 전극에 대해 순차적으로 정전용량 값을 읽음으로써 힘이 가해지는 위치를 실시간으로 찾을 수 있다 [6].



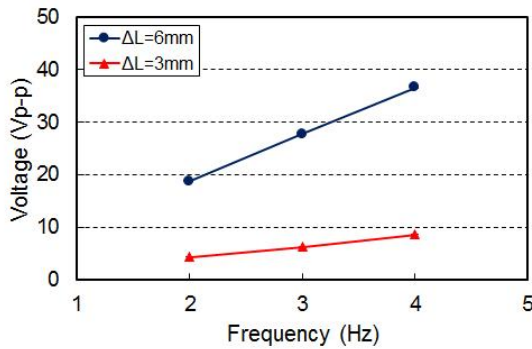
〈그림 3〉 압전 스트랩이 교차하는 지점의 단면도

2.2 실험 결과

제안하는 구조는 하나의 소자로 에너지 수확소자의 동작과 촉각 센서의 동작을 모두 할 수 있다. 각 동작의 출력을 확인하기 위하여 두 가지 실험을 진행하였다.

2.2.1 에너지 수확소자의 출력

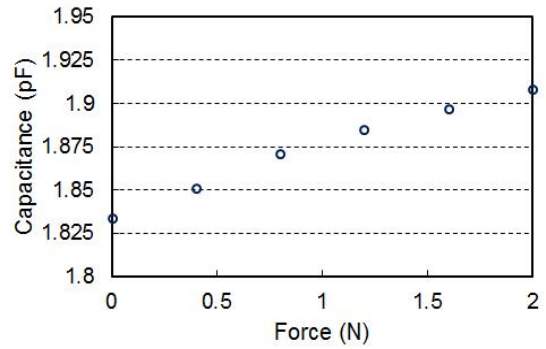
그림 4 는 스트레칭 길이가 3, 6 mm일 때 압전 스트랩 1개의 peak-to-peak 출력 전압을 나타낸다. 이때 동작 주파수를 바꾸어가며 출력 변화를 살펴보았다. 스트레칭 길이와 동작 주파수가 커질수록 출력 peak-to-peak 전압이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 최대 출력 전압은 6 mm 스트레칭 길이, 4 Hz 동작 주파수에서 36.6 V로 측정되었다. 이렇게 나온 출력 에너지를 capacitor 등에 저장하면 필요할 때 센서를 구동시킬 수 있을 것이다.



〈그림 4〉 동작 주파수에 따른 출력 전압

2.2.2 촉각 센서의 출력

그림 5 는 하나의 압전 스트랩 교차점에서의 수직 힘에 따른 정전용량 값을 나타낸다. 수직으로 가해지는 힘의 크기가 증가할수록 전극 사이의 거리가 가까워지면서 정전용량이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이때의 초기 정전용량은 약 1.834 pF로 측정되었다. 각 센서들의 정전용량 값을 순차적으로 빠르게 읽어 들이는 모듈을 이용하면 어떤 지점에 얼마만큼의 힘이 가해졌는지 실시간으로 측정하여 외부 촉각 신호를 감지할 수 있을 것이다.



〈그림 5〉 수직힘에 따른 정전용량의 변화

3. 결론

본 연구에서는 정전용량 촉각 센서와 압전 에너지 수확소자가 융합되어 있는 어레이 구조를 제작하였다. 하나의 소자가 에너지 수확 동작과 촉각 감지 동작이 모두 가능함을 입증하였으며 각각의 출력을 확인하였다. 제안하는 구조는 압전 스트랩, 유연한 튜브, 폴리머 필름을 이용하여 쉽게 제작할 수 있으며, 직물과 비슷한 구조를 가지므로 신체에 적용하기 용이하다. 움직일 때 스트레칭 되는 팔꿈치나 무릎 등의 부위에 제작한 소자를 적용한다면 낮은 주파수의 신체 움직임에서도 의미 있는 에너지를 수확할 수 있을 것이다. 또한 관리 모듈을 이용하여 출력에너지를 저장 하면, 센서 동작 등 전력이 필요한 곳에 사용할 수 있을 것이다. 추후 소자의 스케일이 작아지고 대면적으로 제작이 되면, 의복형 자가발전 센서로서 실시간 움직임 분석, 위험 감지 등의 목적으로 활용할 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Moran Stuart, Toyooki Nishida, and Keiichi Nakata, "Perceptions of a Wearable Ubiquitous Monitoring Device", Technology and Society Magazine, IEEE, 32, 56-64, 2013
- [2] Windmiller Joshua Ray and Joseph Wang, "Wearable electrochemical sensors and biosensors: a review", Electroanalysis, 25, 29-46, 2013
- [3] Takeno, Kazuhiko, Ichimura Masahiro, Takano Kazuo, Yamaki Junichi, "Influence of cycle capacity deterioration and storage capacity deterioration on Li-ion batteries used in mobile phones", Journal of Power Sources, 142, 298-305, 2005
- [4] Jabbar Hamid, Young S. Song, and Taikyeong Ted Jeong, "RF energy harvesting system and circuits for charging of mobile devices", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 56, 247-253, 2010
- [5] Song Seunghwan, and Kwang-Seok Yun, "Design and characterization of scalable woven piezoelectric energy harvester for wearable applications" Smart Materials and Structures, 24, 045008, 2015
- [6] Kim Hong-Ki, Seunggun Lee, and Kwang-Seok Yun, "Capacitive tactile sensor array for touch screen application" Sensors and Actuators A: Physical, 165, 2-7, 2011