# 4차 산업혁명과 안전보건

## 스마트 공장의 새로운 안전보건 개념(2)

**김수근**
의학박사
직업환경의학 전문의

## 서론

스마트 공장은 사물인터넷(IoT)과 인공지능을 기반으로 사이버 세계와 물리적 세계가 네트워크로 연결돼 하나의 통합 시스템으로서 지능형 사이버-물리 시스템(Cyber-Physical System; CPS)을 구축하여 운영되는 것이다. 이것은 물리 · 전자 · 생물 시스템들을 융합하는 기술을 통해서 달성된다. 따라서 제조현장에서 근로자를 둘러싼 기존의 생산 시스템 운용방식이 획기적으로 바뀌게 된다.

이에 스마트 공장과 산업안전보건(OSH)과의 연관성을 이해하는 것이 필요하다. 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 코봇, 3D 프린팅 등의 신기술을 적용한 생산시스템으로 변화하면서 작업환경도 다양한 형태로 변화하고 있다.

그러나 스마트 공장이 산업안전보건에 어떻게 영향을 미칠 것인지를 종합적으로 논의한 문건을 찾아보기는 쉽지 않다. 이에 지난 호에 스마트 공장과 산업안전보건의 연관성에 대한 이해를 돕기 위해 일부 개념들을 소개하였다. 이것의 의미는 디지털 기술의 발전이 가져올 광범위한 변화의 전모를 파악하는 데 도움이 될 내용들을 제시하였다는 것이다.

개념을 이해하는 것은 다가오는 기술적 전환을 정확히 인식하고 준비하기 위한 일환이라고 할 수 있다. 정보통신 기반 기술(ICT-based technologies)을 산업안전보건에 적용하는 과제를 이해하고 논의를 하는 데 도움이 될 것이다. 산업안전보건 분야에 정보통신기술 기반 솔루션을 적용하는 수많은 시도가 진행되고 있다. 이와 관련된 컴퓨터 과학의 기초적인 개념과 기술의 진보를 이해하기 위해 필요한 개념을 이번 호에서도 살펴보고자 하였다.

기본개념은 스마트 공장에 적용되는 기술을 이해하기 위해 필요한 개념으로, 산업안전보건 부문과 연관성을 이해하는 데 필요한 것들을 대상으로 하였으며 안전보건관리와 접목되는 용어들을 소개하는 데에 초점을 두었다.

그리고 산업안전보건 관련 4차 산업혁명의 기기로 스마트 재료(Smart Material; SM), 스마트 개인보호장구(Personal Protective Equipment; PPE) 및 스마트 네트워크 시스템(Smart Network System; SNS) 등을 대상으로 한 새로운 개념을 문헌을 통해서 소개하고자 하였다. 작업자의 안전과 건강을 개선하기 위해 다양한 스마트 및 무선 센서 시스템이 이미 개발되어 스마트 작업환경(Smart Work Environment; SWE) 개념의 생성 및 구현을 위한 토대를 제공하고 있다.

## 기본개념

### 1. 인터페이스 기술

인터페이스는 사물의 경계가 되는 부분과 그 경계에서의 통신 및 접속이 가능하도록 하는 매개체를 의미한다. 주로 컴퓨터 분야에서 사용되는 용어

인터페이스는 사물의 경계가 되는 부분과 그 경계에서의 통신 및 접속이 가능하도록 하는 매개체를 의미한다.

이며, I/F로 축약하여 사용하기도 한다. 크게 '하드웨어 인터페이스', '소프트웨어 인터페이스', 그리고 '사용자 인터페이스'의 세 가지로 구분된다.

1) 하드웨어 인터페이스

컴퓨터 등 정보 기기의 하드웨어 간 통신을 위해서 존재하는 입출력 포트의 전기적 연결 장치인 커넥터(connector), 신호의 송수신 방법(프로토콜) 등을 말한다.

2) 소프트웨어 인터페이스

소프트웨어 간 통신을 위해 메시지를 전달하는 방식 등이 결정된 것으로, 다양한 레벨에서 다양한 종류의 인터페이스가 존재한다.

3) 사용자 인터페이스

기계, 특히 컴퓨터와 사용자(인간) 사이의 상호 작용과 정보 교환을 위한 인터페이스로 인간-컴퓨터 상호 작용(HCI : Human-Computer Interaction) 혹은 인간-기계 인터페이스(MMI : Man-Machine Interface)라고도 한다. 사용자 인터페이스는 크게 입력과 출력의 두 가지 방

법을 제공한다. 입력은 사용자가 시스템을 조작하는 방법을 정의하고, 출력은 사용자의 조작에 따라 시스템이 생성한 결과를 제시하는 수단이다. 좋은 사용자 인터페이스는 심리학과 생리학에 기반하여 사용자가 필요한 요소를 쉽게 찾고 사용하며 정확한 결과를 손쉽게 얻어낼 수 있도록 설계해야 한다.

컴퓨터에서의 사용자 인터페이스는 프로그램이 사용자에게 표시되는 그래픽, 텍스트, 음성 정보와 사용자가 프로그램을 제어하는 사용자 제어 시퀀스에 대한 상호 작용 방법을 모두 포함한다. 사용자 인터페이스 종류로는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: Graphical User Interface), 웹 사용자 인터페이스(WUI: Web User Interface), 명령 줄 인터페이스(CLI: Command-Line Interface), 배치 인터페이스(batch interface), 터치 인터페이스(touch interface), 음성 사용자 인터페이스 등이 있다.[1)]

산업안전보건 분야에서는 주로 사용자와 컴퓨터 간의 인터페이스를 의미하는 용어로 사용된다. 스마트 공장의 작업환경에서는 사용자가 주관적인 상황에서 직관적으로 접근할 수 있도록 인터페이스가 구성되어야만 한다. 이에 따라 사용자 경험(UX: User eXperience)[2)]이 중시되고 이를 반영하여 인터페이스를 구현하고 있다. 대표적인 예로는 스마트폰의 인터페이스가 있으며, 별도의 안내서가 없어도 사용자가 어떤 선택을 하는 데 크게 문제가 되지 않도록 구성되어 있다. 이는 사용자가 최적의 경험을 하도록 메뉴가 설계되어 있다는 것을 의미한다. 즉, 인터페이스를 UX 기반으로 설계했다는 것이다. 또한 검색어를 입력할 때 자판뿐만 아니라 음성을 사용할 수 있다는 것도 사용자에게 최적의 경험을 할 수 있도록 인터페이스가 구현되어 있는 예라고 하겠다.

입력하는 순간 뿐만 아니라 컴퓨터가 출력을 할 경우에도 UX를 고려해 구현하는 것이 좋은데 음성합성(voice synthesis)이 그 중 하나이다. 이메일이나 문자 등의 텍스트를 읽을 때, 사용자가 직접 화면에 나타난 텍스트를 읽는 것이 아니라 내용을 음성으로 출력해 준다는 것은 UX 관점에서 매우 좋은 구현이라 하겠다.[3)]

스마트 공장의 작업환경에서는 사용자가 주관적인 상황에서 직관적으로 접근할 수 있도록 인터페이스가 구성되어야만 한다.

### 2. 정보수집 기술

스마트 공장의 컴퓨팅에서는 기본적으로 사물이 정보를 수집하는 작업

이 요구된다. 이러한 정보수집을 담당하는 핵심장치가 센서이다. 센서는 빛, 열, 온도, 습도, 냄새 등 주변의 물리, 화학적인 양을 전기신호로 변환해 나타낸다. 센서는 되도록 크기와 동작에 필요한 전력소모가 작아야 하고 값이 싸야 한다. 좋은 센서를 개발하는 것은 스마트 공장의 컴퓨팅을 구현하는 데 매우 중요한 핵심적 요소 중 하나이다.

### 3. 하드웨어 기술

스마트 공장의 컴퓨팅을 가능하게 하는 하드웨어 기술로서는 장치의 소형화와 전력효율의 향상이 필수적인 요소라 할 것이다. 이러한 기술로 SoC(System on Chip)[4] 기술을 꼽을 수 있다. 원래 하나의 시스템이 동작하기 위해서는 프로세서, 메모리, 통신 관련 부품 등 다양한 부품들을 연결하여 회로를 구현해야 한다. 그러나 SoC는 집적회로를 만드는 기술을 사용하여 시스템을 하나의 반도체칩으로 구현한 것이다. 결과적으로 이는 시스템의 소형화와 전력효율의 향상을 가져오고 부가적으로 생산비용의 감소 효과까지 생기게 된다.

스마트 공장 컴퓨팅을 구현하려면 센서 노드 등의 극소형화가 이루어져야 한다. 이런 극소형 장치를 만들 수 있는 기술로 각광받고 있는 것이 바로 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)[5]이다. MEMS란 미세제조 기술로 극소형의 기계장치 및 전자-기계 부품들을 만들어내는 기술이다.

또 다른 중요한 하드웨어 기술은 바로 배터리이다. 모바일 단말이나 센서 노드와 같은 장치들이 동작하기 위해서는 전원이 필수적인데 중요한 것은 소형화와 지속시간이다. 연구자들은 에너지 밀도가 매우 높은 신개념의 차세대 배터리를 개발하기 위해 지속적인 연구를 진행하고 있다.

스마트 공장의 컴퓨팅을 가능하게 하는 하드웨어 기술로서는 장치의 소형화와 전력효율의 향상이 필수적인 요소라 할 것이다.

### 4. 네트워크 기술

스마트 공장에서는 엄청난 분량의 데이터가 네트워크를 통해 실시간으로 전송될 수 있어야 한다. 이를 위해서 백본망(backbone network)으로는 광대역의 초고속망이 제공되어야 할 것이며 가입자망의 속도도 광대역 서비스가 가능해야 할 것이다. 스마트 공장 컴퓨팅은 근본적으로 사물 인터넷을 요구한다. 이는 네트워크를 이용해 통신하는 개체들의 수가 비약적으로

증가한다는 것을 의미한다. 따라서 IPv4[6]의 주소 체계로는 전혀 수용할 수 없음이 명백하다. IPv4에 비해 길이가 4배인 IPv6의 주소 체계를 사용함으로 주소 부족의 문제는 해결할 수 있다. 그 외에도 IPv6는 보안, 품질관리(QoS: Quality of Service) 등을 고려한 처리가 가능하도록 더 좋아진 기능들을 제공하고 있다.

스마트 공장에서 비교적 넓은 영역에 퍼져서 위치하는 시스템에서는 RFID 리더나 센서에서 수집한 정보를 서버에 효율적으로 전달하는 것이 중요하다. 이런 작업을 성공적으로 해내기 위해 등장한 것이 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network; USN)[7]이다. USN에는 센서 노드(sensor node)와 싱크 노드(sink node)가 존재한다. 센서 노드들은 자신이 수집한 정보와 다른 센서 노드로부터 전송받은 정보를 싱크 노드에 자신보다 더 가까운 위치에 있는 센서 노드에게 전달한다. 모든 센서 노드들이 반복해서 이를 수행하면 결국 모든 정보는 싱크 노드에 모이게 된다. 싱크 노드는 수신된 정보를 USN 게이트웨이(gateway)로 전송한다. 게이트웨이는 기존의 기간 네트워크를 통해 서버에게 정보를 전달하게 된다.

스마트 공장에서 비교적 넓은 영역에 퍼져서 위치하는 시스템에서는 RFID 리더나 센서에서 수집한 정보를 서버에 효율적으로 전달하는 것이 중요하다.

### 5. 근거리 무선전송 기술

스마트 공장을 구성하는 수많은 센서 노드들을 서로 연결하는 네트워크는 무선 기술만이 현실적인 방안이 될 수 있다. 근거리 무선전송 기술에서 근거리의 개념이 이론적으로 확정된 것은 없다. 일반적으로 100m 이내의 전송거리를 갖는 경우를 근거리로 지칭하고 있다. 이 범주에 포함되는 기술로는 무선 LAN, 블루투스(bluetooth), 그리고 지그비(zigbee) 등이 있다.

#### 1) LAN

무선 LAN은 WiFi[8]라고 부르기도 한다. 다수의 컴퓨터들이 유선 TCP/IP 네트워크에 연결된 접속장치(AP: Access Point)에 무선으로 접속하여 네트워크에 연결할 수 있도록 하는 규격이다.

무선 LAN의 전송거리는 보통 실내에서는 20~30m, 실외에서는 최대 100m 정도이다. 근거리 무선전송 기술 중에서는 도달거리가 매우 긴 만큼 전력소모도 심해 초소형 기기에는 사용하기 힘들다.

100m 이내의 전송거리를 갖는 경우를 근거리로 지칭하고 있다. 이 범주에 포함되는 기술로는 무선 LAN, 블루투스, 그리고 지그비 등이 있다.

2) 블루투스

블루투스는 규격상 1대 다수의 통신이 가능하지만 실제로는 1:1 통신을 위한 방식으로 보아도 큰 문제는 없다. 블루투스는 2.45GHz 대역의 주파수를 사용하여 현재 최고 24Mbps의 전송속도를 제공하고 있다. 일반적으로 블루투스는 10m 이내의 가까운 거리에서만 통신이 가능한 것으로 여겨져 왔는데 최근에는 저전력 동작 기술이 도입되어 최대 100m 까지 동작이 가능하다고 한다.

3) 지그비

지그비는 소량의 데이터 전송을 목적으로 저가, 저전력, 보안성을 갖춘 기술이다. 가격이 블루투스보다 저렴하고 기본적으로 매쉬 네트워크를 구성해 동작하기 때문에 스마트 공장에서 센서들의 통신에 사용되기에 적절하다. 지그비의 통신거리는 보통 10m 정도로 보나 최대 100m 정도까지도 가능하다.

### 6. RFID(Radio-Frequency IDentification) 기술

RFID(Radio-Frequency Identification) 기술이란 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. RFID는 태그(tag), 리더(reader) 그리고 서버(server)로 구성된다. 식별하고자 하는 대상 개체에 태그를 부착하는데 태그에는 데이터를 입력, 저장할 수 있기 때문에 여기에 개체를

식별하거나 개체 관리에 필요한 정보를 저장해 둔다. 리더는 전파를 이용한 무선통신으로 태그에 저장되어 있는 정보를 읽어낼 수 있는 장치이다. 리더는 읽어들인 정보를 네트워크를 통해 연결된 서버에 전송하게 된다.

태그는 안테나와 집적 회로로 이루어지는데, 집적 회로 안에 정보를 기록하고 안테나를 통해 판독기에게 정보를 송신한다. 이 정보는 태그가 부착된 대상을 식별하는 데 이용된다. 쉽게 말해, 바코드와 비슷한 기능을 하는 것이다. RFID가 바코드 시스템과 다른 점은 빛을 이용해 판독하는 대신 전파를 이용한다는 것이다. 따라서 바코드 판독기처럼 짧은 거리에서만 작동하지 않고 먼 거리에서도 태그를 읽을 수 있으며, 심지어 사이에 있는 물체를 통과해서 정보를 수신할 수도 있다.

RFID 기술은 상품의 생산 이력을 추적하는 데서부터 여권이나 신분증 등에 태그를 부착해 개인 정보를 수록, 인식하는 데까지 폭넓게 쓰인다. 건물의 출입을 통제하는 시스템도 RFID를 이용하고 있다.

### 7. 비콘(beacons) 기술

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 '모바일 기기의 비콘 애플리케이션'이 신호를 인식하고 사용자의 위치를 파악해 특정 정보를 전달해 주는 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.

그동안 가장 잘 알려진 비콘 기술은 위치인식을 기반으로 O2O(Online to Offline, 온 · 오프라인연계) 플랫폼과 연계해 소매점 근처를 지나치거나 방문했을 때 스마트폰의 콘텐츠 푸시 기능으로 사용자가 관심 있어 하는 물건 정보를 알려주는 기능이다.

이 외에도 비콘은 실내 근거리 위치 인식과 통신기술을 이용해 병원이나

RFID기술이란 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. RFID는 태그, 리더 그리고 서버로 구성된다.

야구장 안에서 길을 안내해주는 이정표 서비스를 제공하고 박물관과 전시관 안에서 전시품을 지나칠 때 실시간으로 해당 작품 설명을 해주기도 한다.

더 나아가 비콘에 온습도 센서, 가속도 센서 등을 탑재시키면 스마트 제조시설, 스마트 농장, 스마트 리테일 등의 산업현장, 헬스케어, 운송업, 재해 방지, 고속도로 등에서 유용하게 사용될 수도 있다.

비콘은 사물과 상황인식(Object & Context Awareness), 콘텐츠 푸시, 실내위치 측위, 자동 체크인, 지오펜스(GeoFence) 등의 응용 서비스를 바탕으로 여러 산업에서 다방면으로 활용 가능하다. 현재 비콘 기술 중 가장 많이 사용되는 기술인 위치측위는 크게 체크포인트(Check Point), 존(Zone), 실시간 위치(Track) 방식 등 3가지 방식으로 구현된다. 체크포인트 방식은 비콘 한대의 신호를 받아서 그 위치를 통과한 경우 그 대상물이 위치를 통과한 정보를 기록하는 것으로 RFID 태그가 RFID 리더를 통과했을 때의 위치정보를 확인하는 방식이다.

건설회사에서는 건설 현장에 설치된 각종 센서 비콘을 활용해 위험 상황을 미리 인지할 수 있는 '안전 모니터링'을 실시하고 있다. 가스 센서는 산소 농도와 일산화탄소 등 유해가스 농도를 실시간으로 파악하고 위험을 감지하면 근로자들이 차고 있는 스마트 워치 등을 통해 대피 명령을 내리게 된다. 비콘 송신기는 실내에서 GPS보다 정교하게 스마트폰 이용자의 위치를 파악하기 쉽기 때문에 센서 기능을 결합시키면 재난 상황에서 활용도가 더욱 높다.

따라서 센서 비콘은 평소에 웰컴서비스나 쿠폰, 안내 등으로 이용되다가 건물이나 리조트, 선박 등에서 불이 나거나 배가 15~30도로 기우는 긴급 상황이 발생할 경우 자동으로 재난 모드로 바뀌어 경보음을 울리고 실시간으로 안전한 탈출 경로와 대처 요령을 안내할 수 있다.[9)]

## 개인보호구(PPE)에 내장된 스마트 재료

스마트 재료란 외부환경 변화(압력, 온도, 수분, pH, 전기 또는 자성 등)에 의해 조절 가능한 정도 내에서 현격한 변화를 가져오는 한 가지 이상의

특성을 가진 소재를 말한다. 스마트 재료는 기존의 재료들이 단지 주어진 환경변화를 수동적으로 견딘다는 한계를 넘어서 생물체처럼 환경에 반응한다는 점에서, 앞으로 급격한 작업환경 변화에 따른 요구를 만족시킬 수 있는 특성을 가질 것으로 기대되고 있다.[10-11]

스마트 재료는 크게 수동형 스마트 재료와 능동형 스마트 재료로 나누어 볼 수 있고, 이중 후자는 환경 변화를 감지할 수 있는 센서와 반응할 수 있는 액츄에이터로 구성되어 있다. 스마트 재료의 응용분야는 무척 많은데, 그중 일부를 간추리면 다음과 같다.[12]

- 혈당량을 측정하고 인슐린 펌프를 작동하는 스마트 의료기
- 비행 속도와 받는 압력에 따라 모양을 바꾸어, 연료를 적게 쓸 수 있도록 하는 스마트 비행기 날개
- 오줌에 있는 요소를 검사하여 건강상태를 알려주는 스마트 변기
- 우주에서 중력이 없어짐에 따라 나타나는 문제를 해결해줄 수 있는 스마트 구조
- 사람의 활동이나 기후에 따라 알맞게 반응하는 주택용 전자 색채 유리(electrochromatic window)
- 강한 스매싱이나 드롭샷을 할 때마다 적절히 반응하는 스마트 테니스 라켓
- 전기장에 반응하는 스마트 근육
- 형상기억 합금으로 만든 스마트 치과 재료
- 소음을 잡아내고, 그 원인을 제거하여 잠수함이나 배가 적의 레이더에 감지되지 않도록 하는 스마트 추진력 시스템
- 독성물질을 감지하여 제거하는 스마트 정수기 시스템

한편, 현재까지 스마트 재료가 가장 많이 개발, 응용된 곳은 자동차 분야이다. 그러나 앞으로 자동차 뿐만 아니라 다른 여러 분야에서도 더 많은 시스템이 개발될 것이다.

1) **수동형 스마트 재료**(passively smart materials)

수동형 스마트 재료는 외부 환경이 달라짐에 따라 적당한 방법으로 반응하는 재료를 말한다. 이 재료는 자기가 갖는 특성을 향상시키기 위해 외부

비콘을 활용하면 사물과 상황인식, 콘텐츠 푸시, 실내위치 측위, 자동 체크인, 지오펜스 등의 응용 서비스를 바탕으로 여러 산업에서 다방면으로 활용 가능성을 가지고 있다.

장(external force)이나 힘, 또는 피드백 시스템을 갖고 있지 않다는 점에서 능동형 스마트 재료(actively smart materials)와 다르다.

- 부분 안정화 지르코니아
- 유리–세라믹 복합체도 섬유(fiber)
- 세라믹 배리스터
- 산화아연 배리스터
- PTC(Positive Temperature Coefficient) 서미스터
- 바륨 티타네이트 PTC

### 2) 능동형 스마트 재료(actively smart materials)

- 우주 공간의 플랫폼에 사용되는 진동 제동기 (vibration-damping system)
- 강유전 세라믹 센서와 액츄에이터를 이용한 자동차 충격완화 시스템
- 강유전 세라믹을 이용한 파친코 기계
- 비디오 테이프 헤드 포지셔너(video tape head positioner)
- 콘크리트의 균열이 진행할 때, 이를 억제할 수 있는 자기복구 스마트 재료[13]

스마트 재료가 가장 많이 개발, 응용된 곳은 자동차 분야이다. 그러나 앞으로 다른 여러 분야에서도 더 많은 시스템이 개발될 것이다.

능동형 스마트 재료는 센서와 액츄에이터로 구성된다.

(1) 센서

- 화학적인 변화를 감지할 수 있는 ZnO
- 2상 p–형 반도체 복합체(2–phase composite of a p–type semiconductor)로 만든 화학센서(chemical sensor)
- 전도성을 갖는 고분자, 절연성을 갖는 고분자 기지에 전도성 필러(filler)를 채운 복합체
- 광섬유 등

(2) 액츄에이터

- 피에조 재료(piezoelectric materials)
- 일렉트로스트릭티브 재료(electristrictive materials)
- 형상기억 합금
- 열조절 가능재료(thermally controllable materials)
- 전자레올로지 액체(electrorheological, ER, fluid) 등

가장 많이 쓰이는 네 가지 그룹을 살펴보면 다음과 같다.[14]

| | |
|---|---|
| 형상기억 합금 | 형상기억합금은 어떤 온도에서 원래 가지고 있던 모양을 회복하는 특성을 가지며, 가장 유명한 것은 니티놀(Nitinol)이라는 재료다. |
| 피에조 재료 | 이 재료는 전압에 따라 수축과 팽창을 할 수 있다. 이때 수축과 팽창 정도는 1% 미만이지만 반응속도가 대단히 빠르기 때문에 광소자, 마그네틱 헤드, 로봇, 잉크젯 프린터 등 많은 분야에 쓰인다. PZT가 가장 많이 쓰인다. |
| 일렉트로스트릭티브 재료 | 이 재료는 피에조 재료와 비슷한 특징을 갖지만 전기장보다는 자기장에 반응한다는 특징을 갖고 있다. 희토류인 터비움을 함유한 터페놀 D(Terfenol–D)라는 재료가 대표적인 것으로 약 0.1%정도 팽창할 수 있고, 고출력 소나 전환기(high–power sonar transducer), 모터, 수력 액츄에이터(hydraulic actuator) 등에 쓰인다. |
| 전자 레올러지 액체 | 이 재료는 액체안에 작은 입자를 포함하고 있으며, 전기장이나 자기장에 따라 이 입자들이 반응하면서 액체의 점성을 바꾸어 놓는다. 응용분야는 댐퍼(tunable damper), 진동차단 시스템, 로봇의 팔, 브레이크나 클러치 같은 내마모 소자 등에 쓰인다. |

스마트 재료는 센서와 액츄에이터가 발전하면서 크게 각광을 받을 것으로 보인다. 또 스마트 재료는 복잡한 물리현상을 추적할 수 있게 해주며, 시간에 따른 환경의 변화를 측정, 저장할 수 있도록 해줄 것이다.

### 3) 개인보호장비에 활용

스마트 재료는 기술적 진보(technological progress)와 스마트 개인보호구 애플리케이션(smart PPE applications) 분야의 확장에 필수적인 역할을 기대할 수 있다. 센서와 액츄에이터(sensors and actuators) 둘 다로 작동 할 수 있는 재료를 구현하면 기존 재료(traditional materials)를 사용하여 얻을 수 없었던 완전히 새로운 특성으로 개인보호장비(PPE)를 기능화할 수 있다.

#### (1) 온도조절용 스마트 재료

예를 들어 개인보호장비에 온도 조절 특성(thermoregulation properties)을 제공한다. 열응력 관리(managing thermal stress)에 상변화 물질(Phase Change Materials; PCM)과 초흡수성 중합체(Super-Absorbing Polymers, SAP)가 사용된다. 상변화 물질(PCM)은 특정 온도 범위(specific temperature range)에서 잠열(latent heat) 형태로 일정량의 열을 저장하고 방출할 수 있다.[15)]

이 능력은 예를 들어 불침투성 보호복(impermeable protective clothing)의 사용과 관련된 온열 불편(thermal discomfort)을 줄이기 위해 온도 조절 조끼(thermoregulation vest)에 사용되어 왔다.[16] 온열 및 한랭 작업환경에서의 작업에도 사용된다.[17–18]

(2) 땀 흡수용 스마트 재료

초흡수성 중합체(Super-Absorbing Polymers; SAP)는 극히 다량의 액체를 흡수하고 유지할 수 있다.[19] 그래서 사람의 감각에 큰 영향을 미치는 피부에 생기는 땀을 방지하기 위해 촘촘한 보호복 아래 초흡수성 중합체 인레이(SAP inlays)로 사용한다.[20]

침투 방지 보호 신발(permeation-resistant protective footwear)에 깔창용 섬유 복합 재료(textile composite materials)를 개발하기 위해 초흡수성 중합체(SAP)가 사용되기도 한다.[21]

(3) 스마트 재료로 마감한 섬유

섬유 재료를 기능성을 갖춘 기술 섬유(technical textile)로 전환시키는 것은 섬유용 마감 화학 물질(finishing chemicals)에 의해 달성될 수 있다.[22] 스마트 마감재료를 적용한 섬유소재는 개인보호장비(PPE)에 사용할 수 있다.

스마트 재료를 개인보호구에 적용하면, 새로운 기능을 갖춘 개인보호장비 제작이 가능하다. 그것들은 스마트 개인보호장비에서 태양 전지로서 사용된다.

(4) 개인보호장비의 다양한 기능 창출

스마트 재료를 개인보호구에 적용하면, 새로운 기능(novel functionalities)을 갖춘 개인보호장비(PPE) 제작이 가능하다. 예를 들어 특정 광학(광기전 효과, photovoltaic effect), 기계적(압전-전기, piezo-electricity) 또는 열적(제벡 효과, seebeck effect) 자극의 결과로 전기를 생성하는 스마트 재료를 적용할 수 있다. 그것들은 스마트 개인보호장비(PPE)에서 태양 전지(solar cells)로서 사용된다.[23] 또한, 몸의 움직임으로 인한 변형[24]이나 인체와 환경 사이의 온도 구배(temperature gradient)로부터 수집된 전기의 원천(source of electricity)이 된다.[25]

스마트 재료의 또 다른 그룹은 전류에 의해 전원이 공급될 때 광학(일렉트로크로미즘, electrochromism), 기계적(전기 변형, electrostriction), 화학적(전해, electrolysis) 또는 열적 특성(펠티에 효과, Peltier effect)이 변화하는 반응을 한다.[26] 이러한 특성을 갖춘 스마트 재료를 사용하여 냉각-가열 보호복(cooling - heating protective clothing)[27]의 작동기(actuators) 또는 헬멧 장착형 디스플레이(Helmet Mounted Displays; HMD)를 기반으로 한 사용자 인터페이스용(user interfaces)으로 사용된다.[28]

그러나 이러한 스마트 재료의 올바른 기능을 위해서는 다른 요소(예 : 전원, 센서 및 제어 장치)가 필요하다. 따라서 이 스마트 재료 그룹은 일반적으로 자율 솔루션으로 사용되지 않지만 개인보호장비(PPE)에 내장된 정보통신기술 기반 시스템(ICT-based systems)의 일부로 사용된다.

다음 호에서도 스마트 공장의 산업안전보건관리에 새롭게 제시되는 개념들을 연속해서 소개하고자 한다.

참고문헌


1. [네이버 지식백과] 인터페이스 [interface] (두산백과).
   https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2837557&cid=40942&categoryId=32828
2. 사용자 경험(UX, User eXperience): 사용자가 어떤 기관, 서비스, 제품 등과의 상호작용 속에서 겪게 되는 총체적인 경험을 의미한다.
3. [네이버 지식백과] 유비쿼터스 컴퓨팅 [Ubiquitous Computing] (학문명백과 : 공학, 김교일)
   https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2073340&cid=44414&categoryId=44414
4. 시스템 온 칩(SoC, System on Chip): 시스템을 하나의 반도체 칩에 구현한 것 또는 그렇게 구현된 칩을 의미한다.
5. MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems): 미세제조 기술을 이용하여 극소형의 기계 및 전자 부품을 만들어내는 기술을 말한다.
6. Internet Protocol version 4(IPv4)는 인터넷 프로토콜의 4번째 버전이다. 전 세계적으로 사용된 첫 번째 인터넷 프로토콜로, IETF(인터넷 표준화 기구) RFC 791(1981년 9월)에 문서화되어 있다. 또한 IPv6를 제외하고, 현재 인터넷에서 사용되는 유일한 프로토콜이다. 한편 인터넷 프로토콜(IP : Internet protocol)은 인터넷상의 한 컴퓨터에서 다른 컴퓨터로 데이터를 보내는 데 사용되는 프로토콜을 일컫는다. 인터넷상의 각 컴퓨터, 즉 호스트들은 다른 컴퓨터와 구별될 수 있도록 적어도 한 개 이상의 고유한 주소를 갖는다. IPv4의 주소체계는 네 개로 나눠진 최대 12자리의 번호로 이뤄져 있다. 예를 들면, '210.113.39.224'이다. 32비트로 이뤄진 IPv4는 최대 약 40억 개의 서로 다른 주소를 부여할 수 있다. 그러나 기하급수적으로 늘어나는 사용자 수요를 감안할 때, 현재 사용되고 있는 IPv4 체계로는 계속해서 요구되는 인터넷 어드레스 수요를 충족시킬 수 없다. 이에 따라 128비트 주소체계를 갖는 IPv6가 등장하였으며, IPv6를 연동 · 실험시킬 수 있는 실험망으로 1996년 Bob Fink 등이 주축이 되어 6Bone이라는 가상망을 만든 바 있다. [네이버 지식백과] IPv4 (시사상식사전, pmg 지식엔진연구소)
7. 유비쿼터스 센서 네트워크(USN, Ubiquitous Sensor Network): 비교적 넓은 영역을 대상으로 분산배치된 센서들이 주변의 온습도 등 정보를 수집하여 이를 처리하는 서버로 송신하는 네트워크를 말한다.
8. 비교적 좁은 지역에서 고성능 무선통신을 가능하게 하는 통신 기술.(예시) WiFi를 이용하려면 WiFi를 지원하는 지역에 있어야 하며, 컴퓨터에는 무선 랜 카드와 무선 랜 카드를 위한 드라이버가 설치되어 있어야 한다. 집이나 회사에서는 무선 공유기를 사용하면 WiFi를 사용할 수 있다. 여러 무선 랜 기술 중에서 가장 많이 쓰이는 기술로 WiFi가 설치되면 컴퓨터끼리의 통신뿐만 아니라 스마트폰도 데이터 통신을 할 수 있게 된다. 요즘에는 무선 외장 하드 디스크에서도 WiFi 기술을 사용하기도 한다.[네이버 지식백과] WiFi [Wireless Fidelity] (소프트웨어 어휘다지기 – 초등)
9. 이나리 기자. 진화된 비콘 기술, 일상생활 · 산업 '스마트'하게 바꾼다. 테크월드. 2016.09.06 http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=66249
10. http://drm.kist.re.kr/cerapedia/product/hjc002.html
11. Akhras G. Smart materials and smart systems for the future. Can Mil J. 2000;08:25 – 32.
12. Robert E. Newnham and G. R. Ruschau, "Smart Electroceramics," Am. Ceram. Soc. Bull., 75 [10] 51–61 (1996).
13. Carolyn M. Dry, "Smart Building Materials which Prevent Damage or Repair Themselves," pp 311–314, in Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol 276, Ed. A. P. Jardine, G. C. Johnson, A. Crowson and M. Allen, Materials Research Society, Pittsburgh, Pennsylvania (1992).

## 참고문헌


14. Craig A. Rogers, "Intelligent Materials", Scientific American, [9] 154–161 (1995).
15. Mondal S. Phase change materials for smart textiles – an overview. Appl Therm Eng. 2008; 28:1536–1550. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009.
16. Bartkowiak G, Da˛browska A, Marszał ek A. Analysis of thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic tests. Text Res J. 2013;83:148–159.
doi:10.1177/0040517512460299.
17. McCarthy LK, di Marzo M. The application of phase change material in fire fighter protective clothing. Fire Technol. 2012;48:841–864. doi:10.1007/s10694–011–0248–3.
18. Gao C. Phase change materials (PCMs) for cooling or warming in protective clothing. In:Wang F, Gao C, editors. Protective clothing: managing thermal stress. Cambridge(UK): Woodhead; 2014. p. 227–249.
19. Horie K, Baron M, Fox RB, et al. Definitions of terms relating to reactions of polymers and to functional polymeric materials (IUPAC Recommendations 2003). Pure Appl Chem. 2004;76:889–906. doi:10.1351/pac200476040889.
20. Bartkowiak G. Liquid sorption by nonwovens containing superabsorbent fibres. Fibres Text East Eur. 2006;14:57–61.
21. Irzma"Lnska E, Brochocka A. Influence of the physical and chemical properties of composite insoles on the microclimate in protective footwear. Fibres Text East Eur. 2014;5:89–95.
22. Paul R, editor. Functional finishes for textiles: improving comfort, performance and protection. Cambridge (UK): Woodhead; 2015.
23. Li K, Zhen H, Niu L, et al. Full–solution processed flexible organic solar cells using low–cost printable copper electrodes. Adv Mat. 2014;26:7271–7278. doi:10.1002/adma.201403494.
24. Rocha JG, Goncalves LM, Rocha PF, et al. Energy harvesting from piezoelectric materials fully integrated in footwear. IEEE Trans Ind Electron. 2010;57:813–819. doi:10.1109/TIE.2009.2028360.
25. Leonov V. Thermoelectric energy harvesting of human body heat for wearable sensors. IEEE Sens J. 2013;13:2284–2291. doi:10.1109/JSEN.2013.2252526.
26. Mattila HR, editor. Intelligent textiles and clothing. Cambridge (UK): Woodhead in association with The Textile Institute; 2010.
27. Paul G, Gim E,Westerfeld D. Battery powered heating and cooling suit. Paper presented at: Systems, Applications and Technology. IEEE Conference; 2014 May 2; Farmingdale (NY), USA.
28. Demiryont H, Shannon K, Isidorsson J, et al. All solid state electrochromic device for helmet–mounted displays. Paper presented at: Head– and helmet–mounted displays XIII: design and applications. SPIE Conference; 2008 Mar 17–18; Orlando (FL), USA.