

# 4차 산업혁명과 안전보건

스마트 공장의 새로운 안전보건 개념(3)



김수근

의학박사  
직업환경의학 전문의

## 서론

앞에서 2회에 걸쳐 4차 산업혁명과 밀접한 스마트 기술이 산업보건에 새로운 모습을 보여주고 있으며, 이를 이해하는 데 필요한 개념을 살펴보았다. 이번에도 연속하여 관련된 개념 및 스마트 기능을 소개하고자 한다. 특히, 개인보호구에 웨어러블 전자장치를 적용한 기술과 안전보건관리를 위한 스마트 네트워크 시스템에 대해서 알아보하고자 한다.

## 개인보호구에 적용되는 웨어러블 전자장치 (Wearable electronics in PPE applications)

웨어러블 전자장치는 옷, 안경, 시계 등과 같이 사용자의 신체에 착용하여 언제 어디서나 컴퓨팅이 가능한 장치를 의미한다. ‘센서 디바이스+서버 역할의 단말기’로 구성된다.

작업자가 착용하는 개인보호구는 단지 유해인자의 노출 위험으로부터 작업자를 보호하는 개념에서 작업환경의 위험요소를 파악하고 접근을 차단할 수 있는 새로운 기능을 가진 장치로 변모하고 있다<그림 1>.



<그림 1> 헬멧에 장착된 작업환경관리 장치의 예시

이러한 장치의 진보에 따라서 작업장 내 작업자의 위치 및 상태를 인식하는 것이 가능해지고 작업현장의 위험인식과 통제를 할 수 있으며 작업자의 행동분석이 가능하게 된다. 센서를 통한 실시간 작업환경 매개변수의 데이터 취합과 작업환경 예측 기술이 개발되고 적용되고 있다.

가장 일반적인 정의에 따르면, 웨어러블 전자장치는 항상 사람에게 부착되어 있어 사용하기 쉽고 편안한 장치이다.<sup>1)</sup> 웨어러블 전자장치로 언급되는 첫 번째 작품 중 하나는 전자제품이 의복용 섬유와 통합이 용이하도록 재료, 장치, 소프트웨어 및 통합 방법을 연구하여 적용한 것이다.<sup>2)</sup>

선택된 환경 매개변수(environmental parameters)에 대한 정보를 수집하는 다양한 센서는 스마트 환경과 개인보호구에 적용된 웨어러블 전자장치 시스템의 발전 가능성을 보여준다. 최근 정보통신기술(ICT) 장치의 소형



화가 진전됨에 따라 웨어러블 전자장치에 대한 관심이 높아지면서 개별 센서 및 액추에이터(actuators) 세트가 포함된 간단한 웨어러블로부터 시작하여 고도로 전문화된 임베디드 시스템, 즉 특정 고급 기능을 수행하기 위해 더 큰 제품으로 확대되어 개인보호장구 분야에서도 다양한 솔루션을 개발하게 되었다.<sup>3)</sup>

개인보호장구에 설치된 센서를 통해서 수집된 정보는 컨트롤러에서 처리되고 액추에이터로 전송되어, 시스템이 외부 조건의 변화에 즉각 해당 특성의 수정을 통해 신속하게 반응할 수 있도록 한다.<sup>4)</sup>

이러한 시스템은 비표준 하드웨어(non-standard hardware), 소프트웨어 및 사용자 인터페이스의 특정 기능뿐만 아니라 고성능(high performance), 안정성(reliability) 및 낮은 자원 소비(low consumption of resources)를 보장하는 방식으로 설계되었다.

일반적으로 산업안전보건(OSH) 관련 임베디드 시스템은 개인보호장비의 종류에 따라 적합하게 통합되어 있다. 예를 들어 고위험 구역에 대한 작업자의 위치 확인,<sup>5)</sup> 작업환경조건과 개인보호구의 속성에 따른 능동적 제어(active control)<sup>6)</sup> 또는 근로자의 생리학적 매개변수(workers' physiological parameters)의 모니터링<sup>7)</sup> 등이 있다. 즉, 이러한 시스템은 특정 안전 관련 또는 편의 관련 기능을 갖추고 있다. 이와 같이 정

일반적으로  
산업안전보건 관련  
임베디드 시스템은  
개인보호장비의  
종류에 따라 적합하게  
통합되어 있다.

다양한 생리학적  
매개 변수를 모니터링  
할 수 있는 여러  
유형의 임베디드  
시스템이 있다.

보통신기술(ICT)을 기반으로 한 안전보건 분야에서 개발되고 있는 기술 중에는, 일차적으로 위험한 환경으로부터 근로자들을 격리시켜 특별한 산업 안전보건(OSH) 혜택을 제공할 잠재력을 가지고 있다.

작업환경 뿐만 아니라 의료 및 스포츠 목적으로 사용되는 전자 웨어러블 애플리케이션의 영역 중 하나로 인간활동(human activity) 및 건강/생리 상태(health/physiological status) 모니터링 시스템이 포함된다. 이러한 시스템에는 일반적으로 호흡기 모니터, 체온 센서, 심박수 모니터, ECG(심전도) 센서<sup>8)</sup> 또는 실시간 건강 모니터링을 위한 마이크로파 주파수(microwave frequency), 유연한 전자 섬유(flexible e-textiles)를 사용한 스트레인 게이지(strain gauges) 등이 있다.<sup>9)</sup>

현재 신체 자세, 근육 활동, 혈압, 피부 컨덕턴스(skin conductance), 운동, 산소 수준, 수화정도(hydration), 온도, 뇌 활동, 포도당, 눈 추적(eye tracking), 수면, 호흡, 소화와 심장 박동 등 다양한 생리학적 매개 변수를 모니터링할 수 있는 여러 유형의 임베디드 시스템(ES)이 있다.<sup>10)</sup>

예를 들어, RFID 수동 초고주파(UHF) 표피 센서[RFID passive ultrahigh-frequency(UHF) epidermal sensor]는 인체 온도의 실시간 연속 무선 측정을 보장하기 위해 인체 피부에 직접 부착되어야 한다.<sup>11)</sup> Witt 등<sup>12)</sup>은 개인보호구에 통합될 광섬유 센서(optic fibre sensor)를 개발하여 호흡과 심장 박동을 동반한 팔의 맥박과 자연적인 움직임(natural movements)을 측정할 수 있게 했다.

ConText 프로젝트에는 의해서 비접촉식 직물 기반 센서(contactless textile-based sensors)가 개발되었다. 이 센서는 사용자의 근육 활동을 모니터링하고 생리적 스트레스 수준(physiological stress levels)에 대한 정보를 수집하며, 이는 근골격계 질환의 위험을 낮추기 위해 사용될 수 있을 것이다.<sup>13)</sup>

이 분야의 또 다른 흥미로운 솔루션은 표준 안전 헬멧(standard safety helmet)과 통합된 웨어러블 컴퓨터로 혈액 가스 포화 수준(blood gas saturation levels)을 지속적으로 그리고 비침습적으로 모니터링함으로써 일산화탄소 중독으로부터 작업자를 보호할 수 있게 한 것이다.<sup>14)</sup>

신체 활동(physical activity) 및 근로자 건강 상태(workers' health status)를 모니터링하는 것 외에도, 다양한 감각 모듈(sensory modules)을 개인보호장비와 통합하여 작업자 바로 근처에서 환경 조건을 지속적으로 측정할 수 있다. 이 솔루션의 예는 i-Protect에 의해서 개발된 소방관(firefighters), 화학사고 피해 구조자(chemical rescuers) 및 광산사고 피해 구조자(mine rescuers) 등이 사용할 수 있는 전용 스마트 개인보호장비 시스템이다.<sup>15-16)</sup> 이 시스템은 6가지 가스 농도를 측정하는 센서와, 측정 데이터가 구조 조정 센터(rescue coordination centre)로 무선 전송되도록 하는 통신 네트워크(communication network)로 구성되어 있다.

PROeTEX 프로젝트에 의해서도 비슷한 솔루션이 제시되었다.<sup>17)</sup> 이 프로젝트에서는 소방관을 위한 보호복(protective clothing)이 신체 영역 네트워크(Body Area Network)와 통합되어 다음의 기능을 포함하고 있다.

- 화학 및 열 위험성 평가(assessment of chemical and thermal hazards)를 위한 GPS(Global Positioning System) 신호 및 가속도계(accelerometers)
- 열 유속 및 가스 센서(heat flux and gas sensors)를 기반으로 구조활동을 모니터링하기 위한 모듈(module)
- 구조대원(rescue team members)들에게 필요한 정보 지원을 제공하는 장거리 및 근거리 통신 모듈(short-distance communication modules).<sup>18)</sup>

SafeProTex 프로젝트는 극한의 기후 조건(extreme weather conditions)이나 산불의 위험이 있는 상황에서 소방관 및 응급의료 요원과 같이 복잡한 작업 및 응급 상황(emergency situations)에서 위험에 노출된 사람들을 보호하기 위한 의복의 보호 수준을 향상시키는 데 중점을 두었다.<sup>19-20)</sup>

PROSPIE 프로젝트의 주요 목표는 뜨거운 미기후(hot microclimate)에 노출되는 동안 열 스트레스를 감소시켜 소방관의 안락함을 개선하는 것이었다. 이를 위해 환기 기반 냉각(ventilation-based cooling)과 함께 작업자의 온도를 모니터링하는 시스템과 냉각염(cooling salts) 및 PCM과 같은 냉각제를 제시하였다.<sup>21)</sup>

### SafeProTex

프로젝트에서는

소방관 및 응급의료

요원과 같이 위험에

노출된 사람들을

보호하기 위한

의복의 보호 수준을

향상시키는 데 중점을

두었다.



지구표면에 근접하며 소  
기후보다 더 작은 범위  
속 대기의 물리적 상태

출처 : NAVER 지식백과



소방관을 위한  
 보호장갑에 통합된  
 웨어러블 전자 장치는  
 온도 측정, 햅틱  
 피드백 및 제스처  
 인식을 위한 무선  
 시스템이 내장되어  
 있다.

ProFiTex 프로젝트에서는 데이터와 에너지를 전송하는 매체 역할을 하는 센서, 전자 장치 및 보안 로프(security rope)가 통합된 스마트 자켓 (smart jacket)이 개발되었다. 이 프로젝트는 연기가 자욱한 지역에서 소방관을 위한 위치검색 지원(navigation support)을 하고, 내장된 비콘<sup>22)</sup> (embedded beacons)을 통해 소방관과 지휘관 간의 정보 교환을 가능하게 하였다.<sup>23)</sup>

소방관을 위한 보호장갑에 통합된 웨어러블 전자장치는 열 관련 경고 및 메시지를 받는 근로자를 지원하기 위해 온도 측정, 촉각 피드백(haptic feedback) 및 제스처 인식(gesture recognition)을 위한 무선 시스템이 내장되어 있다. 특히, 이 시스템은 다음과 같은 센서를 통합하였다.

- 손 신호 또는 정지상태의 해석을 위한 2개의 가속도계 (two accelerometers for the interpretation of hand signals or immobility)
- 손 등의 인간 온도를 모니터링하기 위한 아날로그 온도 센서 (an analogue temperature sensor for monitoring human temperature on the back of the hand)
- 접촉열의 빠른 측정을 위한 열전대 (a thermocouple for fast measurement of contact heat);
- 대기압 변화를 감지하기 위한 기압계 (a barometer for a detection of atmospheric pressure changes)<sup>24)</sup>



또한 위험한 상황(dangerous situations)에서 소방관에게 촉감 피드백(haptic feedback)을 제공하기 위해 장갑의 부드러운 부분에 2개의 소형 진동 모터(miniature vibration motors)가 내장되어 있다. 모터를 통해 임펄스 길이(impulse-length)에 따라 다양한 진동 신호(vibration signals)를 생성할 수 있게 되었다.

표준 개인보호구 항목(standard PPE items)과 정보통신기술(ICT) 장치의 통합은 HORST 프로젝트에서 제안된 것처럼 보호 및 안락감과 관련하여 개인보호구 속성을 실시간으로 제어할 수 있는 좋은 기회를 제공한다.<sup>25)</sup> 이 프로젝트에서 절단 보호 바지(cutprotective trousers)에 내장된 고감도 자기장 센서로 일반적인 보호 패딩을 대체하여 임업 작업자(foresters)의 안전도가 향상되었다. 이러한 스마트 개인보호구의 기능을 통해 이동 체인톱(portable chainsaw)이 작업자의 다리에 너무 가까이 있을 때 휴대용 전기톱을 자동으로 즉시 중지시킬 수도 있다.

공작 기계 조작자(operator of a machine tool)의 신체 부분을 덮는 착용 가능한 안전장치가 최근 특허를 받았다.<sup>26)</sup> 이것은 자기 센서가 특정 임계값 이상의 자기장을 검출하는 경우 공작 기계의 작동을 중단시키는 무선 신호를 방출하도록 구성된 자기 센서 및 전자 통신 유닛(electronic communication unit)을 포함하고 있다. 즉, 공작 기계가 신호를 받으면 자동으로 비활성화된다.

최근 공작 기계  
조작자의  
신체 부분을 덮는  
안전장치가  
특허를 받았다.

웨어러블 전자장치를  
개인보호장비에  
통합하면 잠재적인  
위험 또는 작업  
관련 프로세스와  
연관된 정보 지원을  
작업자에게 제공하는  
것을 목표로 할 수  
있다.

SOLARTEX 프로젝트에서는 의류에 통합할 수 있도록 휘어지는 태양 전지(flexible solar cells)와 충전식 전자 장치(rechargeable electronics)가 개발되었다.<sup>27)</sup> 이러한 솔루션의 한 가지 예는 거리 건설 노동자(street construction workers)를 위해 밝은 태양광 조명(solar-powered lights)을 가시성이 높은 옷에 통합하는 것이다. 또 다른 예로는 더운 환경에서 열 스트레스(thermal stress)를 줄이도록 설계된 액체 기반 냉각 시스템(liquid-based cooling system)이 있다.<sup>28)</sup>

이 시스템은 속옷 미기후 매개 변수(undergarment microclimate parameters)를 측정하고 냉각수의 온도를 제어하여, 결과적으로 사용자의 요구에 맞게 안정되고 편안한 수준을 유지한다. 또 소형 냉각 팬을 결합된 패브릭 스페이서(fabric spacer)를 통해 환기가 이루어지는 냉각 시스템과 수분 증발로 인한 열 손실로 주변을 냉각시키는 액체 충전 패드(liquid-filled pad)가 방탄 조끼(cooled bullet-proof vest)에 통합된 사례도 있다.<sup>29)</sup>

또한 무거운 하중의 리프트를 다루는 사람들을 위해 설계된 Care Jack 파워 조끼의 경우처럼 수동 작업과 관련된 작업량을 줄이기 위해 임베디드 시스템을 채택하는 개인보호장비 솔루션도 있다.<sup>30)</sup>

조끼는 착용자의 움직임에 따라 운동 에너지(kinetic energy)를 저장하고 섬유 재료에 통합된 전자 장치로 필요할 때 방출한다. 추운 환경에서 사용하기 위한 보호복에 능동형 온도 조절 시스템(active thermo-regulation system)이 내장되기도 한다.<sup>31)</sup>

이 시스템은 가열 인서트(heating inserts)에 전달되는 전력을 제어하여 날씨 변화에 따라 사용자의 열 안락감을 자동으로 조정한다.

웨어러블 전자장치를 개인보호장비에 통합하면 잠재적인 위험정보 또는 작업 관련 프로세스와 연관된 정보를 작업자에게 제공하는 것이 가능해진다. 경찰관의 안전을 높이고<sup>32)</sup> 철도 선로 근로자를 위한 경고 시스템을 확보하기 위해 발광 다이오드(light-emitting diodes)가 있는 가시성 높은 조끼(high-visibility vests)가 제안되기도 하였다.<sup>33)</sup>

이 스마트 개인보호장비 솔루션에는 내장 진동기 및 사운드 알람이 장착되어 있어 위험한 상황에서 여러 개의 경고 신호가 생성 될 수 있다. 작업자에게 정보를 제공하는 또 다른 방법은 주변 환경을 모니터링하고 사용자의

시아에 추가 정보를 도입할 수 있는 AR 시스템을 사용하는 것이다.

증강현실(AR, Augmented Reality) 모듈과 통합될 수 있는 개인보호장비의 좋은 예는 수동 용접 공정(manual welding processes)에서 사용되는 용접 헬멧이다.

이와 관련하여 용접기의 실시간 지원, 예를 들어 용접건 위치 지정에 대한 지침을 제공하기 위해 이미 개발된 몇 가지 솔루션이 있었다.<sup>34)</sup> AR 모듈, 카메라 및 센서가 장착된 산업용 헬멧의 보호 바이저(protective visor) 아래에 위치한 완전히 투명한 웨어러블 디스플레이(transparent wearable display)를 통해 위험한 상황에서 발생하는 조기 경고 신호로 보완된 유사한 기술 지원을 제공할 수 있다.<sup>35)</sup>

웨어러블 전자장치를 개인보호장비와 통합을 통해 제공될 수 있는 또다른 기능은 생활습관(life cycle)을 모니터링하거나 작업자가 사용하는 개인보호장비의 완전성(completeness)을 관리하는 것이다. 예를 들어 개인보호장비의 완전성 미확인 시 고위험 지역에 대한 접근통제,<sup>36)</sup> 건설 현장에서 개인보호장비의 자동 및 신속한 제어(automated and rapid control)<sup>37)</sup> 및 다양한 유형의 개인보호장비의 서비스 수명 종료 시점의 자동파악(automatic identification system) 등<sup>38-39)</sup>이 있다. 개인보호장비의 보호기능의 손상(damages of protective functions)을 모니터링하는 방법이 단속 요원(law enforcement personnel)을 위한 가볍고 유연한 보호 조끼에 활용된 사례도 있다.<sup>40)</sup>

### 스마트 네트워크 시스템(Smart networked systems, SNS)

스마트 네트워크는 고성능 저비용 데이터센터를 구축해 PC, 휴대폰 등 인터넷과 연결된 모든 단말기를 통제하며, 대용량 데이터와 동영상을 빠르고 싸게 처리할 수 있는 통신망을 말한다. 스마트 네트워크 시스템은 유선 또는 무선 통신 인프라 및 프로토콜을 통해 상호 연결된 공간적으로 기능적으로 분산된 내장 컴퓨팅 노드(embedded computing nodes) 모음으로 정의할 수 있다.

스마트 네트워크는  
고성능 저비용  
데이터센터를 구축해  
대용량 데이터와  
동영상을 빠르고  
싸게 처리할 수 있는  
통신망을 말한다.



스마트 폰, 테블릿 PC, 스마트 TV, 클라우드 컴퓨팅 같은 서비스를 본격화하면서 대용량의 데이터를 빠르고 저렴한 가격으로 처리할 수 있는 네트워크의 필요성이 대두되어, 스마트 네트워크의 구축이 증가하고 있다.<sup>41)</sup> 상호 연관성을 지니지 못한 채 개별적인 기술로 존재했던, 사물인터넷 등과 같은 기술이 전자태그(RFID)라는 무선 식별 시스템 및 초박형 컴퓨팅 기술과의 결합을 통해, 거의 모든 디바이스가 데이터 전송 및 처리 능력을 갖추게 되었다.

이를 이용하면 하나의 데이터로 모든 단말기를 통제하여 3스크린(휴대폰, PC, TV)을 1개의 스크린으로 이용할 수 있으며, 데이터 센터를 통해 기존보다 더욱 빠르고 많은 양의 데이터를 처리할 수 있게 된다.<sup>42)</sup> 연관이 없어 보였던 기술들이 연결되기 시작하면서 기기, 자동차, 건축물, 도시, 심지어는 국가 단위의 스마트화를 이끌어내는 기폭제가 되었다. 이를 바탕으로 스마트 시티 구축도 가능하다. 사물인터넷 환경과 더욱 스마트한 세상이 제공하는 혜택을 누리기 위해서는 무엇보다 이를 뒷받침할 수 있는 스마트 네트워크를 구축하는 것이 중요하다.

스마트 네트워크 시스템에서 데이터 처리는 일반적인 임베디드 시스템의 경우와 다른 계층(different layer)에서 수행된다. 스마트 네트워크 시스템은 센서/액추에이터 구성 요소를 통해 상호간에 그리고 환경과 상호작용한다. 이러한 인프라에는 전체 스마트 네트워크 시스템에 대한 조정



기능 및 계산을 수행하는 마스터 노드(master node)도 포함될 수 있다.<sup>43)</sup> 6LoWPAN(저전력 무선 근거리 개인통신망: IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network), 초 광대역(ultra-wide band, UWB), RFID, 무선 센서 네트워크(wireless sensor networks, WSN), 실시간 위치 확인 시스템(real-time locating systems, RTLS), ZigBee 및 WiFi와 같은 무선통신 인프라 및 프로토콜을 사용하여 사물인터넷(IoT) 개념에 기반한 통신 및 데이터 처리 장치는 스마트 네트워크 시스템의 필수 요소가 되었다.<sup>44-45)</sup>

스마트 네트워크 시스템은 높은 유연성, 시스템 설치의 용이성과 유지 보수 작업자에게 실시간 액세스(real-time access)를 제공하여 프로세스 관리를 향상시킬 수 있는 가능성, 특히 가혹하고 역동적인 작업 환경(harsh and dynamic working environments)에서도 네트워크를 사용할 수 있는 이점이 있다.<sup>46-47)</sup>

산업안전보건 관련 스마트 네트워크 시스템 분야에서 중요한 역할은 실내 및 실외 근로자의 위치 시스템(indoor and outdoor workers' location systems)에 의해 수행된다. 또한 GPS, 무선 근거리 통신망(wireless local area network), UWB, RFID 및 비전 시스템을 통해 고위험 구역에 대한 근로자의 접근을 감지할 수 있다. 작업자를 보호하기 위한 위치 확인 시스템의 예로는 지하 광산 기계의 작동 구역에 작업자의 존재를 감지하는

산업안전보건 관련  
스마트 네트워크  
시스템 분야에서  
중요한 역할은 실내  
및 실외 근로자의  
위치 시스템에 의해  
수행된다.

스마트 네트워킹  
시스템은  
산업안전보건 규정의  
이행을 지원하기 위해  
적용되었다.

HASARD(Hazardous Area Signaling and Ranging Device)라고 하는 자기 감지 시스템(magnetic sensing system)의 프로토타입이 있다.<sup>48)</sup> 건설 현장에서 작업자의 안전을 향상시키기 위해 무선주파수 원격 감지 기술(radio-frequency remote-sensing technology)에 기반한 유사한 솔루션이 사용된 예도 있다.<sup>49)</sup>

또 다른 예로는 사물인터넷(IoT) 기술을 기반으로 한 시스템, 즉 WSN 및 RFID 통합 솔루션이 있다. 이 시스템은 작업자의 위치를 모니터링하고 안전 장비(safety equipment)가 필요한 작업장의 위험한 영역에 대한 접근을 통제한다.<sup>50)</sup>

스마트 네트워킹 시스템은 산업안전보건(OSH) 규정의 이행을 지원하기 위해 적용되었다. 이러한 맥락에서, 탄광 생산 공정을 모니터링하기 위한 Controller Area Network 버스와 ZigBee 기술을 기반으로 한 지능형 탄광 모니터링 시스템(intelligent coal mine monitoring system)을 예로 들 수 있다.<sup>51)</sup> 가스나 물 누출과 같은 위험한 사고가 발생할 때 광부의 위치를 파악하고 안전관리자에게 경고 신호를 보낼 수 있다. 광산 애플리케이션 분야를 위한 유사한 시스템으로 화재의 정확한 위치와 화재 확산 방향을 감지할 수도 있다.<sup>52)</sup>

개인 이동 단말기(distributed personal mobile terminals)를 기반으로 하는 자동 철도 선로 경고 시스템(automatic railway track warning system)은 작업장 내 근로자의 위치를 파악하고, 열차 접근에 대해 경고하며, 비상 시 그들을 안전한 지역으로 안내하도록 설계되었다.<sup>53)</sup> 다른 사물인터넷 기반 스마트 네트워크 시스템은 온도, 습도, 대기질, 작동 기계의 진동, 발전소의 전기 과부하 및 화염 감지와 같은 파라미터의 실시간 모니터링을 위해 개발되었으며,<sup>54)</sup> 작업자의 위치, 포름알데히드 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 같은 실내 대기오염물질(indoor air pollutants)에 대한 노출 모니터링에도 적용될 수 있다.<sup>55)</sup>

스마트 네트워크 시스템 애플리케이션의 또 다른 분야는 기존 기술(예 : 라이트 커튼 및 압력 감지 안전 매트)이 적용되는 로봇과 로봇의 작동 영



역에 작업자의 존재를 감지할 수 있는 휴먼-로봇 협업 스탠드(human-robot collaborative stands)에서 안전 및 작업 프로세스를 모니터링 하는 것이다.

스마트 공장의 자동화와 로봇 사용의 증가로 근로자들의 작업 중 위험노출은 감소할 것이다. 그러나 로봇사용의 증가로 인간과 기계의 접점(human-machine interface)은 더욱 복잡하고 모호해질 것이다. 근로자와 관리자가 기술을 과신하게 되면 사고의 위험성은 더욱 증가할 수도 있다. 유해업무에 인간과 로봇이 밀접하게 상호작용하는 작업(Cobot)<sup>56)</sup>이 위험성을 증가시킬 수 있다.

보다 진보된 예는, 로봇의 작업 구역(robot's working zone)에 배치된 무선 주파수 송수신기(radio-frequency transceivers)로 구성된 무선 위치 기반 시스템(radiolocation-based system)을 통해 재해의 가능성을 최소화하는 시스템으로, 전자기장 동요(electromagnetic field perturbations)를 활용하여 작업자의 위치(operator's position)를 확인하고 로봇 이동 궤적(robot movement trajectory)을 안전한 동선으로 최적화 할 수 있다.<sup>57)</sup>

다음으로, 산업 작업 셀(industrial work cells)에서 인간의 안전을 위한 3D 이미지 융합(3D image fusion)의 개발도 언급할 가치가 있다.<sup>58)</sup> 이 시

개인보호장비에  
적용한 웨어러블  
전자장치들은  
작업자를  
위험으로부터 보호할  
수 있는 새로운  
방식들을 제시하고  
있다.

시스템은 작업자와 기계를 둘러싸는 안전지대 개념을 사용한다. 개별 영역(separate personal zones)의 크기와 위치는 이동 방향과 속도에 따라 동적으로 업데이트된다. 영역이 교차할 때 임박한 충돌(Impending collision)을 감지한 다음 기계의 궤도 또는 속도를 수정할 수 있다.

## 결론

정보통신기술(ICT) 기반의 장치를 몸에 착용하는 개인보호장비에 적용한 웨어러블 전자장치들은 작업자를 위험으로부터 보호할 수 있는 새로운 방식들을 제시하고 있다. 웨어러블 디바이스는 디스플레이, 센서, 소프트웨어, 네트워크, 프로세스, 기계 등 다양한 기술이 융합된 복합체로, wBAN(wireless Body Area Network)<sup>59)</sup>을 기반으로 신체에 착용한 기기들을 무선으로 연결해 생체 정보를 측정하고, 착용한 개인보호구가 수집하는 정보를 전송하는 방식으로 산업보건 분야에 활용되고 있다. 기존의 위험으로부터 수동적으로 작업자를 보호하는 개인보호구를 업그레이드 하여, 능동적으로 위험을 감지하게 할 뿐만 아니라 작업자가 위험지역에 접근하는 것을 차단하고, 위험기구로부터 작업자가 부상을 입을 수 있는 경우 위험기구를 즉각 멈추는 것이 가능해지고 있다.

이번에 소개된 새로운 개념과 기능을 갖춘 개인보호구에 대한 내용들이 앞으로 새로운 산업보건의 개념을 창출하게 하는 동기부여와 영감에 긍정적으로 작용하기를 기대한다.

다른 유형의 스마트 재료, 센서 기술 및 웨어러블 전자 장치 및 잠재적인 응용 분야에 대한 자세한 조사와 검토를 앞으로 진행할 것이다. ☞



참고문헌

1. Tao XM. Introduction. In: Tao XM, editor. *Wearable electronics and photonics*. Cambridge (UK): Woodhead in association with The Textile Institute; 2005. p. 1–12.
2. Burchard B, Jung S, Ullsperger A, et al. Devices, software, their applications and requirements for wearable electronics. Paper presented at: *Consumer Electronics, International Conference*; 2001 Jun 19–21; Los Angeles (CA), USA.
3. Marwedel P, editor. *Embedded system design, Embedded systems foundations of cyber-physical systems*. New York (NY): Springer; 2011.
4. Akhras G. Smart materials and smart systems for the future. *Can Mil J*. 2000;08:25–32.
5. Liu H, Darabi H, Banerjee P, et al. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE T Syst Man Cy C*. 2007;37:1067–1080. doi:10.1109/TSMCC.2007.905750.
6. Hennigs C, Hustedt M, Kaierle D, et al. Passive and active protective clothing against high-power laser radiation. *Physics Procedia*. 2013;41:291–301. doi:10.1016/j.phpro.2013.03.081.
7. Kirstein T, Troster G, Locher I, et al. Wearable assistants for mobile health monitoring. In: Van Langenhove L, editor. *Smart textiles for medicine and healthcare, Materials, systems and applications*. Cambridge (UK): Woodhead in association with The Textile Institute; 2007. p.253–275.
8. Mukhopadhyay SC. Wearable sensors for human activity monitoring: a review. *IEEE Sensors J*. 2015;15:1321–1330. doi:10.1109/JSEN.2014.2370945.
9. Mason A, Wylie S, Korostynska O, et al. Flexible e-textile sensors for real-time health monitoring at microwave frequencies. *Int J Smart Sensing Intell Syst*. 2014;7:31–47.
10. Elenko E, Underwood L, Zohar D. Defining digital medicine. *Nat Biotechnol*. 2015;33:456–461. doi:10.1038/nbt.3222.
11. Milici A, Amendola S, Bianco A, et al. Epidermal RFID passive sensor for body temperature, measurements. Paper presented at: *RFID Technology and Application, IEEE Conference*; 2014 Sep 8–9; Tampere, Finland.
12. Witt J, Krebber K, Demuth J, et al. Fiber optic heart rate sensor for integration into personal protective equipment. Paper presented at: *Biophotonics, International Workshop*; 2011 Jun 8–10; Parma, Italy.
13. Taelman J, Adriaensen T, van der Horst C, et al. Textile integrated contactless EMG sensing for stress analysis. Paper presented at: *Engineering in Medicine and Biology Society, 29th IEEE Annual International Conference*; 2007 Aug 23–26; Lyon, France.
14. Forsyth JB, Martin TL, Young-Corbett D, et al. Feasibility of intelligent monitoring of construction workers for carbon monoxide poisoning. *IEEE Trans Autom Sci Eng*. 2012;9:505–515. doi:10.1109/TASE.2012.2197390.
15. Pietrowski P. New PPE system development based on integration of sensors, nanomaterials and ICT solutions with protective clothing – i-Protect project approach. In: Bartkowiak G, Frydrych I, Pawłowa M, editors. *Innovations in clothing technology & measurement techniques*. Łódź: Lodz University of Technology; 2012. p. 174–179.
16. Witt J, Schukar M, Krebber K, et al. Personal protective equipment with integrated POF

- sensors. Paper presented at: Optical fibre sensors, 5th European workshop; 2013 May 20; Cracow, Poland.
17. Voirin G. Working garment integrating sensor applications developed within the PROeTEX project for firefighters. In: Kinder-Kurlanda K, Nihan CE, editors. Ubiquitous computing in the workplace. Cham: Springer; 2015. p.25–33.
  18. Hertleer C, Odhiambo S, Van Langenhove L. Protective clothing for firefighters and rescue workers. In: Chapman R, editor. Smart textiles for protection. Cambridge (UK): Woodhead; 2013. p. 338–363.
  19. Skrifvars M, Syrjala S, Myllari V, et al. The effect of melt spinning process parameters on the spinnability of polyetheretherketone. *J Appl Polym Sci*. 2012;126:1564–1571. doi:10.1002/app.36930.
  20. Guo Z, Hagstrom B. Preparation of polypropylene/nanoclay composite fibers. *Polym Eng Sci*. 2013; 53:2035–2044.
  21. Niedermann R, Wyss E, Annaheim S, et al. Prediction of human core body temperature using non-invasive measurement methods. *Int J Biometeorol*. 2014;58:7–15. doi:10.1007/s00484-013-0687-2.
  22. 비콘은 근거리 위치 인식과 통신 및 신호 기술을 이용해 가까운 범위 안에 있는 사용자 위치를 찾아내는 원리다. 다시 말해 사용자가 '비콘단말기'에서 내보내는 신호 범위 내에 들어가면 '모바일기기의 비콘 애플리케이션'이 신호를 인식하고 사용자의 위치를 파악해 특정 정보를 전달해주는 방식이다. 비콘을 통해 정보를 전달하기 위해서는 블루투스, NFC, 저주파, LED, 와이파이 등의 통신기술의 활용이 매우 중요한데 그 중 비콘에서 가장 많이 사용되는 무선통신 기술은 블루투스 로우 에너지 (Bluetooth Low Energy, BLE)라고 불리는 블루투스 4.0이다.
  23. Pulido Herrera E, Kaufmann H, Secue J, et al. Improving data fusion in personal positioning systems for outdoor environments. *Inf Fusion*. 2013;14:45–56. doi:10.1016/j.infus.2012.01.009.
  24. Schmidt A, Beringer J, Rupp M, et al. Sensor-based personal protective equipment "HORST" for forestry work with power saws. Paper presented at: Future of protective clothing. Intelligent or not? 5th European Conference on Protective Clothing and NOKOBETEF 10; 2012 May 29–31; Valencia, Spain.
  25. Neves CAM, Manuel CRV, Pereira DASPA, et al. Inventors; Steelpro- Engenharia Industrial Lda, assignee. Wearable safety device and system for sawing, cutting and milling machines. WO patent, 2,015,140,770. 2015 Dec 17.
  26. Kumar LA, Vigneswaran C. Electronics in textiles and clothing: design, products and applications. Boca Raton (FL): CRC Press; 2016.
  27. Bartkowiak G, Da\_browska A, W ł odarczyk B. Construction of a garment of an integrated liquid cooling system. *Text Res J*. 2015;85:1809–1816. doi:10.1177/0040517515576324.
  28. Weder M, Hess M. Inventors; Empa Eidgenossische Materialprüfungs- Und Forschungsanstalt, Unico Swiss Text GmbH, assignee. Cooling device. WO patent 2,011,131,718. 2011 Oct 27.
  29. Power vest. Fraunhofer-Gesellschaft Press Release [Internet]. Munich: Fraunhofer-Gesellschaft; <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2015/March/power-vest.html> .



참고문헌

30. Kurczewska A, Le<sup>u</sup>Lsnikowski J. Variable-thermoinsulation garments with a microprocessor temperature controller. *Int J Occup Saf Ergon*, 2008;14:77 – 87. doi:10.1080/10803548.2008.11076751.
31. Han H, Park H, Jeon E. User acceptance of a light-emitting diode vest for police officer. *Fash Text Res J*. 2013;15:834 – 840. doi:10.5805/SFTI.2013.15.5.834.
32. Breckenfelder C, Mrugala D, An C, et al. A cognitive glove sensor network for fire fighters. In: Lopez-Cozar R, Aghajan H, Augusto JC, et al., editors. *Ambient intelligence and smart environments*. Washington (DC):IOS Press; 2010. p. 158 – 169.
33. Ku J-H, Park D-K. Developing safety management systems for track workers using smart phone GPS. *Int J Control Autom*. 2013;6:137 – 148. doi:10.14257/ijca.2013.6.5.13.
34. Aiteanu D, Hillers B, Graser A. A step forward in manual welding: demonstration of augmented reality helmet. Paper presented at: *Mixed and Augmented Reality(ISMAR)*. 2nd IEEE and ACM International Symposium; 2003 Oct 7 – 10; Tokyo, Japan.
35. Wassom B. *Augmented reality law, privacy, and ethics: law, society, and emerging AR technologies*. Waltham (MA): Syngress; 2014.
36. Plum R. The use of auto ID systems for data acquisition: intelligent PPE. *KANBrief*. 2011;3:7 – 8.
37. Kelm A, Lauß at L, Meins-Becker A, et al. Mobile passive radio frequency identification (RFID) portal for automated and rapid control of personal protective equipment (PPE) on construction sites. *Autom Constr*. 2013;36:38 – 52. doi:10.1016/j.autcon.2013.08.009.
38. Owczarek G, Kurczewska A, Gralawicz G. Application of ICT to smart personal protective equipment for safety management in the working environment. Paper presented at: *Working on safety*. 7th International Conference; 2014 Sep 30 – Oct 03; Glasgow, UK. [71]
39. Barro-Torres S, Fernandez-Carames TM, Perez-Iglesias HJ, et al. Real-time personal protective equipment monitoring system. *Comput Commun*. 2012;36:42 – 50. doi:10.1016/j.comcom.2012.01.005.
40. Reiffenrath M, Hoerr M, Gries T, et al. Smart protective clothing for law enforcement personnel. *Mater Sci. Text Cloth Technol*. 2014;9:64 – 68.
41. [네이버 지식백과] 스마트 네트워크 [Smart Network] (IT용어사전, 한국정보통신기술협회). <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2454788&cid=42346&categoryId=42346>
42. [네이버 지식백과] 스마트네트워크 (매일경제, 매경닷컴) <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=20385&cid=43659&categoryId=43659>
43. Zurawski R, editor. *Embedded systems handbook, second edition: networked embedded systems*. Boca Raton (FL):CRC Press; 2009.
44. Jara AJ, Ladid L, Skarmeta A. The Internet of everything through IPv6: an analysis of challenges, solutions and opportunities. *J Wirel Mob Netw Ubiquit Comput Depend Appl (JoWUA)*. 2013;4:97 – 118.
45. Minoli D. *Building the Internet of Things with IPv6 and MIPv6: the evolving world of M2M communications*. Hoboken (NJ): Wiley; 2013.
46. Sammarco JJ, Paddock R, Fries EF, et al. A technology review of smart sensors with wireless

- networks for applications in hazardous work environments. Pittsburgh (PA): National Institute for Occupational Safety and Health; 2007.
47. Nasr E, Shehab T, Vlad A. Tracking systems in construction: applications and comparisons. Paper presented at: 49th ASC Annual International Conference; 2013 Apr 9–13; San Luis Obispo (CA), USA.
  48. Schiffbauer WH, Mowrey GL. An environmentally robust proximity warning system for hazardous areas. Paper presented at: Emerging Technologies. ISA Conference; 2001 Sep 10–13; Houston (TX), USA.
  49. Teizer J, Allread BS, Fullerton CE. Autonomous proactive real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system. *Automat Constr.* 2010;19:630–640. doi:10.1016/j.autcon.2010.02.009.
  50. Petracca M, Bocchino S, Azzara A, et al. WSN and RFID integration in the IoT scenario: an advanced safety system for industrial plants. *J Commun Softw Syst.* 2013;9:104–112.
  51. Hu S, Tang C, Yu R, et al. Intelligent coal mine monitoring system based on the Internet of Things. Paper presented at: Consumer Electronics, Communications and Networks(CECNet), 3rd International Conference; 2013 Nov 20–22; Xianning, China.
  52. Bhattacharjee S, Roy P, Ghosh S, et al. Wireless sensor network-based fire detection, alarming, monitoring and prevention system for bord-and-pillar coal mines. *J Syst Soft.* 2012;85:571–581. doi:10.1016/j.jss.2011.09.015.
  53. Seminatore AA, Ghelardoni L, Ceccarelli A, et al. ALARP – a railway automatic track warning system based on distributed personal mobile terminals. *Procedia Soc Behav Sci.* 2012;48:2081–2090. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1181.
  54. Lian KY, Hsiao SJ, Sung WT. Mobile monitoring and embedded control system for factory environment. *Sensors.* 2013;13:17379–17413. doi:10.3390/s131217379.
  55. Fathallah HE, Lecuire V, Rondeau E, et al. Development of an IoT-based system for real time occupational exposure monitoring. Paper presented at: Systems and Networks Communications (ICSNC 2015). 10th International Conference; 2015 Nov 15–20; Barcelona, Spain.
  56. Cobot (collaboration robots): 인간과 한 공간에서 물리적으로 상호작용하도록 의도된 로봇.
  57. Rampa V, Vicentini F, Savazzi S, et al. Safe human–robot cooperation through sensor-less radio localization. Paper presented at: Industrial Informatics. 12th IEEE International Conference; 2014 Jul 27–30; Porto Alegre, Brazil.
  58. Rybski PE, Anderson–Sprecher P, Huber D, et al. Sensor fusion for human safety in industrial workcells. Paper presented at: Intelligent Robots and Systems. IEEE/RSJ International Conference; 2012 Oct 7–12; Vilamoura, Portugal.
  59. wBAN은 체내 혹은 인체의 주변에서 일어나는 근거리 무선 통신 기술로, 인체를 통신 채널로 사용함.