

나노물질 기반 스마트웨어 개발 기술 동향

서영덕 · 권진형 · 고승환

서울대학교 기계항공공학부

Trend on Nanomaterial Based Smart Wear

Young Duk Suh, Jinhyeong Kwon, Seung Hwan Ko

Department of Mechanical Engineering, Seoul National University

1. 서론

불과 몇 년 전까지만 해도 스마트웨어(Smart Wear)는 단순히 땀을 잘 흡수하거나 배출하는 고어텍스(GORE-TEX)나 땀과 수증기를 열로 바꾸는 흡습발열 섬유인 히트텍(HEATTECH) 정도의 기능성 의복 정도가 연상되었다. 하지만 공상과학 영화에서도 쉽게 찾을 수 있는 미래의 의류는 컴퓨터가 가진 다양한 기능들을 고스란히 가지고 있을 뿐만 아니라 입고 있는 사람의 건강 상태를 체크할 수 있고, 통신의 수단으로도 쓰일 수 있는 등 다양하고 유용한 기능을 가지고 있는 웨어러블 컴퓨터(Wearable Computer), 즉, 스마트웨어로 발전할 것으로 예상되고 있다(고승환, 2013). 스마트웨어는 현재의 기능성 의류와 같은 단순하고 수동적인 기능을 넘어 외부 및 사용자의 상황을 감지하고 스스로 판단하여 사용자의 불편함을 최소화하고 최적의 생체 상태를 유지 시킬 수 있도록 능동적으로 여러 가지 기능을 수행할 수 있어야 한다.

본 기사는 미래의 차세대 전자기기로 인식되고 있는 스마트웨어와 이를 구현하기 위한 핵심 기술인 웨어러블 전자기기(Wearable Electronics)에 대해 자세히 알아보고 이를 구현하기 위해 기술들을 설명하며 최근 학계를 중심으로 개발되고 있는 기술인 전기가 흐르는 섬유 등의 최신연구동향에 대해 소개한다.

2. 본론

2-1. 스마트웨어와 웨어러블 컴퓨터

스마트웨어는 정보기술(IT), 생명공학(BT), 극소나노단위(Nano scale)의 생산기술, 친환경소재(ET) 등 신기술을 결합해 전통적 섬유나 의복의 개념을 벗어난 미래형 의류이다. 이를 구현하기 위해서는 반도체 칩이나 센서, 디지털 기기의 초소형화·초경량화가 필수적이며 외부의 자극을 감지하고 스스로 반응하는 섬유 소재의 개발과 의복 및 직물 소재가 갖지 못한 기계적 특성을 도입하는 등의 새로운 개념을 도입해야 한다. 웨어러블 컴퓨터는 구성요소에 따라 비활성 스마트웨어, 반응형 스마트웨어, 지능형 스마트웨어로 크게 나뉜다. 비활성 스마트웨어는 착의 환경에 대한 정보를 감지하는 기능을 가진 스마트웨어로, 감지기로서의 역할만을 수행한다. 반응형 스마트웨어는 외부환경으로부터 자극을 감지하고 자극에 반응하는 스마트웨어로, 감지와 작동기의 역할을 동시에 수행한다. 마지막으로, 지능형 스마트웨어는 주어진 상황에 따라 적절한 거동을 선별하여 역할을 수행하는 스마트웨어이다(브리태니커 온라인 사전, 2014).

1990년대 중반에 미국에서 군사용으로 처음 개발된 스마트웨어는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 유연 디스플레이(Flexible Display)를 군복에 적용시킨 것



그림 1. 군사 목적으로 개발된 웨어러블 스마트웨어 (Universal Display Corporation).

이었다. 그 후, 다양하고 복잡한 전자기술들을 의복에 접목하려는 시도가 지속되고 있다. 현재는 미국뿐만 아니라 유럽, 일본 등을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 활용분야가 점점 넓어지면서 스포츠웨어, 병원복, 유아 돌연사 방지복, 군복, 소방복, 작업복, 우주복 등 다양한 용도로 이용되고 있다. 또한 신체 상태를 감지하는 바이오 기능성 소재와 의류를 통합한 스마트웨어의 연구 개발이 폭넓게 진행되고 있다. 가령, 유-헬스케어(u-Healthcare)와 관련하여 센서를 내장한 의복을 이용하여 생체정보를 모니터링하려는 시도가 많이 이루어지고 있다. <그림 2(a)>는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개발되고 있는 생체정보 모니터링 기능을 가진 바이오셔츠이다. 바이오셔

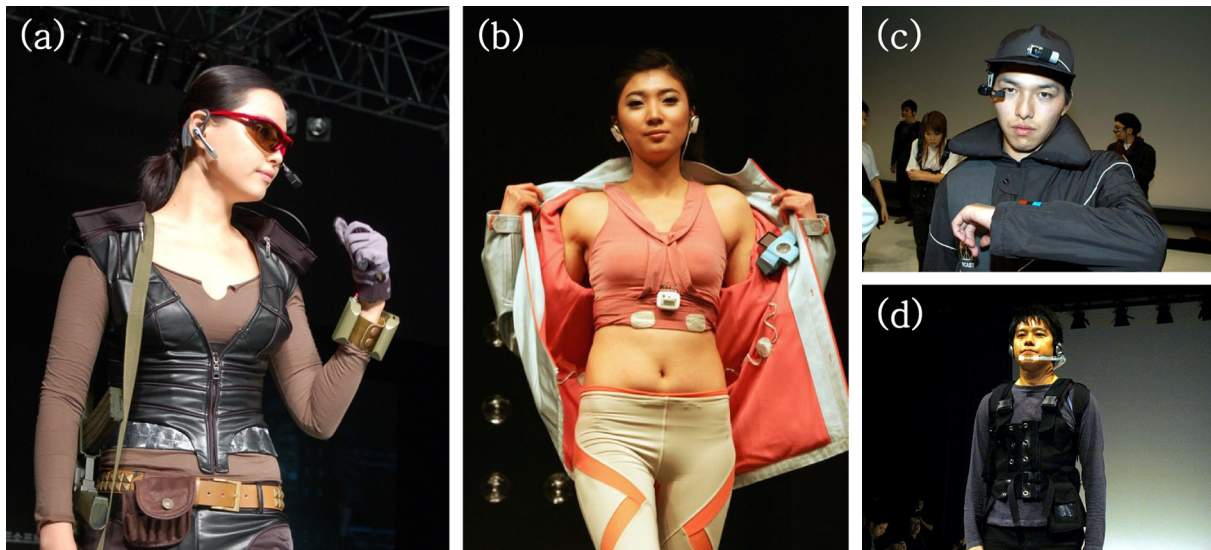
츠는 전도성 옷감을 이용한 센서를 내장하고 있는 의복으로 심전도, 운동량, 체온, 호흡 등에 대한 정보를 측정할 수 있다. 바이오셔츠에서는 측정된 생체정보는 블루투스나 지그비(ZigBee) 근거리 통신을 통하여 PDA나 휴대전화로 전송할 수 있으며, PDA나 휴대전화를 통해 서비스센터로 데이터를 전송할 수 있다(박수준, 2011). 아디다스 등 스포츠 브랜드에서도 생체정보 모니터링 기능을 가진 패치 등을 개발해 마케팅에 주력하고 있으며 여성들의 브라에 앞서 언급한 기능을 내장한 바이오 스포츠 브라 등도 상품화되고 있다. 셔츠와 브라 같은 속옷 소재 뿐만 아니라 <그림 2(b)>에서 볼 수 있듯이 바이오센서를 옷에 직접 인쇄할 수 있는 방법이 Joseph Wang(UC San Diego) 박사팀에 의해 개발되어 남자 속옷의 밴드 위에 탄소전극 어레이가 직접 인쇄되는 방법으로 센서를 제작할 수 있게 되었다. 우리나라에서도 이와 유사한 기술개발에 성공하여, 이미 국내 몇몇 업체에 기술이 전수된 상태이다. 현재는 주로, 스포츠과학 분야를 중심으로 상용화가 진행되고 있고 앞으로는 비만과 유-헬스케어 분야에서도 중요한 핵심기술로 쉽게 접할 수 있는 시기가 도래할 것이라 예상되고 있다.

2-2. 기존 스마트웨어의 문제점과 한계

구글의 구글글래스, 애플의 애플워치, 삼성의 갤럭시 기어 등에서 알 수 있는 현재 스마트웨어의 핵심기술인 웨어러블 전자기기들은 진정한 의미에서의 웨어러블 전자기기로 불리기는 다소 무리이며 진정한



그림 2. 최근 스마트웨어 개발 예. (a) 바이오셔츠(한국전자통신연구원)와 (b) 바이오 센서 속옷 (Joseph Wang, University of California).



(a, b) 입을 수 있는 컴퓨터 패션쇼, 2006, 한국 (c, d) 미디어 패션쇼, 2003, 일본
그림 3. 입을 수 있는 전자기기 패션쇼.

웨어러블 전자기기로 가기 위한 입문 단계의 기술들로 평가 받고 있다. 이러한 원시적인 웨어러블 전자기기들은 현재 빠르게 소형화 및 경량화되고 있는 스마트 휴대폰으로 대표되는 휴대용 전자기기를 모태로 웨어러블 전자기기 형태로 발전되는 과도기적인 기술로 인식되고 있다. 진정한 의미에서의 웨어러블 전자기기를 구현하기 위해 가장 기본적인 기술은 현재 디스플레이에서 가장 큰 이슈가 되고 있는 ‘플렉서블 디스플레이(Flexible Display)’와 같이 휘어질 수 있는 플라스틱 기판이나 종이 등에 전자소자를 구현하는 ‘플렉서블 전자기기(Flexible Electronics)’ 기술을 들 수 있다. 하지만 단순히 플렉서블 전자기기를 만들었다고 입는 전자기기로 바로 이용될 수 있는 것은 아니다. 사람의 피부는 휘어지는 것 뿐만 아니라 고무나 옷감처럼 신축성이 있기 때문에 그 다음 단계의 전자소자로서 ‘신축성 전자기기(Stretchable Electronics)’를 개발할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 공정의 개발 측면에서도 플라스틱, 옷감이나 종이 등의 저온 기판이 견딜 수 있는 충분한 저온공정의 개발이 수반되어야 한다. 하지만 현재의 웨어러블 기술들은 아직까지 딱딱한 기판 위에 구현되는 한계를 가지고 있다.

이러한 기술상의 한계로 인해 진정한 의미의 스마트웨어와 웨어러블 전자기기는 주로 양산 직전 단계의 실제적인 기기를 보여주거나 보여 주는 컨셉만을 보여주는 패션쇼 수준에 머물고 있다. 2000년대에 들어서

면서 기술적 발전과 더불어 섬유산업에서의 웨어러블 전자기기에 대한 직접적인 관심이 증대되면서 기술적인 한계를 넘어 입을 수 있는 컴퓨터와 패션을 접목한 패션쇼가 <그림 3>과 같이 다양하게 개최되고 있다(고승환, 2013). 패션쇼에서는 실제로 웨어러블 전자기기들이 작동하는 것을 보여주지는 않았다. 하지만 웨어러블 전자기기의 기술에 관한 하드웨어적인 접근을 넘어 미래의 발전 방향을 제시해 주고 있다는 점에서 큰 의미를 지닌다. 이와 같이, 웨어러블 전자기기에 관심을 가지고 연구하고 있는 국가는 주로 일본, 미국과 같이 첨단전자소재와 섬유소재 분야를 선도하는 국가이며, 최근에는 한국도 웨어러블 컴퓨터 패션쇼를 통해 웨어러블 전자기기 기술을 주도하는 나라로 발돋움하였다.

2-3. 스마트웨어 관련 연구동향

스마트웨어와 웨어러블 전자기기는 옷감이나 플라스틱과 같이 고온에 견디기 어려운 기판 위에 금속기반의 전자기기들이 직접 제작이 되기 때문에 보통 수백 도의 고온의 공정들을 이용하는 전통적인 전자기기 구현 방식을 직접 이용하기 어렵다. 현재 전자소자를 만들기 위한 전통적인 광식각(Photolithography) 방법은 실리콘이나 유리와 같은 단단하고 깨지기 쉬운 무기질 기판 위에 금속을 높은 온도에서 증착시키는 공정을 이용하기 때문에 미래의 전자소자로 여겨지

고 있는 유연하고 신축성 있는 전기소자의 기관으로 주로 이용되고 있는 플라스틱, 종이, 옷감 등에 직접적으로 적용을 할 수가 없다. 따라서 유연한 기관에 이용할 수 있는 새로운 저온 공정이 개발되어야 하며 그 해법을 최근 새롭게 각광을 받고 있는 나노물질과 레이저 등을 이용한 저온나노공정을 통해 찾고자 하는 연구들이 다양하게 시도되고 있다.

금속을 증착하기 위해서는 섭씨 천 도 이상의 높은 온도로 가열을 해야 하는데 같은 물질이라도 금속을 나노단위의 작은 크기로 만들면 녹는 온도가 낮아지는 흥미로운 현상이 나타난다. 이러한 녹는점 강하 현상을 이용하여 플라스틱 기관에 손상을 주지 않는 저온 금속 패터닝 공정을 개발할 수 있다. 이러한 저온

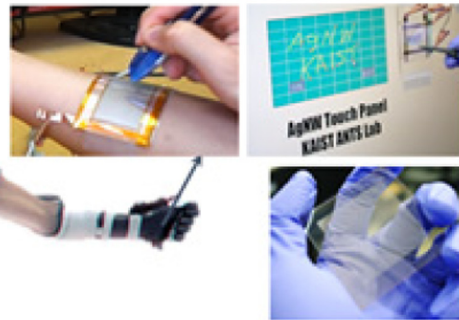
공정은 플라스틱뿐만 아니라 종이 및 옷감에도 적용이 되고 있으며 이러한 차세대 공정을 바탕으로 휘어지는 유연 디스플레이, 유연 태양전지, 유연 배터리 등의 다양한 전자소자가 개발되고 있는데 이러한 요소들이 모여서 유기적으로 작동할 때 진정한 의미의 웨어러블 전자기기를 구성하게 된다. 아래 <그림 4>는 현재 서울대 고승환 교수의 연구실에서 구현중인 웨어러블 전자기기의 모식도이며 이러한 기본적인 전자소자들을 유연하거나 신축성 있게 만드는 개별 기술들을 개발하고 통합하는 연구가 활발히 진행 중이다.

플라스틱과 같은 유연기관 위에 구현하는 유연 신축성 전자소자 구현 기술은 기존의 딱딱한 기관 위에 구현하는 기술보다도 굉장히 어려운 기술이지만 그

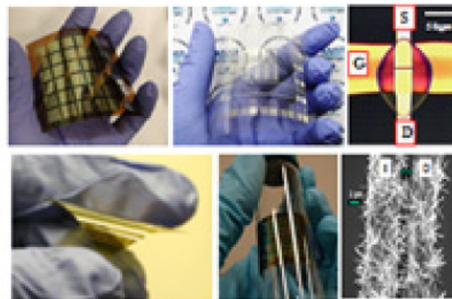
1) 정보출력장치-유연디스플레이, e-paper



2) 정보입력장치-센서, 키보드



3) 중앙연산장치, 메모리, 커뮤니케이션장치



4) 에너지생성 및 저장장치- 유연 태양전지, 연료전지, 배터리, 슈퍼캐패시터, 열전 및 압전 소자



그림 4. 현재 진행되고 있는 다양한 웨어러블 전자기기 관련 연구들.

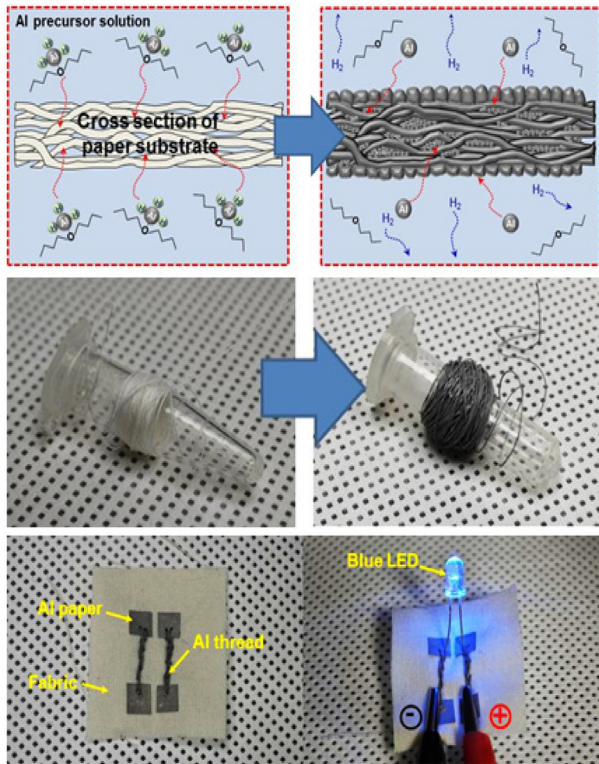


그림 5. 전기 전도성 섬유(Lee et al., 2013).

보다 더 구현하기 어려운 기술은 옷감에 전자소자를 구현하는 기술이다. 기존의 플라스틱과 옷감의 가장 큰 차이점은 플라스틱은 액체상태의 기능성 전도전구체 물질이 흡수되지 않고 표면만 존재하기 때문에 비교적 다루기 쉽지만 옷감은 섬유질과 큰 기공 때문에 기능성 전도전구체 물질이 섬유질 속으로 흡수가 되어서 패터닝과 기능성 소자로의 가공이 굉장히 어렵기 때문이다. 그러한 의미에서 옷감과 굉장히 비슷한 구조를 가진 종이에 전도성 물질을 도포하는 기술이 선행되어 연구, 개발되었다.

기본적인 공정으로는 금속나노입자나 전도성 고분자를 잉크상태로 만들고 대상 옷감이나 종이를 담아서 충분히 흡수시킨 후에 낮은 온도에서 건조하거나 소결하여 만드는 방식을 많이 이용하고 있다. 특히 금속 나노입자는 금속이긴 하지만 입자가 수 나노 정도 의작은 크기가 되면 녹는점이 급격히 낮아지는 열역학적 녹는점 강하현상 때문에 플라스틱이나 옷감이 견딜 수 있는 낮은 온도에서 가공이 가능한 장점을 가지고 있으며, 이와 관련된 연구가 미국 UC Berkeley 대학을 중심으로 활발히 수행되어 왔다. 그리고 레이저를 국부적인 열원으로 이용하게 되면 전체적인 공정

온도를 더욱 낮추고 패터닝을 직접 할 수 있는 가능성을 가지고 있다는 장점이 있다. 하지만 전도성 고분자는 전도성이 금속에 비해 굉장히 낮아 성능의 한계가 있으며 금속나노입자는 다소 비싼 물질인 금과 은 등의 물질에 연구가 집중되어 있는 한계를 가지고 있다. 산업적으로 의미를 가지려면 구리나 알루미늄을 이용할 수 있어야 하는데 두 물질은 가격이 저렴한 반면에 산화가 급속히 일어나기 때문에 공정이 굉장히 까다로운 단점이 있다. <그림 5>에서 볼 수 있듯이 최근 재료연구소의 이해문 박사팀과 서울대의 고승환 교수팀은 알루미늄 전구체를 만들고 간단한 기체분위기속에서 알루미늄 코팅된 전도성 종이를 만드는데 세계최초로 성공했으며 최근에는 그 기술을 옷감에도 확장하여 전기가 통하는 실을 개발하여 입는 전자기기를 개발할 수 있는 기초 기술을 개발하였다. 이외에도 미국의 Stanford대학에서 탄소계통의 탄소나노튜브나 그래핀 잉크를 제작하여 옷감에 침투시킨 전도성 옷감을 만들어 에너지 소자에 이용하려는 연구들도 진행되고 있다.

3. 결론

스마트웨어는 다양한 기술들이 접목된 융합기술로 스마트폰을 이을 차세대 주력 산업으로 전세계에서 주도권을 가지려고 발빠르게 경쟁 중이다. 한국의 오래전 주력산업이었던 섬유산업과 현재 세계적인 기술을 선도하고 있는 스마트폰 기반 기술을 접목하여 국제경쟁력을 선점하고 신기술 개발과 다양한 기술융합 등 새로운 시도가 모색되어야 하는 차세대 성장동력이다.

스마트웨어를 구현하기 위해서는 우리가 입고 있는 옷에 전기가 흐르는 전도성 섬유와 유연 및 신축성 전자소자를 구현할 수 있는 기술이 필요하며 이에 따라, 최근 다양한 나노물질 기반의 저온 기술이 개발되어 고온에 민감한 옷감에도 금속소자를 만들 수 있는 기술들이 개발되고 있다.

따라서 현재까지는 시계나 안경형태의 웨어러블 전자소자가 주류를 이루었지만 진정한 의미에서의 스마트웨어는 현재 우리 일상에서 입고 있는 옷에 구현이 될 것이다. 이에 따라 소재와 가공기술 뿐만 아니라 착용자의 안정성과 편의성에 대한 연구도 앞으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 고승환 (2013), 전기가 흐르는 섬유 기술개발 동향과 입는 전자기기예의 응용, 섬유패션산업 동향, 11월호, pp33-38.
- 박수준 (2011), 고령사회를 대비하는 유헬스 기술 동향, Bioin WebZine, 21호.
- 브리태니카 온라인 사전, <http://preview.britannica.co.kr/> 2014년 12월 30일.
- Lee, H.M., Choi, S.Y., Jung, A., & Ko, S.H. (2013) Highly Conductive Aluminum Textile and Paper for Flexible and Wearable Electronics, *Angewandte Chemie International Edition*, 52, 7718-7723.
- Universal Display Corporation, <http://www.udcoled.com/default.asp> 2014년 12월 30일.

서영덕



UC Berkeley, Civil and Environmental Engineering (학사)
KAIST 기계공학 (석사)
서울대학교 기계공학과 (박사과정)
E-mail: youngsuh@snu.ac.kr

권진형



한양대학교, 재료공학 (학사)
한양대학교, 금속재료공학 (석사)
KAIST, 기계공학 (박사)
서울대학교, 기계공학과 (박사후연구원)
E-mail: jhs0909k@snu.ac.kr

고승환



연세대학교 기계공학 (학사)
서울대학교 기계공학 (석사)
UC Berkeley, 기계공학 (박사)
카이스트 기계공학과 조/부교수
한국과학한림원 준회원
한국생산제조시스템학회, 대한기계학회 마이크로나노분과, 한국 열물성학회, 한국 인쇄전자협회, 한국 입자제어로졸학회 이사
Flexible Electronics, Editorial Advisory Board
현 서울대학교 기계공학과 부교수
E-mail: maxko@snu.ac.kr
