

4차 산업혁명과 안전보건

스마트공장과 안전보건위험관리



김수근

의학박사
직업환경의학 전문의

서론

디지털 경제, 디지털 사회를 지향하며 시작된 4차 산업혁명(또는 산업발전 4.0, Industry 4.0)의 물결은 최근 들어 더욱 가속도가 붙고 있다. 생산성을 높이고 생산 공정을 더욱 유연하게 하는 스마트공장, 그리고 인간과 협업이 가능한 스마트머신 등으로 진화하고 있다. ICT를 접목한 생산 시스템의 변화는 제조 혁신에서 근로 환경의 혁신으로, 더 나아가 일자리 창출로 이어지고 있다. 덕분에 수기 작업, 야근, 특근 등을 줄일 수 있어 스마트 공장은 미래 지향적이면서 사람 지향적인 방향으로 발전하며 제조업에 새로운 생명을 불어넣고 있다.¹⁾

인간과 로봇이 공존하고 생산시설이 자동화되고 있는 이 새로운 시대는 우리 삶의 형태를 바꾸고 산업구조와 생산방식의 변화도 가속시키고 있다. 스마트공장에서는 생산성 및 품질 향상, 납기 단축, 매출 상승, 판로 확대, 수출 증대, 근로 환경 개선, 일자리 창출 등의 가시적인 성과가 표출되고 있다. 그러나 이러한 변화는 예견하지 못한 위험요인을 품고 있다. 4차 산업혁명에서 작업자의 건강과 안전을 희생하면서 새로운 도구와 검증되지 않은 산업 모델을 구현할 위험이 있다.²⁾

작업자와 기계 간의 상호작용과 협업의 증가가 Industry 4.0의 근간이지만,³⁾ 이는 단순히 인간-기계 제어 인터페이스(human-machine control interfaces)가 아니라 복잡한 작업을 보다 신속하게 완료하기 위한 새로운 작업 공유 방법(sharing tasks)을 의미한다.⁴⁻⁶⁾

AI 로봇의 위험성이나 태양광발전소의 전기저장장치(ESS) 화재 등과 같은 위험이 발견되고 있는데 이에 대한 위험성 평가나 안전대책 등에 대한 검토는 적극적으로 이뤄지지 않고 있다. 변화가 심한 미래 일터의 안전을 확보하기 위해서는, 안전보건 전문가는 물론 각계 전문가들이 함께 모여 해결 방안을 모색하여야 한다. 한편, 기존에 해결되지 않던 안전보건 문제를 첨단기술을 활용하여 해결하는 노력도 필요하다. 4차 산업혁명이 산업안전보건에 미치는 영향 및 정책적 함의, 위험관리 및 산업안전보건관리 활용 방안 등에 대한 논의가 필요하다.

이에 스마트공장에서 안전보건 위험관리에 대해서 살펴보고자 하였다.

스마트공장이란?

인더스트리 4.0(Industry 4.0)은 독일에서 주도하여 진행한 산업 관련 정책이다. 이 정책의 내용은 제조업과 같은 전통 산업에 IT시스템을 결합하여 생산 시설들을 네트워크화하고 지능형 생산 시스템을 갖춘 스마트공장(Smart Factory)으로 진화하자는 의미를 가지고 있다. 공식적으로는 2011년 1월에 발의되었고, 독일 국가과학위원회(Germany's national academy of science and engineering)는 Industry 4.0을 통해 산업 생산성이 30%

향상될 것으로 전망하고 있다.⁷⁾

스마트공장은 제조에 관련된 조달, 물류, 소비자 등 객체가 존재한다. 이 객체에 각각 지능을 부여하고 이를 사물인터넷(IoT)으로 연결해 자율적으로 데이터를 연결·수집·분석하는 공장이다. 따라서 공장 내 설비와 기계에 센서가 설치되어야 한다. 또한 데이터가 실시간으로 수집, 분석되어 공장 내 모든 상황들이 일목요연하게 보여지고, 이를 분석해 스스로 제어 및 통제가 되는 공장을 말한다. 반면 공장 자동화는 컴퓨터, 로봇과 같은 장비를 이용해 공장 전체의 무인화 및 생산 과정의 자동화를 만드는 시스템을 말한다.⁸⁾



1. 정의

스마트공장은 고객의 다양한 요구를 만족시킬 수 있는 제품을 즉시 생산·유통하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장이다. 스마트공장은 CPS(가상 물리시스템)와 IoT(사물인터넷)를 이용한 수평적·수직적 통합을 구현하고, 원자재부터 최종 제품까지 가치사슬망 전체에 대해 SNS를 통한 초연결을 지향하고 있다. 독일 Industry 4.0은 스마트공장을 IoT, CPS 등 첨단 ICT를 제조현장에 접목시킴으로써 공장 설비와 공정이 서로 연결되고, 제조활동과 관련된 모든 정보가 실시간으로 공유되고 최적으로 활용되는 공장으로 정의하고 있다. ICT를 활용하여 기존 제조업의 전 과정을 디지털화하고, 미래첨단

산업으로 전환(Digital Transformation)함으로써 국가 산업구조를 혁신하기 위한 제반 활동이다.

스마트공장은 첫째, 기획 및 설계 단계에서는 제품성능 시뮬레이션을 통해 제작기간을 단축하고, 맞춤형 제품을 개발한다. 둘째, 생산 단계에서는 설비, 자재, 시스템 간의 통신을 통해 다품종 대량 생산을 하고 에너지와 설비 효율을 제고한다. 셋째, 유통 및 판매 단계에서는 모기업과 협력사 간 실시간 연동을 통해 재고 비용을 줄이고, 품질 및 물류 등 전 분야에서 협력한다(표 1).¹⁾

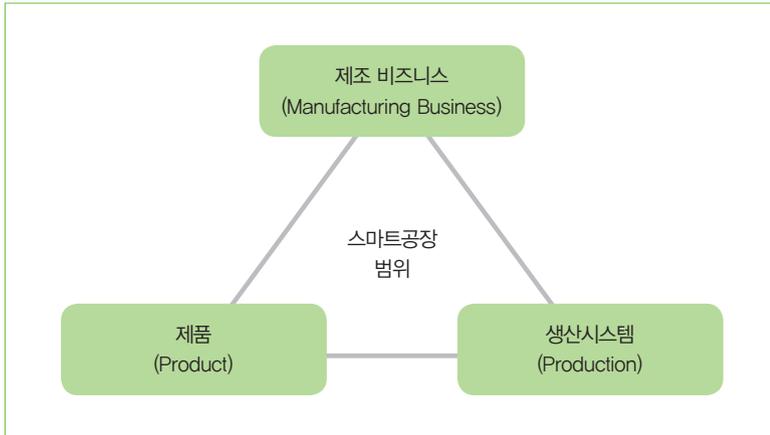
〈표 1〉 스마트공장의 제조 단계별 모습

구분	내용
기획·설계	제품 성능 시뮬레이션 → 제작 기간 단축, 맞춤형 제품 개발
생산	설비-자재-시스템 간 실시간 통신 → 다품종 대량생산, 에너지 설비 효율 제고
유통·판매	모기업-협력사 간 실시간 연동 → 재고 비용 감소, 품질·물류 등 전 분야 협력

스마트공장은 사물인터넷으로 연결되어 있어 기계에 부착된 센서를 통해 지속적으로 데이터를 수집하고 이를 인공지능을 통해 빅데이터 분석을 실시한다. 스마트공장은 사람이 강점을 가진 업무는 사람이, 기계나 시스템이 강점을 가진 업무는 기계나 시스템이 담당하게 되어 결국 업무의 효율을 높일 수 있게 된다.

2. 적용 범위

스마트공장은 제품(Product)과 생산 시스템(Production System), 그와 관련된 비즈니스 등 제품의 생산 및 이와 연계된 제조 활동을 포함한다(그림 1). 제품 생애주기에는 제품 기획, 공정 설계, 생산 엔지니어링, 생산, 제품 사용 및 서비스, 재활용에 이르는 제품의 생애와 관련된 활동이 포함된다. 생산 시스템은 자원을 활용하여 제품을 생산하기 위해 구성된 기계, 장비 및 보조적 시스템들의 집합으로, 생산 시스템 생애주기는 그러한 생산라인을 설계, 구축, 운용 및 유지보수하고, 폐기 및 재활용과 관련된 활동도 포함한다. 비즈니스 주기에는 계획·조달·생산·배송·회수 등 제조업의 가치사슬에 존재하는 사업 활동 및 이를 관리하는 활동을 포함한다.⁸⁾



<그림 1> 스마트공장의 범위

스마트공장은 제품 개발부터 양산까지, 시장 수요 예측 및 모기업의 주문에서부터 완제품 출하까지의 모든 제조 관련 과정을 포함하며, 수직적으로는 현장 자동화, 제어 자동화, 응용시스템의 영역을 모두 포함한다.

3. 스마트공장의 구성 요소

스마트공장의 수평적 통합지원 기술은 제품설계 도구인 CAD/CAE 등을 포함하는 PLM 솔루션, 시제품 생산을 빠르게 지원할 수 있는 3D 프린터, 가상과 실제의 연동이 가능한 사이버물리시스템, 제조 프로세스 분석을 위한 공정 시뮬레이션 등을 포함한다.⁸⁾

1) 스마트공장 솔루션

스마트 장비, 지능형 센서, AR/VR 장비, 공장운영시스템, 공정시뮬레이션 등 특정 기능을 제공하는 솔루션과 지능형 생산, 개인화 생산, 최적 생산, 안전 및 보안 패키지 등 목적에 따라 스마트공장에 필요한 핵심 기능들을 하나로 모은 하드웨어 및 소프트웨어 패키지 단위의 솔루션이 필요하다.

단일 또는 패키지 단위 솔루션 공급을 통해 기존 공장 서비스 뿐 아니라, 최적 생산, 개인화 생산, 사람-기계 협업 제조, 작업자 증강 지원

스마트공장은
사람이 강점을 가진
업무는 사람이,
기계나 시스템이
강점을 가진 업무는
기계나 시스템이
담당하게 되어 결국
업무의 효율을 높일
수 있게 된다.

최근 주요 3D
프린팅 기업들은
이에 맞게 소재의
다양화, 속도 개선,
정밀도 개선 등
관련 연구개발을
지속적으로
진행하고 있다.

등의 새로운 공장 서비스가 요구된다.

2) 개방형 제조 플랫폼

제조 밸류체인 상에 있는 다양한 사업 주체들이 수평적으로 협업하고, 복수의 공장들을 연결하여 고객들에게 제조 전 주기를 서비스의 형태로 제공하기 위한 제조 클라우드 서비스 플랫폼이 필요하다.

플랫폼 기반으로 제품 설계 협업, 공정설계, 생산, 유지보수, 품질관리, 진단·분석 등이 제조 서비스의 형태로 요구된다.

3) 스마트공장의 주요 기술요소

스마트공장 구축에 필요한 각 주요 분야별 기술로 협동로봇·센서·산업보안 및 3D 프린터 등이 있다.¹⁰⁾

(1) 협동로봇(Cobot)

스마트공장이 화두가 되면서 각광을 받고 있는 산업 중 하나가 바로 협동로봇이다. 그 이유는 조작성 및 이동성, 안전성이 강화되고 이전의 산업용 로봇보다 크기가 작아 작업 환경의 규모에 상관없이 적용할 수 있다는 점이 크게 작용한다. 협동로봇은 기존의 인터스트리 4.0을 넘어선 인터스트리 5.0의 가능성을 갖고 있다. 사람과 함께 작업하면서 생산성과 효율성을 제고하는 협동로봇으로 인해 분명 제조업을 비롯한 산업은 보다 더 스마트해질 것이다.

(2) 센서

센서는 스마트공장을 구성하는 IoT에 필요한 필수 요소로, 단순 센싱 기능 이외에 데이터 처리, 의사결정, 통신기능 등이 결합해서 필요한 정보를 얻고 스스로 의사결정 및 정보처리가 가능한 장치이다.

(3) 산업 보안

생산현장에서 네트워크 연결이 강조되고 있는 시점에서 그에 따른 보안문제가 화두로 떠오르고 있다. 일반적으로 산업용 네트워크는 일반 네트워크보다 보안에 취약한 점이 많아 스마트공장 구축 시에는

반드시 필요한 요소이다.

(4) 산업용 3D 프린터

3D 프린팅은 4차 산업혁명 시대 제조 산업의 키워드인 '맞춤형 소품종 대량생산'을 위해 각광을 받고 있지만 정작 아직 제조 현장에서는 이를 활용하는 기업들이 많지 않다. 현장에 적용하기에는 아직 해결해야 할 문제들이 있어서인데 최근 주요 3D 프린팅 기업들은 이에 맞게 소재의 다양화, 속도 개선, 정밀도 개선 등 관련 연구 개발을 지속적으로 진행하고 있다. 3D 프린터는 기존의 금형이나 기타 설계 변경에 따라서 생산할 수 있는 설비나 도구를 구비해 둘 필요가 없이 수요 발생 시에 즉각적으로 대응할 수 있고 고객의 니즈를 3D 모델링에 즉각적으로 반영해 생산할 수 있기 때문에 중요한 역할을 한다.

4. 스마트공장의 5대 요건 및 수준별 단계

1) 5대 요건

스마트공장이 갖추어야 할 5가지 요건에 대하여 <표 2>에 제시하였다.¹⁾

<표 2> 스마트공장의 5대 요건

요건	내용
'4M+1E'의 디지털화	4M+1E의 각 요소(Man, Machinery, Material, Method and Environment)들은 실시간으로 디지털 값을 인지하고, 측정 가능한 정보를 제공해야 하며, 통신을 통해 대화가 가능해야 함.
지능화	알고리즘 또는 인공지능 등의 솔루션을 이용, 최적해 또는 예측 가능한 해를 제공해야 함.
통합	사회망과 가치사슬을 통해 단대단(End-to-end)의 정보 교류가 이뤄지도록 하는 수평적 통합과 최하위 수준인 기계 장치부터 기업 비즈니스 수준까지 수직적 통합을 지향
엔지니어링 지식의 창출	지속해서 정보를 확보하고 저장한 후, 이를 바탕으로 자동화를 위한 제조 지식을 점진적으로 창출할 수 있어야 함.
스마트 시스템과의 연결	향후에 발전할 스마트 제품들과 통신 표준에 의거해 연결이 가능해야 함.

2) 수준별 단계

스마트공장은 도입을 원하는 업체에 따라 다양한 형태로 구현 가능하며, ICT(정보 통신 기술)의 활용 정도 및 역량 등에 따라 'ICT 미적용 → 기초 → 중간1 → 중간2 → 고도화' 단계로 구분한다(표 3).

수준을 정의하는 요소는 4M+1E(Man, Machinery, Material, Method and Environment)의 식별·측정·제어 자동화 및 통신 능력, 실시간 운영 능력, 실시간 최적 의사결정 능력 등으로 구성되며, 이러한 요소를 바탕으로 수직적·수평적 통합성, 신경망의 구성 및 지능화 정도를 측정해 수준을 정의한다.

〈표 3〉 스마트공장의 수준별 단계

수준별 단계	수준의 정의	IoT 대상 요소
고도화	IoT, CPS 기반 맞춤형 유연 생산 사물과 서비스를 IoT/CPS화 해 사물, 서비스, 비즈니스 모듈 간의 실시간 대화 체제를 구축하고, 사이버 공간상에서 비즈니스를 실현하는 수준	4M+1E : Man, Machinery, Material, Method and Environment
중간2	알고리즘 또는 인공지능 등의 솔루션을 이용, 최적해 또는 예측 가능한 해를 제공해야 함.	4M : Man, Machinery, Material, Method
중간1	사회망과 가치사슬을 통해 단대단(End-to-end)의 정보 교류가 이뤄지도록 하는 수평적 통합과 최하위 수준인 기계 장치부터 기업 비즈니스 수준까지 수직적 통합을 지향	3M : Man, Machinery, Material
기초	생산 이력 추적 관리 기초적인 ICT를 활용해 생산 일부 분야의 정보를 수집·활용하고, 모기업 인프라 활용 등을 통해 최소 비용으로 자사의 정보시스템을 구축하는 수준	1M : Material
ICT 미적용	수작업, 엑셀 정도의 프로그램 활용, 시스템을 갖추고 있지 못한 상태 기초 수준	

위험관리시스템(occupational risk management systems)

4차 산업혁명의 잠재적 결과(긍정적 및 부정적)를 작업 조직(work organisation), OHS 규제 및 입법체계(OHS regulatory and legislative

framework), OHS 관리시스템(OHS management systems) 및 직업 위험 관리시스템(occupational risk management systems)이라는 네 가지 관점에서 접근하는 것이 체계적이다. 이번에는 위험관리시스템에 대해서 살펴해보았다.

스마트공장은 잠재적으로 매우 다양하고 복잡한 문제를 제기한다. 공구의 급격한 변경과 장비의 물리적 이동까지 수반하는 생산 영역의 재구성은 광범위한 안전보건 문제(HSE challenges)를 야기할 수 있으며, 각각에 대해 별도의 위험 평가를 수반할 수 있다. 스마트공장에서는 잠재적인 위험 요소가 되기 전에 실시간으로 데이터를 모으고 그에 따라 행동할 수 있는 능력으로 인해 안전성을 더욱 높일 수 있는 기회를 가질 수 있다. 예를 들어, 안전에 위험을 초래할 수 있는 운전자의 행동을 감지하고 보고할 수 있도록 장비에 다양한 장치를 설치할 수 있다.

이런 장치는 여러 가지 형태를 취할 수 있다. 가장 일반적으로 사용되는 지능형 카메라(intelligent cameras)는 디지털 이미지나 특정한 사건을 담은 장면(footage)을 수집하여 중앙제어 장소로 전달하여 제한된 영역으로 들어가는 것과 같은 비정상적인 동작을 자동으로 강조 표시하는 기능을 갖추었다. 많은 시스템 설계자들은 또한 기계에 안전 감지 장치(safety sensing devices)를 장착하여, 작업자가 안전하지 않은 지역으로 이동했거나 특정 공장의 시설이나 설비에 너무 가까이 배치했는지 즉시 감지할 수 있다. 그러한 경우 기본 반응(default response)은 대개 기계의 전원을 끄거나, 또는 협업 로봇(collaborative robot)의 경우 안전한 속도로 감속하여 위험으로부터 멀어질 수 있는 시간을 벌 수 있도록 하는 것이다.¹¹⁾

건전한 건강 및 안전 관행의 기본 원칙(basic tenets)이 계속 준수되어야 한다. 미주칠 가능성이 있는 모든 시나리오에 대한 위험평가를 수행해야 하며 노동자들은 이보다 역동적인 환경에서 효과적으로 작업하기 위해 필요한 교육을 받는다. 모든 제조 환경에서 가장 예측 불가능하고 취약한 대상은 항상 개별적인 작업자였으며 채택된 제조 과정과 관계없이 보호에 노력을 아끼지 않아야 한다.

개별시스템 구성 요소가 ‘안전’하다고 간주될 수 있지만, 조합을 고려

스마트공장에서는
잠재적인 위험
요소가 되기
전에 실시간으로
데이터를 모으고
그에 따라 행동할 수
있는 능력으로 인해
안전성을 더욱 높일
수 있는 기회를 가질
수 있다.

로봇은 점점 더
빠르고 정밀해질
뿐만 아니라 점점
더 적은 공간을
차지하고 있다.
이들은 곧 소재를
이동, 취급하고
동적 환경에 반응할
수 있는 능력을
갖게 될 것이다.

할 때 매우 다른 이야기일 수 있다. 이를 스마트공장 환경에 적용하면 시설 주변의 경로에 장애가 있는 자율 또는 로봇 장비의 대체 경로를 프로그래밍하는 추가 요구 사항이 될 수 있다. 이러한 예측적 고려(anticipatory consideration)는 전통적인 생산 환경을 넘어서는 것으로 보일 수 있다.

식별, 분석 및 평가(identification, analysis and evaluation) 단계를 포함하는 산업안전보건 위험관리는 비즈니스 목표에 영향을 미칠 가능성이 있는 리스크에 대한 기대치(anticipation of risks)를 향상시키는 데 사용되는 의사결정 도구로 볼 수 있다. 안전보건 위험은 산업시스템 라이프 사이클의 모든 단계에서 평가할 수 있지만 위험요인의 식별은 산업 프로젝트, 신기술, 장비, 프로세스, 절차 등의 설계에 통합될 때 항상 더 관련성이 높고 효율성이 높다.¹²⁾

스마트공장에 적용되는 새로운 제어 장치(control devices), 온라인 데이터 분석 및 사물 인터넷이 기계와 산업시스템을 점점 더 자율적으로 만들고 있기 때문에, 많은 산업 전문가와 기술 제공자들은 프로세스 오류(process errors)가 제거될 것이라고 우리에게 안심시키고 있다.¹³⁾

스마트공장 프로젝트가 성숙할 수록 위험 관리에 대한 의사결정의 위상은 줄어들고, 위험관리를 위한 재무비용이 더 커질 것이다.¹⁴⁾ 공장은 광범위하고 궁극적으로는 완전한 자동화를 통해, 산업안전보건 위험을 모두 줄일 수 있게 된다.¹⁵⁾ 이러한 시스템은 위험관리와 관련이 있는 모든 매개변수를 모니터링 하는 기술적 수단을 갖추게 된다.¹⁶⁻¹⁹⁾ 그러므로 기계는 어떤 기능장애(any dysfunction)가 발생하는 즉시 적절하게 반응하기 쉬울 것이다. 이들은 주변 환경을 모니터링하고 추가 개입이 필요한지 여부를 결정하는 진단 센터로 정보를 전송할 수 있을 뿐만 아니라 점점 더 많은 자체 모니터링 기능을 갖게 될 것이다.²⁰⁻²²⁾

일부 스마트 기계는 현재 인간의 감정을 정밀하게 해석할 수 있으며, 따라서 작업자들과의 상호작용이 용이하다.²³⁾ 자율 차량은 곧 많은 중장비 운영자(heavy equipment operators)를 교체할 수 있으며 작업자와의 여러 형태의 오류 및 우발적 상호작용(accidental interactions)을 피할 수 있다.²²⁾ 로봇은 점점 더 빠르고 정밀해질 뿐만 아니라 점점 더 적은 공간을

차지하고 있다. 이들은 곧 소재를 이동하거나 직접 취급하는 등 동적 환경(dynamic surroundings)에 반응할 수 있는 능력을 갖게 될 것이다.^{24, 25)} 직관적인 프로토콜(intuitive protocols)을 따르고 최첨단 탐색(cutting-edge navigation) 및 인식 기술(perception technologies)을 활용하여 해야 할 작업과 주변 환경을 인지할 수 있다.¹⁸⁾ 지능형 시스템(intelligent systems)이 유지보수 요구를 예측하게 되면 기계 가동 중단 및 서비스 중단을 상당히 줄일 수 있다.²⁶⁾ 프로덕션 시스템을 구축하기 전에 프로세스를 보다 정확하게 시뮬레이션한 결과로 비용과 오류가 줄어들 수 있다. 생산은 예상 수요보다 실제 수요를 충족하도록 정의될 수 있으므로 낭비나 작업 관련 스트레스(work-related stress) 및 그에 따른 직업상 부상을 줄일 수 있다.²⁷⁾

이러한 낙관론의 상쇄균형(Counterbalancing this optimism)을 거스르는 것은 그러한 복잡한 환경에서 기술적 위험의 출현과 상호작용에 관한 문제이다.²⁸⁾ 연구자들과 전문가들은 수십 년 동안 새로운 기술(new technologies)과 관련된 잠재적 위험에 대해 우리에게 경고해 왔다.^{29, 30)} 가장 널리 발표된 문제 중 하나는 제어 인터페이스(control interfaces)와 인간-기계 상호작용(human-machine interactions)의 인체공학적 문제와 관련이 있다. 최근까지, 로봇은 보호되는 공간에서 제한적으로 작동하였고, 프로그래밍되고 이전에 테스트되고 검증된 순서에 따라 이동되었다. 관련 위험은 비교적 쉽게 식별하고 제어할 수 있었다. 이에 비해, 작업자와 밀접하게 상호작용하여 모든 종류의 작업을 수행하는 더 유연하고 이동성이 높은 협동로봇은 훨씬 더 예측하기 어려운 위험을 내포하고 있다.

스마트 장비의 자율성과 추정 지능(presumed intelligence)에도 불구하고, 우리는 인간 실수의 원인에 대한 지속적인 논의를 스마트 기계 오류(smart machine error)로 확장하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 기기(devices)의 신뢰성은 환경의 복잡성이 증가함에 따라 점점 더 예측하기 어렵게 된다는 점을 강조해야 한다.

디지털 시대 이전에, 사고 예방 분야의 현장 전문가들은 작업 환경을 개선하기 위해 데이터를 수집하고, 작업을 관찰하고, 행동을 분석하였다.

안전보건시스템을
스마트공장에
통합해서 도입하는
것이 필요하다.
시스템 차원에서
안전보건 문제가
발생하지 않도록
설계를 하는 것이
진정한 의미의
스마트공장 시대의
산업보건관리일
것이다.

실제로 예방 이니셔티브(preventive initiatives)의 출발점은 항상 노동자와 관리자의 의견에서 인식되는 인간의 요구(human needs)이다. 디지털 시대에는 장비가 방대한 양의 정보를 기록하고 보관할 수 있게 되었기 때문에 데이터 수집이 더 쉬워져야 한다. 그러나 어떤 데이터가 실제로 사고예방 개선에 유용한지를 결정하는 일은 남아 있다. 예방 또는 시정 조치를 수행하기 전에 정보의 엄격한 관리를 통해 위험을 식별해야 한다.³¹⁾ 서로 다른 유형의 수많은 데이터 소스를 분석해야 한다.

스마트공장의 위험관리 과제 중 하나는 위험요인을 정확하게 식별하고 작업 현장 경험이 부족한 산업안전보건 전문가의 가용성을 유지하는 어려움을 극복하는 것이다. 수집된 데이터를 이용한 실시간 위험 관리(risk management in real time)를 위해서 앞으로 인공지능은 새로운 환경의 복잡성으로 인해 의사결정을 보조하고 그에 따라 직업상의 위험을 감소시키는 중요한 역할을 할 수 있다.^{32, 33)}

스마트공장의 정신과 능력을 진정으로 이해하기 위해서는 필요한 훈련을 받은 보건안전 인력이 필요하다. 스마트공장에 적합한 안전보건역량이 있는 전문가가 필요하다. 스마트공장의 출현에 따른 새로운 위험요인의 출현으로 안전보건의 사각지대가 생겨날 가능성이 많다. 생산방식의 변화에 따라 새로운 시스템 오류에 따른 물적 피해와 산업의 하이테크화에 따른 적응의 어려움으로 스트레스가 증가될 것이다. 안전보건전문가는 업무강도의 변화와 스트레스 증가, 새로운 직종의 창출에 대응할 수 있어야 한다.

결론

흔히 스마트공장은 완전 자동화한 지멘스의 암베르크 공장이나 아디다스의 스피드 팩토리나 같은 곳으로 생각한다. 그러나 이는 스마트공장의 한 형태일 뿐이다. 스마트공장은 어떤 방식이든 보다 스마트하게 바뀔 수 있다. 4차 산업혁명과 산업계의 메가트렌드에 따르면 산업구조의 변화, 생산방식의 변화, 사회 환경의 변화, 근로 형태의 변화 등 많은 변화가 일어나고 있다. 기계는 사람이 하기에는 위험하거나 단순한 작업을 하고, 사람들은

더 창조적이고 효율적인 업무를 하게 될 것인가? 산업안전보건 분야에도 새로운 정보통신기술 등이 접목돼 획기적인 안전환경 개선이 기대되고 있다.

스마트공장에 안전보건을 어떻게 적용해야 하는가에 대한 부분은 이제 시작되고 있다. 현장의 기술이 아무리 높은 수준까지 올라갔다고 하더라도 안전보건은 동등하게 적용이 되어야 한다. 스마트공장에서 기본적으로 요구하고 있는 사물 인터넷(IoT) 기반의 각 센서 데이터에 위험요소에 대한 데이터를 통합시켜야 할 것이다. 사업장에서는 작업 중인 노동자들의 원격 건강관리시스템이 개발이 기대된다. 건강유해 위험요인에 대하여 현장 노동자가 자가 진단할 수 있는 지원 시스템이 적용될 것을 예측한다.

스마트공장에 쾌적하고 안전한 작업환경을 구현하는 것을 소모적인 비용으로 생각하고 이에 대한 비용을 아까워하여, 사고를 경험하거나 업무상 질병이 일어난 후에 '소 잃고 외양간 고친다'는 속담처럼 되지 말아야 한다. 특히 4차 산업혁명 시대에는 삶의 질의 향상을 위한 안전욕구가 크게 증대될 것이다. 이제까지의 생산성 중심에서 노동자의 복지와 안전, 건강문제가 핵심과제로 대두될 것이다. 사후 처리 비용은 물론 기업의 부정적인 사회적 평판을 생각한다면, 사전에 안전보건시스템을 스마트공장에 통합해서 도입하는 것이 필요하다. 시스템 차원에서 안전보건 문제가 발생하지 않도록 설계를 하는 것이 진정한 의미의 스마트공장 시대의 산업보건관리일 것이다. 📌



1. 중소벤처기업부, 민관합동 스마트공장 추진단. 스마트공장 더 나은 내일이 보인다. 2017 스마트공장 지원사업 참여기업 우수사례집. 2018년 3월
2. Adel Badria,b, Bryan Boudreau-Trudelic, Ahmed Saadeddine Souissid. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Safety Science, 109 (2018), 403-411
3. Bonini, M., Prenesti, D., Urru, A., Echelmeyer, W., 2015. Towards the full automation of distribution centers. In: 2015 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, IEEE ICALT 7136589. pp. 47-52.

4. Waschneck, B., Altenmuller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., 2017. Production scheduling in complex job shops from an industrie 4.0 perspective: a review and challenges in the semiconductor industry. CEUR Workshop Proceedings 1793. Yaqiong, Lv, Danping, Lin, 2017. Design an intelligent real-time operation
5. Christiernin, L.G., Augustsson, S., 2016. Interacting with industrial robots ? a motion based interface. Proc. Workshop Adv. Visual Interfaces 310–311.
6. Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Gabbard, J.L., 2015. Legibility in industrial AR: text style, color coding, and illuminance. IEEE Comput. Graph. Applicat. 35(2), 52–61.
7. 현대경제연구원. 독일의 창조경제: Industry 4.0의 내용과 시사점, VIP 리포트, 2013.10
8. 전시현 기자. 스마트 팩토리, 공장 자동화와 다른 점 5가지, 인더스트리뉴스, 2018.05.24, <https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=23949>
9. 스마트팩토리(공장)와 스마트제조 개념.pdf
10. 박규찬 기자. 협동로봇 · 센서 · 산업보안 등 공장 환경에 맞는 시스템 도입 필요, 인더스트리뉴스, 2018.05.28.
<http://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=24049>
11. Terry L. Mathis. Safety 4.0: Updating Safety for Industry 4.0, EHS today, Apr 03, 2018.
<https://www.ehstoday.com/safety-technology/safety-40-updating-safety-industry-40>
12. Badri, A., Gbodossou, A., Nadeau, S., 2012. Occupational Health and Safety risks: towards the integration into project management, Safety Sci. 50 (2), 190 – 198.
13. Yaqiong, Lv, Danping, Lin, 2017. Design an intelligent real-time operation planning system in distributed manufacturing network. Indust. Manage. Data Syst. 117(4), 742 – 753.
14. Pettitt, G., Westfall, S., 2016. The advantages of integrating major hazard safety and impact assessments for pipeline projects. In: Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, IPC 2.
15. ABB, 2014. Connecting the world – Industry 4.0.
http://new.abb.com/docs/librariesprovider20/Contact-magazine/contact_middle-east-industry-4-0-dec2014.pdf
16. Podgórski, D., Majchrzycka, K., Dąbrowska, 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.
17. Mattsson, S., Partini, J., Fast-Berglund, Å., 2016. Evaluating four devices that present operator emotions in real-time. Procedia CIRP 50, 524 – 528.
18. Beetz, M., Bartels, G., AlbuSchaffer, A., BalintBenczedi, F., Belder, R., Bebler, D., Haddadin, S., Maldonado, A., Mansfeld, N., Wiedemeyer, T., Weitschat, R., Worch, J.H., 2015. Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers. In: IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, art.no. 7354310, pp. 6528 – 35.
19. Palazon, J.A., Gozalvez, J., Maestre, J.L., Gisbert, J.R., 2013. Wireless solutions for improving



참고문헌

- health and safety working conditions in industrial environments. In: IEEE 15th International Conference on eHealth Networking, Applications and Services, Healthcom, art. no. 6720736. pp. 544 – 548.
20. Zhang, Y., Qian, C., Lv, J., Liu, Y., 2017. IEEE Trans. Indust. Inform. 13 (2), 737 – 747
21. Tantik, E., Anderl, R., 2017. Integrated data model and structure for the asset administration shell in Industrie 4.0. Procedia CIRP 60, 86 – 91.
22. Scholz, M., Kolb, S., Kästle, C., Franke, J., 2016. Operation-oriented one-piece-flow manufacturing: autonomous and smart systems as enabler for a full-meshed production network. Procedia CIRP 57, 722 – 727.
23. Khatchadourian, R., 2015. We Know How You Feel Computers are learning to read emotion, and the business world can't wait.
<http://www.newyorker.com/magazine/2015/01/19/know-feel>
24. Nielsen, I., Dang, Q.-V., Bocewicz, G., Banaszak, Z., 2017. A methodology for implementation of mobile robot in adaptive manufacturing environments. J. Intell. Manuf. 28 (5), 1171 – 1188.
25. Bonini, M., Prenesti, D., Urru, A., Echelmeyer, W., 2015. Towards the full automation of distribution centers. In: 2015 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, IEEE ICALT 7136589. pp. 47 – 52.
26. Lira, D.N., Borsato, M., 2016. Dependability modeling for the failure prognostics in smart manufacturing. Adv. Transdisciplin. Eng. 4, 885 – 894.
27. Shubin, K.T., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S., Dubey, R., Singh, S., 2016. Energy sustainability in operations: an optimization study. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 86 (9 – 12), 2873 – 2884.
28. Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A., 2012. Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. Accid. Anal. Prevent. 48, 223 – 234.
29. Brocal, F., Sebastián, M.A., 2015. Identification and analysis of advanced manufacturing processes susceptible of generating new and emerging occupational risks. Procedia Eng. 132, 887 – 894.
30. Geraci Jr., C.L., 2010. Applying basic risk management principles to nanomaterial processes. Nanotechnology 2010: Bio Sensors, Instruments, Medical, Environment and Energy – Technical Proceedings of the 2010 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, pp. 539 – 541.
31. Ross, A.J., Davies, J.B., Plunkett, M., 2005. Reliable qualitative data for safety and risk management. Process Safe. Environ. Protect. 83 (2), 117 – 121.
32. Ahmar, M., 2017. AI Can Play A Big Role In Smarter Decision Making.
<http://www.cxotoday.com/story/ai-can-play-a-big-role-in-smarter-decision-making/>
33. Percy, S., 2017. Artificial Intelligence: The Role of Evolution in Decision – Making.
<http://www.telegraph.co.uk/business/digital-leaders/horizons/artificialintelligence-role-of-evolution-in-decision-making/>