

국내 스마트공장의 위험과 위협에 대한 기초 연구

권영국* · 권재범*

*서울과학기술대학교 안전공학과

The Basic Study on Risk and Threat Issues in Domestic Smart Factories

Young-Guk Kwon* · Jae-Beom Kwon*

*Department of Safety Engineering, National University of Seoul Science & Tech

Abstract

This study examines the trends of domestic and foreign smart industries and discusses safety and security issues. Based on the actual situation survey and interview of the smart factory, we would like to examine the perspectives on risks and threats. We will examine safety and health issues related to new harmful and risk factors that may occur in smart factories and suggest institutional development directions for future safety and health. First, a safety and health-related work environment for smart factory workers is investigated and interviews are conducted. Second, we investigate new risk factors and threats to prevent industrial accidents for workers in smart factories. The purpose of this study is to examine what are the new risk factors in the smart factory. In addition, we will try to find reasonable improvement measures by finding out the risks and threats of smart factories through case studies in advanced countries, on-site interviews and surveys.

Keywords : Smart factory, Risk, Threat

1. 서론

스마트공장이란 고객 요구를 유연하게 반영하고 생산성을 증가시킬 수 있는 새로운 형태의 공장으로, 사물인터넷 기술 기반으로 공장의 모든 요소가 유기적으로 연결되고, 지능적으로 운영되는 공장을 의미한다. 스마트공장은 정보통신 기술(ICT)과 제조업의 융합으로 관리시스템과 생산시스템의 상호 연계를 통하여 생산 공정을 관리하고 필요에 따라 생산량을 조절할 수 있는 시스템이 구축된 공장으로 정의할 수 있다. 이런 스마트공장은 기업의 운영을 지능적으로 유연화하는 동시에 최적화되고 효율적인 환경의 변화로 다변화되어 가는 고객의 요구에 능동적으로 대응할 수 있다는 장점이 있다. 제조업 분야에 4차 산업혁명이 결합되고, 추진됨에 따라 제조 공장의 설비 운용이 자동화되어가고 있으며, 다양한 정보화 기술과 인터넷 기술이 결합하여 생산, 공정, 생산 실적, 자재 관리 등이 전산화

되어 생산공정 관리시스템을 기반으로 한 스마트공장이 구축되고 있다. 이런 장점들이 있어, 해외의 우수 글로벌 기업들을 중심으로 스마트공장의 도입을 서두르거나 실현되어 운영하고 있다

최근에는 스마트공장에 사물인터넷(IoT), 가상현실(VR) 빅데이터 등의 핵심기술들을 이용하여 기업들의 안전경영에 활용되고 있는데, 공장 설비에 부착된 센서는 조업 과정에서 나온 빅데이터를 분석하고, 사람의 불안정한 행동을 감지해 안전사고를 예방하고 있다. 이제는 기존의 공장 자동화에 집중된 스마트공장이 지능형 공장의 기능이 제조업 곳곳에 도입되면서 안전사고도 어느 정도 예측을 통해 예방할 수 있게 된 것이다.

국내에서도 대기업들을 중심으로 스마트공장이 적용되고 있고, 민관합동으로 스마트공장 구축사업을 통해 약 2,500개(2017. 10월 기준)의 스마트공장이 있다고 조사되었다. 하지만, 스마트공장의 구축으로 인해 발생하는 유

†본 논문은 안전보건공단 지원(2018)과 서울과학기술대학교의 프랑스 연구교수(2019~2020) 지원으로 수행된 연구 결과임.

†Corresponding Author : Young-Guk Kwon, Department of Safety Engineering, National University of Seoul Science & Tech, 232 KongNungRo, NoWon-Gu, Seoul 01811, Korea, E-mail: safeman@seoutech.ac.kr

Received October 18, 2021; Revision December 10, 2021; Accepted December 10, 2021

해오인과 위험요인에 어떤 것들이 있는지가 정확히 파악되지 않았다. 더구나 위험관리에 대한 수준 분석과 위험 예방 활동은 매우 부족한 수준이며, 이에 대한 안전 및 위험에 대한 활동이나 조치는 매우 미미한 수준이다. 즉, 스마트공장의 도입으로 과거에는 고민하지 않았던 여러 분야에서의 새로운 문제를 해결해야만 하는 시대로 진입하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 국내외 스마트 산업의 안전과 보안 문제에서 무엇을 중점적으로 봐야 할 것인지를 토론해 보고, 스마트공장에 대한 실태조사와 설문조사 결과와 심층 인터뷰를 토대로 위험과 위협에 대한 문제점을 살펴보고 대안을 제시해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 스마트공장의 선진사례와 국내사례

2.1.1 독일의 스마트 공장 사례

독일 인터스트리 4.0의 스마트공장은 다양한 제조환경을 고려한 다기능 센서, 고신뢰 무선통신 기술, 능동적 제조관리를 위한 특허 디바이스 모듈 및 운용하여 양방향 연결을 통해 스마트 제조 공장의 생산 프로세스 효율성 증대를 목표로 하고 있다.

독일의 스마트공장은 다양한 제조환경을 고려한 다기능 센서, 무선통신 기술 지원을 한다. 스마트 공장을 구현하기 위한 기술력을 확보하는 것이 필수적인 조건이다. 또한, 자재, 장비, 제품, 작업자 등의 각 객체의 위치를 추적하여 현장의 상황에 적합하게 이동 배치해야 한다. 그래야 실시간으로 변화하는 작업 상황을 즉각적으로 대응 할 수 있는 방안을 마련하여야 작업자의 안전을 보호할 수 있는 것이다.

2.1.2 국내의 스마트공장 사례

국내기업들도 스마트공장을 도입하고 있다는 것을 종종 볼 수 있다. 국내기업인 포스코에서는 스마트폰과 Cradle을 활용하여 점검 대상 설비를 인식하는 시스템을 적용하고 있다. RFID 태그를 부착하여 이동통신망을 활용하여 메인(host) 컴퓨터에서 스마트폰에 점검을 지시하고 결과를 입력하는 방식이다. 국내외적으로 사물인터넷과 서비스들의 인터넷을 제조업과 융합하여 4차 산업혁명을 일으키고, 지금까지 없던 가치와 비즈니스 모델을 창출하는 선도적인 시도들이 있다. 또 하나의 국내기업 스마트공장 사례는 SK가 있다. SK는 Industrial IoT, Big Data 등

기반 기술과 공정 최적화 알고리즘, 공정 제어 및 분석 솔루션 제공을 통해 자동화, 지능화된 스마트공장 구축을 전략으로 삼고 있다. 대기업들을 제외하고는 스마트 공장의 수준은 초보적 1 혹은 2단계에 있다고 볼 수 있다.

2.2 연구방법

2.2.1 2016년 스마트공장의 조사

2016년 박람회 참가한 중소기업체 200개(수요자 160개, 공급자 40개)를 대상으로 스마트공장에 대한 조사가 진행되었다. 조사대상 업종은 금형정밀 가공업체, 기계부품 조립업체, 전자부품 제조업체, 뿌리산업 업체 등 4개 종류에서 각 40개 업체 총 160개 회사를 선정하여 조사를 진행 하였다.

해당 연구에서는 파악된 스마트공장에 대한 위험은 생산방식 변화의 적용에 문제가 있다고 응답한 비율이 65%나 되었다. 즉 10곳 중 7곳은 적용에 문제가 있다고 답하였다. 그리고 10곳 중 3곳은 과거와 다른 새로운 위험요소가 등장했다고 답했는데, 기계 오동작의 위험(67%), 작업자 침해의 위험(68%)과 외부자 위험(57%)의 3가지가 존재한다고 응답하였다. 스마트공장에서 가장 개선이 시급하거나 필요한 분야라는 질문에서는 1) 공정관리(27%), 2) 시스템 솔루션과의 연동(19%), 3) 현장 운영관리(13%)가 가장 시급하다고 지적하였다.

2.2.2 2018년 스마트공장 연구모형과 결과

2018년 스마트공장을 운영 중인 400개의 중소/중견 회사들을 대상으로 해당공장에서 직접 근무하는 인력들 545명과 대조 그룹인 스마트공장 비근무 인력 300명, 총 845명을 대상으로 전체 설문조사를 실시하고 분석하였다. 조사에 참여한 사업장의 위치는 절반 이상인 60%가 서울/인천과 경기권에 분포하고 있었으며, 나머지는 전국에 산재하고 있는 것으로 나타났다. 스마트 공장의 근무 경력은 3년 미만의 경우가 전체의 절반 정도를 차지하고 있었고, 1년 미만 종사자의 경우에는 전체의 31%를 차지하고 있어 전반적으로 스마트공장의 종사 기간이 길지 않은 편이었다. 실태조사와 관련된 상세 내용은 Table 1에 정리하였다.

본 조사는 비록 안전공단의 지원을 받아서 조사를 실시하였으나 스마트공장의 특성상 보안조치로 조사 거부나 설문비협조나 방문 거부, 시간 지연 등으로 많은 어려움이 있었다.

해당연구에서는 2016년 연구에서 파악된 3가지 위험

<Table 1> Chi-squared test based on work status

	Whether the smart factory works itself			Chi-square Significance Probability
	non-working	working	all	
	265(31.4)	580(68.6)	845(100)	
age group				40.514**
under 30	39(14.7)	192(33.1)	231(27.3)	<0.0001
40's	123(46.4)	163(28.1)	286(33.8)	
over 50	103(38.9)	225(38.8)	328(38.8)	
employment type				18.167**
contract worker	18(6.8)	16(2.8)	34(4.0)	<0.0001
dispatch	15(5.7)	78(13.4)	93(11.0)	
Full-time	232(87.5)	485(83.6)	717(84.9)	
Company classification				7.493
parts supplier	57(21.5)	144(24.8)	201(23.8)	0.058
solution provider	12(4.5)	20(3.4)	32(3.8)	
raw blue	129(48.7)	313(54.0)	442(52.3)	
other companies	67(25.3)	103(17.8)	170(20.1)	
business location				54.580**
Seoul/Incheon	112(42.3)	132(24.2)	244(28.9)	<0.0001
match ticket	51(19.3)	214(32.8)	265(31.4)	845
Chungcheong area	23(8.7)	69(12.7)	92(10.9)	
Honam area	21(7.9)	54(9.9)	75(8.9)	
Yeongnam area	47(17.7)	106(19.5)	153(18.1)	
Gangwon/Jeju	11(4.2)	5(0.9)	16(1.9)	

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

외에 추가적으로 3가지 위협도 존재하는 것으로 파악되었다. 첫째 기술적 위협(65%), 둘째 관리적 위협(66%), 셋째 인적 위협(58%) 모두 위험한 수준으로 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 정서적 삭막감도 76%나 존재(즉, 10곳 중 8곳)하였다.

2016년 연구와 마찬가지로 스마트공장에서 가장 개선이 시급하거나 필요한 분야라는 질문에서는 1) 공장 운영 시스템(55%), 2) 제조 자동화(40%), 3) 공정 시뮬레이션(3%)의 순으로 필요하다고 응답하였다. 두 연구 모두 스마트공장에 공장운영 시스템이나 공정관리가 1/3이상 필요하다는 공통점을 가진 것으로 나타났다. 또 스마트공장에 별도의 부서없이 전산 담당자만 존재한다는 회사(82%)도 10곳 중 8곳이나 되었다. 스마트공장을 추진하는 이유도 품질관리의 환경변화(41%)와 공정관리의 환경변화(38%)가 이유라고 응답한 비율도 10곳 중 8곳이나 되었다.

2018년 연구에서 새롭게 발견된 내용은 인간과 기계가 혼용되어 운영하는 경우 표준안전 운영 매뉴얼이 있다는 응답은 17%에 불과하였다. 스마트공장에서 측정하는 정보통신기술(ICT) 센서의 오류에 대한 예방방법이 있느냐는 질문에 절반인 50%는 없다고 응답하였다. 스마트공장에 해커의 악의적 공격에 대한 오동작 대비책이 있느냐는 질문에 43%는 없다고 응답하였다. 스마트공장에서 안전

측면에서 근로자를 위한 안전환경조성 대책이 있느냐는 질문에 단지 20%만이 존재한다고 응답했고, 65%는 없다고 응답하였다. 스마트공장에서 비상 발생 시 근로자의 안전 확보 방안이 있다는 답변은 1/5가량인 23%였고, 53%는 없다, 23%는 모르겠음으로 답하였다. 인간과 기계가 혼용되어 운영하는 경우 안전한 작업환경을 위한 표준안전 운영 매뉴얼이 있다는 응답은 14%에 불과하였다. 따라서 아래에 스마트공장에 대한 위험분석과 위험성평가를 실시하여 결과를 정리하여 요약하였다.

2.3 스마트공장 위험분석과 위험성 평가

2.3.1 국내 스마트공장 위험분석 및 결과

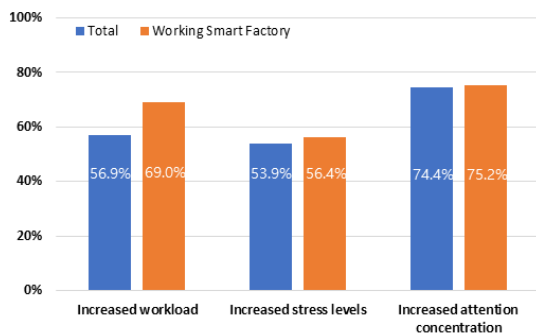
위험성평가는 잠재된 유해 및 위험요인들을 사전에 분석할 수 있는 기법으로, 안전관리문화를 형성해 나가는데 많은 도움을 주는 관리방법으로, 산업안전보건법 제5조 및 위험성평가에 관한 지침으로도 정해져 있다. 그래서 스마트공장에 어떤 위험요소가 있고, 그 위험의 크기는 어느 정도이고, 사업장에서 어떤 방법으로 관리하고 있는지를 확인하기 위한 위험성평가에 대한 설문을 진행하였다. 스마트공장에 스마트 기계의 오동작(오작동과 바이러스/웜 감염) 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수 이상인 65%는

그렇다고 응답하였다. 스마트공장에 작업자 침해(불법 접근과 기계 오용)의 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수 이상인 65%는 그렇다고 응답하였다. 스마트공장에 외부자(PLC해킹, 네트워크/시스템 침해)의 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수 이상인 55%는 그렇다고 응답하였다.

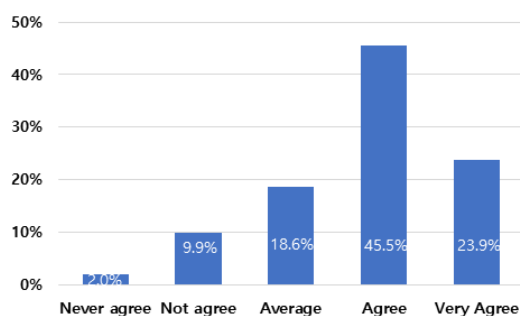
스마트공장에 기술적(접근통제, 운영관리, 허가/권한 통제) 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수 이상인 63%는 그렇다고 응답하였다. 스마트공장에 관리적(안전정책, 운영지침, 안전복구계획) 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수 이상인 64%는 그렇다고 응답하였다. 스마트공장에 인적(안전 인식도, 안전훈련, 안전매뉴얼 숙지) 위험이 존재하느냐는 질문에 과반수인 56%는 그렇다고 응답하였다.

스마트공장에서 로봇과의 공존문제로 법령 개정을 해야 한다는 근로자들이 전체의 78%나 되었다. 로봇과의 협동으로 스트레스 수준도 증가한다는 근로자들이 약 40%나 되었다. 많은 감시 작업으로 더 많은 정신적 부담이 온다는 근로자들이 전체의 70%나 되었다. 중간관리자들의 정신적 육체적 부담이 증가했다는 근로자들도 전체의 58%나 되었다. 공장 작업변화로 할 일은 많고 할 시간은 충분하지 않다는 근로자들이 전체의 57%나 되었다.

[Figure 1]에 제시한 바와 같이 스마트공장 근로자들은 일반 근로자들에 비해서 작업 부담(workload)이 증가되고 있다는 것을 알 수가 있다. [Figure 2] 스마트공장의 도입으로 중간 관리자의 정신적 육체적 부담이 증가하였는가라는 질문에 절반 이상인 69.4%의 중간 관리자들이 부담이 증가하였다고 응답하였다.



[Figure 1] Comparison of increased mental burden.



[Figure 2] 5 Levels of mental & physical load (4&5: increased).

2.3.2 국내 스마트공장의 관리감독자 역할 변화

2018년 조사결과에서 생산방식 변화에 따른 관리감독자의 역할 등 안전보건 관리체제는 약간의 변화가 필요할 것으로 전망이 되었는데, 그 이유는 중간관리자들은 통제센터에서 과거 3일 걸리던 보수작업을 12시간 이내로 즉각적으로 처리해야 하므로 업무 부담이 과거보다 늘어났고, 지속적인 통제센터에서의 관찰과 조치 등으로 보다 높은 정신적 부담이 필요하게 됨으로써 이러한 정신적 부담의 경감시키는 조치가 필요할 것으로 보인다. 실제로 스마트공장의 환경변화로 업무 강도가 증가했다는 관리자들이 과반수가 훨씬 넘는 62%나 되었다.

2.3.3 국내 스마트공장의 위험요소 - 로봇안전

로봇은 제조업 중심의 스마트공장에서 매우 중요한 구성요소이다. 우리나라에서 로봇은 공장 자동화 과정에서 인력을 대체하기 위한 수단으로서 도입되었다. 그러나 독일은 우리나라와의 다른 인식으로 로봇이 활용되고 있다. 독일은 로봇은 인간을 대체하는 기계가 아닌 인간과 협동을 수행하는 도구로 인식된다. 안전 측면에서의 실패는 협동하는 인간에게 매우 치명적일 수 있기 때문에 기존의 실패에서 학습하는 형태가 아닌 안전이 완전히 갖추어진 시스템을 설계해야 한다.

대부분 중소기업의 스마트공장 환경에서는 인간과 협동 로봇의 공동 작업은 별로 없고, 산업용 로봇과 인간이 공존하면서 작업하는 경우가 대부분이다. 가까운 미래에는 협동 로봇과의 안전문제도 고민해야 할 부분이다. 기술적으로는 협동로봇이 안전하게 제작되어 일단 사람이 접근하면 정지하게 되어 있다. 하지만 갑자기 뒤에서 접근한다면 협동 로봇에 근접하여 급히 이동하는 경우에는 협동 로봇이 인지하지 못하여 사고를 발생시킬 가능성도 있다. 실제 프랑스의 모의 스마트공장 실험실에서 이런 가능성이 제시되었다.

스마트공장에서 일하는 근로자들은 너무나 빠른 처리에 정신적 부담을 느낄 수가 있고, 관리자들은 과거보다 더 많은 정신적 부담으로 작업을 하므로 부담 감소에 대한 연구와 노력이 필요하다.

스마트공장 환경은 작업 스트레스를 높일 수 있다는 응답이 전체의 과반수 이상인 60%였다. 스마트공장 작업환경에서는 정신적 육체적 부담이 증가한다는 응답이 전체의 약 70%에 달했다. 감시 및 관찰 업무로 더 많은 집중이 필요하다는 응답도 2/3 수준인 약 74%였다.

실제로 스마트공장의 현실은 [Figure 3]과 같이 관제센터가 존재하거나 작업 모니터에서 많은 관찰을 하는 노

력이 필요하며, [Figure 4]와 같이 스마트 공장의 제어실 (control room)에서 발생하는 많은 정신적 부담에 대한 고려도 현재로서는 별로 없는 실정이지만, 절반 이상의 근로자들은 과중한 정신적 부담을 호소하고 있다.

공장의 수많은 작업 모니터의 이상 현상을 현재는 1-2명 정도의 소수 관리자가 처리하는 실정이므로, 이러한 정신적 부담을 여러 명이 분산하여 처리하지 않는다면 정신적 과로로 인한 실수나 사고도 예상된다.

Isabel Rothe 독일 연방산업 안전보건 청장은 국제노동 브리프의 기고문에서 스마트 자동화는 극도로 복잡하고 역동적이며, 생산과정에 정보통신기술을 접목하는 시스템간의 네트워크가 필요하므로 인간이 담당하는 정보처리 역시 한층 어려워질 것이라고 주장하였다. 그 결과로 작업장에서 위험신호가 조기에 인지되지 못하거나 포괄적으로 해석되지 못하여 위험이 발생하는 경우 적절한 조치가 취해지지 못할 수도 있다고 주장하였다.



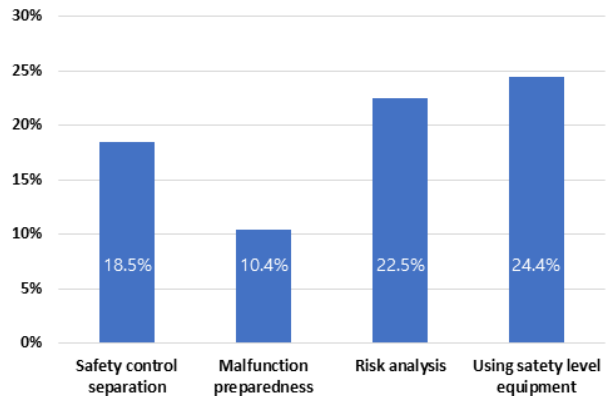
[Figure 3] Control room at the smart factory



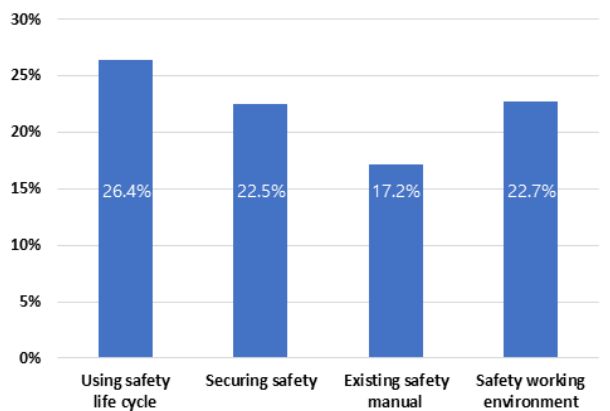
[Figure 4] Observation of smart factory at control room.

2.3.4 스마트공장의 위험성 평가와 분석

[Figure 5]에 제시된 바와 같이 오동작 대비책이나 안전제어분리 대책과 같은 위험성 평가를 실시하는 스마트 공장은 10곳 중에 1-2곳에 불과한 실정이다. 앞으로 비상상황에 대한 위험성 평가 작업이 매우 필요하다고 여겨



[Figure 5] Components of risk assessment 1.



[Figure 6] Components of risk assessment 2.

진다.

[Figure 6]과 같이 안전수명주기를 사용하거나 안전확보 방안이 존재하거나, 안전환경 조성대책이 있다는 것이 20%대이고, 안전매뉴얼 존재 여부는 10%대에 불과했다. 비상시의 안전확보 방안도 23%에 불과했고, 인간과 기계가 혼용되어 일하는 공장에 안전운영 매뉴얼이 만들어진 곳도 17%에 불과했다. 즉 10곳 중 2군데 정도만 위험과 사고에 대한 준비가 되어 있다는 것이다.

반면에 스마트공장의 안전관리 시스템이 공장 만족도에는 절대적 영향(89%)을 미친다고 응답하였다. 현재의 안전관리 시스템에 만족한다는 반응은 절반 정도(45%)였다. 10명에 9명은 스마트공장에 안전시스템의 구축이 필요(93%)하다고 응답하였다. 반면에 현재 안전시스템을 구축하고 위험성평가를 하고 있다는 응답은 24%에 불과했으며, 안전시스템에 대한 위험성 분석을 한다는 응답도 23%에 불과했다. 중대재해를 막기 위해 일반제어와 안전제어를 분리하여 스마트 시스템을 구축했다는 응답은 19%에 불과했다. 즉, 대기업을 제외하고는 거의 하지 않고 있다는 것이 스마트공장의 국내 현실이다. 해커의 악의적 공격에 대한 오동작 대비도 겨우 10%에 불과했다. 즉 10곳 중 9곳은 무방비상태라는 것이다.

스마트공장의 통제센터에서 감시 업무를 하는 근로자들에 대해 인간 실수를 줄일 수 있는 교육의 기회와 정신적 부담을 줄일 수 있는 방법에 대한 구체적 연구가 필요할 것으로 추정된다.

스마트공장에서 생산관련 계약형태 등 위협의 외주화 작업은 많이 줄어들었다. 대부분 스마트공장의 통제센터에서 원청의 직원 3명 정도가 위협에 대한 관찰을 연속적으로 하고 있으며, 과거 3일 걸리던 정비를 12시간 이내로 수리가 가능하게 시스템이 관리되고 있어 설치된 스마트센서와 주요 기계설비에 대한 정기나 수시 검사를 제외하고는 하청 업체들이 관여하지 않고 있었다.

스마트공장의 안전보건 유해·위험요인 분석은 먼저 사람, 그리고 스마트 기계, 마지막으로 인간과 기계의 공동작업환경에 대한 위험요인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

기계-인간 인터페이스의 변화에 따른 노동자 안전보건 확보방안은 현재는 산업용 로봇과의 공존 작업에 대한 위험분석을 실시하고, 가까운 미래에 대세를 이룰 협동로봇과의 공동 작업에 대한 위험분석이 필요할 것이다.

2.3.5 스마트공장의 보우타이 분석

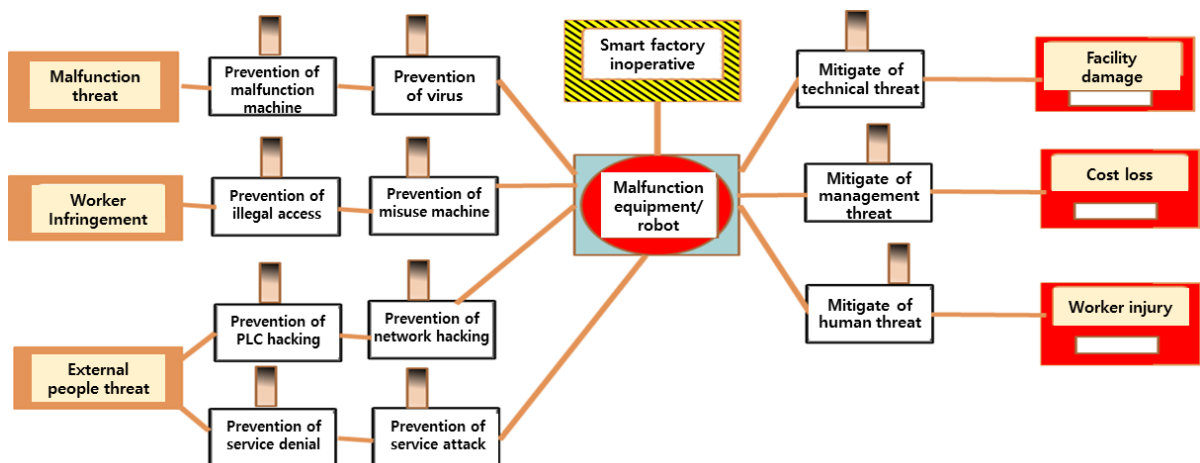
위험성평가가 사업장 및 작업방법에 대하여 일반적인 위험들을 파악해보고 위협을 줄이기 위한 개선방안을 검토 하고 수립할 수 있으나, 리스크가 높은 위험요인들에 대해서는 추가적인 분석이 필요하고 위협을 줄이기 위한 특별한 관리방안이 필요하다. 그래서 스마트공장에서 가장 높은 위험이라고 예상되는 ‘스마트공장이 작동 불가능한 상태’까지 이어질 수 있는 스마트공장의 위험요소들을 파악해 보고 이에 대한 경감대책 방안들이 파악해 보기 위해, 보우타이(Bow-Tie) 분석을 진행하였고, 이를 [Figure 7]에 제시하였다. 보우타이 모델링은 1) 위험

요소와 최정상 이벤트의 파악(identify), 2) 문제의 원인을 제공하는 위협(threat)을 파악하고, 3) 문제발생을 예방하는 방벽(barriers)을 표시(prevention control)하고, 4) 잠재적 사고결과 (consequences)를 서술하고, 5) 사고결과의 경감(mitigation control) 대책(barriers)을 파악하고, 6) 가속(escalation) 요인과 가속요인을 제어(barriers)하는 것을 파악하고, 7) 작업과 책임을 파악하고, 8) 이러한 제어를 안전관리 시스템과 연결지면 된다.

연구결과를 토대로 보우타이 기법을 적용해 보자면, 아래와 같이 표시할 수가 있을 것이다. 오동작 위험, 작업자 침해 위험과 외부자 위협의 3가지 위협에 대한 예방대책으로 제어하고, 설비파손, 비용발생과 인명피해를 야기할 수 있는 기술적, 관리적, 인적 위협의 3가지 경감대책(barriers)으로 제어를 할 수가 있다면 스마트 공장의 작동 불능으로 인한 설비와 로봇이 오작동하는 과국을 막을 수가 있을 것이며, 해당 방법을 사용하면, 로봇, 작업자, 상호작용 환경에도 이러한 분석을 실시할 수가 있을 것이다.

스마트공장이 약 10년 정도의 역사가 만들어져서 위험에 대한 확률을 구할 수가 있다면, 근본위험분석이나 결합수 분석(FTA)과 같은 위험성의 평가도 가능할 것이다.

근본위험분석은 1) 기본적인 원인을 a)직원의 실수(PE), b)장비 오류(EE), c)기타 실수(OE)로 나눈다. 2) 문제 범주를 a)장비 설계 문제, b)시설 문제, c)자연적인 현상 문제로 나눌 수가 있다. 3) 근본원인 범주에는 a)설계적 원인, b)인간공학적 원인으로 나눌 수가 있다. 4) 가까운(near) 근본원인에는 a)훈련 안된 원인, b)절차 혼란 원인으로 나눌 수가 있다. 마지막 근본원인에는 a)부적절한 행동 원인, b)부적절한 유지 원인, c)부적절한 훈련 원인으로 나눌 수가 있다. 아직은 스마트공장의 역사가 짧아서 복잡한 정량적 분석은 가능하지 않지만 반정량적 보우타이 분석방법으로 문제를 일으킬 가능성이 높은 산업용



[Figure 7] Bow-Tie analysis : Example of smart factory risk analysis

로봇과 협업로봇에 의한 공장의 작동 중지 여부에 대해 좀 더 자세하게 조사해 볼 수가 있을 것이다. 제임스 리즌의 스위스 치즈 모델에 적용해 본다면, 3가지 이상의 위험요소(hazard)가 동시에 치즈의 구멍을 통과한다면 (일련의 사건들) 사고가 발생해서 스마트공장의 작동 불능이 올 수도 있다.

1) 산업용 로봇과 협업로봇의 장비 불량, 2) 회사의 정책/방침에 의해 로봇 기술자의 기술 미숙, 3) 스마트공장에 대한 안전관리 시스템의 미비, 4) 스마트공장에 대한 불충분한 정비와 관리, 5) 스마트공장에 대한 비상 대책의 부족 등으로 인한 스마트공장의 사고 시나리오를 추정해 볼 수가 있을 것이다. 위의 5가지 위험요소(hazard)중에서 3가지는 이미 불충분한 것으로 판명이 되었으므로 스마트공장의 관리와 정비에 조심을 하지 않는다면, 사고의 발생은 단지 시간의 문제라는 것을 추론해 볼 수가 있다.

아직은 스마트공장의 역사가 짧고 공장이 비교적 새롭기 때문에 마치 폭풍의 전야처럼 현재로서는 큰 문제가 없는 것처럼 보인다.

2.4 연구결과

2018년 스마트공장을 가진 400개의 중소/중견 회사에서 근무하는 인력 845명을 대상으로 실태조사와 설문조사를 실시하여 아래의 결과를 도출하였다.

1) 스마트공장 종사자 중 스마트공장의 도입으로 일의 집중도가 감소하였다는 응답이 과반수(57%)를 넘었다. 또한 작업장에서 업무상 책임 수준이 높다고 응답한 대상자도 과반수(64%)를 넘었다.

2) 사업장의 스마트공장화 수준에 대해서는 전체의 8/10정도가 50%미만의 수준이라고 응답하였다.

3) 스마트공장의 환경변화로 인한 관리자 등의 업무 강도 부담에 대해서는 전체의 과반수 이상(57%)이 업무 강도가 증가하였다고 응답하였다. 특히 스마트공장 종사자의 경우 7/10 수준(69%)으로 업무강도가 증가하였다고 응답했다.

4) 스마트공장 환경으로 인해 작업 스트레스가 높아진다고 응답한 대상자는 전체 6/10 수준이었다.

5) 스마트공장 환경에서 오류 발생 시 치명적일 거라는 인식은 전체 대상자의 7/10 수준이 그렇다 라고 응답하였다. 즉 10명중 7명은 사고 시에는 스마트공장이 일반공장보다 더 위험하다고 인식하고 있었다.

6) 스마트공장의 산업용 로봇이 협업 로봇보다 더 위험하다고 응답한 대상자 분포는 전체의 과반수 정도(48%)였다. 산업용 로봇이 협업 로봇에 비해 더 위험하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다.

7) 스마트공장은 해커의 악의적 공격에 대한 오동작 대비책 마련에 대해서는 전체 대상자의 10%만이 준비가 되어 있다고 응답하였다.

8) 전반적으로 비상상황 발생 시 안전확보 방안, 센서 오류 검출방법, 개별 자동화 스마트 시스템 구축, 해커 공격 대비, 위험성 분석 등 안전관리 시스템 구축이 잘 되어 있지 않은 것으로 나타났다.

9) 위험은 오동작 위험 > 작업자 침해 > 외부자 위험의 순으로 높았으며, 위협은 관리적 > 기술적 > 인적 위협의 순으로 높았다. 이현정 등(2017)의 연구결과에서는 기술적 위협이 가장 높은 것으로 나타나 현재 연구와 차이점을 보였다.

10) 2017년 스마트공장 안전의 위협요인은 1) 스마트공장 오작동, 2) 작업자 침해, 3) 외부자 위험 순으로 위험하다고 하였다(스마트공장 안전시스템 기반구축연구, 2017). 2018년 연구결과도 유사하게 1) 스마트공장 오작동(67%), 2) 작업자 침해(60%), 3) 외부자 위험(53%) 순으로 위험한 것으로 나타났다.

11) 2017년 스마트공장의 위협 요인은 1)기술적 위협, 2)관리적 위협, 3)인적 위협 순이라고 나타났다(스마트공장 안전시스템 기반구축연구, 2017). 본 연구의 결과는 약간 다르게 1)관리적 위협(62%), 2)기술적 위협(60%), 3)인적 위협(52%) 순으로 나타났다.

12) 3가지 위험(오동작 위험, 작업자 침해 위험, 외부자 위험)에 대한 교차분석 실시결과는 직책별로 3가지 위험에 대한 의견 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

2.5 고찰

제4차 혁명시대를 맞이하여 스마트공장에서 다양하고 새로운 기계·설비가 도입될 것으로 예상되는 만큼, 이러한 기계·설비에 대해서는 구체적 법적기준(명령 통제적인 법적 기준)으로 규율하는 경우 기술변화를 신속하게 반영하기 곤란하고 그 결과 위험원에 대한 규제의 시간적 지체가 발생할 가능성이 높기 때문에, 이러한 기계·설비에 대해 효과적인 규율을 하기 위해서는 자율적인 규제수단으로 위험성평가를 설계·제조단계부터 실시 될 수 있도록 하는 제도의 도입이 필요한 것으로 판단된다.

현장 실무자들의 의견수렴과 전문가들에 대한 심층분석을 통해 스마트공장의 노동자들을 위한 안전보건기준의 방향과 발전 방향을 고찰하였고, 안전 위험과 위협에 대해서 국제적 토의를 통하여 보다 많은 연구와 공동 토론의 기회가 필요할 것이다.

1) 스마트공장을 이루는 구성요소들에 대한 위험성 평가 방법을 법령화 및 체계화할 필요가 있다.

현행 규정만으로는 협동 로봇이 설계·제조단계에서의 안전성을 확보하고 있다고 검증할 수 있는 장치가 없기 때문이다. 그러므로 제조자, 시스템 통합자, 최종 사용자라고 하는 3자 협력의 위험성평가 방법을 확립하는 것이 중요하다. 스마트공장의 기계·설비로부터 노동자를 보호하기 위해서는 위험성평가와 같은 자율적 규제(self-regulation) 수단이 효과적이고 적합한 방법이다.

2) 정부주도의 스마트공장에 대한 종합적 안전대책 수립이 필요하다.

먼저 협동 로봇의 사용으로 작업자를 보호할 수 있는 안전대책이 필요하고, 비상시 사고를 대비한 안전문제에 대한 해결 대책이 필요하고, 스마트공장에 특화된 안전시스템의 확보가 필요하고, 설비 오작동/시스템 오류에 대한 안전대책도 필요하고, 오작동에 의한 위험 대비 안전매뉴얼의 준비도 필요하고, 안전 매뉴얼의 숙지 훈련이 필요하고, 가동 단계별 권한부여와 가상현실을 이용한 안전훈련도 필요하며, 자동화로 사람의 실수로 크게 다칠 우려가 있으므로 휴먼에러에 대한 대책과 교육훈련도 필요하다.

3) 스마트공장 시스템에 대한 위험성 평가가 필요하다.

이를 통하여 잠재적 위험이 무엇인지를 파악하는 노력이 필요할 것이다. 스마트공장의 위험성평가를 위해서는 로봇의 위험성 평가와, 근로자의 위험성 평가, 그리고 로봇과 근로자의 협동 작업환경에 대한 위험성평가가 필요하다. 근로자는 정신적 및 물리적인 측면에서 접근해야 한다. 정신적인 측면에서는 인간-로봇간의 인터페이스 설계, 인간의 인지, 정보처리, 의사결정, 기타 기능이나 한계를 고려하여야 한다.

4) 협동로봇과의 안전문제에 대한 대책이 필요하다.

현재 대부분의 중소기업의 스마트공장 환경에서는 인간과 협동 로봇의 공동 작업은 별로 없고, 산업용 로봇과 인간이 공존하면서 작업하는 경우가 대부분이다. 가까운 미래에 이러한 협동 로봇과의 안전문제도 고민해야 할 부분으로 다가올 것이다. 사람과 기계설비(산업용 로봇과 협동 로봇)가 함께 fail-safe 모드로 안전하게 작업이 가능하도록 하는 것도 필요하며, 수많은 측정 센서들의 오류를 검출하고 예방할 수 있는 방법을 강구해야 할 것이다. 국제적 공조로 스마트공장에서의 안전문제를 이슈화해서 토론과 포럼을 통해서 함께 토의해 나가는 기회가 필요하다고 본다.

3. 결론

본 연구는 여러 연구와 설문 및 실태조사, 심층분석을 통해 스마트공장의 노동자들을 위한 안전 측면에서의 발

전 방향을 모색하였다. 이에 따라 내려진 결과들을 정리하여 결론을 내려보자면 아래와 같이 정리할 수 있을 것이다.

1) 스마트공장의 3가지 위험 중 기계 오작동의 위험이 가장 높았고, 3가지 위험 중에서는 관리적 위험이 가장 높았다.

2) 스마트공장의 도입으로 정서적 삭막감이 존재한다는 공장이 80%는 그렇다고 응답하였다. 이러한 정서적 삭막감 해소를 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

3) 스마트공장의 많은 정보화면의 관찰 부담으로 일의 집중도가 떨어진다는 응답도 10곳 중 6곳이나 되었다. 따라서 많은 관찰업무의 부담을 줄일 방법이 필요하다고 본다.

4) 스마트공장의 오류발생 시 치명적일 것이라고 70%는 그렇다고 하였다. 스마트공장의 위험성 평가를 하고 있는 공장은 전체의 1/10수준에 불과하므로 미래의 스마트공장 재해를 예방하기 위해서는 체계적이고 정량적 위험성 평가 절차가 필요하다고 사료된다.

5) 스마트공장의 오동작에 대한 대비책이 마련된 공장은 10%뿐이었다. 따라서 비상상황시를 대비한 안전확보 방안, 센서오류 검출방법, 개별 자동화 스마트 시스템 구축, 해커 공격 대비, 위험성분석 등 안전관리 시스템의 구축이 필요하다고 사료된다.

6) 이러한 기초 연구의 결과를 바탕으로 드러난 문제점들에 대한 구체적 해결방안을 점진적으로 모색해야 할 것이다.

4. References

- [1] Korea Industrial Technology Association(KOITA) (2018), Technology & innovation. 415:27-30.
- [2] Ministry of Trade, Industry and Energy(2016), A study on the future smart factory direction and smart manufacturing industry development.
- [3] Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) (2017), Global trends on safety and health at work. 117:10-11.
- [4] S. H. Lee, Y. R. Kim, H. C. Jin, T. G. Kim(2015), "A study on system based ICT convergence for the safety of factory worker." Proceedings of Symposium of Korea Institute of Communication and Informations Sciences, 714-715.
- [5] Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) (2017), Establishment of smart factory

- safety system foundation. pp. 160-174.
- [6] K. S. Jang(2017), "Smart factory trends at Korea and abroad." KB Knowledge of Vitamin of KB Management Research Institute, 17:1-13.
- [7] S. J. Ha, S. H. Lee, B. H. Lee(2016), "Smart factory based manufacturing innovation case." Proceedings of Symposium of The Korean Operations Research and Management Science Society, 2165-2181.
- [8] M. Milczarek, E. Brun(2011), "The new socio-psychological risks posed in the EU." International Labor Brief, Korea Labor Institute, 1:3-22.
- [9] G. Reniers(2017), "On the future of safety in the manufacturing industry." Procedia Manufacturing, 13:1292-1296.
- [10] I. Rothe(2017), "New challenges for workers' safety and health protection." International Labor Brief, Korea Labor Institute, 3:34-37.
- [11] Y. G. Kwon(2018), A study on safety and health issues in smart factories. Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA).

저자 소개



권영국

연세대학교 경영정보학과 박사.
미 텍사스텍 대학교 인간공학 박사, 미 럿걸스 대학교 산업공학 석사 취득,
현재 서울과학기술대학교 안전공학과 교수로 재직 중.
관심분야 : 사고조사, 인간실수, 인간공학, 안전공학 등



권재범

현재 서울과학기술대학교 대학원 안전공학과 박사과정 중.
현재 DNV Supply Chain & Product Assurance 에서 안전보건 Consultant로 재직 중
관심분야 : 사고조사, 인간실수, 안전문화 등