



The Legal Environment of Smart Factory: Focusing on Governmental Support System and Occupational Safety and Health

Jun Woo Kim¹, Yong Eui Kim²

¹*Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University*

²*School of Law, Dong-A University*

A B S T R A C T

Modern information and communication technologies, including internet of things, artificial intelligence, cyber physical system, big data, cloud computing, robotics and mobile sensor network, are believed to enable the fourth industrial revolution, Industry 4.0. Inherently, industrial revolution indicates a dramatical increase in productivity of production systems. In this context, smart factory has emerged as an important topic for both researchers and practitioners. Smart factory is manufacturing facility equipped with modern information and communication technologies, and its objective is to utilize the resources in manufacturing shop floors more efficiently so that competitiveness of manufacturing company is maximized. It is straightforward that various software and hardware solutions are integral parts of smart factory. However, human operators also play essential roles in smart factory environment. In other words, smart factory is also a sort of highly complex socio-technical system where human operators and modern technologies interact with each other, and it might raise a wide range of legal issues in future. The objective of this paper is to examine the legal environment of smart factory and discuss the potential legal issues. Especially, we focus on legal issues related to government support system and occupational safety and health. Consequently, we expect that this paper will provide an meaningful insight into the legal aspects of smart factory.

© 2020 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Industry 4.0, Smart factory, Industrial Internet of Things, Collaborative robots, Occupational safety and health

ARTICLE INFO: Received 21 June 2020, Revised 23 July 2020, Accepted 10 August 2020.

*Corresponding author is with the School of Law,
Dong-A University, Gudeok-ro 225 Seo-gu Busan, 49236,

KOREA.

E-mail address: yongeuik@dau.ac.kr

1. 서론

첨단 정보통신기술의 발달에 힘입어 바야흐로 4차 산업 혁명 시대가 도래하고 있다[1]. 과거 3차례의 산업 혁명들이 그랬듯이, 4차 산업 혁명 역시 사회 전반에 걸쳐 다양한 변화를 야기하게 될 것이므로, 이에 적절히 대비해야 할 필요성도 높아지고 있다. 특히, 4차 산업 혁명 시대에는 새로운 정보통신기술로 인해 이전과 다른 유형의 법적인 문제들이 등장하고, 기존의 법제도만으로 이들을 적절히 다루지 못할 가능성이 있다[2,3]. 따라서, 앞으로 사회 전반에 걸쳐 발생할 수 있는 법적 쟁점들을 선제적으로 검토하고, 적절한 법제도적 대응 방안을 모색하는 것이 요구되는 상황이다.

흔히 4차 산업 혁명이라고 하면, 사물 인터넷, 인공지능, 빅데이터, 무선 통신 및 센서 네트워크 등과 같은 요소 기술이나 자율주행 자동차와 같은 혁신적인 제품들을 먼저 떠올리기 쉽다. 하지만, 보다 중요한 것은, 산업 혁명이란 본질적으로 산업 현장, 특히, 제조 현장에 새로운 기술이 도입되면서 생산성이 비약적으로 증가하는 현상을 의미한다는 데 있다[4]. 예를 들어, 증기 기관에 의해 생산성이 증대된 방직 공장이나, 컨베이어 벨트에 의한 자동화가 이루어진 자동차 공장 등은 과거에 있었던 산업 혁명들을 대표하는 상징으로 널리 알려져 있다. 마찬가지로, 먼 훗날에는 4차 산업 혁명 역시 혁신적인 생산성을 갖는 산업 현장이 출현한 시기로 기억될 가능성이 크다. 또한, 4차 산업 혁명이라는 개념은 독일의 인더스트리 4.0 정책에서 시작되었는데, 이 정책의 핵심적인 목표는 본디 정보통신기술과의 융합을 통한 제조업 경쟁력 강화였다[1,5]. 물론, 산업 혁명은 상기한 산업 현장에서의 생산성 증가 외에, 이에 수반되는 다양한 경제적, 사회적 변화를 총칭하는 개념이기도 하며, 최근에는 4차 산업 혁명과 관련하여 인공지능 기술

에 의한 초지능화, 사물 인터넷 및 모바일 네트워크 등에 의한 초연결, 다양한 기술의 융복합이 강조되기도 한다[6]. 그럼에도 불구하고, 첨단 정보통신기술과 제조 현장의 결합을 의미하는 스마트 공장은 4차 산업 혁명 시대의 가장 핵심적인 추진 과제 중의 하나임에 틀림이 없다.

최근 국내에서도 4차 산업 혁명과 관련된 법적 쟁점에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 가장 연구가 활발한 분야로는 먼저, 초지능화를 촉발하는 인공지능과 관련된 법적 쟁점들을 수 있다. 인공지능은 기계나 컴퓨터가 인간의 추론 능력을 모방하도록 하는 것을 의미하며, 이 같은 인공지능을 실현하기 위해서는 일반적으로 방대한 데이터로부터 일반화된 패턴을 찾아내는 연산 알고리즘이 필요하다[7]. 또한, 최근에는 모바일 네트워크나 빅데이터 기술의 발달로 인해 방대한 데이터의 수집이 가능해지고, 컴퓨터 하드웨어의 발달로 인해 인공지능 알고리즘의 연산 속도가 빨라지면서 인공지능 기술이 전보다 크게 각광을 받고 있다. 이러한 인공지능과 관련된 법제도에 대한 국내 연구에서는 주로 인공지능 또는 인공지능이 탑재된 소프트웨어나 하드웨어에 어떤 법적 지위가 부여되어야 하는지, 인공지능이 윤리적인 판단을 내리도록 통제할 필요성이 있지 않은지, 인공지능에 의해 생성된 창작물의 지적재산권이 어디에 귀속되어야 하는지 등과 같은 담론들이 다루어지고 있다[2,8-12]

한편, 초연결 사회의 도래와 함께 디지털 데이터의 생성 및 공유가 빈번해지면서, 개인정보보호 및 사생활 침해 범죄 역시 중요한 법적 쟁점으로 떠오르고 있다. 이와 관련된 연구들에서는 적절한 법제도 개선과 함께, 지나치게 경직된 법제도로 인해 관련 기술과 산업의 발전을 저해하지 않는 환경 조성의 필요성이 지적되고 있다[13]. 나아가, 다양한 기술과 산업의 융복합 역시 4차 산업 혁명 시

대의 주요 특징 중 하나이다. 다시 말해, 4차 산업 혁명은 몇몇 특정 산업 분야만이 아닌, 다양한 산업 분야에 변화를 가져올 것으로 예상된다. 이러한 맥락에서, 법률[14,15]이나 의료[16], 스포츠[17] 등과 같은 특정 산업 분야를 중심으로 4차 산업 혁명 시대에 대비하기 위한 법제도 연구가 이루어지기도 하였다. 하지만, 앞서서도 언급했듯이, 4차 산업 혁명 시대의 가장 핵심적인 추진 과제 중 하나이자, 우리나라에서도 정책적으로 추진하고 있는 스마트 공장에 초점을 맞춘 법제도 연구는 아직 이루어지지 않았다. 이에, 본 논문에서는 스마트 공장의 기본적인 특성과 함께, 4차 산업 혁명 시대에 발생할 수 있는 스마트 공장 관련 법적 쟁점으로는 어떤 것들이 있는지, 이들에 대비하기 위해 법제도 측면에서는 어떤 준비가 필요한지 등에 대해 논의하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 먼저, 스마트 공장의 개념과 중요성, 구성요소 및 관련 동향 등에 대해 간단히 소개할 것이다. 이어, 3장에서는 여러 문헌들을 통해 스마트 공장에서 어떤 법적 쟁점이 필요한지 논의하며, 4장에서는 해외의 스마트 공장 관련 법제도에 대해 고찰하고자 한다. 끝으로, 5장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 스마트 공장 개념 및 배경

2.1 생산 운영관리와 스마트 공장 필요성

생산(production)이란, 투입물을 산출물로 변환하는 과정 또는 행위를 의미하며, 생산 활동이 경제적인 타당성을 갖기 위해서는 산출물의 가치가 투입물의 가치보다 커야 한다. 여기서, 산출물의 가치에서 투입물의 가치를 제한 값을 부가가치라고 하며, 이는 생산 활동 수행 주체의 이익으로 귀속

되거나, 다음 번 생산 활동을 위해 재투자되기도 한다. 생산 활동의 산출물은 다시 크게 유형의 재화나 무형의 용역, 2가지로 구분되며, 이 중 전자에 대한 생산 활동을 제조, 후자에 대한 생산 활동을 서비스라 지칭한다[18]. 아울러, 공장이란, 생산 활동 중 제조를 수행하는 시설이나 장소를 말하며, 제조 활동을 수행하는데 필요한 대표적인 3가지 투입물인 근로자(man), 기계(machine) 및 자재(material)를 흔히 3M으로 지칭하기도 한다.

제조업의 발달 초기에는 제품의 생산 자체에만 초점이 맞추어졌으나, 산업이 발전하고 제조 기업들 간의 경쟁이 심화되면서, 최근에는 제조 시스템의 경쟁력을 일정 수준 이상으로 유지하면서 제품을 생산하는 것이 중요해졌고, 제조 시스템들이 갖는 가장 대표적인 경쟁 요인으로는 품질(quality), 비용(cost), 납기(delivery)의 3가지를 들 수 있다 [18,19]. 품질이란, 산출된 제품의 성능이나 규격이 일정한 기준을 충족시키는 정도를 말하며, 기준에 미달하는 불량품들의 수가 적을수록, 그리고 산출된 제품들의 성능이나 규격이 균일할수록 품질 경쟁력이 높은 것에 해당한다. 비용이란, 제품 1단위를 생산하는데 소요되는 단가에 해당하며, 이 금액이 작을수록 비용 경쟁력이 높음을 의미한다. 또한, 납기는 고객의 수요를 충족시키는데 소요되는 시간, 예를 들어, 고객의 주문이 접수된 이후 주문 받은 제품을 생산하여 인도하기까지 걸리는 시간 등을 말하며, 이 같은 납기는 짧을수록 바람직하다. 나아가, 최근에는 이 같은 전통적인 경쟁 요인 이외에도 유연성이나 공해 물질의 저감, 근로자들의 안전보건 확보 등이 제조 기업의 경쟁 요인으로 인식되기도 한다.

그러나 다양한 구성요소들이 복잡하게 얽혀 있는 제조 시스템 내부에는 상기한 바와 같은 경쟁 요인을 일정 수준 이상으로 유지하는 것을 방해하는 다양한 유·무형의 낭비 및 비효율 요인들

이 존재하고, 이로 인해 품질의 저하나 제조 원가의 상승, 납기의 지연 등이 발생하는 일이 비일비재하다[20-22]. 따라서, 효과적인 제조 활동을 위해서는 제품의 생산 이외에도 여러 가지 계획 및 통제를 위한 부가적인 활동들이 필요하고, 이들을 총칭하여 생산 운영 관리(production operations management)라 한다[18-19]. 결과적으로, 다양한 생산 운영 관리 활동들로 인해, 실제 제조 기업이 생산 활동을 원활히 수행하기 위해서는 다양한 부서의 업무들이 유기적으로 연계되어야 하며, 예를 들어, <그림 1>은 주문 생산 방식으로 제품을 만드는 제조 기업의 일반적인 업무 프로세스 구성을 보여준다.

<그림 1>에서 볼 수 있듯이, 일반적으로 제조 기업은 크게 상단의 사무 업무부와 하단의 생산 현장, 2개 부분으로 구성되며, 흔히 공장이라고 하면 이 생산 현장을 의미하는 경우가 많다. 아울러, 생산 현장에는 대표적인 투입물인 작업자, 기계, 자재가 표시되어 있고, 이들을 이용하여 산출물에 해당하는 제품이 얻어진다는 점도 살펴볼 수 있다. 한 가지 중요한 것은 이러한 생산 현장이 제조 기업의 전부는 아니며, 그림 상단에 표시된 것과 같은 다양한 사무 부서들의 관여가 있어야 생산 활동이 이루어질 수 있다는 점이다.

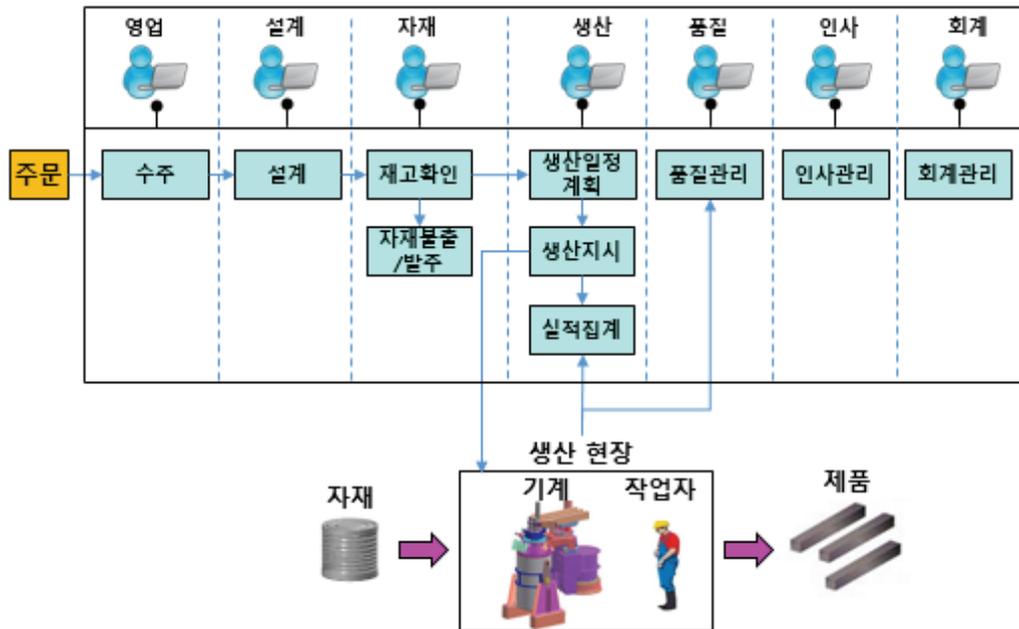


그림 1. 주문 생산 제조 기업 업무 프로세스 예
Figure 1. Example of business process in make-to-order based manufacturing company

<그림 1>의 상단에 나타난 영업, 설계, 자재, 생

인 제조 기업에서 찾아볼 수 있는 주요 업무 부서 들을 나타내며, 고객으로부터의 주문이 접수된 이

후 기업 내부에서 진행되는 전형적인 업무들의 흐름은 각 부서의 아래에 순차적으로 표시하였다.

먼저, 고객으로부터의 주문을 접수하는 것은 일반적으로 영업 부서에서 수행하는 수주 업무로 볼 수 있으며, 규격화된 제품을 생산하는 것이 아니라면 설계 부서에서 수주 받은 제품의 형상이나 규격, 제조 방법 등을 결정하게 된다. 제품 설계가 완료되면 자재 관리 부서에서 해당 제품을 만드는 데 필요한 원·부자재들의 재고가 충분한지를 확인하고, 그렇지 않은 경우 필요한 자재를 외부에서 구매하거나 내부에서 생산해야 한다. 나아가, 이처럼 설계와 자재 준비가 완료되었다고 해서 바로 제품 생산이 진행되는 것은 아니며, 이후에는 생산 관리 부서에서 해당 제품을 언제, 어떤 설비를 이용하여 제조할 것인지에 대한 생산일정계획을 수립해야 한다. 생산일정계획은 이번 달이나 이번 주에 어떤 제품을 얼마나 생산해야 하는지에 대한 내용을 포함하며, 이 내용을 생산 현장, 즉, 실제 공장에 전달하는 과정을 생산지시라 한다. 생산 현장에서는 이 생산지시를 전달받은 이후에야 비로소 실제 제품 생산을 수행한다. 다시 말해, 제조 현장에 근로자, 기계 및 자재가 갖추어져 있다고 해서 이들만으로 제조 활동이 수행되는 것은 아니며, 그 이전에 여러 가지 업무들이 유기적으로 수행되어야 한다. 나아가, 생산 현장에서 제조 프로세스를 수행한 이후에는 생산 실적 등과 같은 정보를 집계하여 향후 운영관리 활동에 사용하며, 만들어진 제품들에 대해서는 양품/불량 여부를 판정하는 품질 검사 등의 활동을 포함하는 품질 관리 업무가 수행된다. 품질 검사 결과 양품으로 판정된 제품들은 출하하거나, 창고에 보관하게 된다. 한편, 상기한 순차적인 업무 흐름에 포함되지는 않으나, 임직원들의 고과 평가 및 부서 배치 등과 관련된 인사, 그리고 제품 원가 산정 등을 포함하는 회계 역시 제조 기업의 운영에서 매우 중요한 업무들이

다. 제조 기업 업무 프로세스의 이 같은 특성상, 특정 업무가 원활하지 않거나, 업무들 간의 연계가 잘 이루어지지 않을 경우, 해당 기업의 전체 경쟁력을 악화시키는 낭비 또는 비효율이 발생하곤 한다.

전통적으로는 상기한 업무들의 처리 과정에서 사람의 수작업, 수기 또는 일반 파일 형태의 데이터 관리, 인쇄된 형태의 업무 문서 등에 대한 의존도가 높았다. 이는 다음과 같은 다양한 문제점들을 야기하였다. 첫째, 데이터의 체계적인 관리나 공유가 쉽지 않다. 예를 들어, 영업 부서에서 고객의 주문을 수주하는 과정에서 종종 예상 납기일에 대한 추정이 요구될 수 있는데, 이를 위해서는 원·부자재 재고, 생산일정계획 및 현재 생산 현장의 상황에 대한 정보가 필요하나, 현실적으로 각 부서에서 수기 또는 일반 파일 형태로 기록한 데이터를 실시간으로 입수하기도 어렵고, 입수된다 해도 해당 데이터들을 체계적으로 활용하는 것이 곤란하다. 둘째, 데이터의 신뢰성이 떨어진다. 다시 말해, 창고에 실제로 보유하고 있는 자재나 완제품의 수량이 기록된 수량과 맞지 않는다가거나, 제조 프로세스 실행 도중 산출된 불량품의 수량이 고의 또는 실수로 축소되는 등의 일이 발생할 수 있다. 셋째, 돌발 상황이나 상황 변경에 대응하는 것이 까다롭다. 제조 기업에서는 수주 받은 주문의 취소나 변경, 납기 단축과 같은 요구가 빈번하게 접수되고, 현장의 기계나 설비가 고장을 일으키는 것과 같은 돌발 상황도 자주 발생한다. 이 같은 일들이 있을 때마다 생산 현장 내 재공품(work in process, WIP)들에 대한 적절한 통제 및 생산일정계획의 재수립이 필요하기 때문에, 결과적으로 업무 부하가 늘게 된다. 넷째, 업무 프로세스를 진행하는데 인쇄된 문서가 필요한 경우가 많다. 예를 들어, 생산 관리 부서에서는 전통적으로 인쇄된 문서 형태로 생산지시 내용을 정리하여 이를 생산 현장에 전달

함으로써 제조 프로세스가 실행되도록 하는데, 이는 문서의 관리 및 수발과 관련된 업무 로드를 발생시킨다. 다섯째, 업무에 관여하는 인간 근로자들로 인해 다양한 인적 요인들이 작용한다. 앞에서 설명한 것처럼 전통적으로 인간 근로자는 생산 현장에 투입되는 가장 기본적인 자원들 중 하나이다. 인간은 다양한 과업을 유연하게 수행하는 능력이 뛰어나지만, 인간이 수행하는 업무에서는 관행이나 개인적 주관, 방심 및 실수 등으로 인한 문제가 발생할 수 있고, 기계와 달리 산업안전보건 측면의 고려도 필요하다.

기존에도 제조 현장의 이 같은 문제점들을 해결하기 위한 노력이 없었던 것은 아니다. 아울러, 제조 현장의 경쟁력 강화를 위한 기존의 접근 방법들은 크게 운영관리, 전산화 및 자동화의 3가지 측면으로 분류할 수 있다. 먼저, 운영관리 측면의 접근 방법들은 주로 체계적인 데이터 수집과 분석, 그리고 이에 기반한 합리적인 의사결정을 수행하고, 도출된 사항들을 현장 및 근로자들에 적용해 나가는데 초점을 둔다. 대표적인 예로는 식스 시그마[23]나 적시 생산[24], BPR(Business Process Reengineering)[25] 등을 들 수 있으며, 이들을 추진하기 위해서는 보통 개선된 업무 수행 절차와 함께, 이에 적용하기 위한 임직원 및 근로자들의 노력이 필요하다. 전산화 측면의 접근 방법들은 제조 프로세스를 실행하는데 필요한 여러 가지 데이터들을 통합 관리하고 여기에 접근할 수 있는 정보 시스템을 구축하여, 주로 사무 업무 프로세스들을 전산화하는 것을 목표로 하였다. 이 같은 정보 시스템들의 대표적인 예로는 ERP(Enterprise Resource Planning)[26]나 MES(Manufacturing Execution System)[27] 등을 들 수 있다. 반면, 자동화 측면의 접근 방법들은 산업용 로봇이나 자동화된 설비를 이용하여 생산 현장의 근로자들이 수작업으로 수행하던 일들을 기계가 대신하도록 하여

작업의 효율성과 정확성을 높이는데 중점을 둔다. 그 동안 이 같은 기존의 접근 방법들 역시 일정 수준의 성과를 거두어왔으나, 기술적인 한계 역시 존재했던 것이 사실이다. 나아가, 스마트 공장은 이러한 기존의 한계를 극복하기 위한 방안으로 주목받고 있다.

2.2 스마트 공장 주요 특징

스마트 공장 또는 스마트 제조 시스템이란, 전통적인 제조 현장에 존재하는 근로자, 기계, 자재와 같은 자원들과 다양한 첨단 정보통신기술들을 융합시켜 생산성과 경쟁력이 크게 강화된 공장을 말한다[1,28-30]. 스마트 공장이 최근 들어 강조되는 이유는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 먼저, 첫 번째 이유는 제조업의 가치가 재조명되고 있다는 점이다. 일반적으로 산업과 경제가 발전할수록 국가 경제에서 3차 산업, 즉, 서비스업의 비중이 높아지는 경향이 있고, 우리나라를 비롯한 대부분의 선진국에서 이러한 현상이 나타났으나[31], 제조업이 강한 국가들이 최근의 금융 위기들을 보다 효과적으로 극복하는 모습을 보여주면서, 세계 각국이 제조업의 강화에 힘을 쏟고 있다[30]. 두 번째 이유는 기술의 발전을 들 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 기존에도 제조 프로세스의 경쟁력을 높이기 위한 시도는 다양하게 이루어져 왔으며, 스마트 공장 역시 이러한 시도의 연장으로 볼 수도 있다[32]. 나아가, 최근에는 기술의 발달로 인해 기존에 구현이 곤란했던 새로운 개념의 시스템 개발이 가능해졌고, 이는 스마트 공장을 통한 제조업 경쟁력 강화를 촉진하는 요인이 되고 있다.

연구자들은 스마트 공장을 구현하는데 인공지능, 사물인터넷, 정보시스템, 빅데이터, 클라우드, 가상물리시스템, 무선통신 등과 같은 요소기술이 필요하다고 지적하고 있다[29,32,33]. 또한, 이와 유사하

게 우리나라에서는 2015년 정부 관계부처들이 합동으로 발표한 「제조업 혁신 3.0 전략」 실행대책에서 <표 1>과 같은 8가지 스마트 공장 요소기술들을 제시한 바 있다.

표 1. 8대 스마트 제조 기술
Table 1. 8 smart manufacturing technologies

연번	기술
1	가상물리시스템
2	에너지 절감
3	스마트 센서
4	3D 프린팅
5	사물인터넷
6	클라우드
7	빅데이터
8	홀로그램

이러한 요소기술들은 모두 스마트 공장 구축을 통해 품질, 비용, 납기 등과 같은 제조 프로세스 경쟁 요인을 관리 및 개선하기 위한 목적으로 활용될 수 있다. 그러나, 단순히 생산 현장에 상기한 요소기술들이 적용되었다고 해서 스마트 공장이 구축되는 것은 아니며, 스마트 공장의 개념이 실현되기 위해서는 감지, 판단, 수행의 핵심 기능 3가지의 순환이 적절히 이루어져야 한다[19].

먼저, 감지란, 생산 현장에서 여러 가지 디지털 데이터를 수집하고, 이들을 이용하여 생산 현장의 상태나 문제점을 인지하는 것을 말하며, 자재나 작업물의 위치 및 수량, 기계나 설비의 상태, 에너지 사용량, 근로자의 작업 방식이나 동작 등과 관련된 다양한 데이터들이 수집 대상으로 취급될 수 있다. 또한, 센서나 사물인터넷 등의 기술들은 이 같은 디지털 데이터를 생성 및 감지하는데 사용되고, 수집된 데이터들은 유·무선 통신 네트워크를 통해 데이터 저장소에 기록된다. 수집된 데이터의 분량이 많은 경우에는 빅데이터나 클라우드 같은 기술도 필요해질 것이다. 판단이란, 저장된 데이터를

체계적으로 분석하여 효과적인 작업장 운영관리를 위한 의사결정을 수행하는 것을 말한다. 예를 들어, 작업장의 기계나 설비의 고장이 임박한 상태는 아닌지, 현재 불량률이 높아지고 있지는 않은지 등의 판단을 신속하게 내릴 수 있다면 제조 프로세스의 운영이 보다 원활해질 것이다. 아울러, 효과적인 의사결정을 내리기 위해서는 생산 현장으로부터 수집된 데이터에 포함된 유용한 정보들을 추출할 수 있는 인공지능이나 데이터 마이닝 등과 같은 기법들이 유용하게 사용될 수 있다. 끝으로, 수행이란, 판단 결과 도출된 사항이 실제 생산 현장에 적용되도록, 기계나 설비, 장치 또는 근로자를 제어 및 통제하는 과정에 해당하며, 산업용 로봇이나 자동화 또는 여러 가지 제어 기술들과 관련이 있다.

한 가지 특기할만한 점은 간혹 스마트 공장의 목표가 단순한 자동화 내지는 이를 통한 무인화 및 인력 감축이라고 오해하는 경우가 종종 있다는 점이다. 앞에서 설명한 바와 같이, 스마트 공장의 주된 개념은 생산 현장으로부터 디지털 데이터를 실시간으로 감지하고, 이를 분석하여 적절한 판단을 내린 후, 필요한 조치를 수행해 나가는 것이며, 이러한 맥락에서 스마트 공장과 단순한 자동화는 서로 구분되어야 한다. 또한, 기술이 빠르게 발전하고 있다고는 하나, 인간 근로자가 하던 모든 업무를 로봇이나 자동화 설비로 대체하는 것은 아직 곤란한 것이 사실이며, 관리나 통제 및 로봇이 수행하기 힘든 업무는 여전히 인간의 몫으로 남게 될 것이라는 지적이 많다. 결과적으로, 스마트 공장에서도 인간 근로자는 여전히 생산 현장의 주된 구성요소 중 하나로 남을 것이며, 오히려, 인간의 유연성과 기계의 정확성 간의 조화를 통해 생산 현장의 혁신을 추구하는 것이 스마트 공장의 본질 중 하나라고 볼 수 있다[1].

3. 스마트 공장 관련 법제도적 문제

3.1 지능형 스마트 공장의 육성

상기한 바와 같이 자국 내 스마트 공장의 보급 및 확산을 국가에서 정책적으로 지원하는 것은 국가 산업 경쟁력을 제고한다는 측면에서 그 타당성을 갖는다. 아울러, 우리나라에서는 2019년 「제조업 르네상스 비전 및 전략」을 통해 2020년까지 중소기업 대상 스마트공장 3만개 보급, 2030년까지 스마트 산단 20개 조성, 2030년까지 인공지능 팩토리 2천개 구축 등의 계획을 발표한 바 있다[34]. 2015년에 발표된 「제조업 혁신 3.0 전략」과 2019년의 「제조업 르네상스 비전 및 전략」은 스마트 공장을 통한 국가 제조업 경쟁력 강화를 꾀한다는 점, 그리고 중소·중견기업의 지원에 초점을 맞춘다는 점에서 공통점을 갖는다. 반면, 「제조업 혁신 3.0 전략」에서는 <표 1>과 같은 8대 요소기술을 제시하였으나, 「제조업 르네상스 비전 및 전략」에서는 인공지능에 기반한 지능형 공장을 강조한다는 점에서 약간의 차이점이 존재한다. 그러나, 스마트 공장 육성의 기본적인 방향이 크게 바뀐 것은 아니며, 「제조업 혁신 3.0 전략」에서도 스마트 공장의 추진 단계를 기초, 중간1, 중간2, 고도화의 4가지로 나누고, 업무의 전산화에 초점을 두는 기초 단계와 달리, 중간2나 고도화 단계로 이행할수록 인공지능의 역할이 점점 커질 것이라 명시하였다[35]. 바꾸어 말하면, 초기에는 인공지능 기반 스마트 공장의 개념이 생소하고, 아직까지 수작업이나 수기에 의한 데이터 기록에 대한 의존도가 높은 중소기업이 기초 또는 중간1 단계로 진입하도록 지원하는 것이 주된 목표였으나, 이제는 인공지능에 바탕을 둔 고도화된 스마트 공장의 구축이 필요성이 높아지는 상황으로 해석할 수 있을 것이다.

다만, 스마트 공장에 대한 초기의 전세계적인 기대에도 불구하고, 그 동안 고도화된 스마트 공장의 대표 사례로 널리 알려졌던 아디다스 사의 ‘스피드팩토리’가 최근 기대했던 성과의 미비로 추정되는 이유로 인해 폐쇄되고, 우리나라에서도 중소 제조 기업들의 인공지능 기술 활용 역량이 취약하다는 지적이 이어지는 등, 아직까지 지능형 스마트 공장이 보편화되기까지는 시간이 좀 더 필요할 것으로 생각된다[36].

인공지능 관련 기술이 발전하고, 자율주행 자동차와 같이 인공지능에 기반한 혁신적인 제품이 실용화되고 있음에도, 이처럼 4차 산업혁명의 핵심인 스마트 공장 분야에서의 인공지능 응용이 만족스럽지 않은 이유로는 다음의 몇 가지를 들 수 있다. 첫째, 중소 제조 기업들의 경우 제품의 생산에 관한 기술이나 노하우를 중시하는 경향이 있고, 정보통신기술 등 그 외 분야 역량이 미흡한 경우가 많다. 이로 인해, 일반적으로 인공지능 기술 자체에 대한 이해도나 활용 능력이 충분하지 않다. 둘째, 다품종 소량의 주문생산 체제인 경우가 많다. 동일한 품목 생산이나 동일한 작업의 반복이 많지 않으면, 인공지능 알고리즘의 학습에 이용할 데이터가 충분히 축적되지 않는다. 또한, 작업 방법이 정형화되어 있지 않으면 자동화하기도 쉽지 않다. 셋째, 지능형 스마트 공장 구축에 필요한 소프트웨어나 하드웨어들을 결국 외부 전문 기업으로부터 공급받는 경우가 많은데, 외부 기업들의 경우, 개별 제조 기업의 특성에 대한 이해도가 충분하지 않아, 추진 결과가 만족스럽지 않을 수 있다. 넷째, 초기 구축 및 유지보수에 소요되는 비용을 투자할 여력이 상대적으로 부족한데다, 투자 대비 효과를 확인하기가 어렵다.

그럼에도 불구하고, 상대적으로 예산 및 인력 등의 측면에서 여유가 있는 대기업보다는 중소기업의 지능화를 정책적으로 지원하는 것이 타당하고,

정부에서도 이를 위한 예산 편성 및 여건 마련에 힘쓰고 있다[35]. 아울러, 이러한 노력이 소기의 성과를 거둘 수 있도록, 필요한 경우에는 법제도적 여건이 조성되어야 할 것이다.

3.2 스마트 공장의 운영

- 데이터 감지 범위

스마트 공장에서는 센서나 사물인터넷 등의 기술을 이용하여 근로자나 기계, 자재에 관한 여러 가지 데이터를 감지 및 수집하게 된다. 이렇게 수집된 데이터들은 생산 현장에 대한 상태 파악, 성능 평가 및 문제점 진단 등 다양한 목적을 위해 유용하게 사용될 수 있다. 다만, 기계나 자재와 달리, 인간 근로자들에 대한 감지는 경우에 따라 새로운 분쟁을 야기할 가능성도 있을 것으로 보여진다.

예를 들어, 2019년 온라인 매체 The Verge는 글로벌 유통기업으로 유명한 아마존 사와 관련된 보고서를 게재한 적이 있다[37]. 해당 보고서는 아마존 사의 자문 변호사 중 1명의 요청으로 인해 작성된 것으로 알려져 있으며, 주요 내용은 다음과 같다. 거대 유통기업인 아마존 사는 미국 내 곳곳에 초대형 물류센터를 설치하여 운영하고 있으며, 이러한 물류센터들은 아마존 사가 유통하는 다양한 물품들을 저장해두었다가 고객 또는 소매상의 요청이 있을 때 필요한 물건을 필요한 만큼 배송하는 역할을 수행한다. 물류센터 내에는 수천 개의 슬롯(slot, 저장 공간)들이 존재하고, 각 슬롯에는 서로 다른 물품이 보관되기 때문에, 특정 물품들에 대한 배송 주문이 접수되는 경우에는 근로자가 적절한 슬롯들을 찾아다니면서 필요한 물품들을 꺼내어 출하 장소로 가지고 와야 한다. 물론, 초대형 물류센터들의 경우, 어느 정도의 자동화 설비들이

갖추어져 있으며, 아마존 사의 물류센터 근로자들 역시 창고 내 물품 운반용 전동 차량을 이용하여 상기 업무를 수행한다.

문제는, 근로자들의 업무 수행 내역에 관한 데이터를 자동으로 집계하고, 인공지능을 이용하여 각 근로자들의 생산성을 평가하며, 저성과자에게 경고뿐만 아니라 해고 절차까지 자동으로 실행하는 시스템이 구축 및 적용되어, 볼티모어에 위치한 물류센터 1곳에서만 1년에 300명 가량의 해고자가 상시 시스템으로 인해 발생했다는 점이다. 해당 시스템이 수집하는 근로자들의 업무 행태와 관련된 데이터 중에는 1가지 물품을 꺼낸 후, 다음 번 물품을 꺼내는 시점까지의 시간 간격이 포함되어 있고, 이 값이 길거나, 자주 관찰되는 근로자의 생산성은 낮게 평가되었다. 물류센터 쪽에서는 관리자가 해당 시스템의 판단을 반드시 따를 필요는 없다고 해명하였으나, 상기한 바와 같이 상당한 해고자가 발생하는데, 근로자들은 해고에 대한 두려움으로 인해 화장실 사용조차 삼가게 되었다고 한다.

조직 내 구성원들의 성과를 평가하고, 이에 기반하여 인사고과를 실시하는 것은 이미 보편화되어 있고, 조직의 경쟁력을 유지하기 위해 필요한 일이기도 하다. 아울러, 업종에 따라서는 업무를 수행하는 동안 녹취나 촬영을 실시하고 이를 관리 목적으로 활용하는 경우도 있다. 그러나, 업무 시간 동안 자신의 일거수일투족을 모니터링 및 추적하고, 그 결과를 인사고과에도 활용할 수 있는 지능형 시스템의 감독 하에서 근무하는 것은 아직까지 대부분의 사람들에게 낯선 일일 것이다. 업무 수행과 관련된 데이터를 실시간으로 감지하고 적절한 방법을 사용하여 이를 분석하면, 인간의 주관적 판단이 배제되어 보다 공정하고 철저한 성과평가가 신속하게 이루어질 수도 있다. 그럼에도, 상기한 아마존 물류센터 사례에서 보듯이, 첨단 시스템이 해고자를 늘리고 근로 조건을 악화시키는 등의 부

작용을 야기하는 측면도 있는 것으로 보인다. 물론, 우리나라보다 고용의 유연성이 높은 미국의 사례와 직접적인 비교는 어렵겠으나, 우리나라에서도 향후 산업 현장에 유사한 시스템이 도입되면, 이것이 노사 간의 분쟁을 촉발하는 요인으로 작용할 가능성이 있다. 따라서, 관련 법제도를 검토하여 기업이 근무 시간 도중 임직원들을 어느 정도까지 추적하고 데이터를 감지할 수 있는지, 이 같은 데이터를 어떤 목적으로 활용할 수 있는지, 나아가, 인사나 고용과 같은 민감한 의사결정을 인간의 판단이 아닌 자동화된 알고리즘에 의해 수행해도 문제의 소지가 없었는지 등에 대한 지침을 마련하고, 인간 근로자에 대한 데이터 감지로 인해 분쟁이 발생했을 때, 외부에서 이를 중재할 수 있는 여건을 조성하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

이러한 지침의 마련은 사회적 합의과정과 입법 과정을 거쳐서 강제성을 가진 규범으로 마련되지 아니하면 그 실효성의 문제로 인하여 지속적인 불만과 분쟁이 야기될 수 있다.

- 협동 로봇과 산업안전보건

종래 산업용 로봇의 역할은 인간 근로자를 대체하고, 업무를 자동화하는 것이었다. 아울러, 이러한 산업용 로봇은 인간 근로자에 비해 강한 힘을 낼 수 있고, 주어진 업무를 보다 신속, 정확하게 처리할 수 있다는 장점을 갖는 반면, 복잡하고 자유도가 높은 작업을 처리하기는 어렵기 때문에 그 활용도가 제한적이었다[38]. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 협동 로봇이라는 개념이 등장하였다. 협동 로봇이란, 한 가지 작업을 수행하기 위해 같은 장소에서 인간과 협업하는 로봇을 말한다. 나아가, 유연함이 요구되는 부분은 인간이, 정확함이 나 큰 힘이 요구되는 부분은 로봇이 수행함으로써, 다양한 종류의 작업을 효율적으로 처리할 수 있고,

인간 근로자의 근골격계 질환 등 직업병을 예방하는데도 도움을 준다[39]. 이러한 맥락에서, 협동 로봇은 스마트 공장을 구축하는데 사용할 수 있는 유용한 기술 중 하나이다[40].

이러한 협업의 경우 제조 공정 또는 완성된 제품에서 발생하는 법적인 책임문제의 원인규명이나 그 책임의 배분 문제에서 큰 어려움이 발생할 수 있다. 즉, 근로자나 그 감독자의 개인적 과실이 원인이 되는지 협업에 참여한 로봇의 작동이나 그 로봇에 적용된 알고리즘 및 프로그램이 원인이 되었는지를 밝히는 문제가 발생하며, 또 양 쪽이 모두 원인제공을 했다고 했을 때 그 책임의 배분 문제가 복잡해진다. 여기에 대한 설명가능하고 투명한 기준이 제시되지 아니하면 협동로봇의 투입은 사실상 곤란해질 수 있다.

한편, 다양한 동작을 수행하는 기계 장치인 로봇의 특성상, 적절히 사용하지 않으면 가동 중에 인간 근로자의 부딪힘이나 끼임 등과 같은 사고를 일으킬 가능성이 존재한다. 산업용 로봇의 경우에는 작업을 자동적으로 수행하는 동안 인간과 상호작용할 일이 없기 때문에 펜스와 같은 방호 시설을 설치하여 로봇이 가동되는 동안 인간 근로자의 접근을 차단하는 식으로 이 같은 일들을 방지하였다. 하지만, 협동 로봇은 작업 수행 도중 인간 근로자와 밀접하게 상호작용해야하기 때문에, 펜스를 설치하지 않는다는 큰 차이점이 있다. 이로 인해, 협동 로봇은 기존에 없었던 새로운 유형의 산업안전보건 문제를 야기한다[39,41].

산업재해는 피해 당사자 및 해당 기업, 나아가, 국가적으로도 상당한 사회적 손실을 야기하고, 경우에 따라서는 한 번의 사고로 인해 장애나 사망 등 중대 재해가 발생할 수 있어, 예방 조치가 무엇보다 중요하다. 그럼에도 일선 기업 입장에서는 품질, 비용, 납기 등과 같은 주요 경쟁요인들에 대한 관리에 더 높은 우선순위를 두는 경향이 있고, 예

방 조치에 대한 투자 대비 성과를 명확히 확인하기도 어려워, 산업안전보건에 적극적으로 임하지 않을 가능성이 있다. 이에, 세계 각국에서 산업재해 예방에 관한 사항은 법률로 규정하며, 우리나라 역시 산업안전보건법을 통해 이와 관련된 책임과 의무를 명시하고 있다[42,43].

한편, 최근에는 전 세계적으로 산업재해 예방과 관련된 사업주의 책임을 강화하고, 고위험 영역에 대한 집중 관리, 개별 기업체에 적합한 자율적, 능동적 활동 등을 강조하는 방향으로 산업안전보건 정책이 바뀌고 있다. 다시 말해, 외부에서 정한 사항들을 형식적으로 따르기보다 개별 사업장에서 잠재적인 위험성을 선별하고 적절한 예방 활동 및 안전보건교육 등을 통해 상시적인 안전보건문화를 형성하도록 하는 것이 최근 산업안전보건 정책의 경향이다. 문제는 비교적 최근에 개발 및 보급되기 시작한 첨단 기술이자, 기존의 설비에 비해 사람과 기계간 상호작용이 보다 활발한 협동 로봇에 대해서도 이 같은 민간 사업장 차원의 자율적인 활동이 원활할 수 있겠는가 하는 점이다. 물론, 펜스를 설치하지 않는 협동 로봇이라 해도 기본적으로는 감응식 안전장치를 별도 설치하거나, 협동 로봇 자체에 유사 시 동작을 정지하는 기능을 내장시키기도 한다[39]. 그럼에도 불구하고, 협동 로봇과 관련된 불의의 산업재해를 최소화하기 위해서는 개별 사업장 차원의 지속적인 노력이 있어야 할 것이다.

4. 스마트 공장 관련 법제도 동향

4.1 스마트 공장 육성에 관한 법제도

최근 세계 각국에서 자국 내 스마트 공장 생태계를 육성하기 위한 정책을 시행해 왔으며, <표 2>는 이러한 예로 독일의 Mittelstand 4.0 프로그램의 주요 특징을 보여준다. 여기서 알 수 있듯이 스마

트 공장의 보급 및 확산에 있어서는 일반적으로 대기업보다는 인적, 물적 여건이 열악한 중소기업을 대상으로 정책적 지원이 이루어지는 경우가 많으며, 개별 제조 기업의 효과적인 스마트 공장 도입을 지원하기 위해서는 자금 지원 외에도 교육이나 컨설팅, 기술 지원 등이 다각적으로 필요하다. 아울러, 초창기의 정책들을 시행하는 과정에서 어느 정도 시행착오를 겪은 각국 정부들은 최근 정책의 보완과 함께 스마트 공장 육성에 관한 구체적인 법적 근거를 준비하기도 하는데, 여기서는 대표적인 사례로 우리나라와 미국의 상황을 비교해 보고자 한다.

우리나라는 2015년 「제조업 혁신 3.0 전략」을 통해 스마트 공장에 기반한 제조업 경쟁력 강화 정책을 발표하였고, 같은 해 ‘민관합동 스마트 공장 추진단’을 설립하여 국내 중소·중견기업을 대상으로 하는 스마트 공장 보급 및 확산 사업의 기획, 운영을 실시해왔다. 나아가, 2019년에는 민관합동 스마트 공장 추진단과 중소기업기술정보진흥원의 조직을 통합한 ‘스마트제조혁신 추진단’을 중소벤처기업부 산하에 설립하여 국내 제조 기업들의 혁신을 지속적으로 지원하고 있다. 이 같은 노력의 결과, 2020년 기준으로 국내 중소·중견기업 1만 2천여 개에 대한 보급 및 확산 지원이 이루어졌고, 해당 기업들에서 불량률 감소, 제조원가 절감 및 납기 단축 등의 성과가 어느 정도 얻어진 것으로 평가된다. 하지만, 스마트 공장 구축 이후의 유지보수 및 전문인력 활용 등과 같은 유·무형의 비용들로 인해 이 같은 정량적인 성과들이 제조 기업의 수익성 증대에 기여하는 바는 제한적이라는 지적도 있다[44]. 이러한 맥락에서 스마트 공장 및 스마트 제조 혁신과 관련된 제도의 법제화가 그 동안 논의되었으며, 중소벤처기업부에서는 현재 ‘스마트 제조 혁신 촉진에 관한 법률(가칭)’의 제정을 추진하고 있다.

한편, 다양한 분야에서 정보통신기술을 활용한 혁신을 선도해 온 미국 역시 21세기에 접어들면서 제조업의 중요성에 다시 주목하고 2014년 ‘Making in America’ 정책을 발표하며 스마트 제조 혁신을 통한 제조업 경쟁력 강화를 강조해 왔다. 아울러, 2019년에는 스마트 제조 혁신을 법 제화하기 위한 ‘스마트 제조 리더십 법안(smart

manufacturing leadership act)’ 이 의회에 제출된 상태로, 우리나라의 스마트 공장 활성화 정책 및 법제화 움직임과 비슷한 시기에 유사한 내용을 추진하고 있다. 이에, 본 논문에서는 스마트 제조 리더십 법안의 특징을 간단히 살펴보고, 우리나라의 스마트 공장 관련 정책과 비교해보고자 한다.

표 2. 독일의 Mittelstand 4.0 프로그램
Table 2. Mittelstand 4.0 program of Germany

항목		Mittelstand 4.0
주관 부처		에너지경제부(Federal Ministry for Economic Affairs and Energy)
목표		중소기업의 제조 공정 디지털화를 지원하고 대기업과 중소기업 간 스마트 제조 역량의 간극을 최소화
주요 추진 사항	기술 지원	<ul style="list-style-type: none"> 수행 조직 : Mittelstand 4.0 Agency 세부 활동 : 클라우드, 정보통신, 전자상거래 등 전문적인 요소기술과 관련된 기술 지원 제공
	컨설팅	<ul style="list-style-type: none"> 수행 조직 : Mittelstand 4.0 Competence Centre 세부 활동 : 스마트 공장 추진 방안, 특정 기업에 적합한 솔루션 선정, 디지털 마케팅, 인적 자원 관리, 관련 법률 등에 관련된 상담이나 컨설팅, 교육 제공

표 3. 한국과 미국의 스마트 공장 관련 정책 비교
Table 3. Comparison of smart factory-related policies of Korea and America

항목	미국	한국
법안 명칭	스마트 제조 리더십 법안 (Smart manufacturing leadership act)	스마트 제조혁신 촉진에 관한 법률(가칭)
주관 부처	에너지부(Department of Energy)	중소벤처기업부
목표	제조 기업의 생산성 및 에너지 효율성 향상을 위한 계획 수립 및 중소기업 지원	지능형 정보통신기술을 이용한 생산성 향상 및 불량률 감소, 유연성 증대
대상 기업	<ul style="list-style-type: none"> 산업 분류 상 제조업에 소속 연간 매출액 1억 달러 이하 현장 근로자 500인 이내 연간 에너지 사용액 10만~250만 달러 	중소기업 및 중견기업
실무 기관	<ul style="list-style-type: none"> 산업 평가 센터(industrial assessment center) 고등 교육 기관에 설치 현재 수준 평가, 에너지 효율성 개선 및 공해 저감, 생산성 향상 방안 컨설팅 등 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 제조 혁신센터 각 지역 테크노 파크에 설치 지원 대상 기업 선정, 컨설팅, 기술 개발, 사후 관리 등 담당

미국 스마트 제조 리더십 법안과 우리나라 스마트 공장 관련 정책 및 법제화 움직임의 주요한 특징들에 대해서는 <표 3>에 정리하였다. 이를 보면, 먼저 우리나라 역시 스마트 제조혁신 촉진에 관한 법률(가칭)이라는 법안 제정을 추진하고 있어, 양국이 공통적으로 4차 산업 혁명 시대에 스마트 공장의 보급 및 확산을 국가적인 추진 과제로 보고, 이를 위해 노력하고 있음을 알 수 있다.

다만, 미국의 스마트 제조 리더십 법안이 에너지부(Department of Energy) 소관인 반면, 한국에서는 중소벤처기업부에서 법제화를 추진하고 있다는 차이가 있다. 나아가, 양국의 정책 추진 목표를 보면, 미국 스마트 제조 리더십 법안이 제조 기업의 생산성 및 에너지 효율성 향상에 초점을 두고 있고, 한국은 지능형 정보통신기술을 이용한 생산성 향상 및 불량률 감소, 유연성 증대 등을 스마트 제조 혁신의 주요 목표로 삼고 있다. 이러한 점들을 볼 때, 양국의 스마트 공장 관련 법안은 기본적으로 첨단 정보통신기술을 이용한 국가 제조업 경쟁력 강화라는 유사한 추진 목표를 가지고 있으나, 미국에서는 에너지 절감을 주요 추진 목표 중의 하나로 중시한다는 약간의 차이가 있다. 물론, 우리나라에서도 <표 1>에서 보듯이, 에너지 절감을 스마트 공장의 주요 요소 기술 중의 하나로 인식해 오고 있는 것으로, 최근의 보고서에서 지적한 것처럼, 지금까지 국내에서는 주로 불량률 감소나 납기 단축 등 공정 자체의 효율성 개선에 초점을 두었고, 이로 인해 공정 성과지표는 개선되었으나, 기업의 실질적인 수익성 향상 효과는 제한적이었기에, 투자 대비 성과에 대한 확신이 어려워 일선 기업에서 스마트 공장의 추진을 망설이는 요인이 된다는 평가가 있다[44]. 에너지 절감은 기업이 부담해야 할 관련 요금을 줄여, 보다 직접적인 재무적 성과를 가지적으로 도출하는데 기여할 수 있으며, 환경 보호와 같은 기업의 사회적 책임을 이행하는

수단이기도 하다. 물론, 양국의 에너지 공급 체계나 요금 등의 여건이 다르기 때문에, 직접적인 비교는 어렵겠으나, 최근 탈원전 관련 담론이 있었던 우리나라 스마트 공장 관련 정책에서도 향후 에너지 절감의 중요성이 높아질 수 있을 것으로 생각된다.

<표 3>의 대상 기업 항목을 보면, 양국의 스마트 공장 관련 정책이 공통적으로 공정 혁신 역량이 상대적으로 미흡한 중소기업의 지원을 강조하고 있음을 볼 수 있다. 아울러, 대기업들의 경우, 자체적인 스마트 제조 혁신에 필요한 인적, 물적 자원들을 어느 정도 보유하고 있는데다, 국가 제조업 경쟁력을 강화하기 위해서는 결국 제조 기업들 중 가장 비중이 높은 중소기업들의 혁신이 중요하기 때문에, 이는 타당한 방향으로 보여진다. 또한, 한국에서는 중소기업 이외에 중견기업까지를 지원 대상 기업에 포함시키고 있는데, 미국의 연간 매출액 및 상시 근로자 인원수를 보면, 양국의 스마트 공장 관련 법제도에서 지원 대상 기업의 범위는 큰 차이가 없는 것으로 생각된다.

끝으로, 실무 기관 항목에서는 미국은 산업 평가센터(industrial assessment center), 한국은 스마트 제조 혁신센터가 실제 제조 기업들의 스마트 공장 도입을 지원하는 것으로 되어 있다. 산업 평가 센터는 대학 등 고등 교육 기관에 설치되어, 미국 에너지부의 지원을 받아 중소기업의 현재 수준 평가, 에너지 효율성 개선 및 공해 저감, 생산성 향상 등을 위한 방안 수립 및 컨설팅의 역할을 담당한다. 반면, 한국의 스마트 제조 혁신센터는 전국 각지의 19개 테크노 파크(Techno Park)에 설치되어, 지원 대상 기업 선정, 컨설팅, 스마트 공장 관련 기술 개발 지원 및 사후 관리 등을 담당한다. 이는 양국이 모두 중소기업의 스마트 공장 도입을 원활히 추진하기 위해서는 기술적인 전문성을 가진 실무 기관의 역할이 중요하다고 인식하고 있음을 의미

하며, 산업 평가 센터와 스마트 제조 혁신센터의 역할도 기본적으로 유사하다. 한 가지 차이점은 미국 스마트 제조 리더십 법안에는 산업 평가 센터를 주로 대학에 설치하여 운영한다는 내용이 있어, 스마트 공장 보급 및 확산에서 대학이 어느 정도 역할을 수행할 것으로 보인다는 것이다. 물론, 미국에서도 스마트 공장의 구축에 필요한 실제 소프트웨어나 하드웨어들은 관련 전문 기업들이 개발하여 공급하게 되었으나, 그 전에 작업장 내의 문제점을 도출하고 개선 방향을 수립하는 과정에서는 어느 정도 산학 연계가 이루어질 것으로 생각된다. 한편, 스마트 제조 혁신센터의 중요한 기능 중 하나로 소재 지역 시스템 지원 센터에 빅데이터의 처리 등에 필요한 공용 소프트웨어나 하드웨어 인프라를 구축하여 일반 기업체들이 이를 사용할 수 있도록 하는 것을 들 수 있는데, 일선 기업들이 이를 안심하고 활용하기 위해서는 영업정보 유출 등의 문제가 해결되어야 하는 측면도 존재한다. 따라서, 이에 대해서는 향후 적절한 제도적 장치가 갖추어져야 할 것이다.

이 외에도 스마트 제조 리더십 법안에는 스마트 제조 기술 개발 및 보급을 위한 국가 계획의 수립, 국립 연구소들이 수퍼 컴퓨팅 시설들을 중소기업에게 개방하여 공유, 공정 시뮬레이션이나 스마트 제조 등의 개념을 시연하기 위한 인프라 확보 등의 내용이 포함되어 있는데, 나머지 사항들의 경우, 우리나라에서도 스마트 공장 기술개발 로드맵이나 중소기업 기술 로드맵, 제조 데이터 센터 및 플랫폼 구축, 데모 공장 구축 등 유사한 사항들을 추진해 왔거나 추진 중에 있다. 이는 한국과 미국 모두 스마트 공장을 4차 산업 혁명 시대의 중요한 정책적 과제로 인식하고 있고, 이의 보급 및 확산을 위해 정부 차원에서 노력 중이며, 관련 제도의 법제화를 통해 향후 중소기업의 혁신을 보다 체계적으로 지원할 것이라는 점을 보여준다.

결론적으로 말해, 양국의 제조업 환경이 동일하지 않기 때문에 단편적인 비교는 곤란하겠으나, 미국의 경우 에너지 절감이라는 구체적인 재무적 성과로 연결될 수 있는 목표를 주요 추진 과제 중의 하나로 명시하였다는 점, 대학과 같은 고등 교육 기관과 연계하여 교육이나 컨설팅 등의 다각적인 지원을 목표로 하는 점 등이 우리나라에서도 참고가 될 수 있을 것으로 보여진다. 반면, 우리나라의 경우 다소 광범위하고 단기적인 성과를 내기는 어려울 수 있으나 지능형 정보통신기술에 기반한 고도화된 스마트 공장의 육성을 목표로 하고 있는 점이 특기할 만하다.

4.2 협동로봇 산업안전보건에 관한 법제도

우리나라에서는 일선 산업 현장에서의 산업재해 및 직업병 예방과 관련된 사항들을 1981년 제정된 산업안전보건법에 명시하고 있다. 나아가, 산업안전보건법의 하위 법령으로는 산업안전보건법 시행령, 산업안전보건법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙 등이 있다. 먼저, 산업안전보건법에서는 제5조(사업주 등의 의무)에서 사업주가 근로자의 신체적 피로와 정신적 스트레스 등을 줄일 수 있는 쾌적한 작업환경의 조성 및 근로조건의 개선, 산업재해를 방지하기 위하여 필요한 조치를 수행해야 한다고 밝힘으로서 개별 사업장에 대한 산업안전보건 활동이 사업주의 책임임을 명시하고 있다. 다만, 현실적으로 사업주가 산업안전보건에 대한 전문적인 지식이 충분하지 않은 경우가 대부분이므로, 산업안전보건법 제15~21조는 임직원 중 안전보건관리책임자나 관리감독자 등을 선임하여 산업안전보건 관련 업무를 일임하거나, 외부의 전문기관에게 위탁할 수도 있게 되어 있다. 아울러, 산업안전보건 관련 업무란, 일반적으로 안전보건관리규정의 작성, 안전보건교육의 실시, 유해·위험

방지 조치 등을 의미한다.

나아가, 제80조(유해하거나 위험한 기계·기구에 대한 방호조치)에서는 특별히 산업재해 관련 위험이 높은 설비들에 대해 방호조치를 취할 것을 명시하고 있는데, 이에 해당하는 설비는 산업안전보건법 시행령에서 예초기, 원심기, 공기압축기, 금속절단기, 지게차, 포장기계로 한정되어, 산업용 로봇은 포함되지 않는다. 다만, 산업안전보건법의 하위 행정규칙인 안전검사 고시에서는 이전까지 산업용 로봇에 대한 내용이 포함되지 않았다가 2020년 1월 16일부터 시행된 개정본에서 유해하거나 위험한 기계·기구·설비로 프레스 및 전단기, 크레인, 리프트 등과 함께 산업용 로봇을 제시하고 이에 대한 안전검사 기준을 함께 수록하고 있다. 이는 산업 현장에서 로봇의 활용도가 점차 높아지고 있어, 이와 관련된 법제도의 정비의 필요함을 보여준다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제13절(산업용 로봇)에서는 본디 로봇을 사용하는 경우 작업 수행 지침을 정하여 그에 따라 근로자들이 작업을 할 수 있도록 하고, 원칙적으로 로봇으로 인한 산업재해를 방지하기 위해 높이 1.8미터 이상의 펜스를 설치하도록 규정되어 있었다. 이는 종래의 산업용 로봇에는 타당한 조치일 수 있으나, 인간 근로자와 밀접하게 상호작용해야 하는 협동 로봇의 특성에는 맞지 않았다. 인간과 지근거리에서 동시에 작업을 분담하는 것이 협동 로봇의 기본 개념이기 때문이다. 이로 인해, 산업안전보건법상, 일선 사업장에서의 협동 로봇 활용이 쉽지 않은 측면이 있었으나, 다행히 2018년 산업안전보건기준에 관한 규칙의 제223조(운전 중 위험 방지)에 ‘한국산업표준에서 정하고 있는 안전기준 또는 국제적으로 통용되는 안전기준에 부합한다고 인정하는 경우’에는 펜스를 설치하지 않을 수 있다는 단서가 추가되어, 협동 로봇의 장점을 활용할 수 있는 법적인

가능성이 생겼다. 아울러, 안전검사 고시에서는 관련 국제 안전기준으로 로봇 제조사를 대상으로 하는 ISO 10218-1*과 로봇을 도입하여 활용하는 기업을 대상으로 하는 ISO 10218-2**를 제시하고 있다. 즉, 협동 로봇을 이용하여 스마트 공장을 구축 및 운영하는 제조 기업들은 ISO 10218-2 인증을 직접 또는 전문 기관을 통해 취득해야 한다. 이러한 맥락에서, 본 논문에서는 ISO 10218-2의 내용을 살펴보고자 한다. 먼저, ISO 10218-2에서는 로봇이 야기할 수 있는 위험의 유형 및 이로 인해 발생할 수 있는 피해를 부록 A에서 <표 4>와 같이 정의하고 있다. 따라서, 로봇에 대해서도 적절한 산업재해 예방 조치가 필요할 것이다.

표 4. 로봇이 야기할 수 있는 위험
Table 4. Hazards that can be caused by robots

연번	유형	잠재적 피해
1	기계적 위험	충돌, 절단, 끼임, 찢림, 굽힘 등
2	전기적 위험	감전, 화상, 비산에 의한 재해 등
3	고온 위험	화상, 방사선 상해
4	소음 위험	청력 손상, 균형 감각 상실, 방향 감각 상실 등
5	진동 위험	피로, 신경 손상, 혈행 장애 등
6	전자기 위험	화상, 안구 및 피부 손상 등
7	물질 위험	민감화, 화재, 화학적 화상, 호흡기 손상
8	인간공학적인 위험	자세 불량 및 불필요한 부하, 피로
9	환경 위험	화상, 질병, 미끄러짐, 추락 등
10	복합적 위험	상기 유형 중 2가지 이상의 복합적 발생

ISO 10218-2에서는 로봇이 야기할 수 있는 위험을 적절히 통제하고 이와 관련된 산업재해를 예방하기 위해 <표 5>와 같은 사항들이 필요하다고 명

* ISO 10218-1:2011, Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots - Part 1: Robots
** ISO 10218-2:2011, Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots - Part 2: Robot Systems and Integration

시하고 있다. 로봇을 활용하는 사업장에서 수행해야 하는 조치들로는 안전을 고려한 설비 배치, 위험성 평가 및 요인 식별, 나아가, 이들에 기반한 산업재해 예방 활동이 이루어져야 한다. 또한, 로봇과 관련된 안전 요건 및 방호 조치로는 안전 관련 제어 시스템 성능, 설계 및 설치, 로봇 동작의

제한 등을 비롯한 여러 항목들에 대한 내용이 수록되어 있으며, 이 중 협동 로봇 작업에 대한 사항도 포함되어 있는 것을 볼 수 있다. 나아가, 협동 로봇 작업에 대해서는 다시 <표 6>과 같은 기준들이 제시된다.

표 5. 로봇 관련 위험 요인 관리
Table 5. Robot-related hazards management

구분	세부 사항	주요 내용
유해요인 식별 및 위험성 평가	설비 배치	로봇의 작동에 충분한 공간 및 이의 출입구를 확보하고, 필요한 경우 환기, 전기적 스파크, 인간의 가시성 및 작업 용이성 등을 고려한 장소에 로봇 배치
	위험성 평가	로봇의 정상적인 가동에 필요한 최소한의 조건(동력 전달, 동작에 필요한 공간 및 시간, 기타 환경적인 제약 조건 등) 파악
	유해요인 식별	인간 근로자가 수행해야 하는 로봇 관련 작업들을 파악하고, 재해 가능성이 있는 것들 식별
	유해요인 제거 및 위험성 감소	로봇 시스템 재설계, 방호 시설, 교육훈련 및 개인 보호장구 등을 이용한 유해요인 제거 및 위험성 감소 조치 시행
안전 요건 및 방호 조치	안전 관련 제어 시스템 성능	긴급 정지 등 안전 제어 기능이 적용되어 정상적인 작동 필요
	설계 및 설치	로봇이 설계된 기능을 정상적으로 수행할 수 있는 공간을 확보하여 배치
	로봇 동작의 제한	로봇이 작동하면서 점유하는 공간을 명확히 파악하고, 필요한 경우 그 외 공간과 방호 시설 등으로 구분
	설비 배치	인간 근로자의 개입, 자제 입출력, 공정 진척도 확인 등이 용이해야 함
	로봇 가동 모드 관리	자동 및 수동 모드 선택 및 제어 기능 정상 작동 필요
	펜던트	터치 펜던트에 긴급 정지 및 의도하지 않은 동작 방지 기능 등의 적절한 적용 필요
	유지보수	유지보수를 수행하는 작업자에게 위험이 야기되지 않도록 유지보수 동안의 작동 방식, 유지보수 담당자를 위한 방호 시설 등이 필요
	통합 제조 시스템 인터페이스	로봇과는 별개로 제어되지만, 로봇과 상호작용을 하는 설비가 있는 경우, 이들 역시 안전 요건 충족 필요하고, 복수의 로봇이 사용되는 경우 활성화된 것을 쉽게 식별가능해야 함
	방호 시설	적절하게 위험 요인을 통제하기 어려운 경우에는 로봇 배치 장소 주위에 방호 시설 설치
	협동 로봇 작업	협동 로봇 사용하는 경우 인간 근로자와 로봇의 접촉에 대한 통제, 인간 근로자와 로봇의 상호작용이 발생하는 구역에 대한 관리 등이 필요
로봇 시스템 가동	로봇 시스템을 가동하기 위해서는 방호 시설 확인, 환경 설정 방법 등을 포함한 절차 및 계획의 마련 필요	

표 6. 협동 로봇 작업에 대한 안전 요건 및 방호 조치
Table 6. Safety order and protection measures for collaborative robot operations

구분	주요 내용
일반 요건	위험성 평가, 설비 배치, 방호 시설 등 일반 산업용 로봇에 적용되는 사항들의 준수 필요
작업장에 대한 요건	<ul style="list-style-type: none"> - 인간 근로자와 로봇 간 협동이 발생하는 영역의 명확한 식별 및 표시 - 인간 근로자가 손쉽게 작업할 수 있고, 공구나 설비의 위치로 인한 추가적인 위험이 발생하지 않아야 함 - 로봇의 동작 범위로부터 건물 벽면이나 구조물, 기타 다른 설비 등으로부터 최소 500mm 이상의 유격을 확보하거나, 그렇지 못할 경우 추가적인 방호 시설 필요
자동화 작업과 협동 작업 간 전환	<ul style="list-style-type: none"> 로봇의 자동화 작업과 협동 작업이 전환되는 시점에 추가적인 위험이 발생하지 않도록 하기 위한 조치 필요 - 로봇의 동작 범위에 인간 근로자가 진입한 경우 이를 감지하여 적절히 대응 - 인간 근로자가 로봇과 직접 접촉해야 하는 경우 적절한 도구와 함께 로봇의 동작에 대한 가시성 등을 제공 - 로봇이 인간 근로자와의 유격을 감지하여 적절한 속도로 동작 - 적절한 위험성 평가 결과 및 인간공학적 요소를 고려하여 로봇 동작의 강도를 결정

상기한 ISO 10218-2와 같은 국제 표준들의 경우, 세계 각국의 해당 분야 전문가들로 구성된 기술 위원회의 활동을 통해 제정되며, 다양한 기술적 관점들이 반영되어 있어, 정책 수립이나 기술 개발을 위한 합리적인 토대를 제공해 줄 수 있다. 아울러, WTO에서는 회원국들에게 국제 표준화 기구에 참여하고 국제 표준, 지침 및 권고안 등을 준수하기 위해 노력하도록 권장한다[45]. 이러한 맥락에서 국제 표준은 규제 혁신이나 제도 개선을 위한 도구로 활용될 수 있다. 예를 들어, 미국에서는 1996년 국가기술이전촉진법을 제정하여 기술 관련 규제를 적극 활용하도록 하고 있으며, 이는 새로운 기술과 관련된 법규 제정이나 정책 수립 과정을 보다 효과적으로 수행하는데 도움이 되고 있다[46]. 다시 말해, 다가오는 4차 산업혁명 시대와 같이 다양한 기술들의 발전이 빠르게 이루어지는 시대에는 이들과 관련된 법제도에 포함될 내용을 일일이 새로 정하기보다는 공신력을 가진 국제 표준의 참조나

인용이 늘어날 수 있을 것으로 보인다. 상기한 바와 같이, 산업안전보건법의 하위 법령인 안전검사 고시에서도 최근 산업용 로봇 및 협동 로봇에 관한 내용이 일부 추가되었는데, 로봇의 안전 요건과 관련된 [별표 14] 산업용 로봇 검사기준을 보면, <표 5> 및 <표 6>의 주요 내용들이 상당 부분 포함되어 있고, 안전검사 고시 제25조에서도 고시에서 규정되지 않은 사항은 ISO 국제 표준을 따른다고 명시되어 있다. 따라서, 이 같은 산업안전보건법 및 관련 법령의 동향은 기술의 발전이 법제도에 반영되고, 특히 이 과정에서 전문적이고 기술적인 관점이 반영된 국제 표준을 적극적으로 활용하여 기존의 법제도가 기술의 발전에 부합하지 못했던 점을 개선한 좋은 사례라고 보여진다.

나아가, 산업용 및 협동 로봇과 관련된 국제 표준 내용은 산업안전보건법 관련 고시에서 인용 및 반영되었는데, 앞으로도 입법 취지나 일반적인 사항들을 규정하는 법률 수준에서보다는 시행령이나

시행규칙 또는 고시와 같은 하위 법령 수준에서 이 같은 국제 표준 등의 활용이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구 주제

첨단 정보통신기술들의 융합을 통해 실현될 것으로 보여지는 4차 산업 혁명은 향후 다양한 경제적, 사회적 변화를 야기할 것으로 예상된다. 그럼에도, 본질적으로 산업 혁명이란 산업 현장에서의 급격한 생산성 향상을 의미하며, 이러한 맥락에서 최근 스마트 공장을 통한 국가 제조업 경쟁력 강화가 세계 각국에서 중요한 정책적 추진 과제로 받아들여지고 있다. 한편, 지능정보기술의 활용이 늘어날 4차 산업 혁명 시대에는 기존과 다른 새로운 문제들이 생겨날 수 있어, 이들에 적절히 대응하기 위해서는 제도적 환경의 정비도 필요하다. 이는 지적이 많으며, 이제 따라 최근 인공지능 등 특정 기술이나 개별 산업 관점에서의 새로운 법제도 관련 연구가 수행되고 있다. 그럼에도 스마트 공장에 대해서는 주로 기술적인 측면에 대한 연구가 주로 이루어지고, 법제도 측면의 연구는 상대적으로 미흡하였다. 이에 본 논문에서는 스마트 공장 관련 법제도 환경에 대해 고찰해 보았다.

스마트 공장은 기본적으로 단순한 자동화가 아니며, 인간 근로자는 여전히 스마트 공장에서도 중요한 역할을 수행할 것으로 예상된다. 이는 향후 스마트 공장에서는 인간 근로자와 첨단 정보통신 기술 간의 상호작용이 보다 증가할 것이라는 점을 의미한다. 특히, 센서나 사물인터넷 등을 이용한 실시간 데이터 감지는 스마트 공장의 중요한 특징 중 하나이기 때문에, 인간 근로자의 작업 실패나 성과에 대해서도 보다 정밀한 측정이 가능해질 것이다. 따라서, 보다 체계적인 성과지표 측정 및 운영관리가 이루어질 수 있다는 장점이 얻어지는 반

면, 아마존 물류 센터 사례에서 보듯이, 한편으로는 근로자들을 압박하는 새로운 요인이 생길 수도 있다. 나아가, 근무 시간 동안 작업장 내에서 이루어지는 이 같은 데이터 수집은 일반적인 개인정보 보호 차원이 아닌, 근로 조건이나 산업안전보건 차원에서 접근할 문제로 생각된다. 하지만, 이렇게 수집된 데이터는 네트워크를 통해 다른 데이터 시스템이나 다른 수요자들에게 공개되거나 이용될 수 있어서 일반적인 개인정보보호에 관련된 법령의 적용을 배제할 수 없는 경우도 많을 수 있다. 한편 이 문제에 있어서 이번에 개정된 데이터3법은 개인정보의 보호를 강화하면서도 데이터 활용 활성화를 통한 관련 산업의 발전을 조화롭게 모색할 수 있도록 현행 제도를 보완하고 있다. (단, 법령은 공포 후 6개월이 경과한 날부터 시행) 그 중요 내용은 먼저, 다소 모호했던 개인정보의 판단 기준을 명확화 하였다. 즉, 개인정보 여부는 결합할 수 있는 다른 정보의 입수 가능성, 식별에 소요되는 시간·비용·기술 등을 합리적으로 고려하도록 하고 이러한 요건에 해당하지 않는 익명화된 정보는 개인정보보호법을 적용하지 않음을 명확히 하였다. 이를 통해 개인정보 처리를 동반하는 사업 추진 시 혼란이 줄어들고, 익명정보의 이용이 활성화 될 것으로 기대된다. 둘째, 데이터 이용 활성화를 위해 가명정보 개념을 도입하고 데이터 간 결합 근거를 마련하였다. 가명정보(추가정보 없이는 특정 개인을 알아 볼 수 없는 정보)는 통계작성·과학적 연구·공익적 기록 보존 등을 위해 정보주체의 동의 없이 적절한 안전조치 하에 이용할 수 있다. 이에 따라 데이터의 가명처리를 통해 활용 가능한 데이터의 종류가 다양해지고 새로운 기술·제품·서비스 개발, 시장조사 등 활용 분야도 확대될 것이다. 특별히 보안시설을 갖춘 전문기관을 통해 기업 또는 기관 간 데이터 결합이 허용되므로 이 새로운 법들에 위법하지 않은 방식으로 수집된 데이터를

활용하여 제조 공장의 운영합리화와 표준화에 필요한 자료로 활용될 수도 있을 것이다.

또한, 인공지능 및 로봇틱스, 센서, 무선 통신 등 첨단 정보통신기술들이 집약된 지능형 로봇, 특히, 협동 로봇과 같이 인간 근로자와 같은 장소에서 직접적으로 상호작용하면서 작동하는 제조 설비들은 기존의 방법으로 예방하기 어려운 새로운 유형의 산업재해를 야기할 수 있기 때문에 이에 대해서도 적절한 대응이 필요할 것이다. 산업재해 예방과 쾌적한 작업환경 조성을 및 이를 통한 산업안전보건의 유지, 증진을 목적으로 하는 산업안전보건법 및 관련 법령에서 최근 산업용 로봇과 관련된 내용이 추가되었다. 특히, 협동 로봇의 활용을 어렵게 하던 예전의 규제를 없애기 위한 규정이 신설되고, 이 과정에서 세세한 부분을 법령에 직접 명시하기보다 공신력을 가진 국제 표준을 인용 및 참조하여 첨단 기술의 발전에 효과적으로 대응하였다고 생각된다. 아울러, 기술의 급격한 발전과 다가오는 4차 산업 혁명 시대에 일어날 다양한 변화들을 감안할 때, 앞으로도 이러한 방식의 법제도 정비가 요구되는 상황이 간혹 있을 것으로 보여 진다.

한편, 우리나라에서는 2010년대 중반부터 중소기업을 대상으로 하는 스마트 공장 구축 지원 사업을 활발히 전개하여, 어느 정도의 성과를 거두어 왔으나, 최근에는 제조 공정의 지능화 등 고도화된 스마트 공장의 보급 및 확산을 위해서는 관련 법제도의 정비를 통해 보다 체계적인 정책의 수립 및 추진이 필요하다는 지적이 나오고 있다. 스마트 공장의 활성화를 위해서는 관련 법제도가 기업 친화적이며 시스템에 우호적으로 제정되어야 한다는 요구가 일리가 있지만, 기본권이나 개인의 권리가 점점 강화 되고 있는 법적 사회적 환경의 경향을 보면 그 관련 법령을 조화롭게 만들어 나가는 것도 쉽지 않은 과제이다. 그런데 마침, 미국에서도

유사한 법안에 대한 입법 움직임이 있어, 해당 법안과 국내 스마트 공장 관련 정책을 비교해 본 결과, 많은 부분에서 공통점을 보였고, 양국 모두 스마트 공장의 보급 및 확산을 주요한 정책적 추진 과제로 인지하고 있음을 알 수 있었다. 다만, 일부 차이점이라면 미국에서 에너지 절감 및 대학과의 연계를 약간 더 강조한다는 점이었는데, 양국의 정책 중 반드시 어느 한 쪽이 더 바람직하다고 보기는 어려우나, 에너지 절감은 스마트 공장 도입으로 인한 재무적인 성과에 좀 더 직접적인 영향을 줄 수 있고, 대학과의 연계 역시 아직까지 전 세계적으로 스마트 공장의 개념에 대한 논의가 완전하지 않은 상황에서 관련 전문 인력 양성이나 이론적 연구를 통해 중장기적으로 스마트 공장 생태계 조성에 기여하는 바가 있을 것으로 보여 진다.

상기한 바와 같이 본 논문에서는 고도화된 스마트 공장의 육성 및 스마트 공장 환경 하에서의 산업안전보건과 관련된 법제도 동향에 대해 고찰해 보았다. 다만, 스마트 공장 관련 기술에 대해서는 지금도 지속적인 연구·개발이 이루어지고 있어, 향후에도 스마트 공장에 널리 적용될 수 있는 새로운 기술이 나올 때는 적절한 후속 연구가 필요할 것이다. 특히, 스마트 공장의 지능화 수준이 높아져 운영관리, 나아가, 경영 전략 수준의 다양한 의사결정들을 인공지능이 대체했을 때 기업 또는 근로자들에게 나타날 수 노사 관계에 발생하는 노동법상의 문제점이나 개인정보 또는 사생활 침해와 관련한 불법행위 와 위임사무 처리와 제조물하자와 관련된 민법상의 손해배상 책임 문제, 그리고 그 동일한 문제들에서 야기될 수 있는 형사법상의 법적 쟁점들에 대해서는 경영학적이고 공학적인 연구와 병행하여 지속적인 융합연구가 이루어져야 한다. 또한, 스마트 공장은 유럽이나 중국, 일본 등 미국 이외 주요 제조업 강국들에서도 중요한 정책적 추진 과제이기 때문에 앞으로는 보다

다양한 국가들의 법제도적 여건을 비교 분석해 보는 것도 의미가 있을 것이다.

References

- [1] K. D. Thoben, S. Wiesner, and T. Wuest, *Industrie 4.0 and smart manufacturing - a review of research issues and application examples*, International Journal of Automation Technology, Vol. 11, No. 1, pp. 4-16, 2017.
- [2] K.-H. Park, *Fourth industrial revolution and legal countermeasures*, Journal of Digital Contents Society, Vol. 19, No. 11, pp. 2125-2130, 2018.
- [3] G. Piccoli, and F. Pigni, *Information systems for managers: with cases*, Prospect Press, 2019.
- [4] G. Schuh, T. Potente, C. Wesch-Potnte, A. R. Weber, and J. P. Prote, *Collaboration machanisms to increase productivity in the context of Industrie 4.0*, Procedia Cirp, Vol. 19, pp. 51-56, 2014.
- [5] Y. Lu, *Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues*, Journal of Industrial Information Integration, Vol. 6, pp. 1-10, 2017.
- [6] S. Ree, *Proposal of Korean quality management in the 4th industrial revolution*, Journal of Korean Society of Quality Management, Vol. 45, No. 4, pp. 739-760, 2017.
- [7] H. Salehi, and R. Burgueno, *Emerging artificial intelligence methods in structural engineering*, Engineering Structures, Vol. 171, pp. 170-189, 2018.
- [8] H. Lee, *The copyright law in the era of 'Techno Creatura': regading authorship and copyright problems of 'Artificial Intelligence'(AI)-generated works*, Justice, Vol. 158, No. 1, pp. 132-159, 2017.
- [9] J. Ko, *The trend of discussion on copyright law of artificial intelligence creations in Japan*, Chonbuk Law Review, Vol. 55, pp. 215-243, 2018.
- [10] S. R. Kim, *Legal tasks and prospects of the fourth industrial revolution and the AI ara*, Law Review, Vol. 18, No. 2, pp. 21-57, 2018.
- [11] S. R. Kim, and C. S. Lee, *Protecting intellectual property rights on creativity of artificial intelligence (AI) - focusing on patents and copyright protection*, Law Review, Vol. 18, No. 3, pp. 485-531, 2018.
- [12] Y-H. Song, *AI discourse and social modernity of the law*, Law Review, Vol. 18, No. 4, pp. 429-461, 2018.
- [13] C. H. Kang, *The legal system with regard to the protection of personal data in Korea and implications for improvement*, Ewha Law Review, Vol. 22, No. 3, pp. 163-199, 2018.
- [14] S. Y. Lee, *Artificial intelligence and contract law: conclusion of contract by artificial agent and principle of private autonomy*, The Journal of Comparative Private Law, Vol. 23, No. 4, pp. 1639-1700, 2016.
- [15] H. S. Cho, and J. Lee, *A study on artificial intelligence, law and argument*, Journal of Law and Politics Research, Vol. 16, No. 2, pp. 295-320, 2016.
- [16] M. S. Seul, *Meaning of partnership between machine learning artificial intelligence and legal issues: case of physician's liability in the medical malpractice*, Justice, Vol. 163, pp. 255-284, 2017.

- [17] J-H. Choi, and J. W. Lee, *Improvement of law and institution for efficient convergence of 4th industrial revolution technology in sports*, Journal of Sport and Leisure Studies, Vol. 75, pp. 61-77, 2019.
- [18] W. J. Stevenson, *Operations management*, McGraw-Hill, 2017.
- [19] J. W. Kim, *Current status and development plan for smart factory education*, The Korea Contents Association, Vol. 15, No. 2, pp. 25-29, 2017
- [20] M. Beaverstock, A. Greenwood, and W. Nordgren, *Applied simulation – modeling and analysis using FlexSim*, BookBaby, 2018.
- [21] R. B. Ruben, S. Vinodh, and P. Asokan, *Lean six sigma with environmental focus*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 94, No. 9-12, pp. 4023-4037, 2018.
- [22] M. Braglia, M. Frosolini, M. Gallo, and L. Marrazzini, *Lean manufacturing tool in engineer-to-order environment: project cost deployment*, International Journal of Production Research, Vol. 57, No. 6, pp. 1825-1839, 2019.
- [23] Y. H. Kwak, and F. T. Anbari, *Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*, Technovation, Vol. 26, No. 5-6, pp. 708-715, 2006.
- [24] S. Sakakibara, B. B. Flynn, R. G. Schroeder, and W. T. Morris, *The impact of just-in-time manufacturing and its infrastructure on manufacturing performance*, Management Science, Vol. 43, No. 9, pp. 1246-1257, 1997.
- [25] A. Gunasekaran, and B. Kobu, *Modeling and analysis of business process reengineering*, International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 11, pp. 2521-2546, 2002.
- [26] V. Botta-Genoulaz, P. A. Millet, and P. Grabot, *A survey on the recent research literature on ERP systems*, Computers in Industry, Vol. 56, No. 6, pp. 510-522, 2005.
- [27] P. Helo, M. Suorsa, Y. Hao, and P. Anussornnitisam, *Toward a cloud-based manufacturing execution system for distributed manufacturing*, Computers in Industry, Vol. 65, No. 4, pp. 646-656, 2014.
- [28] S. Wang, J. Wan, D. Li, and C. Zhang, *Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook*, International Journal of Distributed Sensor Network, Vol. 12, No. 1, p.3159805, 2016.
- [29] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin, *Smart factory of Industry 4.0: key technologies, application case, and challenges*, IEEE Access, Vol. 6, pp. 6505-6519, 2017.
- [30] J-H. Kwon, and H. Lee, *A study on trends and perceptions in smart factory: news network analysis*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 14, No. 6, pp. 605-614, 2019.
- [31] C. Haksever, and B. Render, *Service and operations management*, World Scientific Publishing Company, 2017.
- [32] P. Osterrieder, L. Budde, and T. Friedli, *The smart factory as a key construct of Industry 4.0: a systematic literature review*, International Journal of Production Economics, Vol. 221, e107476, 2020.
- [33] M. M. Mabkhot, A. M. Al-ahmari, B. Salah, and H. Alkhalefah, *Requirements of the smart factory system: a survey and perspective*, Machines, Vol. 6, No. 2, e6020023, 2018.

- [34] J-H. Park, *Analysis on the status of manufacturing services*, Proceedings of the 2019 Korea Technology Innovation Society Conference, pp. 726-752, 2019.
- [35] NIPA issue report 2019-26, <http://www.nipa.kr/main/selectBbsNttView.do?key=116&bbsNo=11&nttNo=6779>, Mar. 2020.
- [36] NIPA issue report 2019-32, <http://www.nipa.kr/main/selectBbsNttView.do?key=116&bbsNo=11&nttNo=6937>, Mar. 2020.
- [37] How Amazon Automatically Tracks and Fires Warehouse Workers for ‘Productivity’, <http://www.theverge.com/2019/4/25/18516004/amazon-warehouse-fulfillment-centers-productivity-firing-terminations>, Mar. 2020.
- [38] P. Maurice, V. Padois, Y. Measson, and P. Bidaud, *Human-oriented design of collaborative robots*, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 57, pp. 88-102, 2017.
- [39] A. Badri, B. Boudreau-Trudel, and A. S. Souissi, *Occupational health and safety in the Industry 4.0 era: a cause for major concern?*, Safety Science, Vol. 109, pp. 403-411, 2018.
- [40] Y. Nam, S. Lee, D. Lee, S. Im, and S. D. Noh, *Digital twin-based application for design of human-machine collaborative assembly production lines*, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 46, No. 1, pp. 42-54, 2020.
- [41] M. Beetz, G. Bartels, A. AlbuSchaffer, F. BalintBenczedi, D. Belder, S. Haddadin, A. Maldonado, N. Mansfeld, T. Wiedemeyer, R. Weitschat, and J. H. Worch, *Robotics agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers*, Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 6528-6535, 2015.
- [42] J. Shim, *The enforcement system of health and safety at work law - the case of the UK*, Law and Corporation Review, Vol. 6, No. 3, pp. 37-67, 2016.
- [43] H. S. Woo, *Criminal liability in relation to occupational safety: the role of criminal law in industrial accident prevention*, Korean Criminological Review, Vol. 29, No. 1, pp. 367-390, 2018.
- [44] i-KIET Industrial and Economic Issues No. 81, http://www.kiet.re.kr/kiet_web/?sub_num=650&state=view&idx=8136, Apr. 2020.
- [45] ISO/IEC, *Using and Referencing ISO and IEC Standards to Support Public Policy*, 2015.
- [46] KSA Issue Report No. 7, <http://www.ksa.or.kr>, Jan. 2020.

스마트 공장의 법제도 환경: 정부 지원 체계 및 산업안전보건을 중심으로

김준우¹, 김용의²

¹동아대학교 산업경영공학과 부교수

²동아대학교 법학전문대학원 교수

요 약

사물 인터넷이나 인공지능, 가상 물리 시스템, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 로봇틱스 및 모바일 센서 네트워크 등과 같은 현대적인 정보통신기술들에 힘입어 조만간 Industry 4.0으로도 일컬어지는 4차 산업 혁명이 실현될 것으로 예상되고 있다. 본질적으로, 산업 혁명이란 생산 시스템의 생산성이 급격히 향상되는 것을 의미한다. 이러한 맥락에서, 스마트 공장은 연구자와 실무자 모두에게 중요한 주제로 떠오르고 있다. 스마트 공장이란 현대적인 정보통신기술과 결합된 제

조 시설을 의미하며, 제조 현장의 자원들을 보다 효율적으로 활용하여 제조 기업의 경쟁력을 극대화하는 것을 목표로 한다. 여러 가지 소프트웨어 및 하드웨어 솔루션들이 스마트 공장의 필수적인 요소들이자 자명하다. 하지만, 스마트 공장 환경 하에서는 인간 작업자 역시 필수적인 역할들을 수행한다. 다시 말해, 스마트 공장은 인간 작업자와 현대적인 기술들의 상호작용이 일어나는 매우 복잡한 사회-기술적 시스템이기 때문에, 향후 다양한 법적 쟁점을 야기할 수 있다. 본 논문의 목적은 스마트 공장의 법제도적 환경에 대해 탐구하고 잠재적인 법적 쟁점에 대해 토의하는 것이다. 특히, 저자들은 정부 지원 체계나 산업안전보건과 관련된 법적 쟁점에 초점을 맞추고자 한다. 결과적으로 본 논문은 스마트 공장의 법제도적 측면에 관한 의미 있는 통찰을 제공할 것으로 기대된다.



Yong Eui Kim received his B. S. degree in Management from Yonsei University, Korea, in 1982. He received his Juris Doctor degree from Western State University in 2000. He now serves as a professor in the School of Law at Dong-A University, Korea.

E-mail address: yongeuik@dau.ac.kr

감사의 글

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019S1A5C2A03080978).



Jun Woo Kim received his B. S. degree and M.S. degree in Industrial Engineering from KAIST, Korea, in 2001 and 2003, and Ph.D. degree in Industrial

and Systems Engineering from KAIST, Korea, in 2009. He now serves as an associate professor in the Department of Industrial and Management Systems Engineering at Dong-A University, Korea. His current research interests include combinatorial optimization, meta heuristics, data mining and artificial intelligence, etc.

E-mail address: kjunwoo@dau.ac.kr