

4차 산업혁명과 안전보건

스마트공장의 작업조직과 안전보건



김수근

의학박사
직업환경의학 전문의

서론

스마트공장(Smart Factory; 지능형 공장)은 설계, 개발, 제조, 유통, 물류 등 생산 전체 과정에 정보통신기술(ICT)을 적용하여 생산성, 품질, 고객 만족도 등을 향상시킬 수 있는 지능형 공장이다. 제조의 전 과정을 자동화·지능화하여, 최소의 비용 및 시간으로 제품을 생산한다.¹⁾ 과거부터 존재한 공장자동화(Factory Automation)의 연장선상에 있으며, 생산시설을 무인화하고 관리를 자동화한다는 공통점이 있다. 그러나 공장자동화는 단위 공정별로만 최적화가 이뤄져 있어 전체 공정이 유기적이라고 보기 어려운 반면, 스마트공장은 전후 공정 간 데이터를 자유롭게 연계할 수 있어 총

체적인 관점에서 최적화를 이룰 수 있다.²⁾ 사이버 물리 시스템(CPS: Cyber Physical Systems)을 이용하여 실제와 똑같이 제품 설계 및 개발을 모의 실험하여 자산의 사용을 최적화하고, 공장 내 설비와 기기 간에 사물인터넷(IoT)을 설치하여 실시간 정보를 교환하게 함으로써 생산성을 증가시키고 돌발 사고를 최소화한다. 그리고 제품 위치, 재고량 등을 자동 감지하여 인적·물적 자원 절감 등 공장의 효율성을 향상시킨다.¹⁾

기존의 공장이 생산설비에 대한 중앙 집중식 통제였다면 스마트공장은 기기와 기기 사이, 기기와 인간 사이에 센서와 사물인터넷으로 연결되어 다양한 정보의 교류가 존재한다.

데이터가 실시간으로 수집·분석되어 공장 내 모든 상황들이 일목요연하게 보여지고, 이를 분석해 목적된 바에 따라 스스로 제어할 수 있다. 즉, 스마트공장은 인간, 기계, 자원이 사회망을 통해 서로 자연스럽게 대화를 나누게 하며, 스마트제품을 생산한다. 공장이 스스로 판단하고 이에 따라 작업을 수행할 수 있는 지능화된 공장이다.

스마트공장의 특징은 다음과 같이 제시할 수 있다.³⁾

- **연결성:** 스마트공장에는 ICT와 제조업 기술이 융합해 공장 내 장비, 부품들이 연결되어 상호 소통을 한다.
- **유연성:** 다품종 복합(대량/소량) 생산이 가능한 유연한 생산체제를 갖추고 있다. 스마트공장의 디지털 생산시설은 이제까지의 생산자 중심에서 소비자와 수요자 중심의 생산체제로 변경되어 개방형 제조 서비스를 통한 개인 맞춤 생산을 한다.
- **지능성:** 변화하는 여건에 따라 스스로 의사결정을 내림으로써 능동적으로 대응한다.

제조 현장의 무인화와 자동화가 빠르게 진행되고, 사람과 기계 간의 상호 작용으로 다양한 작업형태가 창출되고 있다. 정보통신기술의 발달에 따라 원격조정 방식의 공장 운영 및 작업현장 관리가 가능해지고 있다.⁴⁾ 이와 같은 스마트공장의 작업 조직(Work Organisation)과 안전보건 문제를 살펴보고자 한다.

스마트공장의 모습과 주요 기술

스마트(Smart)란 대상물이 사람다워지는 경우라고 할 수 있으며 이를 위해서는 3가지 특징적 요소를 갖게 되는 것이 일반적이다. 첫째, 사람의 피부와 같이 외부의 변화를 감지할 수 있는 감지(Sensor) 기능이고, 둘째, 사람이 갖고 있는 두뇌의 역할로 감지된 변화를 판단해 어떤 조치가 이루어지도록 조절(Controller)하는 기능이다. 마지막은 판단에 따라 결정된 실행 방식이 조치되게 하는 기능으로 근육의 역할을 수행(Actuator)한다. 같은 맥락으로 스마트공장(Smart Factory)은 이러한 3가지 기능이 적용되어, 각각의 기능이 일체화된 사람처럼 유기적으로 연계되어 동작하는 공장을 의미한다고 볼 수 있다. 스마트공장의 성공적 정착을 위해서는 일반적으로 'Sensor → Controller → Actuator' 기능의 순환적 구조를 갖추는 것이 효율적이다.⁵⁾

스마트공장은 현장이 아닌 공간에서도 가상현실(VR)을 통해 공장에 이상이 있는지 점검하는 것을 지향한다. 과거처럼 뒤늦게 공장에 문제가 생긴 것을 발견해 손실이 커지는 것을 미연에 방지할 수 있다. VR로 공장 내부를 들여다보고 있지 않더라도 걱정할 필요가 없다.

인공지능(AI)이 이를 알려주기 때문이다. AI는 공장 내부에 어떤 문제가 원인이 되어 불량품이 생산됐는지부터 해결책까지 상세하게 제시해 준다. 인력을 현장에 투입해 원인 규명 및 해결책을 마련하기 위한 시간과 노력을 들일 필요가 없어지게 되는 것이다.

AI 기술이 더 발전하면 직접 원인을 해결할 수 있는 능력도 갖추게 된다. 또한, 실시간 각 변할 수 있는 고객의 요구에 따라 생산 모듈을 빠르게 변화시키는 것도 스마트공장을 구축하면 결코 어렵지 않다. 물론 이처럼 고도화된 스마트공장의 모습은 아직은 먼 미래의 얘기이고 다양한 핵심기술이 구현되어야 구축이 가능하다.⁵⁾

초기의 스마트공장은 바코드 등을 이용해 직원들이 일일이 정리하던 공장 내 생산 실적 등 기초적인 정보를 일정 수준까지 자동으로 집계할 수 있다. 또 이를 모기업과도 공유한다. 물류 관리 측면에서는 자재와 제품 생산

이력을 관리해 역추적이 가능하다. 이를 통해 공장 내부나 모기업에서 보다 효율화된 생산 실적 관리, 또는 작업 지시를 내릴 수 있다. 제품 개발과 납기 일정 등 중요한 정보를 전사적으로 공유할 수 있는 시스템이 갖춰진 상태라고 보면 된다.

여기서 발전한 것이 공장 운영의 자동화가 시작되는 단계다. 단순한 생산 실적뿐만 아니라 수많은 설비 정보를 자동으로 획득할 수 있다. 이를테면 측정 센서를 통해 인장 강도나 정밀도, 온도·습도의 신뢰성 높은 정보를 모기업과 공유할 수 있다. 이를 활용한 이점은 상당하다. 매 순간마다 공정 품질 분석이 가능해지고 문제 발생 시 신속한 의사결정을 내리게 한다.

즉, 공장 운영 현황을 실시간으로 파악할 수 있게 되는 셈이다. 자동화가 더 진행되면 이전 수준보다 더 발전된 기술이 적용되어 설비 정보는 기본이고 이를 자동으로 실시간 제어할 수 있다. 제품 역시 시물레이션을 가동해 오차 없이 생산되는지 여부를 미리 확인해 볼 수 있다. 즉, 최적화된 제품 생산 환경 조성이 가능해진다.

스마트공장을 구축하기 위해선 '9대 기술을 적용해야 한다'는 쪽으로 점차 그 의견이 모아지는 추세다. 현재 언급되는 '9대 기술'은 산업용 사물인터넷(IIoT), 사이버 물리 시스템(CPS), 클라우드 컴퓨팅, 가상현실(VR)·증강현실(AR), 빅 데이터, 인공지능(AI), 5G, 스마트 머신을 꼽을 수 있다. 각각의 기술들은 서로 유기적으로 작용하며 비로소 모든 제조업체들이 목표로 하는 스마트공장의 모습을 만들어 낸다. 각각 기술별로 스마트공장에서 수행하는 역할들을 살펴보자.

스마트 공장 구축을 위한 9대 기술

- ① 산업용 사물인터넷(IIoT)
- ② 사이버 물리 시스템(CPS)
- ③ 클라우드 컴퓨팅
- ④ 가상현실(VR)
- ⑤ 증강현실(AR)
- ⑥ 빅 데이터
- ⑦ 인공지능(AI)
- ⑧ 5G
- ⑨ 스마트 머신

먼저 IIoT는 사물인터넷(IoT)의 산업용 버전이다. IoT와 같이 사물에 센서를 부착해 실시간으로 데이터를 인터넷으로 주고받는 기술은 같다. 다만 산업용 목적에 중점을 두고 IoT보다 센서의 응답성이 뛰어나다. 공장에서 어떤 특정 설비를 작동한다고 가정해 보자. 해당 설비는 1초 만에 응답해야 정확하게 제품을 생산할 수 있다. 하지만 일상생활에서 사용하는 것이 목적인 기존의 IoT는 중간에 연결이 지연되거나 반응속도가 느려 응답 시간이 지연될 가능성이 높다.⁵⁾ 공장은 센서의 응답 속도가 단 1초만 지연되더라도

생산 과정에서 심각한 문제가 생길 수 있다. 즉 IIoT는 이런 부분을 보완한 산업용 IoT다. 이를 구축해 전체 공급망의 효율성과 생산성을 향상시킬 수 있다. 사람과 기계가 조화롭게 작업하도록 돕는 역할도 한다.

생산방식의 혁신적인 변화는 사이버 물리 시스템이 주도하고 있다. 사이버 물리 시스템(CPS)은 사이버상에서 공장을 가상으로 가동해 보는 시스템이다. 스마트공장에서는 CPS를 돌려 가동률 등을 미리 예측한다. 문제점이 발생하면 보완할 수도 있다. 최적화된 설비와 인력의 배치 또한 CPS를 이용해 결정할 수 있다.⁶⁾ 이 기술은 물리 시스템이 사이버 시스템처럼 움직이도록 하기 때문에 인간의 의도적 명령이나 명시적 개입 없이도 부품들과 기계·설비들이 스스로 상호작용할 수 있게 된다는 것을 의미한다. 부품뿐만 아니라 공장의 기계설비 자체가 하나의 CPS로서 기능하게 된다.

공장에서 모든 직원들이 숙련된 기술자라면 좋겠지만 실상은 그렇지 못하다. VR·AR은 이런 부분을 보완하는데 유용하게 쓰인다. 구현을 위해서는 공장 각 설비마다 바코드를 부착해야 한다. 스마트 글라스를 쓴 뒤 바코드를 바라보면 자동으로 이를 인식해 설비에 대한 정보가 눈앞에 펼쳐진다. 한 기계가 일정 시간 동안 얼마나 많은 작업 결과물을 만들어 냈고 제대로 움직이고 있는지 등에 대한 것들이다. 이를 바탕으로 비숙련 기술자도 빠른 판단과 선택을 할 수 있다. 비숙련 기술자들이 기계 조작에 어려움을 겪을 때도 도움이 된다. 스마트 글라스를 착용하고 기계를 비추면 사무실 내부에서 해당 영상을 뜨게 할 수 있어 숙련 기술자들이 원격으로 업무 지시를 내릴 수 있다.⁶⁾

로봇으로 대표되는 스마트 머신 역시 스마트공장의 한 축을 담당하는 중요한 요소다. 스마트공장에 배치된 로봇은 과거와 비슷한 단순 작업 위주의 역할을 부여받는다. 사람이 같은 작업을 반복하면 실수하기 마련인데 로봇은 그렇지 않기 때문이다. 이전과 다른 점이 있다면 스스로 판단할 수 있는 능력을 갖춘 것이다. 자신이 언제 정비가 필요한지 등을 체크해 정보를 전달하며 미리 대비할 수 있게 해준다.

또 사람에게 기계가 닿으면 자동으로 멈추는 기능을 갖춰 위험하지도 않다. 라인의 구성을 자유롭게 바꿀 수 있는 것도 장점이다. 유연한 생산 체계

공장 내에서 IIoT와 CPS, 스마트 머신 등이 각자 역할을 해내며 생겨나는 정보들은 모두 빅데이터에 저장된다. 빅데이터는 클라우드 컴퓨팅을 통해 플랫폼화되고 시는 이를 활용해 보다 신속하고 완벽한 의사 결정에 기여한다.



를 갖출 수 있게 한다. 스마트 로봇이 탑재된 스마트 머신은 각각의 라인을 레고 블록처럼 쉽게 넣었다 뺐다. 몇 개의 라인만 교체하면 갑자기 고객의 요구가 변하더라도 여기에 맞춰 새로운 형태의 제품을 생산할 수 있다.⁶⁾

이처럼 공장 내에서 IIoT와 CPS, 스마트 머신 등이 각자 역할을 해내며 생겨나는 정보들은 모두 빅데이터에 저장된다. 빅데이터는 클라우드 컴퓨팅을 통해 플랫폼화되고 AI는 이를 활용해 보다 신속하고 완벽한 의사 결정에 기여한다.⁶⁾

CPS 등을 통한 시뮬레이션 결과는 100% 정확하지 않다. 약 90% 정도의 정확도를 보이는데 나머지 10%의 오차는 클라우드 컴퓨팅에서 플랫폼화된 정보를 토대로 AI가 책임지고 해결한다. 어떤 제품이 불량인지에 대한 정보를 데이터를 활용해 수집한 뒤 AI에 입력하면 AI는 불량 제품이 나올 때마다 실시간으로 이를 발견한다.

더 나아가 문제가 되는 부분을 파악하고 보다 최적화된 결과물을 CPS에 전달한다. CPS는 이를 기반으로 다시 시뮬레이션을 돌리는 작업을 반복하며 보다 뛰어난 생산품을 만들어낼 수 있는 환경을 만든다.⁶⁾

5G는 앞으로 스마트공장의 성패를 좌우할 핵심으로도 지목된다. 각종 설비를 포함한 사물이 데이터를 생산하게 되면 이를 전송하기 위해선 지금보다 빠르고 정확한 연결망이 요구된다.⁶⁾ 더 나아가 향후엔 직원들의 건강 상태 등을 점검하는 방향으로 발전할 것으로 예상된다.

주요 기술의 영향과 안전보건

빅 데이터(Big data), 사물인터넷(Internet of Things), 사이버 물리 시스템(Cyber Physical Systems), 컴퓨터 네트워크(Computer networks), 코보틱스(Cobotics), 인공지능(Artificial Intelligence) 및 컴퓨터 시뮬레이션(Computer Simulations)이 작업조직에 미치는 변화와 영향(긍정적 또는 부정적)에 논의가 필요하다.

다음 <표 1>은 이러한 기술의 도입과 관련된 일부 사항을 요약한 것이다.⁷⁾

<표 1> 스마트공장과 관련된 기술의 잠재적 영향

기술	장점	단점
빅 데이터	- 무제한 데이터 수집 - 불확실성 감소 - 행동 분석 및 오류 예측을 위한 용량 향상	- 데이터 신뢰성 하락 - 데이터 선택 기준 불확실 - 개인 데이터 기밀성 하락
사물인터넷 사이버-물리적 시스템	- 장비/기계 및 검출기 간의 상호 작용과 비정상적인 상황의 검출 개선 - 프로세스 모니터링 및 제어 개선 - 원격 모니터링 및 제어	- 네트워크 신뢰성 하락 - 사이버 보안 침해 우려
코보틱스	- 유연성 및 접근성 향상	- 작업자의 신뢰성, 근접성 및 작업자의 상호 작용의 예측 불가능 장치들 - 표준 부재
인공지능	- 위험 요소 학습 및 신속한 인식 - 시기적절하게 의사 결정	- 불확실한 신뢰성 - 잠재적 변이 - 표준 부재
시뮬레이션	- 작업 시나리오 및 방법의 평가 및 비교 개선 - 원천 예방	- 모델의 신뢰성 및 견고성 불확실

먼저 산업안전보건(OHS)에 대한 영향 측면에서 6가지 기술 범주의 잠재적 장점과 단점을 간략하게 살펴보는 것이 도움이 된다. 단점은 산업 환경에서 업무상 부상이나 질병으로 이어질 수 있는 긴급 위험 요소가 될 수 있으며, 따라서 산업안전보건의 성과(OHS Performance)가 감소할 수 있다.

1. 스마트공장의 경영환경과 인력

Kaivo-Oja 등⁸⁾은 사물인터넷, 빅 데이터 및 기타 스마트공장의 기술

요소들(로봇, 인공지능 등)이 조직의 경영 관행(Managerial Practices)에 미치는 영향을 연구했다. 저자들은 조직의 관리, 조직 및 지식경영관행(Knowledge Management Practices)에 대하여 살펴보기 위해 사물인터넷(IoT), 빅 데이터 및 유비쿼터스 혁명과 같은 기술요소들을 생산강화(Reinforcing production) 수단으로 간주하지만, 새로운 기술들은 우리에게 향상된 건강, 편의성, 생산성, 안전 및 사람과 조직에 대한 더 유용한 데이터, 정보 및 지식과 같은 많은 변화를 약속한다고 하였다.

잠재적인 단점들은 개인의 사생활에 대한 도전, 지나친 기대감, 우리를 당황하게 하는 기술적 복잡성 증가 등을 제시하였다. 저자들은 이러한 변화는 경영, 리더십, 조직의 관점에서 과학적인 논의(Scientific Discussion)를 필요로 한다는 것이다. 즉, 기존 전통적인 경영과학(Management Science)과 관련하여 이러한 도전들의 의미를 진지하게 논의할 때가 되었다.

로봇공학, 인공지능, 자동화 기술 분야의 최근 변화는 모든 종류의 지능과 스마트함을 증가시키고 있으며 조직문화(Organizational Cultures)를 빠르게 변화시킬 것이다. 조직 프로세스(Organizational Processes)는 지식기반 의사결정(Knowledge-based Decision Making)을 형성한다. 빅 데이터의 활용처럼 스마트 솔루션을 개발하고 활용하는 것은 개방형 시스템 사고의 중요성을 강조한다. 예를 들어 디지털화된 서비스는 서비스 제공자와 사용자 사이에 새로운 인터페이스를 생성할 수 있다.

서비스 사용자는 공동생산활동(Co-producing Activities)에 참여하는 동안에 사회적 가치를 창출한다. 따라서 사물인터넷(IoT)과 빅 데이터는 서비스 주도형 로직(Service-Dominant-Logic)에 통합된 조직 간 서비스 생산, 서비스 경제, 조직간 혁신(Innovativeness in-between Organizations) 및 리더십 모델에서 참여의 역할을 강화한다. 게다가 사물인터넷, 빅 데이터, 특히 디지털화는 의사결정에 있어서 지식의 르네상스를 가져온다.

조직차원(Organizational Level)에서는 지식생산(Knowledge Production)에 의존하지 않고 지식통합(Knowledge Integration)에 초점을 맞춘다. 지식통합은 관리 시스템의 핵심 부분이 된다. 이것은 또한 의사



결정 및 지식경영(Knowledge Management)에 관한 중요한 이론이 더 이상 충분하지 않다는 것을 의미한다. 조직차원에서는 디지털화(Digitalization)와 관련된 복잡성으로 인해 예측하기 쉽지 않고 비선형적인 상황(Non-linear Situations)의 변화에 대처하여 활동할 수 있는 능력을 개발할 필요성이 증가하고 있다.

사물인터넷과 빅 데이터는 확실히 조직에 영향을 미친다. 스마트공장이 확산되면 노동자는 대량생산 작업의 수행자에서 기계의 감독자로 변화하게 될 것이다. 독일의 유명한 글로벌 건설회사 롤랜드버거는 이를 '육체 작업자(Physical Worker)'에서 '디지털 감독자(Digital Supervisor)'로 변화하게 될 것이라는 설명으로 표현한다<그림 1>.

작업자는 로봇과 각종 센서로 부터 작업현황을 파악할 수 있게 되기 때문에 육체적 작업은 최소화하게 되고, 다른 작업들을 동시에 수행할 수 있는 작업자의 여력이 생긴다. 또한 산업 인터넷으로 연결된 각종 센서들은 IoT(Internet of Things) 기술과 접목하여 공정의 각종 데이터를 실시간으로 모니터링하고 통합 분석할 수 있는 여건을 마련해 주고 있다. 인공지능 기술이 접목되면 공정 이상치, 품질불량 가능성을 사전에 파악하여 작업자에게 알려주거나 자동으로 대처할 수 있게 될 것이다.⁹⁾

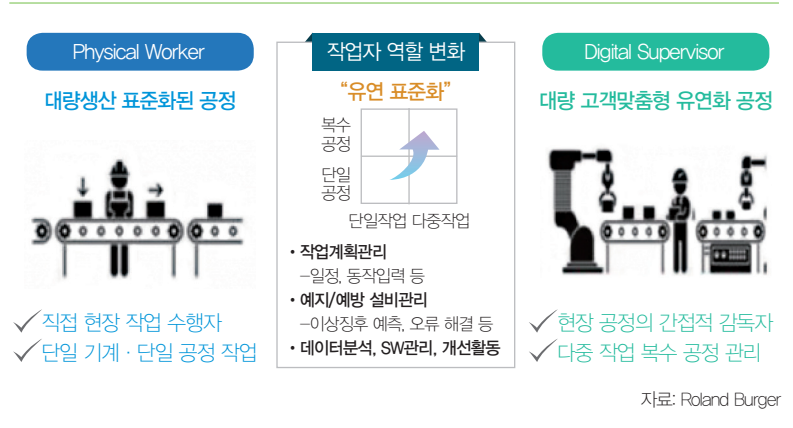
현장에서 조업하던 작업자는 이제 전체 생산일정과 로봇에 동작을 입력하는 작업계획관리 업무를 주로 하게 된다. 또한 공정작업뿐만 아니라 각종

스마트공장에서는
 자율성과 다양성을
 요구한다. 각 부품들이
 독자적인 기능과
 목적을 가지고
 다른 부품이나
 기계·설비들과
 상호작용하듯이,
 조직구성원들도
 독립적이고 자율적인
 주체로서 자신의
 역할을 수행할 수
 있도록 해야 한다.

센서와 데이터 분석 결과를 받아서 설비의 고장을 사전에 예지(Prediction)하거나 예방(Prevention)하기 위해 소프트웨어를 변경하는 보전업무(Maintenance)를 동시에 수행하게 될 것이다. 작업자가 정보기술을 활용하여 데이터를 분석하고, 설비 소프트웨어의 오작동을 현장에서 교정하거나, 설비 자체의 개선 활동을 적극적으로 수행하게 되면 명실공히 지식근로자-전문가로 대접받는 시대가 될 것이다. 따라서 기업이 스마트공장을 도입하여 직무 변화가 이뤄진다면, 이를 수용할 수 있도록 구성원을 준비시켜야 할 필요가 있다.

전사적으로 기술 변화에 따른 인력운영 계획을 수립하고 이에 따른 인력의 단계적 전환 배치를 통해 안정적인 변화 과정을 다져나가야 한다.⁹⁾ 스마트공장 도입으로 자동화에 따라 현장 노동자는 스마트 설비를 조작하고 운영 현황을 모니터링 하는 기계의 관리자로서 역할을 수행하게 될 것이다.

〈그림 1〉 스마트공장에서 노동자의 역할 변화



출처: 천성현, 스마트 팩토리, 제조업 혁신과 인력운영 이슈, 월간 HR Insight, 2017년 04월호
http://www.hrinsight.co.kr/view/view.asp?bi_pidx=26405&in_cate=109

스마트공장의 인사조직 측면에서 가장 두드러진 특징은 역시 분권화(Decentralization)다. 이것은 중앙통제시스템이 더 이상 유효하지 않게 되었다는 의미다. 명령과 통제, 지시와 복종이 먹히던 수직적 계급구조로는 생산성 향상을 더 이상 기대할 수 없게 되었다는 것이다. 지금까지는 중앙집권형의 계획과 실행으로 이어지는 타율성과 획일성이 특징이었으나, 스마

트공장에서는 자율성과 다양성을 요구한다. 각 부품들이 독자적인 기능과 목적을 가지고 다른 부품이나 기계·설비들과 상호작용하듯이, 조직구성원들도 독립적이고 자율적인 주체로서 자신의 역할을 수행할 수 있도록 해야 한다. 이러한 역할 수행은 타율적인 명령과 통제에 의한 피라미드형 수직구조에서는 불가능하다. 네트워크형 수평구조 속에서 자신의 재능을 맘껏 발휘할 수 있는 환경으로 바뀌어야 한다.

끝으로 일자리는 자연스럽게 축소될 것이다. 직업이 없는 사람들이 더욱 많아질 것이므로 이를 위해 사회적 해결책을 마련해야 한다. 지금까지와는 전혀 다른 상황이 도래할 때, 옛 것은 지나갔으나 아직 새로운 가치관과 조직운영 패러다임이 도래하지 않은 상태에서는 무질서가 발생하며 급속히 생산성이 떨어지게 된다. 이럴 때 우리에게 인간과 조직에 대한 철학적 성찰이 필요하다. 그 성찰에 기초하여 우리 사회의 시스템을 새롭게 정비해야 한다.¹⁰⁾

기업은 현장 작업 변화로 인해 생겨난 여유 시간에 기술 지식에 대한 역량 향상과 각종 설비 관련 자격증을 취득할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다. 그 결과 현장 노동자들은 설비를 연구하여 각종 개선 아이디어를 창출하고 새로운 공정을 제안하고 장착하는 혁신 추진자, 지식 노동자로 변신하게 될 것이다. 사람과 기계가 협업하기 위해 IT 지식과 역량, 데이터 처리 및 분석 기술, 공정 구조 이해, 설비 및 로봇 조작 스킬을 반드시 갖춰야 한다. 더 나아가 전 공정과 전 기술을 이해하고 융합하여 문제해결을 할 수 있는 역량도 중요하다.⁹⁾

앞으로 스마트공장은 기업 경쟁력은 높이고 노동자에게는 안전보장과 휴식을 보장하는 사람 중심의 제조 현장으로 발전하여야 할 것이다. 또한 스마트공장에서는 안전 향상, 업무강도 경감, 고용안정 등을 노동자가 체감할 수 있어야 할 것이다. 기업은 노동자의 작업 효율과 안전 향상을 위하여 협동로봇, 자동화 설비 등을 연계하고, 노동자와 협업 가능한 협동로봇을 도입하여 위험 작업 등을 자동화 설비로 대체하는 경우에는 기존 작업자를 새로운 직무에 배치할 수 있도록 직무 개발 및 교육도 지원하여야 한다. 정부는 이러한 기업에 대한 지원을 계획하고 실행하는 것이 필요하다. 스마트

인간과 조직에 대한
철학적 성찰이
필요하다. 그 성찰에
기초하여 우리 사회의
시스템을 새롭게
정비해야 한다.

공장은 모든 노동자와 시민 누구나 건강하고 풍요롭게 살아갈 수 있도록 운영 방안이 계획되고 시행되어야 한다.

2. 스마트공장의 안전보건 기술

최근 지능형 센서(Intelligent Sensors), 사물인터넷, 사이버 물리 시스템(Cyber Physical Systems) 및 컴퓨팅의 발전으로 인해 산업안전보건(OHS)에 대한 수많은 애플리케이션이 시도되었다. 최근 문헌 검토¹¹⁾에서는 이러한 기술을 사용하는 광범위한 개인보호장치(Personal Protective Devices, PPD)를 보여준다. 이런 종류의 지능형 장치(Intelligent Devices)의 사용은 분명히 작업방법을 변경시켰고 생산 공정에 복잡성을 더했다. 이러한 초기 문제에 대한 해결책으로서, 이 논문의 저자들은 새롭고 보다 개인화된 동적 위험관리 패러다임(Personalized and Dynamic Risk Management Paradigm)에 기초한 좀 더 역동적인 산업안전보건 개념 체계를 제안하였다.

전자 및 정보통신기술(ICT) 분야의 역동적인 발전과 최근의 센서 기술의 발전으로 실제 물체 및 환경의 다양한 물리적, 화학적 또는 공간적 특성을 파악하기 쉽고 결과를 신뢰할 수 있으며 비교적 저렴한 비용으로 측정할 수 있는 상태가 되었다. 이러한 진보로 인해 주변 지능(Ambient Intelligence, AI), 스마트 환경(Smart Environment, SE), 사이버 물리 시스템(Cyber Physical Systems, CPS), 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing), 광범위한 컴퓨팅(Pervasive Computing)과 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 등의 용어로 문헌에 나타나고 있는, 다소 중복되고 상호 관련성이 있는 새로운 개념의 출현을 촉발시켰다. 언급된 개념은 현재 산업 4.0(Industry 4.0) 및 스마트공장과 같은 새로운 제조 개념(New Manufacturing Concepts)과 직업안전보건(OSH)과 관련된 다양한 다른 탐사 분야를 포함하여 생명과 인간 활동의 모든 부문과 영역을 정복하기 시작하고 있다.

일반적으로 ICT 분야의 혁신은 업무와 생활의 질에 긍정적인 영향을 미치며, 사람과 시스템의 기능적 성과 향상으로 이어지고, 현대사회에서 심오한 변혁에 기여한다.¹²⁻¹³⁾ AmI 및 IoT 개념의 개발과 함께 OSH 분야에서



도 혁신적인 ICT 애플리케이션을 적용하려는 시도가 있었다. 건강과 생명에 직접적인 위험이 발생할 수 있는 상황에서 새로운 스마트 재료(Smart Materials, SM) 및 웨어러블 전자장치(Wearable Electronics)가 장착된 개인보호 장비(Smart PPE)를 이용해서 노동자를 보호하려는 것이다. 이는 일반적으로 구조 작업 중, 열악한 환경 또는 복잡한 위험이 존재하는 작업장에서 수행되는 활동이 포함된다.

우선, 새로운 센서 기술(New Sensor Technologies)은 소음, 유해물질노출, 방사선 및 고온 또는 저온과 같은 유해위험요인을 실시간으로 모니터링하여 산업안전보건(OSH)을 개선할 수 있는 수많은 가능성을 제공한다.¹³⁻¹⁴⁾

또한 ICT 애플리케이션을 통해 위험식별 및 위험관리와 관련된 산업안전보건(OSH)관리의 다른 주요 기능을 용이하게 할 수 있다. 이러한 기능은 주요 생리학적 매개 변수(예: 체온, 심박수, 호흡률 등)를 측정하여 노동자의 건강 상태; 작업 쾌적성(Work Comfort) 모니터링(예: 속옷 온도 및 습도, 작업 자세); 잠재적으로 위험한 물체 또는 위험이 높은 지역에 대한 노동자의 지리적 위치; 개인보호구(PPE)에 의해 제공되는 전류보호레벨 모니터링; 노동자가 사용하는 개인보호구(PPE)의 서비스 수명 종료 감지; 위험한 상황이 발생할 경우 노동자에게 경고 제공; 고위험 임계값을 초과한 후 보호 시스템의 활성화 등을 모니터링하는 것 등이다.

동시에 작업환경 관리에서 개인보호구(PPE)의 역할이 바뀌기 시작했

새로운 센서 기술(New Sensor Technologies)은 소음, 유해물질노출, 방사선 및 고온 또는 저온과 같은 유해위험요인을 실시간으로 모니터링하여 산업안전보건(OSH)을 개선할 수 있는 수많은 가능성을 제공한다.

작업환경관리에서
개인보호구의 역할이
바뀌기 시작했다.
위험에 대한 수동적
보호 수단으로
사용되는 것 외에도
개인보호구는
작업환경 매개변수,
작업자의 건강 상태
및 작업장 공간에서의
위치를 모니터링하기
위한 센서 캐리어로
사용되기 시작했다.

다. 위험에 대한 수동적 보호 수단으로 사용되는 것 외에도 개인보호구는 작업환경 매개변수(Work Environment Parameters), 작업자의 건강상태(Worker's Health Status) 및 작업장 공간에서의 위치(Location in the Workplace Space)를 모니터링하기 위한 센서 캐리어로 사용되기 시작했다. 또 다른 추세는 개인보호구(PPE) 모듈에 신호 시스템을 통합하는 것(Incorporating Signalisation Systems)과 관련이 있으며, 이는 작업자에게 경고, 예를 들어 위험 발생에 대한 정보 또는 이를 피하는 방법에 대한 지침을 표시할 수 있게 한다.

또한, 증강현실(Augmented Reality, AR) 기술을 기반으로 하는 이러한 임베디드 시스템(Embedded Systems, ES)은 유지 보수, 수리 또는 용접과 같이 고도로 전문화된 작업에 유용한 정보를 작업자에게 제공할 수 있다. 또한 개인보호구(PPE)의 보호성능 수준을 모니터링하기 위해 웨어러블 전자장치를 적용할 수 있으며, 이는 특정 작업장의 현재 위험요소를 고려한다. 이러한 기능을 통해 환경요인의 영향으로 발생할 수 있는 개인보호구(PPE)의 보호 매개변수 변경을 식별하고 예측할 수 있다. 또한 스마트 물질(SM)을 개인보호구(PPE) 품목에 내장하면 보호 및 유틸리티 매개 변수를 빠르게 변경할 수 있을 뿐만 아니라 환경조건 및 개별 작업자의 요구 사항에 따라 속성을 능동적으로 조정할 수 있다.

다른 한편으로, 작업환경에서 새로운 ICT 기술의 구현은 작업방법을 변경하고, 신호를 수신·처리하면서 일정 정도의 불확실성으로 특징지을 수 있는 새로운 사물 및 복잡한 시스템을 도입함으로써 중대한 변화를 이끌어낸다. 결과적으로, 감지기에서 그러한 시스템은 사용자의 기대에 따라 작동하지 않을 수 있으며 예상치 못한 고장과 결과를 초래할 수 있다. 따라서 ICT 기반 응용 프로그램이 빠르게 증가하면 새로운 위험이 발생할 수 있으며, 기존 산업안전보건(OSH) 솔루션 및 규칙이 유효하지 않을 수 있다. 이 때문에 유럽 직장안전보건기구(EU-OSHA)와 유럽 직업안전보건연구 파트너십(PEROSH)은 보고서를 통해 스마트 작업 환경에서 작업자의 안전과 건강을 보장하는 시스템을 만들기 위한 첨단 ICT 솔루션을 사용할 수 있는 가능성을 탐구하기 위한 연구를 수행한다. 이것은 스마트 작업 환경(SWE) 및 이러한 솔루션이 다양한 기술 수준, 인지 능력 및 심리 상태를 가진 작업

자에게 미치는 영향을 분석해야 하는 이유이다. ¹³⁻¹⁴⁾

산업안전보건(OSH) 분야의 고급 ICT 솔루션 구현과 스마트공장 개념의 출현으로 기존의 산업안전보건법 적용의 장애(Maladjustment of existing laws and practices)가 나타나고, 특히 산업안전보건(OSH) 위험평가에 대한 기존의 접근방식이 적합하지 않은 상황이 발생하고 있다. 즉, 스마트 기술이 채택된 곳에서는 실시간 위험탐지 및 위험 모니터링, 상황 인식 및 개인별 위험평가 등이 새로운 방식으로 가능하게 되었다. 따라서 기존의 정적 위험관리모델이 스마트한 작업환경(SWE)에서는 불충분하다.

이에 Podgorski, D 등¹¹⁾은 스마트 개인보호구(PPE)를 착용한 노동자와 SWE 내에서 안전보건관리 기능을 구현하는 사이버 물리 시스템(CPS) 인프라가 있는 작업장과 관련하여 산업안전보건(OSH) 위험관리를 설명하는 개념 틀을 제안하고 있다. 또한, SWE에서 산업안전보건(OSH) 위험을 효과적으로 관리할 수 있는 사이버 물리 시스템(CPS)을 구축하는 것을 목표로 하여, 추가로 활용하고 연구할 수 있는 최첨단 개념(State-Of-The-Art Concepts), 스마트 재료(Smart Material, SM), 기술 및 고급 ICT 기반 솔루션에 대한 개요를 제공하고 있다.¹¹⁾ 마지막으로, CPS와 SWE의 구현과 관련된 몇 가지 실질적인 문제를 논의하고, 유비쿼터스 안전의 비전을 제안하고 있다.¹¹⁾

결론

현재의 자동차 제조 과정은 컨베이어 벨트로 구성된 어셈블리 라인에서 부품들이 조립되고 완성품으로 거듭나 공장을 떠난다. 이미 100년 전부터 거의 모든 공장은 이런 어셈블리 라인을 거쳐 제품을 만들었다. 1970년대부터 본격적으로 컴퓨터가 만들어지고 자동화가 진전되었지만, 어셈블리 라인에 따라 제조공정이 이루어지는 것은 마찬가지였다. 스마트공장에서는 CPS기술에 의해 부품과 기계장치들이 스스로 의사소통하여 인간의 필요를 채워줄 수 있다면 부품과 기계장치들이 마치 생명이 있는 것과 같은 자율성을 부여받는 셈이 된다. 부품 자체가 하나의 CPS가 되며 기계 설비들도 하

스마트공장에서
노동자들은 ‘육체
작업자(Physical
Worker)’에서
‘디지털 감독자
(Digital Supervisor)’로
변화하게 될 것이다.

나의 CPS가 된다. 이렇게 되면 부품들과 공장 설비들이 스스로 상호 작용하면서 완제품으로 변화해간다.

스마트공장은 기술, 프로세스 및 조직 특성의 혁신적인 변수에 의해 특장지어지며 기존의 직업 위험, 새로운 위험(New and Emerging Risks, NER)을 발생시킬 수 있다. 이로써 노동자와 기업에 새로운 과제가 생기고, 나아가 높은 수준의 안전과 건강을 보장하는 정치적 요구, 행정적, 기술적 접근 방식이 만들어진다.¹⁵⁾

스마트공장에서 노동자들은 ‘육체 작업자(Physical Worker)’에서 ‘디지털 감독자(Digital Supervisor)’로 변화하게 될 것이다. 조직과 경영환경의 변화가 생산성 향상과 고객만족도 증진뿐만 아니라 노동자에게는 안전보건과 휴식을 보장하는 사람 중심의 제조현장으로 바뀌는 방향으로 발전하여야 할 것이다.

스마트공장에서는 안전 향상, 업무강도 경감, 고용안정 등을 노동자가 체감할 수 있어야 할 것이다. 아울러 산업안전보건(OSH) 분야의 고급 ICT 솔루션 구현으로 스마트공장의 안전보건 분야에서 위험관리를 위한 사이버 물리 시스템(CPS)를 구축하는 것을 목표로 한 연구가 필요하다. 🍷



1. [네이버 지식백과] 스마트공장 [Smart Factory] (IT용어사전, 한국정보통신기술협회).
<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3548875&cid=42346&categoryId=42346>
2. 전시현 기자. 스마트 팩토리, 공장자동화와 다른 점 5가지, 인더스트리뉴스, 2018.05.24.
<https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=23949>
3. Autodesk. 스마트 팩토리. <https://www.autodesk.co.kr/solutions/smart-factory>
4. 오원섭. [특별기고] 4차 산업혁명과 산업안전 전략, 한국건설신문 2017.07.28.
<http://www.conslove.co.kr/news/articleView.html?idxno=46492>
5. 김역, 김승택. Deloitte operational excellence services. 유연 생산 체계를 구현하는 Smart Factory: 생산 전략의 효과적 운용 방안.



https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-anjin-review/04/kr_insights_deloitte-anjin-review-04_08.pdf

6. 한경매거진, '스마트공장'을 움직이는 9가지 핵심기술. 2018.9.11.

https://www.demo-factory.kr/data/file/V2_510/990824306_u2xXcNDG_f711f75ff387d660c5e86a41d806a31ffa244e8c.pdf

7. Adel Badria,b, Bryan Boudreau-Trudelc, Ahmed Saadeddine Souissid. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Safety Science 109 (2018) 403–411.

8. Kaivo-Oja, J., Virtanen, P., Jalonen, H., Stenvall, J., 2015. The effects of the internet of things and big data to organizations and their. knowledge Management Practices. Lect. Notes Business Inform. Process. 224, 495–513.

9. 천성현. 스마트 팩토리, 제조업 혁신과 인력운영 이슈, 월간 HR Insight. 2017년 04월호 http://www.hrinsight.co.kr/view/view.asp?bj_pidx=26405&in_cate=109

10. 최동석. 독일 인더스트리 4.0이 인사조직에 끼치는 영향. 2016. 5.

<https://brunch.co.kr/@tschoe56/86>

11. Podgorski, D., Majchrzycka, K., D?browska, A., Gralewicz, G., Okrasa, M., 2017. Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies. Int. J. Occup. Safe. Ergon. 23 (1), 1–20.

12. Aly S, Pelikán M, Vrana I. A generalized model for quantifying the impact of ambient intelligence on smart workplaces: applications in manufacturing. J Ambient Intell Smart Environ. 2014;6:651–673.

13. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Priorities for occupational safety and health research in Europe: 2013–2020. Bilbao: EU-OSHA; 2013.

14. PEROSH. Sustainable workplaces of the future – European research challenges for occupational safety and health. Brussels: PEROSH (Partnership for European Research on Occupational Safety and Health); 2012.

15. EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work). European Risk Observatory. <https://osha.europa.eu/en/riskobservatory>.

1) 지식경영 : 조직구성원 개개인의 지식이나 노하우를 체계적으로 발굴하여 조직 내의 보편적 지식으로 공유함으로써, 조직 전체의 문제해결 능력을 비약적으로 향상시키는 경영방식이다. 즉, 지식경영은 조직 내 지식의 활발한 창출과 공유를 제도화시키는 것을 목표로 한다. 지식이란 기술과 정보를 포함한 지적 능력과 아이디어를 총칭하는 훨씬 광범위한 개념이며, 표현되지 않은 무형의 지식을 포함해서 조직체가 보유한 모든 가용한 지식을 공유해 업무처리의 효율성을 높이고, 신제품 개발 및 시장 대응력을 높여 기업 경쟁력을 갖추는 데 조직의 지식을 이용할 수 있다고 본다.(네이버 지식백과, HRD 용어사전, 2010. 9. 6., (사)한국기업교육학회)