

피부부착형 웨어러블 컴퓨터 기술 동향

■ 손용기, 김지은, 손종무, 정현태 / 한국전자통신연구원

요약

최근 스마트시계, 스마트 안경 등 다양한 웨어러블 제품들이 시장에 등장하고 있으며, 이를 활용하여 새로운 형태의 서비스를 제공하려는 노력들이 진행되고 있다. 방송분야에서도 액션캠과 같은 웨어러블 디바이스를 도입하여 현장감 있고 실감나는 화면을 제공하려는 시도들이 늘고 있다. 본 고에서는 급부상하고 있는 액세서리형 웨어러블 컴퓨터에서 한 단계 진화한 피부부착형 웨어러블 컴퓨터에 대해 살펴보고자 한다.

I. 서 론

근래에 정보통신기술(CT)의 혁신적인 발달로 방송 시스템의 획기적인 전환이 진행되고 있다. 방송계에서는 이미 액션캠 및 드론기반의 촬영시스템과 같은 새로운 기술을 적극적으로 도입하여 역동적이고 독특한 영상을 시청자들에 제공하고 있다. 특히

언제 어디서나 사용자의 시청각적 경험을 전달하고 공유 가능한 웨어러블 컴퓨터의 확산은 인터넷의 발달과 스마트폰의 대중화와 맞물려 시작된 방송통신 융합 시대에 새로운 기회들을 만들 것으로 예상된다.

현재 시장에서는 안경, 시계와 같은 형태의 액세서리형 웨어러블 제품이 주류를 이루고 있으나 학교와 연구소를 중심으로 인간에 더욱 더 밀착하여 서비스를 제공할 수 있는 피부부착형 웨어러블 컴퓨터 기술에 대한 원천 선행 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 피부부착형 웨어러블 컴퓨터는 제품 자체가 신축 및 유연 특성을 가져야 하기 때문에 기존 기술의 패러다임을 혁신적으로 변화시킬 수 있을 것이다.

본 고에서는 웨어러블 컴퓨터의 진화단계에서 기술적으로 큰 의미를 지니고 있는 피부부착형 웨어러블 컴퓨터에 대한 개요와 디바이스 측면에서 전

반적인 기술 개발 동향을 살펴본 다음, 핵심 기술인 신축 회로보드 기술에 대하여 자세히 소개하고자 한다.

II. 피부부착형 웨어러블 컴퓨터의 개요

피부부착형 웨어러블 컴퓨터는 피부에 부착하는 상처치료 밴드와 같은 형태로 인간의 신체에 직접 부착할 수 있는 컴퓨팅 디바이스를 의미한다. 사용자의 신체에 밀착하여 생체신호를 지속적이고 안정적으로 측정할 수 있기 때문에 건강관리 및 의료분야에서의 연구 개발 결과가 두드러진다. 피부에 직접 부착하여 사용해야 하기 때문에 웨어러블 컴퓨터의 기본적인 특성[1]에 부합해야 할 뿐만 아니라 다음과 같은 추가적인 하드웨어 요구사항을 충족하도록 개발되어야 한다[2].

- 신체의 움직임에 의해 손상되지 않도록 유연성과 신축성을 가져야 함
- 생체자극이 거의 없는 탈부착 기능을 제공하고 생체친화적 소재를 사용해야 함
- 응용에 따라 적절한 사용기간을 보장하도록 전원을 제공해야 함
- 응용의 고도화를 위해 연산 및 통신 기능이 완전 통합된 형태를 갖추어야 함

피부부착형 웨어러블 컴퓨터는 입출력이 가능하고 연산기능을 가진 마이크로프로세서까지 통합된 컴퓨터 수준을 목표로 하고 있지만, 현재까지의 연구개발은 센서수준의 결과들이 주를 이루고 있다.

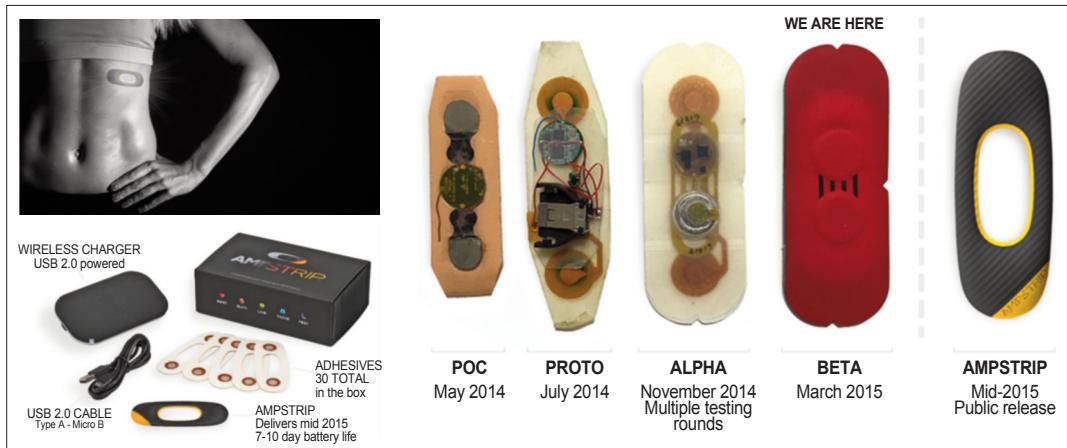
III. 피부부착형 웨어러블 컴퓨터 개발 동향

피부부착형 웨어러블 컴퓨터와 관련된 기술은 산업계에서는 초기 시장이 형성되어 있는 건강관리 및 의료분야의 제품 개발이 주로 진행되고 있으며, 학계와 연구계에서는 유연전자 및 신축전자를 연구하는 소재분야를 중심으로 다양한 원천연구가 진행되고 있다.

1. 상용 피부부착형 웨어러블 디바이스

상용 피부부착형 웨어러블 디바이스들의 대부분은 유연 인쇄 회로보드(Flexible Printed Circuit Board)와 같은 기존 기술을 활용하는 유연한 패치 형태의 단순 부착형 장치이다. 피부부착의 장점을 부각시킬 수 있는 의료분야의 연구개발이 시장의 주류를 이루고 있었으나, 최근 건강관리 분야에서도 개발을 시도하고 있다.

미국 Coverventis사와 TOUMAZ 그룹, VACTIVE 사에서는 신축성이 없는 단순 부착형태를 가진 의료용 전자패치를 개발하였고, 이를 이용하여 환자 모니터링 시스템을 구축하여 병원을 대상으로 일부 서비스를 진행하는 것으로 알려져 있다[2]. 개발된 의료용 전자패치의 대부분은 서로 기능적으로 유사한 부분이 많으며, 사용자의 심박, 체온, 호흡 등을 측정하고 5일 내지 7일 정도의 사용시간을 제공한다. 최근 CES 2015에서 FitLinxx사는 스마트폰과 연동하여 사용자의 심박, 체온, 움직임을 측정하여 건강관리할 수 있는 제품인 AmpStrip을 공개하였다[3]. 크기는 약9cm x 2.5cm, 무게는 약 12g이며, 무선 충전 기능과 BLE 4.0 통신을 가지고 있다. <그림 1>과 같이 AmpStrip도 다른 유사한 상용

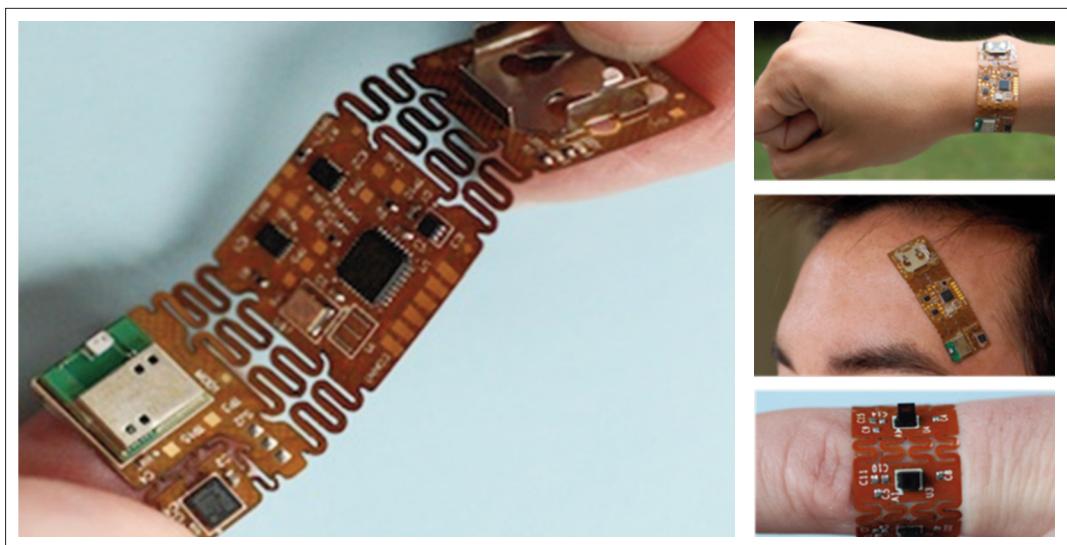


〈그림 1〉 AmpStrip 제품의 구성 및 하드웨어 개발 현황

제품과 마찬가지로 유연 인쇄회로보드 기술을 이용하여 개발되었다.

미국 Infinite Corridor Technology사는 기존 유연 인쇄 회로보드 기술을 기반으로 연결부의 응력을 분산시킬 수 있는 ‘hinge-like’ 기술을 개발

하였고 〈그림 2〉와 같은 신축 가능한 회로보드인 LIMBERborad를 제작하였다[4]. 회로보드 사이에 구불구불한 모양의 회로패턴을 설계 및 제작하여 구부리거나 늘려도 회로보드가 손상되지 않고, 전자기능을 유지할 수 있다. 의료 및 군

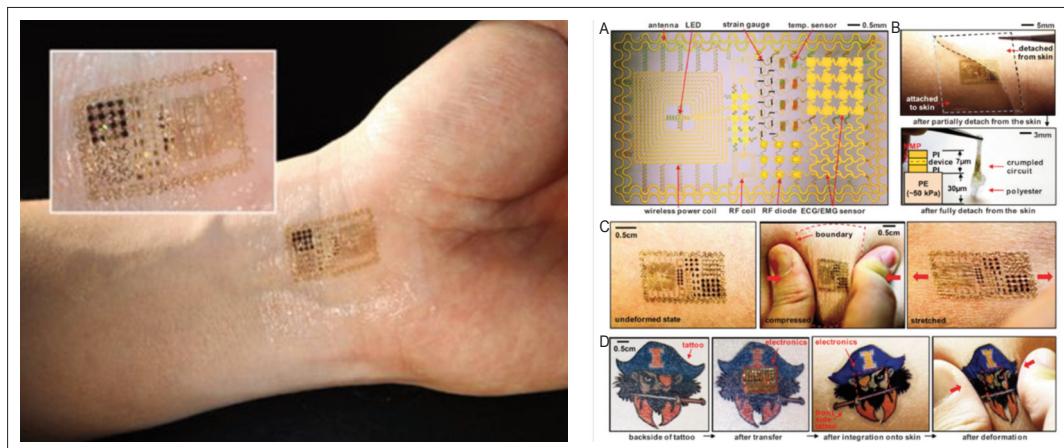


〈그림 2〉 LIMBERborad와 다양한 응용

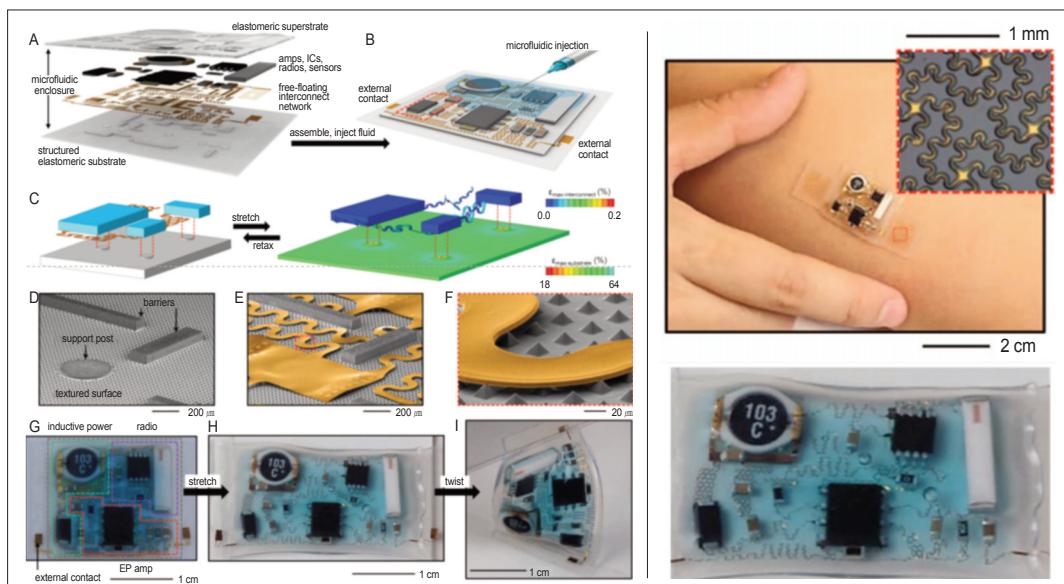
사 등 다양한 웨어러블 응용에 적용 가능하도록 마이크로프로세서가 통합된 형태의 회로보드인 LIMBERborad 및 관련 기술을 제공하고 있으나 신축 내구성에 대한 정확한 자료를 공개하고 있지 않아 어느 정도의 성능을 가지고 있는지 불명확하다.

2. 학계 및 연구계에서의 기술 개발 동향

학계 및 연구계에서는 유연전자 및 신축전자를 연구하는 소재공학을 중심으로 센서 및 소자 위주의 선행연구를 활발하게 추진 중이며, 혁신적이고 우수한 성과들이 쏟아져 나오고 있으나, 상용화를



〈그림 3〉 서울대 김대형교수의 전자피부



〈그림 4〉 UIUC의 John Rogers 그룹의 전자폐지

위해서는 아직 풀어야 할 숙제가 많이 남아 있는 상황이다.

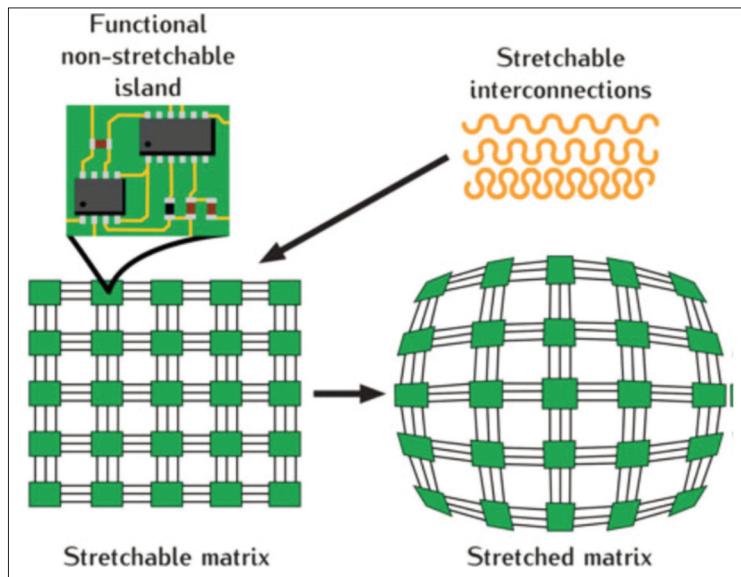
서울대 김대형 교수는 2011년 당시 수학 중이던 UIUC(University of Illinois at Urbana-Champaign)의 John Rogers 연구그룹에서 온도센서, 변형계, ECG/EMG 센서, 안테나, LED, 무선 전력 코일, 트랜지스터들로 구성된 얇은 막 형태의 전자피부를 주도적으로 개발하고 학계에 발표하였다[5]. <그림 3>과 같이 판박이처럼 피부에 붙일 수 있으며, 구불구불한 형태를 가진 박막의 전극이 형성되어 있어 늘어나거나 줄여도 디바이스에 손상이 없다.

UIUC의 John Rogers 연구그룹은 2014년에 Northwestern University와 공동으로 기존 상용 전자소자(칩)로 구성된 전자패치를 개발하였다[6]. <그림 4>와 같이 상용 전자소자간에 기하학적 패턴의 전극을 구성하고, 변형시 몰딩 소재에 의한 응력

발생을 줄이기 위하여 미세 유체(microfluidic)를 덮개층 내부에 주입하여 늘어나거나 비틀어도 변형을 수용하도록 설계하였다.

IV. 신축 회로보드 기술 개발 동향

앞서 살펴 보았던 피부부착형 웨어러블 컴퓨터를 실현하기 위해서는 다양한 핵심 요소 기술들이 있지만[2], 근본적인 목적을 달성하기 위해서는 유연/신축 전자회로 기술이 가장 중요하다고 볼 수 있다. 궁극적으로는 웨어퍼 수준의 유연/신축 전자 기술로 개발된 센서 및 소자까지도 통합 구현해야 하지만, 현 시점에서의 다양한 응용 요구사항을 만족하기 위한 고사양의 피부부착형 웨어러블 컴퓨터 개발을 위하여 기존 소자를 적극적으로 수용한 보드수준의 유연/신축 전자 기술이 좀 더 현실적일 것



<그림 5> 섬(island) 구조기반의 신축 회로보드 개념도[7]

이다.

신축 회로보드 기술은 〈그림 5〉와 같이 기존의 단단한 소자를 섬(island)들에 배치하고, 섬 간의 연결 구조를 신축 가능한 형태를 가지도록 보드 수준의 회로를 설계하는 것이다[7]. 특히 회로보드에 가해지는 응력을 분산시킬 수 있도록 신축 특성을 가지는 섬간의 상호연결(interconnection) 기술이 가장 중요하다고 볼 수 있다. 또한 섬간의 연결 개수를 최소화시키고, 딱딱한 섬과 신축 연결선과의 연결부위에 집중되는 응력을 분산할 수 있도록 설계해야 하며, 신축회로보드를 둘러싸고 있는 몰딩소재(실리콘)의 변형이 회로에 응력을 유발하지 않도록 해야 한다.

신축 특성을 가지는 상호연결 기술은 크게 비탄성 소재를 기하학적으로 가공/형성해 신축성을 부여하는 기하학적 방법과 탄성과 전기전도성을 동시에 지니는 신축소재를 이용한 방법으로 나눌 수 있다.

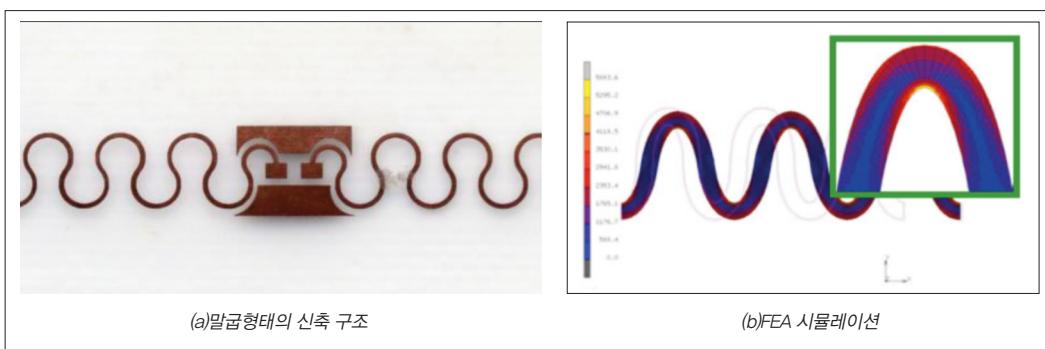
1. 기하학적 방법

기하학적 방법은 구리와 같이 신축성이 없는 금

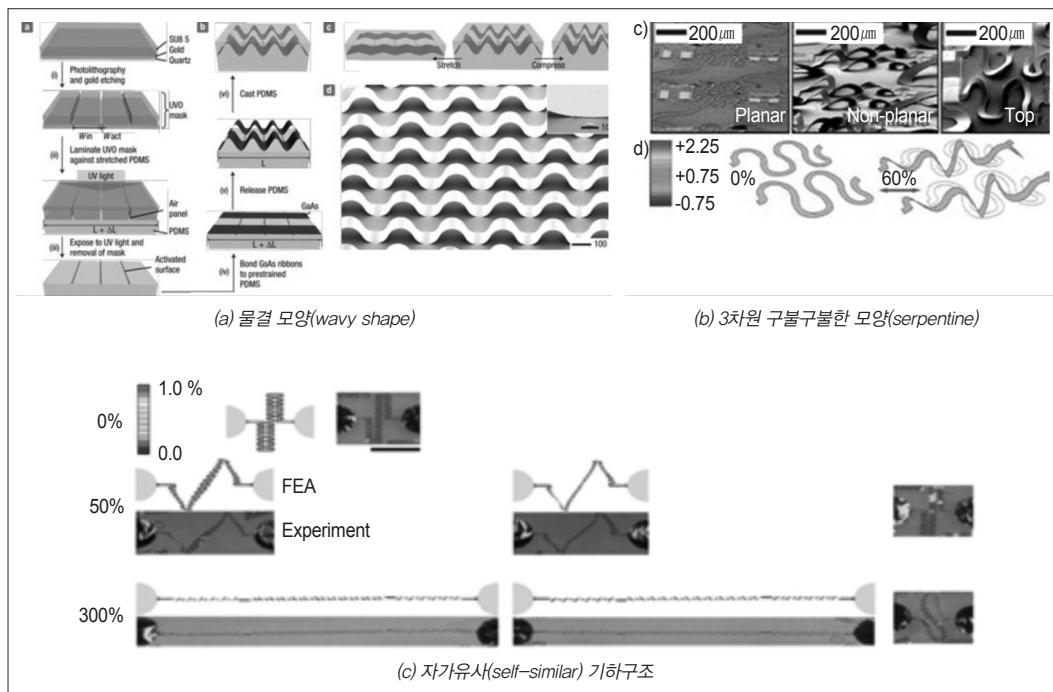
속을 전극물질로 이용하고, 회로패턴의 인장 응력이 최대한 분산되도록 2차원, 3차원 스프링형태의 구불구불한 구조로 설계하는 것이 핵심이다. 회로패턴에 가해지는 인장 응력은 유한 요소법에 의한 컴퓨터 시뮬레이션인 유한 요소 해석(Finite Element Analysis: FEA)으로 분석이 가능하며 분석결과를 토대로 패턴 설계에 반영하기도 한다. 앞서 설명한 Infinite Corridor Technology사의 LIMBERboard도 동일한 방법으로 개발되었다.

유럽의 STELLA 프로젝트에서는 구불구불한 구조의 반경과 회로패턴의 폭, 두께 등을 변수로 두고 구리소재기반의 신축 패턴 구조로 설계하였으며, 기존 Photolithography와 etching 공정을 이용하는 PCB 기술을 이용하여 〈그림 6(a)〉와 같은 신축 회로보드를 직물 위에 구현하였다[8]. 〈그림 6(b)〉는 말굽형태의 신축 연결 구조의 FEA 시뮬레이션 결과이며, 회로의 변곡부분에 응력이 집중되는 것을 알 수 있다. 신축 내구성은 10% 인장시 2,500회 내외로 보고되었다.

UIUC의 John Rogers 연구그룹에서는 〈그림 7(a)〉와 같이 신축성이 있는 기재에 선변형(prestrain)을 가한 상태에서 금속전극을 형성하고



〈그림 6〉 STELLA 프로젝트의 신축 구조

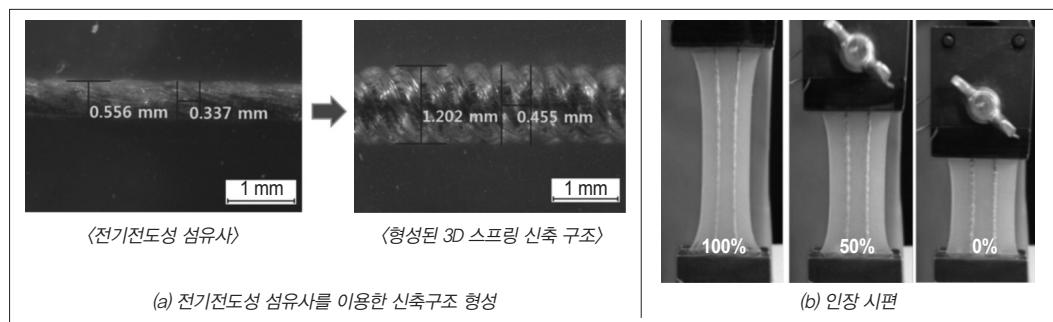


〈그림 7〉 UIUC John Rogers 연구그룹에서 개발한 신축 구조

선변형을 제거하여 물결모양(wavy) 패턴을 구현하였다[9]. 또한 〈그림 7(b)〉와 같이 3차원형태의 구불구불한 구조를 구현했으며[10], 최근에는 〈그림 7(c)〉와 같이 자가유사(self-similar) 기하 구조를 적용하여 300% 이상 늘릴 수 있는 패턴 구조를 개

발하였다[11].

최근 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구실에서는 전기전도성 섬유사의 자가 꼬임현상을 이용한 신축 구조를 개발하였다. 전도도 $50\Omega/m$, 직경 0.5mm의 전기전도성 섬유사를 이용하여 실리콘 몰



〈그림 8〉 한국전자통신연구원의 전기전도성 섬유사기반의 신축 구조

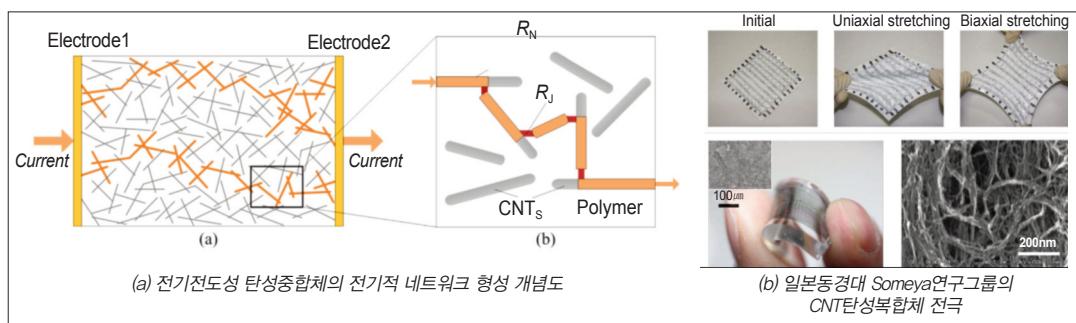
딩 처리하여 <그림 8(b)>와 같은 인장 시편을 제작하였다. <그림 8(a)>는 전기전도성 섬유사를 이용한 신축구조의 모습이며, 초기 직경 0.5mm의 섬유사가 직경 약 1.2mm의 3차원 스프링 형태의 신축구조로 변형되는 모습을 나타낸다. 전기전도성 섬유사를 이용한 구조는 타 금속성(금, 구리) 소재를 이용한 기하학적 구조물에 비해 반복인장에 대한 내구성이 우수(100% 인장 시 반복인장 20,000회 이상)하다.

2. 신축소재를 이용하는 방법

신축소재를 이용하는 방법은 전기전도성 탄성중합체 혹은 그래핀(Graphene)과 같이 물질 특성 자체가 신축성이 있으면서도 전기적 특성이 유지되는 소재를 전극으로 사용하는 것이다. 전기전도성 탄성중합체는 CNT/그래핀(Graphene)과 나노와이어(NanoWire)와 같은 전기전도성 나노 소재를 고분자 물질에 고르게 분산시키고 전기적 네트워크를 형성함으로써 늘어나도 전기적 특성이 변하지 않는 소재이다. 이와 같은 소재를 인쇄하거나 전사(transfer)하여 신축성이 있는 연결 구조를 구현한다[12][13]. <그림 9>와 같이 고분자 물질에 필러로 사용되는 전기전도성 나노 소재가 상호 연결되면서

전기적인 네트워크를 형성하게 되면 늘어나도 무수히 많은 네트워크가 연결되어 있으므로 전기가 흐를 수 있게 된다. 이론적으로 CNT/그래핀(graphene)은 금속보다 전기전도도가 높지만, 전기전도성 탄성중합체로 만들었을 경우에는 전기전도도가 현저히 떨어져 실제 회로보드에 적용하기 힘든 상황이다. 이는 네트워크로 형성된 전기전도성 나노 소재간의 무수히 많은 접촉저항이 전체 전기전도도를 열화시키기 때문이며, 이 문제점을 해결하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

또 다른 방법으로는 탄소원자의 강한 공유결합으로 형성된 단원자층으로 이루어진 2차원 평면구조를 갖는 그래핀을 이용하는 것이다. 그래핀은 단원자층의 2차원 평면구조가 그물망처럼 형성되어 있기 때문에 신축 특성을 가지면서도 전기가 흐르는 소재이다. 금속판에 성장된 그래핀을 고분자 기재에 전이(transfer technique)[14]시키거나 고분자 물질에 직접 rGO(reduced Graphene Oxide)를 코팅/인쇄하여 전극을 형성한다. 그래핀(Graphene) 같은 경우에는 소재 자체의 신축 가능한 고유 특성 때문에 유연/신축전자분야에서 활발히 연구되고 있지만, 유연한 기재 위에 그래핀(Graphene)을 형성하는 과정에서 전사 혹은 코팅방식에 의해 생기는



<그림 9> 신축소재를 이용한 신축 회로보드

결점[15], 제조과정에서의 그레핀(Graphene)오염 등[16]이 문제시 되고 있다.

V. 결 론

지금까지 피부부착형 웨어러블 컴퓨터와 관련된 기술에 대하여 대표적인 연구사례와 핵심 요소기술의 개발 동향을 살펴보았다.

앞서 살펴 본 바와 같이 시장에서는 이미 단순부착형 피부부착형 웨어러블 디바이스 제품이 등장하고 있으며, 건강관리 및 의료분야를 중심으로 관련 서비스도 점차 확대해 나가고 있는 추세이다. 또한 피부부착형 웨어러블 제품의 기능과 활용성을 증대 시킬 수 있는 신축 회로보드 기술에 대한 선행연구도 활발히 진행되고 있다. 하지만 신축 회로보드 기술에

대한 원천 선행 연구들이 신축에 의한 기계적인 피로도와 같은 내구성 문제에 대한 적절한 해답을 제시하지 못하는 것이 사실이다[17]. 이는 실제 제품의 내구성을 결정하는 중요한 요소이므로 상용화를 위해서는 반드시 연구개발이 필요할 것으로 본다. 본 고에서는 기술하지 않았지만, 피부부착형 웨어러블 컴퓨터를 구현하기 위해서는 탈부착 기술과 전원 공급 기술도 극복해야 할 중요한 쟁점이다. 무엇보다도 중요한 것은 기존의 건강관리 및 의료분야의 한계를 벗어나 새로운 응용 분야 발굴이 필요하다.

현재의 기술수준에서 마이크로프로세서까지 통합된 컴퓨팅 디바이스로써의 피부부착형 웨어러블 컴퓨터 개발은 시작단계라고 볼 수 있지만, 최근 발표되고 있는 유연전자와 신축전자의 연구성과를 보면, 컴퓨터를 피부에 붙이고 다니는 인류를 보게 될 날도 멀지 않을 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 손용기 외 2명, "웨어러블 컴퓨터 기술 및 개발 동향", ETRI, 전자통신동향분석 V.23, 2008, pp.79-88.
- [2] 손용기 외 3명, "신체부착형 웨어러블 컴퓨터 발전 동향", IITP, 주간기술동향 No.1659, 2014
- [3] <http://www.ampstrip.com/>
- [4] <http://ict-flex.com/>
- [5] KIM, Dae-Hyeong, et al. Epidermal electronics. *Science*, 2011, 333.6044: 838-843.
- [6] XU, Sheng, et al. Soft Microfluidic Assemblies of Sensors, Circuits, and Radios for the Skin. *Science*, 2014, 344.6179: 70-74.
- [7] VANFLETEREN, Jan, et al. Printed circuit board technology inspired stretchable circuits. *MRS bulletin*, 2012, 37.03: 254-260.
- [8] VIEROTH, Rene, et al. Stretchable circuit board technology and application. In: *Wearable Computers*, 2009. ISWC'09. International Symposium on IEEE, 2009. pp.33-36.
- [9] SUN, Yugang, et al. Controlled buckling of semiconductor nanoribbons for stretchable electronics *Nature nanotechnology*, 2006, 1.3: 201-207.
- [10] KIM, Dae-Hyeong, et al. Optimized structural designs for stretchable silicon integrated circuits *Small*, 2009, 5.24: 2841-2847.
- [11] XU, Sheng, et al. Stretchable batteries with self-similar serpentine interconnects and integrated wireless recharging systems. *Nature communications*, 2013, 4: 1543.
- [12] SEKITANI, Tsuyoshi, et al. Stretchable active-matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductors. *Nature materials*, 2009, 8.6: 494-499.

- [13] SEKITANI, Tsuyoshi, SOMEYA, Takao. Stretchable, Large-area Organic Electronics. *Advanced Materials*, 2010, 22.20: 2228-2246.
- [14] LEE, Seoung-Ki, et al. Stretchable graphene transistors with printed dielectrics and gate electrodes. *Nano letters*, 2011, 11.11: 4642-4646.
- [15] HAMMOCK, Mallory L., et al. 25th Anniversary Article: The Evolution of Electronic Skin (E-Skin): A Brief History, Design Considerations, and Recent Progress. *Advanced Materials*, 2013, 25.42: 5997-6038.
- [16] 한종탁, et al. 화학적 박리그래핀의 제조와 응용. *공업화학전집*, 2012, 15.1: 23-39.
- [17] Libanori et al. Stretchable heterogeneous composites with extreme mechanical gradients, *Nature Communications* 3, Article Number: 1265(1012).

필자 소개



손용기

- 1999년 : 중앙대학교 제어계측공학과 학사
- 2001년 : 중앙대학교 제어계측학과 석사
- 2001년 ~ : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 웨어러블 컴퓨터 기술, UI/UX 기술



김지은

- 1998년 : 전남대학교 전자계산학과 학사
- 2001년 : 전남대학교 전산통계학과 석사
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 차세대 컴퓨터 기술, UI/UX 기술



손종무

- 1998년 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 2000년 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 2000년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 웨어러블 컴퓨터 기술, 생체신호측정 및 처리



정현태

- 1993년 : 충남대학교 전자공학과 학사
- 1995년 : 충남대학교 전자공학과 석사
- 2009년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 웨어러블컴퓨팅연구실 실장
- 주관심분야 : 웨어러블 UI/UX 기술, 멀티모달 인터랙션 기술