

세탁 가능한 입는 디스플레이 모듈 개발

전기및전자공학부
최경철

기존 웨어러블 디스플레이 연구는 주로 디스플레이 소자 구현에 초점을 맞춰서 진행되었기 때문에, 소자를 구동시키기 위한 외부 전원이 필요하거나 세탁이 어려워 실제 웨어러블 디스플레이로의 응용에서 한계점을 가지고 있었다. 이에 본 연구팀은 일상적으로 쓰이는 옷감 위에 외부 전원 없이도 전력을 공급하는 고분자 태양전지(PSC) 유기 발광 다이오드(OLED) 그리고 세탁이 가능한 봉지기술을 적용하여, 전기도 절약되는 실제 입을 수 있는 디스플레이 모듈 기술 개발에 성공하였다. 본 연구에서 개발된 기술은 웨어러블 디스플레이의 상용화의 길을 열 수 있으며, 향후 '입는 디스플레이' 연구에 있어 핵심적이며 선도적인 요소 기술로 이바지할 것이 기대된다.

연구배경

디스플레이는 양방향 동시 입출력이 가능하기 때문에 차세대 정보통신기술(ICT, Information Communication Technology)의 핵심으로 입지를 굳혀나가고 있다. 특히 의류에 센서가 추가되고, 파워가 연결되며, 인터넷 접속이 가능한 웨어러블 IoT(Internet of Things)가 시대가 도래함에 따라 디스플레이 또한 기존의 무겁고 딱딱하던 고정관념에서 탈피한 가볍고 유연한 웨어러블 기술로 재탄생하고 있다. 그렇지만 웨어러블 디스플레이의 경우 외부환경에 노출될 때 소자의 열화현상이 급격하게 발생하므로 이를 위한 봉지막 기술은 필수불가결한 선택이다. 그렇지만 기존의 봉지막 기술은 상온에서는 제 역할을 하지만, 습기가 많은 환경에서는 특성을 잃는다는 단점을 가지고 있었다. 즉, 비가 온다든지 세탁을 할 경우에 있어 디스플레이의 안정적인 고수명을 기대하기에는 역부족이다. 따라서 세탁과 일상 생활에서의 활용을 위해선 이러한 한계점을 극복할 필요가 있다. 본 연구진은 이러한 스마트 시대의 흐름에 부응하는 입는 디스플레이 모듈(wearing display module)을 제안하게 되었다. 인간이 매일 입을 옷 위에 디스플레이를 구현하여, 우수한 착용감을 주며 편안하고 부드러울 뿐만 아니라 세탁이 가능하게 함으로써 입는 디스플레이 모듈의 상용화를 앞당기는 것이 본 연구의 목표이다.

연구내용

웨어러블 디스플레이의 상용화에 있어 가장 큰 걸림돌은 세탁이 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 취성이 높은 물질의 내부 크랙의 성장을 억제하는 크랙 어레스터(crack arrestor)를 생성하여 옷감 특유의 유연한 기계적 특성을 유지하고 수분에 취약한 물질과 유연한 고분자 물질간의 상호 양성자-탈양성자화(protonation-deprotonation) 작용을 통해 세탁이 가능한 입는 디스플레이 모듈을 개발하였다. 기존의 웨어러블 디스플레이에 있어서 세탁을 하는 경우 디스플레이를 보호하는 봉지막이 그 과정에서 상전이와 같은 기전을 통해 열화가 발생한다. 다시 말해, 디스플레이가 수분에 직접 노출이 되어 더 이상 동작하지 않는 것을 의미한다. 이에 본 연구에서는 이중 물질간 양성자-탈양성자 반응을 통해 수화현상을 방지하여 세탁이 가능하게 할 수 있음을 입증



하였다. 이를 위해 유연한 실리카 고분자 용액과 알루미늄 산화물 및 아연 산화물로 구성된 우수한 봉지 특성을 가지는 나노층화봉지(nano-stratified encapsulation barrier)를 적용한 새로운 봉지 기술을 개발하였다. 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR, Fourier-transform infrared spectroscopy), 투습률(WVTR, water vapor transmission rate), 그리고 표면 거칠기 변화를 통해 양성자-탈양성자 반응을 통한 세탁 특성 향상을 확인하였다. 또한 기존에는 봉지막 내부에 균열이 존재할 경우 이를 통해 수분과 산소가 유입될 수 있어 균열이 없는 조밀한 봉지막을 제작하는 것을 목표로 하였다. 하지만 본 연구에서는 인위적인 미소균열이 봉지막에 도입되었을 경우 Griffith crack model에 의거하여 유연성을 증대시킬 수 있음을 입증하였다. Griffith crack model은 일반적으로 봉지막 내부에서의 균열이 발생할 경우 균열 첨단의 반경은 원자 간 거리만큼 작기 때문에 응력의 집중화가 커지는 것을 설명한다. 이에 따라 내부에 인위적인 미소균열을 도입하는 경우 균열선단에서의 국부응력을

획기적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 미소균열을 도입하기 위한 방법으로는 식각과 같은 화학반응을 이용하였다. 최종적으로 열 압착 공정을 통해 직물의 표면 거칠기를 수 천분의 일로 줄임으로써 직물에서 고분자 태양전지(PSC, polymer solar cell) 및 유기 발광 다이오드(OLED, Organic Light Emitting Diode)가 안정적으로 동작할 수 있도록 하는 기술을 개발하였다. 이를 통해 외부 전원 없이 동작 가능한 입는 디스플레이 모듈을 제작할 수 있었고 본 모듈은 한달동안 반복적인 세탁을 하였을때에도 그 특성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

기대효과

인간에 익숙하고 편리한 플랫폼인 옷은, 웨어러블 디스플레이가 추구하는 최적의 플랫폼이다. 최근 많은 스마트 기기들이 시계, 안경 등의 착용형으로 출시되었지만, 의류의 형태로 구현한다면 더욱 이상적인 스마트 기기를 구현할 수 있을 것이다. 본 연구의 입는 디스플레이는 사용자가 스마트 기기를 착용하고 있음을 인식하는 '웨어러블 스트레스(wearable stress)'를 주지 않기 때문에 편안함과 편리한 사용 환경을 제공한다. 이와 더불어 세탁 가능성을 확인하였기에 상용화의 가능성을 입증하였다고 할 수 있다. 이를 바탕으로 심미적인 디자인을 디스플레이를 통해 가미함으로써 패션 및 산업으로 응용이 가능하고 다양한 스마트 기기와의 연동을 통한 헬스케어 산업으로의 활용이 용이하다. 따라서 본 기술은 궁극적으로 스마트 패션, 섬유, 의학 및 각종 헬스케어 산업의 근간이 되는 기술로 발전할 것이라 기대한다.

| 연구성과 |

- [논문] • E. G. Jeong, Y. Jeon, S. H. Cho, and K. C. Choi, "Textile-based Washable Polymer Solar Cells for Optoelectronic Modules: Toward Self-powered Smart Clothing", Energy & Environmental Science 12, 1878-1889 (2019). [2018 Impact Factor = 33.250, selected as a back cover paper]
- [특허] • 세탁 가능한 나노 층화 봉지 구조체 및 이를 포함하는 전자 장치 (2019. 08. 07)
- [수상] • BK21+ 공학 부문 부총리 겸 교육부장관 표창 (2019. 03. 20)
- [홍보] • Highlighted in Nature Energy (selected as a research highlight, DOI: 10.1038/s41560-019-0341-2)
 - [논문]에 대하여 YTN, YTN 사이언스를 통한 영상 뉴스 보도 및 Forbes를 비롯한 20개 이상 국내외 언론사의 언론 보도

| 연구비 지원 |

- 한국연구재단, 선도연구센터사업
- 한국연구재단, 나노소재기술개발사업
- 한국산업기술평가관리원, 전자부품산업핵심기술개발사업