

신축성 전극 기반 인공전자피부

박종화, 고현협

울산과학기술대학교
hyunhko@unist.ac.kr

서론

최근 전자정보 소자의 급속한 발전으로 휴대용 정보통신 및 스마트 기기의 보급이 활성화 되고 있으며, 다음 단계의 미래 전자시스템은 단순 휴대형에서 벗어나 사람의 몸에 부착하거나 인체 내부에 삽입이 가능한 형태로 발전되어 인체 친화적이며 의료용 생체 신호 감지가 가능한 기기로의 발전이 예상된다. 따라서, 최근 구부리거나 늘릴 수 있으면서 사람의 피부나 몸 혹은 굴곡진 부분에 부착이 가능한 인공전자피부 개발에 대한 관심이 급증하고 있다. 특히, 구부리거나 늘릴 수 있는 인공전자피부의 구현을 위한 핵심적인 소재 기술로 신축성 전극 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 신축성 전극은 소자를 구부리거나 늘릴 때 발생하는 응력을 최소화하면서 능동소자 간의 연결, 작동, 그리고 물리적 지지체 역할을 하고, 기계적인 변형에도 일정한 전기전도성을 유지하여 최종 플렉서블 전자소자 성능의 저하를 최소화시킨다.

신축성 전극은 위와 같은 능동소자를 연결하는 수동소자로서의 역할뿐만 아니라 기계적 변형에 따라서 전기전도성이 민감하게 바뀌는 형태로 개발될 수 있는데, 최근 외부의 신호를 인식할 수 있는 능동소자의 한 요소로써 압력 및 스트레인(strain)과 같은 변형을 감지할 수 있는 플렉서블 촉각 소재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 압력 및 스트레인 감지 소재는 기계적 변형에 대하여 일정한 전도성을 유지하는 신축성 전극과 달리 저항과 같은 전기적 특성이 바뀌는 것을 인식하여 외부에서 가해지는 힘을 감지할 수 있

다. 이러한 소재는 신축성을 지닌 탄성 물질과 탄소나노튜브¹⁻⁶, 그래핀⁷⁻¹⁰, 금속 나노와이어^{11,12}와 같은 높은 전도도를 지니고 있는 나노 소재의 결합을 통해 필름 형태 및 3차원의 다양한 구조로 설계되어 제작되고 있다. 매우 미세한 압력 및 스트레인을 인식할 수 있는 소재의 개발은 다양한 감각 기능을 가진 사람의 피부를 대체할 수 있는 인공전자피부 소재로도 급부상하게 되면서, 이러한 소재의 개발은 인공전자피부, 촉각센서, 인공보철, 로봇틱스, 의료용 기기 분야에 응용할 수 있는 핵심적인 기술로 자리 잡고 있다. 본 기고문에서는 압력 및 인장력 감지 전도성 필름의 특성과 기본적인 원리를 설명하고, 최근에 연구되고 있는 압력 및 스트레인 감지 전도성 필름 제작에 대한 다양한 개발 및 접근 방향, 그리고 최근 인공전자피부로의 응용에 대해 소개하고자 한다.

압전 소재 기반 인공전자피부

압력 감지 필름은 외부에서 가해지는 압력에 따라 발생하는 전기적 저항¹³⁻¹⁶, 커패시턴스(capacitance)^{17,18}, 압전전기(piezoelectricity)¹⁹, 마찰전기(triboelectricity)²⁰와 같은 전기적 특성 변화를 이용하여 제조될 수 있다. 압력 감지 필름은 기계적 변형에 따른 전기적 신호를 측정하여 압력의 세기, 방향 등을 구분할 수 있기 때문에 그 자체로서 여러 센서 응용 분야에 활용될 뿐만 아니라 능동소자와 연결되어 사람의 피부처럼 촉각을 감지할 수 있기 때문에 인공피부, 인공보철, 수술용 로봇 등과 같은 많은 분야에 응용이 가능

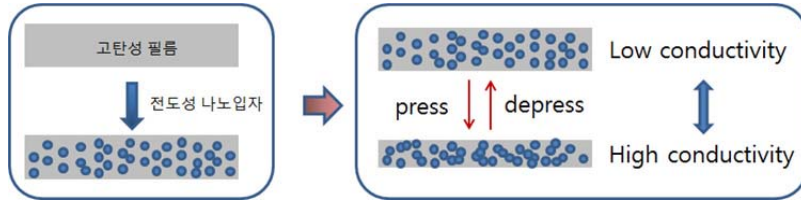


그림 1. 전도성 복합재료 기반의 압력 감지 필름 원리

하다. 초기의 압력 감지 필름은 카본 블랙²¹, 흑연 파우더²²와 같은 전도성 탄소 입자와 탄성과 유연성을 지닌 실리콘 고무의 일종인 PDMS(polydimethylsiloxane)에 혼합하여 제작되었다. 이와 같은 고무복합소재를 이용한 압력 감지 필름은 그림 1과 같이 외부 압력에 의해 고무 매트릭스 안의 전도성 필러의 배열의 바뀌는 특성을 이용하여 압력을 인식할 수 있다. 압력이 가해지게 되면 전도성 필러 간의 거리는 점점 가까워지게 되고 이를 통해 전자들이 이동할 수 있는 전도성 통로가 형성되게 되는데, 압력의 세기에 따라 전도성

통로가 형성되는 점점들이 많이 발생하여 압력에 따라 전기 저항이 낮아지는 특성을 지닐 수 있다. 이러한 전도성 복합재료 기반의 압력 감지 필름은 전도성 필러의 양이 일정 농도 이상이 되면 전류가 쉽게 흐르는 임계점 농도인 퍼콜레이션(percolation) 농도가 존재하는데, 복합재료의 전도성 필러의 양이 임계점 농도 부근일 때 압력에 따라서 저항이 급격히 낮아지기 때문에 높은 민감도의 압력 감지 필름을 제조할 수 있다. 하지만 전도성 탄소 입자 기반의 압력 감지 필름은 상대적으로 많은 전도성 필러를 필요로 하고 높은 압

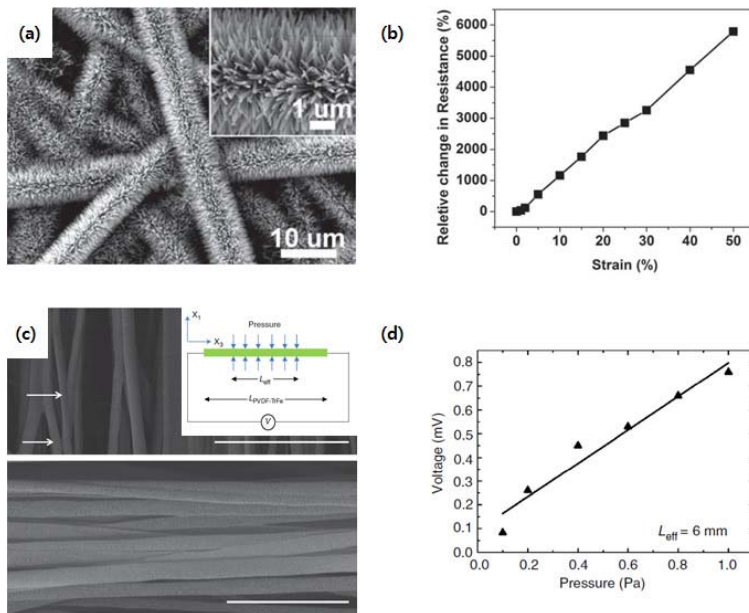


그림 2. 압전 소재를 이용한 압력 및 스트레인 감지 필름. (a) 폴리스티렌 나노파이버 위에 성장한 ZnO 나노와이어를 이용한 스트레인 감지 필름. (b) ZnO 나노와이어가 코팅된 폴리스티렌 기반 스트레인 센서의 스트레인에 따른 전기적 특성 변화. (c) 전기방사 방법을 통해 제작된 PVDF-TrFE 나노파이버 필름 기반 압력 센서. (d) PVDF-TrFE 나노파이버 압력 센서에 가해지는 압력에 따른 전압 특성 변화.