

원격 의료 모니터링을 위한 ICT 융합 웨어러블 생체 센서

하태준 강병철*

광운대학교 교수

광운대학교 연구원 *

최근 인공지능, 빅데이터, 무선통신 그리고 ICT 융복합 기술이 급속도로 발전하면서 원격의료 모니터링 시스템이 의료의 패러다임을 새롭게 바꿀 것으로 기대되고 있다. 특히, 생체 정보를 감지하는 생체 센서는 원격의료 모니터링의 핵심 기술 요소로, 첨단 전자재료 및 나노 공정 기술의 발전과 함께 크게 주목 받고 있다. 본 고에서는 디지털 헬스케어와 원격의료 모니터링의 개념을 소개하고, ICT 융합 웨어러블 생체 센서와 관련된 산/학/연의 현재 연구 동향을 알아보며, 기술의 한계점 또한 살펴보고자 한다.

I. 서론

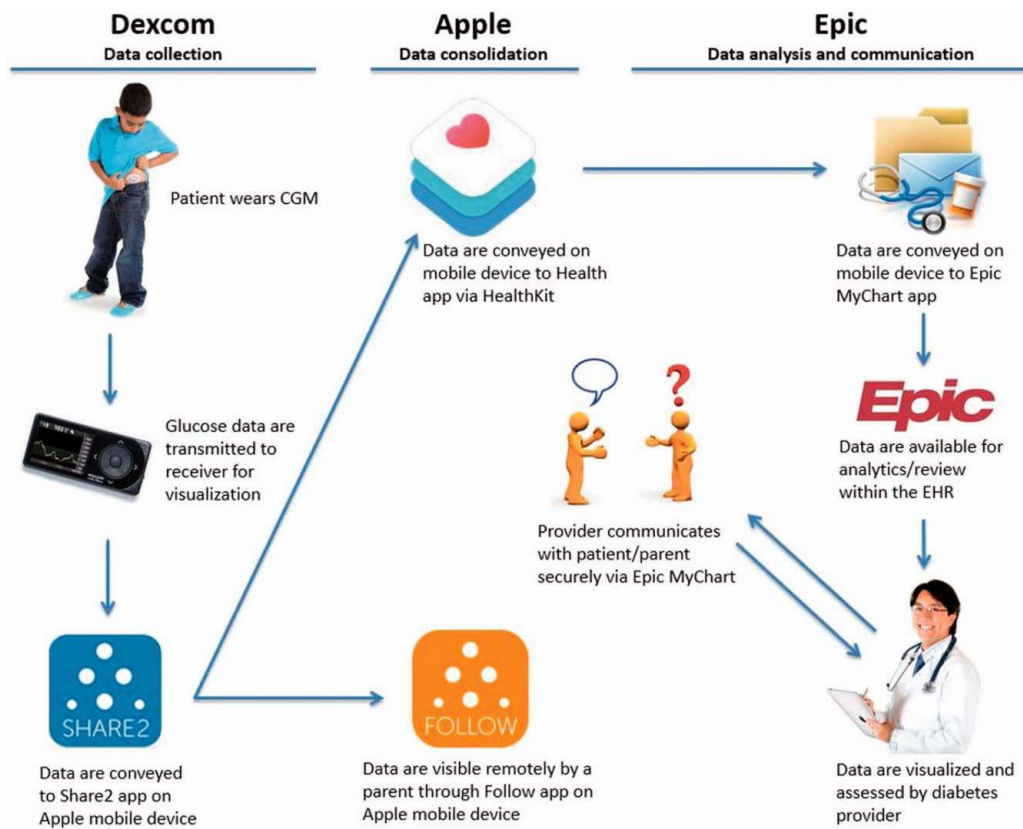
4차 산업혁명 이후 의료 분야의 패러다임이 발병 후 치료에서, 발병 전 재택 진단 혹은 자가 예방으로 바뀌면서 세계적으로 디지털 헬스케어 개념이 급부상하였다. 디지털 헬스케어란 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 사물인터넷, 인공지능 등 고도로 발전된 디지털 기술과 의료 기술이 융합한 새로운 헬스케어 시스템을 의미한다[1]. 기존의 의료 서비스의 경우, 환자는 특정 구역(병원, 보건소, 격리 시설 등)에 직접 찾아가야만 개인의 건강에 대한 구체적인 진단과 의료 서비스를 제공받을 수 있었다. 그러나 최근 인터넷 네트워크를 이용한 쌍방향 커뮤니케이션 기술의 비약적인 발달로 인해 환자는 더 이상 시간 및 공간에 구애받지 않고 자신의 생체 정보를 실시간으로 의사에게 제공하여 원격으로 의료진단을 받을 수 있게 되었다. 최근에는 특정 질병뿐만 아니라, 일상생활에서도 혈당, 혈압, 심전도, 근전도, 뇌전도, 호흡기 등 다양한 생체 정보를 실시간으로 의사에게 제공하여 자신의 건강 상태를 원격으로 관리 받을 수 있는 원격의료 모니터링 서비스 모델이 상용화를 위한

* 본 내용은 하태준 교수(☎ 02-940-8678, tjha@kw.ac.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

단계에 돌입하였다. 이러한 모델은 특히, 고혈압, 저혈압, 당뇨, 천식, 심근경색 등 만성질환자와 우울증, 공황장애, 치매 등 정신질환자와 같이 일상생활 동안에도 지속적으로 의학적 상태가 모니터링되어야 할 환자에게 필수적인 의료 서비스가 될 것이다. 실시간으로 개인의 생체 정보를 수집·분석하고, 네트워크 인프라를 기반으로 개인의 의학적 빅데이터를 구축함으로써 원격의료 모니터링을 통해 발병 전 재택 진단 혹은 자가 예방이 가능하기 때문이다. 이러한 원격의료 모니터링 모델은 크게 ① 생체 정보의 측정, ② 생체 정보의 통합, ③ 통합된 생체 정보의 분석, 이 3단계를 거쳐 구현된다[2].

[그림 1]은 앞서 설명한 3단계 원격의료 모니터링 서비스 모델이 적용된 예시를 보여준다. 본 연구에서 환자는 혈당 센서를 이용하여 환자 개인의 혈당 수치를 5분 간격으로 측정하고(1단계),



[자료] R. B. Kumar, N. D. Goren, D. E. Stark, D. P. Wall, C. A. Longhurst, "Automated integration of continuous glucose monitor data in the electronic health record using consumer technology", *Jama. J. Am. Assoc.* Vol.23(3), 2016, pp.532-537.

[그림 1] 아이폰 플랫폼을 기반으로 하는 원격의료 모니터링 서비스 모델

혈당 정보를 네트워크 상의 온라인 서버에 저장한 다음(2단계), 저장된 데이터를 네트워크를 이용하여 스탠포드대학의 의료 데이터베이스로 관리하여 분석하게 된다(3단계). 본 연구 결과는 현재의 디지털 기술로도 2~3단계를 충분히 구현할 수 있음을 보여준다. 문제는 1단계의 기술 숙성도가 2~3단계에 비해 미숙하다는 점이다. 현재 1단계에서는 의료목적의 고가의 생체 센서를 사용해야 하며, 생체 정보를 측정하는데 있어서도 사용 편의성이 부족하여 사용자에게 경제적, 정신적 부담을 가중시키는데, 이는 원격의료 모니터링 모델의 상용화에 걸림돌이 된다[1]. 결과적으로 실제적이며 효율적인 원격의료 모니터링 시스템을 구현하기 위해서는 1단계, 즉 생체 정보의 측정 기술에 있어서 보다 더 사용자 친화적인 웨어러블 생체 센서로 개발될 필요가 있다. 본 고에서는 먼저 ICT 융복합 기술을 기반으로 한 웨어러블 생체 센서에 대한 개요와 기술 개발 동향을 살펴본 다음, 현재의 기술 수준 및 최신 웨어러블 생체 센서에 대해 소개한 후, 아직 해결하지 못한 기술적 한계를 논하는 것으로 결론을 맺고자 한다.

II. 웨어러블 생체 센서 개요 및 기술 개발 동향

1. 웨어러블 생체 센서 개요

생체 센서란 생물의 땀, 온도, 혈액, 타액, 가스 등 다양한 생체 물질로부터 생체 정보를 감지할 수 있는 장치를 의미한다. 특히, 웨어러블 생체 센서는 기존 센서에 비해 착용이 가능할 수 있도록 유연성 또는 신축성이 있어야 하며, 일상생활에서 노출되는 다양한 외부환경에 대해 높은 안정성 및 신뢰성을 가지고 있어야 한다. 이러한 웨어러블 생체 센서는 정보를 얻고자 하는 대상에 직접 착용된 상태에서 장시간 고감도 측정이 가능하기 때문에 원격의료 모니터링 모델의 1단계를 구현할 수 있는 중요 기술이다. [그림 2]와 같이 상용화된 웨어러블 생체 센서의 발전 추이를 살펴보면 초기의 웨어러블 생체 센서는 사용자의 편의를 고려하기 보다는 기능 및 성능에 집중하였기 때문에 시계, 팔찌 등 액세서리에 센서가 추가적으로 부착된 형태가 대부분이었다. 초창기 형태는 배터리, 무선 통신 기술 수준이 부족하여 대부분 스마트폰과 연동하여 구동되었으며 센서 또한 기존 의료용 센서에 착안했기 때문에 이 두 가지 제품을 단순 결합한 제품으로 실시간으로 사용하기에는 사용자에게 큰 부담이 되었다. 시간이 지나 현재에 이르러서는 밴드, 패치, 의복, 콘택트렌즈와 같이 더욱 유연하고 소형화되어 사용자가 착용하기 쉽게 발전했다. 이러한 발전 방향은 웨어러블 생체 센서가 성능 위주의 발전이 아닌 사용자 친화적인 방향으로 발전이 진행되고 있음을 보여준다. 중국에는



〈자료〉 여인국 외 8인, “2011 IT 전략기술로드맵 차세대 컴퓨팅 분야”, 한국산업기술진흥원, 2012.

[그림 2] 웨어러블 생체 센서 기술 발전 추이

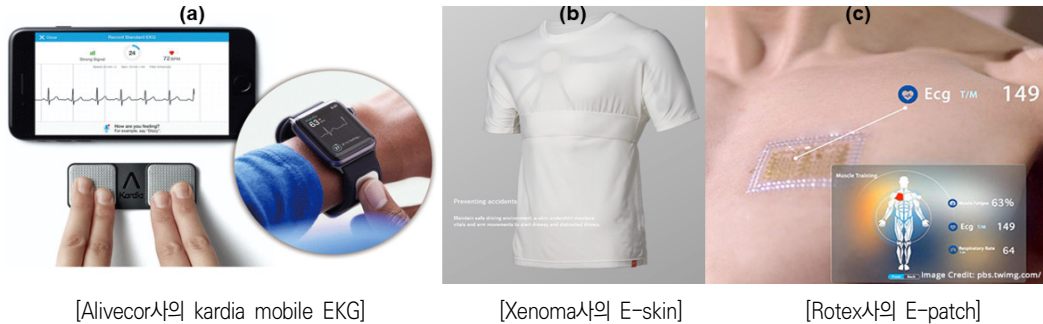
착용에 따른 이질감을 최소화하기 위해 피부 부착 형태의 웨어러블 생체 센서에서 더 나아가 인체 내 삽입 가능한 형태의 생체 센서로 발전할 것으로 기대된다[3].

2. 웨어러블 생체 센서 기술 동향

현재 웨어러블 생체 센서 기술은 의류일체형에서 신체부착형으로 넘어가는 과도기에 있으며, 신체부착형 생체 센서는 아직 시제품 단계에서 제품화를 위한 개발 중에 있다. 특히, 생체 정보를 파악하기 위한 여러 방법(유도 전위, 혈액, 땀, 눈물, 침, 호기 가스 등) 중, 최근에는 심전도, 혈당, 호기 가스를 감지할 수 있는 신체부착형 생체 센서가 주목을 받고 있다. 이는 착용자의 신체에서 얻게 되는 생체 정보를 직접 분석하기가 용이할 뿐만 아니라 높은 정확성과 신뢰성을 확보할 수 있기 때문이다. 이 장에서는 다양한 웨어러블 생체 센서 중 대표적인 생체 정보인 심전도, 혈당, 호기 가스를 감지하는 생체 센서의 기술 동향을 소개하고자 한다.

가. 전기 생리학적 신호를 감지하는 생체 센서

전기 생리학적 신호란 심전도, 뇌전도, 안구전도 등 생리학적 움직임에 관련된 전기적인 신호를 의미한다. 예를 들어, 심전도의 경우 심장 각 박동의 세부적인 순서에 따라서 일정한 패턴을 확인할



[Alivecor사의 kardia mobile EKG]

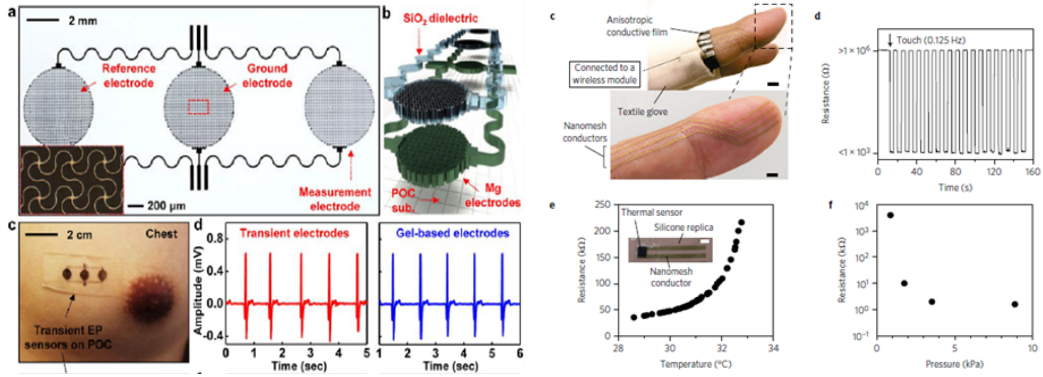
[Xenoma사의 E-skin]

[Rotex사의 E-patch]

[그림 3] 시장에 출시된 의류일체형 전기 생리학적 신호 검출 센서

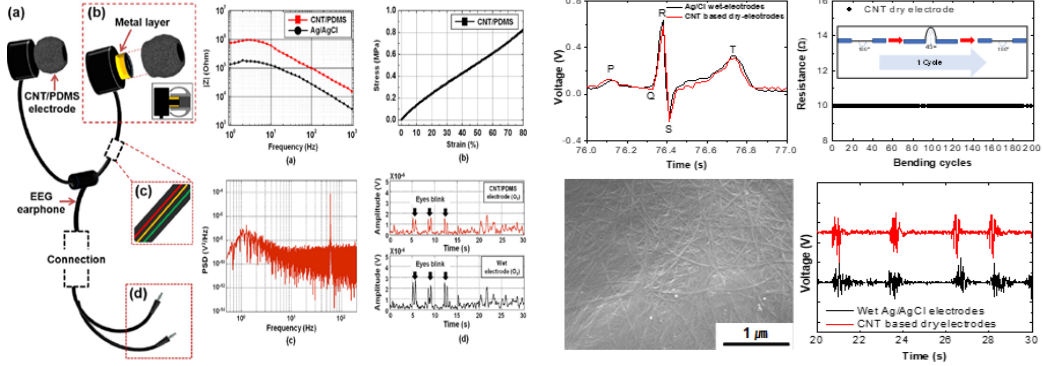
수 있어 심장의 이상 진단에 활용할 수 있다. 또한, 안구전도를 분석하면 시신경에 관련된 움직임에 파악할 수 있어 안구 근육 등 안구와 관련된 운동 장애에 대해 진단할 수 있다. 기존의 전기 생리학적 신호 검사는 환자가 병원에 방문하여 복잡하고, 전문적인 검사를 받아야만 전기 생리학적 신호에 관련된 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 최근 개발되고 있는 전기 생리학적 신호를 감지할 수 있는 웨어러블 생체 센서는 환자가 병원에 방문할 필요 없이 원하는 장소 및 시간에서 실시간으로 측정이 가능하다. 미국 Alivecor사는 2017년 말 미국식품의약국(Food and Drug Administration: FDA)으로부터 승인받은 휴대용 심전도, 근전도 모니터링 밴드를 선보였다([그림 3a] 참조). 본 장치는 손목에 착용한 밴드에 부착된 센서에 엄지손가락을 터치하는 간단한 방식으로 심전도를 측정할 수 있으며, 이렇게 얻은 전기생리학적 신호는 스마트폰과 연계되어 심질환 진단자료로 이용된다. 또한, 일본의 Xenoma사는 전도성 소재를 피복안에 프린팅하여 심전도, 근전도 이외에도 모션, 체온 등을 검출할 수 있는 E-skin 제품을 CES 2018에서 공개하였다([그림 3b] 참조). 다음으로, 미국 Rotex사는 머리카락 두께(수백 마이크로) 정도로 얇은 패치형태의 전자 피부 제품을 개발하였으며, 이 전자 피부 제품을 이용하여 실시간으로 테블릿이나 스마트폰으로 근전도, 심전도, 온도 등 다양한 생체 정보를 보낼 수 있는 통합적인 솔루션에 대해 제시하였다([그림 3c] 참조).

학계 및 연구계에서도 전기 생리학적 신호를 검출하는 생체 센서를 개발하고자 하는 움직임이 활발히 진행되고 있다. 미국 Northwestern University의 John A. Rogers 연구그룹은 생분해성 소재와 기하학적 전극 구조를 이용하여 높은 신축성을 보이면서도 물에 가수분해되는 부착형 전자 피부를 개발하여 발표하였다([그림 4a] 참조)[4]. 실리콘 나노멤브레인과 마그네슘 전극을 적층으로 쌓아올려 제작했으며 실리콘 나노리본을 이용하여 pH, 심전도, 근전도와 같은 생체 정보를 수집하는 생체 센서를 발표하였다. 또한, 일본 The University of Tokyo의 Takao Someya 연구그룹은 polyvinyl alcohol(PVA) 나노섬유를 이용하여 사람 피부 위에 생체 전극을 바로 프린팅할 수 있는



(a) 생분해성 소재를 이용한 근전도 센서[4]

(b) PVA를 이용하여 기판 없이 피부 위에 직접 프린팅된 근전도 센서[5]



(c) 탄소 나노튜브와 PDMS 중합체를 이용한 안구전도용 커널형 이어폰 커버[6]

(d) 탄소 나노튜브 기반 종이 형태의 심전도/근전도 센서[7]

[그림 4] 전기 생리학적 신호 검출 센서의 연구 동향

전자 소자에 대해 발표하였다([그림 4b] 참조)[5]. 피부 표면에 기판 없이 바로 제작된 전자 소자는 인체에 무해하면서도 스트레인, 근전도, 체온 등 다양한 생체 정보를 성공적으로 검출하였다. 국내에서는 고려대학교 이상훈 연구그룹에서 커널 형태의 이어폰을 제작하여 안구전도를 검출할 수 있는 센서를 발표하였다([그림 4c] 참조)[6]. 제안된 소자를 이용하여 눈이 깜박일 때 발생하는 안구전도를 성공적으로 검출하였으며 외부 인장력에 대해 80% 수준의 높은 스트레세에도 안정적인 센서를 개발하였다. 광운대학교 하태준 연구그룹은 탄소나노튜브 기반의 기능성 나노재료를 기반으로, 구겨지거나 원통으로 구부릴 수 있는 종이형태(paper-like)의 생체 전극을 개발하였다([그림 4d] 참조)[7]. Poly Dimethyl Siloxane(PDMS) 몰딩방법으로 제작된 종이형태의 생체 전극은 기존 전극과 비교하여 낮은 면 저항값을 보였으며 뛰고, 걸었을 때에 해당되는 심전도 파형을 성공적으로 검출하였다.

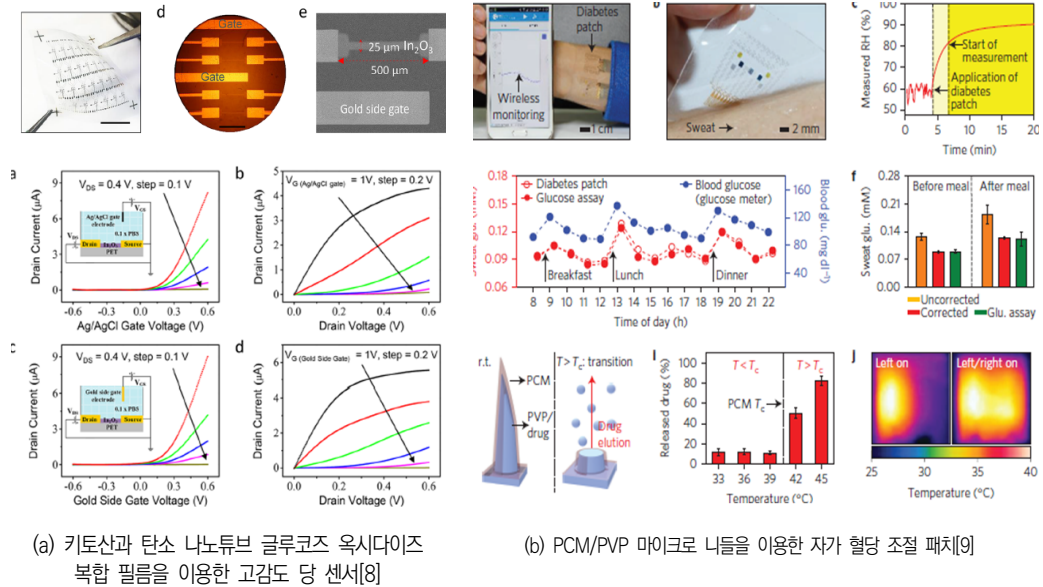
나. 혈당을 감지하는 생체 센서

지금까지 당뇨병 환자는 통상 하루 10번 정도 손가락에서 강제 채혈 방법을 이용해 혈액을 추출하여 혈당 수치를 확인할 수밖에 없었다. 이러한 방법은 당뇨 환자에게 물리적인 고통을 줄 뿐만 아니라 채혈과정에서 의도치 않은 감염이 발생할 수도 있다. 사용자의 심리적 거부감을 크게 하는 침습 방법의 종래 혈당 센서와 달리, 최근에는 비 채혈 방식의 웨어러블 혈당 센서가 보다 활발히 연구되고 있다. Abbott사는 프리스타일 리브레라는 이름의 비 채혈 방식의 지속 혈당 모니터링이 가능한 생체 센서를 출시했다. 밴드 형식의 패치를 엄지에 부착하면 전용 리시버를 통해 혈당 결과를 스마트폰과 연계하여 실시간으로 알려준다. 하지만 본 비 채혈 방식의 센서는 2주마다 주기적으로 교환해야 하기 때문에 유지비가 매우 높다는 문제점을 지니고 있다. 대표적인 IT 기업인 구글의 경우 2013년부터 혈당을 알려주는 스마트 콘택트렌즈에 대한 연구를 진행하고 있다. 혈액과 마찬가지로 눈물 속의 당 수치는 혈액 내 당 수치와 비례하기 때문에 눈물 속의 당을 검출하여 채혈을 하지 않고도 혈당을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 또한, 2015년에는 가압 가스를 이용한 비 채혈방식의 혈당 감지 방법에 대해 특허를 출원했다. 애플의 경우 애플 시계에 혈당을 측정하기 위한 웨어러블 혈당 센서를 내장하고자 하는 연구가 2016년부터 진행되고 있으며, 빠르면 2020년 안에 출시될 수 있다고 발표하였다.



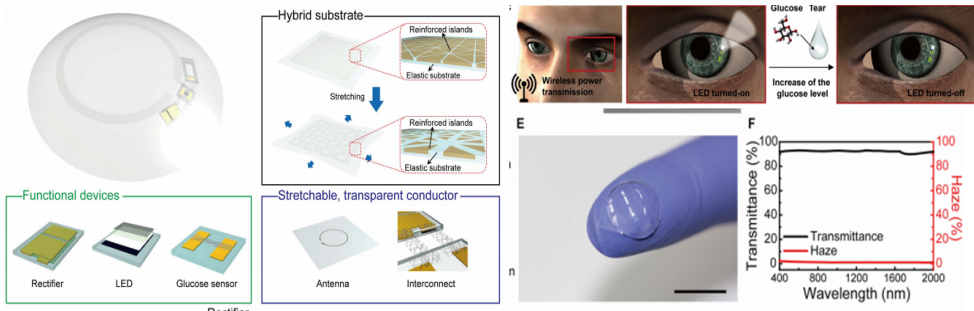
[그림 5] 기업에서 개발 중인 혈당 측정 제품의 컨셉 이미지

학계 및 연구계에서도 웨어러블 혈당 센서를 개발하고자 하는 움직임이 활발히 진행되고 있다. 미국 University of Southern California의 Chongwu Zhou 연구그룹은 Indium oxide(In_2O_3) 나노 리본 기반 트랜지스터와 플로팅 게이트를 접목하여 매우 유연한 웨어러블 혈당 센서를 제작했다[8]. 키토산과 탄소 나노튜브 그리고 글루코즈 옥시다이스(GOx) 복합 필름을 이용하여 당에 대한 민감도를 높여 땀, 눈물 내에 있는 매우 미세한 혈당에 대해 검출이 가능하기 때문에 바늘 없이 체액만을 이용하여 혈당을 검출할 수 있다([그림 6a] 참조). 국내에서는 서울대학교 김대형 연구그룹



(a) 키토산과 탄소 나노튜브 글루코즈 옥시다제 복합 필름을 이용한 고감도 당 센서[8]

(b) PCM/PVP 마이크로 니들을 이용한 자가 혈당 조절 패치의



(c) LED를 이용해서 고혈당을 알려주는 콘택트렌즈형 당 센서[10]

[그림 6] 혈당 검출 센서의 연구 동향

에서 기존 패치형태의 당 센서에서 나아가 혈당 수치가 증가하게 되면 자동으로 고혈당 약을 주입할 수 있는 그래핀 기반의 스마트 패치를 선보였다[9]. 스마트 패치 표면에는 무수히 많은 Phase Change Material(PCM)/Poly Vinyl Pyrrolidone(PVP) 이중 마이크로 니들이 배치되어 있고 이러한 니들 내부에는 혈당을 낮추어주는 약이 채워져 있는 형태이다. 패치를 피부에 붙이게 되면 마이크로 니들이 피부 내부에 삽입되고, 혈액 내 당 농도가 높아지면 생분해성이 높은 PCM/PVP 막이 순차적으로 사라지면서 혈액 내부로 혈당을 낮추어주는 약이 침투하여 사용자의 혈당 수치를 자율적으로 조절할 수 있게 된다(그림 6b) 참조). 연세대학교 박장웅 연구그룹에서는 2차원 그래핀 나노 구조와 은 나노 섬유를 이용하여 눈물에서 혈당을 바로 측정할 수 있는 콘택트렌즈형 혈당

센서를 발표하였다[10]. 제안된 생체 센서는 무선으로 전원 공급이 가능하며, 당이 검지되면 실시간으로 Light Emitting Diode(LED)가 꺼져 혈당 수치가 증가했는지를 알려준다(그림 6c) 참조).

다. 호기 가스를 감지하는 생체 센서

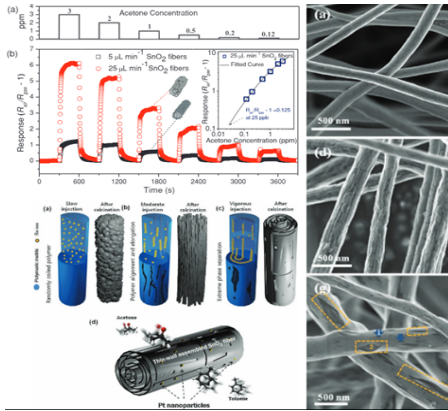
신장질환, 심장질환, 폐질환, 기관지 감염, 구취 등과 같은 특정 질병 또는 증상은 사람의 호흡 시 나오는 가스 기체를 분석함으로써 진단이 가능하다는 것이 최근 발표되고 있다. 예를 들어, 폐암의 경우 톨루엔 가스가 정상인의 호흡에 비해 폐암 환자의 호흡 시 5~10배 높은 농도로 배출된다는 것이 보고되었다[11]. 또한, 천식의 경우 호기 가스 중 일산화질소의 양을 분석함으로써 확인할 수 있다[11],[12]. 기존의 질병 진단 방법은 자기공명영상장치(MRI), 컴퓨터단층촬영장치(CT) 등 고가의 진단 장비를 사용하기 때문에 비용이 크게 높을 뿐만 아니라, 진단 과정 역시 복잡하고 불편하게 진행되기 때문에, 환자 또는 질병이 의심되는 일반인에게는 상당한 부담이 될 수밖에 없다. 이와 반면에 호기 가스 생체 센서를 이용한 분석은 단순히 숨을 내뿜는 것만으로 질병진단이 가능하기 때문에 최근 연구가 활발히 진행 중에 있다. 그러나 이와 같은 호기 가스를 분석한 질병 진단은 ppb(per billion)에서 ppt(per trillion) 수준의 매우 낮은 농도의 가스 농도를 감지할 수 있어야 하며, 센서의 소형화, 낮은 동작온도의 필요성, 검지 가스의 선택성 등의 문제로 자가 진단 호기 가스 센서의 기술 수준은 아직 연구 단계에 머무르고 있다.

KAIST 김일두 연구그룹에서는 Tin dioxide(SnO₂) 나노 섬유 내/외부에 나노 금속입자가 결합된 휘발성 유기 화합물(Volatile organic compounds: VOCs)용 센서를 제작하여 아세톤과 톨루엔을 감지하는 결과를 발표하였다(그림 7a) 참조[13]. 다공성 SnO₂는 넓은 표면적을 제공하며 SnO₂ 내/외부 벽면에 코팅된 백금 나노입자는 아세톤과 톨루엔에 대한 반응성을 크게 증가시켜 80%의 고습도 환경에서도 100ppb 수준의 농도 감지가 가능하게 하였다. 또한, 연세대학교 김형준 연구구

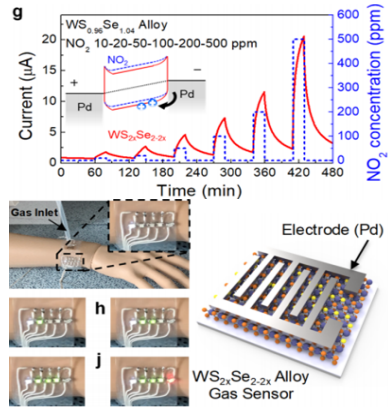
[표 1] 인체의 호흡을 통해 배출되는 휘발성 유기 화합물 가스 농도와 특정 질병간의 상관관계

| 질병 | 바이오 마커 | 정상인의 호흡 | 환자의 호흡 |
|------|--|-----------------|------------------|
| 폐암 | Toluene(C ₆ H ₅ CH ₃) | 1~20ppb | 10~100ppb |
| 당뇨병 | Aceton(CH ₃ COCH ₃) | 300~900ppb | 1800ppb |
| 신장질환 | Ammonia(NH ₃) | 29~688ppb | 820ppb~14.7ppm |
| 심장질환 | Pentane(C ₅ H ₁₂) Isoprene(C ₅ H ₈) | 38ppb 172ppb | 110ppb 255ppb |
| 천식 | Nitrogen monooxide(NO) | 5~8ppb | 80~110ppb |
| 구취 | Hydrogen Sulfide(H ₂ S) | 50~80ppb | 80ppb~2ppm |

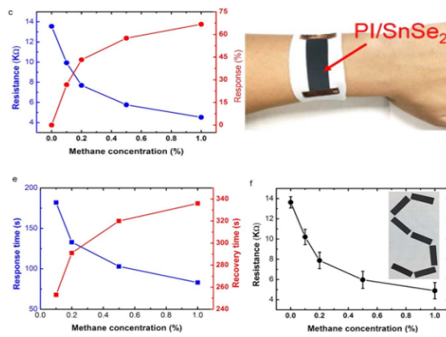
〈자료〉 신용범, "호기가스 분석을 통한 비침습적 체외진단 첨단기술정보 수집", 미래창조과학부, 2016.



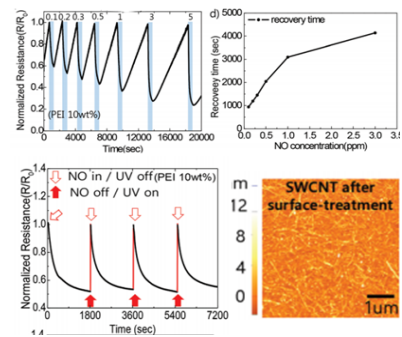
(a) SnO₂ 나노 섬유 내/외부에 나노 금속입자가 결합된 VOCs용 센서[13]



(b) 황화 반응을 이용한 VOCs 가스 검지용 WS_{2x}Se_{2-2x} 합금 박막 센서[14]



(c) 단결정 SnSe₂ plate를 이용한 메탄올 가스 센서[15]



(d) PEI 기능화된 단일 벽 탄소 나노튜브 기반 NO 가스센서[16]

[그림 7] 호기 가스 검출 센서의 연구 동향

룹에서는 이차원 Transition-Metal Dichalcogenides(TMDCs) 박막 기반의 웨어러블 가스 센서를 발표하였다(그림 7b) 참조)[14]. 황화반응을 이용하여 WS_{2x}Se_{2-2x} 합금을 제작하여 NO₂ 가스를 10ppm 농도까지 검출하였다. 또한, 제작한 센서를 PolyEthylene Terephthalate(PET) 기판 위로 전사하여 웨어러블 가스 센서에 대한 가능성을 보여주었다. 중국 Chinese Academy of Sciences의 Chunlei Yang 연구그룹은 Tin Diselenide(SnSe₂)를 단결정 plate 형태로 대면적 성장을 진행시킨 웨어러블 호기 가스 센서를 발표했다(그림 7c) 참조)[15]. 제안된 웨어러블 호기 가스 센서는 굽힘 상태에서 전체 혼합 가스 대비 0.2%의 메탄올을 성공적으로 검출하였으며, Sn, Se₂를 co-evaporation 공정을 이용하여 증착한 후 성장시키면서 균일한 크기의 단결정 plate flake를 형성하여 감도와 유연성을 모두 확보할 수 있었다. 또한, 광운대학교 하태준 연구그룹은

한국과학기술원과의 공동 연구를 통해 단일벽 탄소나노튜브에 polyethylenimine(PEI) amine 기능화를 통해 100ppb 수준의 일산화질소(NO)를 검출할 수 있는 가스 센서를 발표하였다([그림 7d 참조][16]). 저온 용액공정을 기반으로 최적화된 기능화를 통해 고감도, 고선택성의 가스 센서가 제작되었으며, 자외선(UV) 조사를 이용하여 반도체식 가스 센서의 문제점인 회복성(recovery)을 크게 향상시켰다.

III. 웨어러블 생체 센서의 해결과제

스마트폰의 대중화 이후, 웨어러블 생체 센서 기반의 헬스케어 산업이 급속도로 발전될 것이라는 전망은 계속해서 제시되어 왔다. 그러나 아직까지 원격의료 모니터링을 위한 ICT 융합 웨어러블 센서 기술이 확보되지 못하고 있다. 원격의료 모니터링을 위해서는 착용을 한 상태에서 생체 정보를 직접적으로 추출해야 하는 센서 모듈과 받은 정보를 네트워크 공간상으로 전송해줄 무선 통신 모듈 그리고 무선 통신 모듈과 센서 모듈을 동작시키는 전원 모듈, 크게 3가지 부분이 결합된 하나의 통합 시스템이 필요하다.

- 센서 모듈: 센서 모듈은 사용자의 생체 정보를 전기적, 화학적, 물리적 수단을 사용하여 직접적으로 검출하는 부분으로 착용 상태에서 생체 정보를 실시간으로 검지해야 하기 때문에 일상생활의 노출된 환경에서도 안정성 있게 동작해야 하며 높은 생체적합성을 가지고 있어야 한다. 또한, 웨어러블 센서를 구현하기 위해서는 유연하면서도 신축성 있는 신체 특성을 고려해야 하기 때문에 센서 모듈은 높은 유연/신축성을 가지면서도 생체 정보에 영향을 주지 않는 높은 신뢰성이 보장되어야 한다[17].
- 무선 통신 모듈: 웨어러블 생체 센서가 획득한 정보를 분석하기 위해서는 먼저 무선 통신을 통해 정보를 네트워크 상에서 송수신해야 한다. 이전의 웨어러블 생체 센서는 상시 동작하며 생체 정보를 계속해서 송신해야 하기 때문에 블루투스 근거리 통신을 활용하여 스마트폰 등 외부 단말기와 동기화한 후 네트워크 상으로 보냈다. 그러나 최근에는 사물인터넷 플랫폼의 발전과 함께 무선 통신 칩을 이용하여 자체 송수신이 가능한 운용이 가능해졌다. 문제는, 무선 통신 운용을 위한 모듈을 유연하거나 신축성을 가지게 하는 것이 어렵기 때문에, 착용이 가능한 무선 통신 모듈을 개발하는 것이 중요하다.
- 전원 공급 모듈: 웨어러블 생체 센서 모듈은 상시 동작해야 하기 때문에 전원을 계속해서 공급해야 한다. 이를 해결하기 위해서는 일정 수준 이상의 전력을 공급할 수 있는 배터리는 필수적

이다. 그러나 무선 통신 모듈과 마찬가지로 웨어러블 생체 센서 시스템을 구현하기 위해서는 전원 공급 모듈도 유연/신축성을 확보해야 하는데, 현재의 기술로 이를 구현하기는 매우 어렵다[18].

IV. 결론

지금까지 차세대 디지털 헬스케어 디바이스로 큰 주목을 받고 있는 ICT 융합 웨어러블 생체 센서에 대해 살펴보았다. 원격의료 모니터링 서비스의 핵심 요소인 웨어러블 생체 센서의 국내외 연구 동향을 확인하고, 앞으로 해결해야 할 과제에 대해서 논의하였다. 4차 산업혁명의 도래와 함께 디지털 헬스케어 서비스의 현실화가 논의되면서 이와 관련된 다양한 기술이 주목을 받아왔다. 그러나 희망적인 기대와는 달리 의료 패러다임을 새롭게 바꾸기 위한 생체 센서 기술 시장의 확대 및 국가적 정책 방향 확보는 아직 미흡한 실정이다. 또한, 미국, 일본을 중심으로 기존 의료 산업에서의 신성장 동력원으로서 원격의료 모니터링 서비스를 위한 보다 실험적인 생체 센서 관련 연구들이 진행되고 있지만 아직까지 제도적, 법률적 제약 때문에 보다 적극적인 제품화가 어려우며, 초기 투자 대비 수익성의 문제로 기업의 투자유치가 어렵다. 이를 극복하기 위해서는 국가적인 육성 지원을 기반으로, 산/학/연 상호협력 하에서 전략적인 투자와 연구역량의 집중이 필요하다고 사료된다.

[참고문헌]

- [1] 최윤섭, “의료의 미래, 디지털 헬스케어”, 한국산업기술진흥협회, 기술과학신 2018년 10월호, 2018. 10. 16, pp.15-18.
- [2] R. B. Kumar, N. D. Goren, D. E. Stark, D. P. Wall, C. A. Longhurst, “Automated integration of continuous glucose monitor data in the electronic health record using consumer technology,” *Jama. J. Am. Assoc.* Vol.23(3), 2016, pp.532-537.
- [3] 나연목, 정현태, 최재훈, “웨어러블 컴퓨터의 현황과 전망”, KEIT PD 이슈리포트, 한국산업기술평가관리원, VOL.13-6, ISSUE 3, 2013, 6, pp.59-77
- [4] S. W. Hwang, C. H. Lee, H. Cheng, J. W. Jeong, S. K. Kang, J. H. Kim, J. Shin, J. Yang, Z. Liu, G. A. Ameer, Y. Huang, J. A. Rogers, “Biodegradable elastomers and silicon nanomembranes nanoribbons for stretchable, transient electronics, and biosensors,” *Nano Lett.* Vol.15(5), 2015, pp.2801-2808.
- [5] A. Miyamoto, S. Lee, N. F. Cooray, S. Lee, M. Mori, N. Matsuhisa, H. Jin L. Yoda, Y. Yokota A. Itoh, M. Sekino, H. Kawasaki, T. Ebihara, M. Amagai, T. Someya, “Inflammation free, gas permeable, lightweight, stretchable on skin electronics with nanomeshes,” *Nat. Nanotechnol.* Vol.12(9), 2017, pp.907-913.

- [6] J. H. Lee, S. M. Lee, H. J. Byeon, J. S. Hong, K. S. Park, S. H. Lee, "CNT/PDMS based canal typed ear electrodes for inconspicuous EEG recording," *J. Neural. Eng.* Vol.11(4), 2014, pp.046014.
- [7] B. C. Kang, T. J. Ha, "Wearable carbon nanotube based dry-electrodes for electrophysiological sensors," *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.57(5S), 2018, pp.05GD02.
- [8] Q. Liu, Y. Liu, X. Cao, Z. Li, M. Alharbi, A. N. Abbas, M. R. Amer, C. Zhou, "Highly sensitive and wearable In₂O₃ nanoribbon transistor biosensors with integrated on chip gate for glucose monitoring in body fluids," *ACS Nano* Vol.12(2), 2018, pp.1170-1178.
- [9] H. Lee, T. K. Choi, Y. B. Lee, H. R. Cho, R. Ghaffari, L. Wang, H. J. Choi, T. D. Chung, N. Lu, T. Hyeon, S. H. Choi, D. H. Kim, "A graphene based electrochemical device with thermoresponsive microneedles for diabetes monitoring and therapy," *Nat. Nanotechnol.* Vol.11(6), 2016, pp.566-572.
- [10] J. Park, J. Kim, S. Y. Kim, W. H. Cheong, J. Jang, Y. G. Park, K. Na, Y. T. Kim, J. H. Heo, C. Y. Lee, J. H. Lee, F. Bien, J. U. Park, "Soft, smart contact lenses with integrations of wireless circuits, glucose sensors, and displays," *Sci. Adv.* Vol.4(1), 2018, pp.eaap9841.
- [11] 김용준, 허재두, 김승환, "질병 진단용 호흡가스 분석기술 동향", 한국전자통신연구원, 전자통신동향분석 통권 149호, 2014. 10. 1, pp.86-95
- [12] 신용범, "호기가스 분석을 통한 비침습적 체외진단 첨단기술정보 수집", 미래창조과학부, 2016 10. 19, pp.1-96
- [13] J. Shin, S. J. Choi, I. Lee, D. Y. Youn, C. O. Park, J. H. Lee, H. L. Tuller, I. D. Kim, "Thin wall assembled SnO₂ fibers functionalized by catalytic Pt nanoparticles and their superior exhaled breath sensing properties for the diagnosis of diabetes," *Adv. Funct. Mater.* Vol.23(19), 2013, pp.2357-2367.
- [14] K. Y. Ko, S. Lee, K. Park, Y. Kim, W. J. Woo, D. Kim, J. G. Song, J. Park, J. H. Kim, Z. Lee, H. Kim, "High performance gas sensor using a large area WS₂xSe₂-2x Alloy for low power operation wearable applications," *ACS Appl. Mater. Interfaces* Vol.10(40), 2018, pp.34163-34171.
- [15] M. Chen, Z. Li, W. Li, C. Shan, W. Li, K. Li, G. Gu, Y. Feng, G. Zhong, L. Wei, C. Yang, "Large scale synthesis of single crystalline self standing SnSe₂ nanoplate arrays for wearable gas sensors," *Nanotechnology* Vol.29(45), 2018, pp.455501.
- [16] J. Y. Jeon, B. C. Kang, Y. T. Byun, T. J. Ha, "High performance gas sensors based on single wall carbon nanotube random networks for the detection of nitric oxide down to the ppb level," *Nanoscale* Vol.11(4), 2019, pp.1455-2092.
- [17] H. J. Kim, "A review study of biosensors applicable to wellness wear," *Journal of Digital convergence* Vol.15(11), 2017, pp.231-243.
- [18] 김장원, 홍승균, 정한민, "웨어러블 컴퓨팅 환경에서의 센서 역할 및 활용방향", 정보통신기술진흥센터, 주간기술동향 1655호, 2014. 7. 23, pp.14-23