

# 중소 제조기업의 스마트공장 기술결정요인, 제조운영 및 성과 간 구조적 관계에 관한 연구

권세인<sup>1</sup>, 양종곤<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술기획평가원, <sup>2</sup>단국대학교 경영경제대학 경영학부

## A Study on the Structural Relationship among Technological Determinants, Manufacturing Operations, and Performances for Implementing a Smart Factory in Small Businesses

Se-In Kwon<sup>1</sup>, Jong-Gon Yang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

<sup>2</sup>Department of Business Administration, College of Business & Economics, Dankook University

**요약** 4차 산업혁명의 디지털 전환은 세계 경제의 변화와 혁신을 이끌고 있으며, 수많은 국가들은 스마트공장을 통한 제조업 부흥 및 경제 회복에 집중하고 있다. 본 연구는 성공적인 스마트공장 도입을 위한 기술결정요인을 규명하고 제조 운영 및 성과에 미치는 영향을 실증적으로 검증하는데 목적이 있다. 연구에서 정의한 5가지 요인은 ① 센서 네트워크, ② 플랫폼 기술, ③ 정보시스템, ④ 지능형 자동화, ⑤ 안전이며, 스마트공장을 구축한 157개 중소기업을 대상으로 한 구조방정식 기반의 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 5대 기술요인 중 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 정보시스템이 스마트 제조운영에 유의한 영향을 미쳤다. 둘째, 스마트 제조운영은 기업의 운영적, 환경적 성과를 향상시키는 결과를 나타냈다. 본 연구는 스마트공장을 도입하기 위한 핵심기술을 체계화한 것과 더불어 정부 지원사업의 실효성을 확인하였다는 점에서 가치가 있다. 한편, 신규 도입을 고려하는 실무자에게 효율적, 효과적 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** The digital transformation of the 4th industrial revolution is leading to changes and innovations in the global economy. Various countries are focusing on reviving their manufacturing industries and economic recovery through smart factories. The purpose of this study is to empirically identify technological determinants for the successful implementation of the smart factory and to verify these effects on manufacturing operations and the firms' operational/environmental performances. Five factors, including sensor network, platform technology, information system, intelligent automation, and safety, were defined as core technologies. The SEM analysis results of 157 small and medium-sized manufacturing firms that have implemented smart factories are as follows. First, sensor network, platform technology, and information system had significant effects on smart manufacturing operations. Second, smart manufacturing operations have improved firm performance. This study is valuable in that it has confirmed the effectiveness of government-funded projects and systemized key technologies for implementing smart factories. Meanwhile, it is helpful for practitioners to support an efficient and effective decision-making for the new adoption.

**Keywords** : 4th Industrial Revolution, Smart Factory, SMEs, Manufacturing Operations, Technological Determinants

\*Corresponding Author : Jong-Gon Yang(Dankook Univ.)

email: jgyang@dankook.ac.kr

Received September 28, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised October 14, 2020

Published November 30, 2020

## 1. 서론

정보통신기술의 발전과 글로벌화의 촉진은 기업이 직면한 내·외부 환경의 동적 변화와 불확실성을 초래하였으며[1], 저성장, 저소비, 고위험, 고실업률 등 '뉴 노멀(new normal)'로 명명되는 극심한 경제상황은 21세기의 새로운 경영조건으로 자리 잡았다.

4차 산업혁명은 기술의 고도화, 지능화, 융합화를 통해 산업과 경제·사회 전반에 걸쳐 변화와 혁신을 유발하는 핵심 동인으로 작용하고 있다. 새롭게 대두되는 패러다임의 전환은 기업이 직면한 도전적 상황 속에서 신성장의 기회를 창출한다는 측면에서 학계 및 실무영역의 전폭적인 지지를 받고 있다[2].

제조업에서 4차 산업혁명의 실질적인 구현은 스마트공장(smart factory)으로 대표된다[3]. 1970년대부터 선진국을 중심으로 한 오프쇼어링(off-shoring) 정책은 자국 내 서비스업의 부상을 이끌었다[4]. 그러나 2008년 금융위기 이후 제조 강국을 중심으로 한 경제 회복사태가 부각되며 제조업의 중요성이 재조명되었다[5]. 이에 따라 자국 내 제조활성화를 위한 리쇼어링(re-shoring) 정책이 다시금 강조되는 한편, 4차 산업혁명의 첨단기술을 적용한 스마트공장의 구축·확산에 따른 경제 부흥에 전 세계의 이목이 집중되고 있다[6,7].

우리나라도 이러한 세계적 흐름에 적극적으로 동참하고 있다. 2017년 문재인 정부는 국정운영 5개년 계획 중 경제 활성화의 일환으로 첨단과학기술 중심의 4차 산업혁명 선도 기반 구축을 강조하였으며[8], '25년까지 160 조원을 투입하여 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜 정책을 두 축으로 사회·경제 전 분야에 걸쳐 디지털 전환(digital transformation)을 촉진하고 있다[9].

한편, 중소벤처기업부는 '스마트화'를 기업의 경쟁력을 좌우하는 4차 산업혁명의 핵심 지향점으로 판단하고 있으며, 2019년 12,600개 기업을 대상으로 한 스마트공장 보급에 이어 '22년까지 3만개의 보급을 목표로 적극적인 정책적, 재정적 지원을 다하고 있다[10]. 동일한 관점에서 과학기술정보통신부는 사람 중심의 4차 산업혁명 구현을 목표로 하는 I-KOREA 4.0을 슬로건으로 'D.N.A (Digital, Network, AI)' 기반의 글로벌 디지털 선도국을 지향하는 한편, AI 및 디지털 트윈(digital twin) 기술이 융합된 5G 스마트공장을 '22년까지 1,000개 기업을 대상으로 보급·확산하기로 결정하였다[11,12].

스마트공장이 미래의 제조경쟁력을 선도하는 주요한 개념으로 각광받은 후로 이와 관련한 최신의 연구도 활

발하게 진행되고 있다[13]. 그러나 기존의 연구동향은 스마트공장과 관련한 개요 및 개념적 논의, 혹은 일부 사례를 중심으로 한 질적 연구에 집중되어 있으며 계량적 방법을 토대로 한 실증연구는 상당히 제한적인 실정이다[14]. 한편, 기술적 측면에서는 스마트공장과 관련한 보안 및 표준을 중점적으로 논의한 연구[15,16], 스마트공장의 구축에 요구되는 다양한 기술유형을 분류한 연구[17,18]가 주류를 이루는 한편, 스마트공장의 실질적인 도입과 기업성장에 영향을 미치는 필수적인 기술요인을 규명하고자 한 연구는 드물다. 이러한 선행연구의 한계점에 기반하여 본 연구는 스마트공장을 도입·운영하는데 요구되는 핵심적인 기술요인을 파악하고 제조운영 및 성과 간 구조적 영향관계를 실증적으로 규명하는데 주목적이 있다.

일찍이 기업 내부에 새롭고 발전적인 체계를 도입·적용하는데 요구되는 핵심성공요인, 혹은 기술결정요인 등을 규명하는 것은 다수의 선행연구[19-21]를 통해 그 중요성을 입증 받아왔다. 이와 동일한 방향성을 지니고 있는 본 연구는 스마트공장의 성공적인 도입을 위해 필요한 기술의 단순한 나열이 아닌 핵심기술을 체계화하여 분류한다는 점에서 기존 연구와 차별화된다. 또한, 스마트공장의 도입과 성과 간 영향관계를 사례 중심으로 규명하는 기존의 연구 제약을 벗어나 기술, 제조운영, 성과 간의 통합적 인과관계를 실증적으로 규명한다는 것에 대하여 차별적인 가치를 지닐 것으로 판단된다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 스마트공장의 개요 및 기술결정요인

스마트공장의 개념은 아직까지 산·학·연을 망라하여 완전히 합치된 의견을 보이는 것은 아니지만[22], 사물인터넷(Internet of Things, IoT)을 통한 개체 간 연결성 및 상호운용성(interoperability)을 지향하는 포괄적 관점에서 동일한 맥락으로 이해될 수 있다[23].

한국표준협회에서 제정한 용어 정의(KS X 9001-2, 3. 용어, 3.1)에 따르면 스마트공장은 "제품의 기획부터 판매에 이르는 전 과정을 ICT기술로 통합하여 최소비용과 시간으로 고객맞춤형 제품 생산을 지향하는 공장"으로 정의된다[24]. 이와 유사한 관점에서 중소벤처기업부는 스마트공장을 "제품의 전 생산과정을 ICT로 통합하여 자동화 및 디지털화가 구현된 공장"으로 정의하였으며, 궁극적으로 생산성 향상, 에너지 절감, 인간 중심의 작업

환경 등을 지향한다고 언급하였다[25].

스마트공장의 성공적인 구현은 다양한 기술적 요소들의 조화를 통해 핵심적인 기능요건을 충족시키는 것에 기반한다. 이와 관련하여 미국 산업인터넷컨소시엄(Industrial Internet Consortium, IIC)의 Smart Factory Task Group에서는 내·외부 기계·설비 및 시스템으로부터 생성되는 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 활용 가능한 형태로 분석하여 제조운영 및 경영상의 사결정에 활용하는 '3A(Aggregate, Analyze, Act)'를 스마트공장의 핵심 기능요건으로 강조하였다[26]. 유사한 관점에서 Deloitte는 제조 환경에서 발생하는 다양한 상황을 파악하여 유의한 정보로 전환하는 '감지(sensor)', 감지된 정보를 가공하여 의사결정을 지원하는데 활용하는 '판단(control)', 판단의 결과물이 실제 제조현장에 적용되는 '수행(actuator)'과 같은 3가지 기능적 요건이 충족되어야만 비로소 '스마트(smart)'라는 수식어를 적용하는 것이 가능하다고 하였다[27].

중소벤처기업부[25]는 스마트공장의 3가지 기능요건을 충족시키는 핵심적인 기술요소를 각각 디바이스/센서(device/sensor), 플랫폼(platform), 애플리케이션(application)으로 분류하였다. 각각의 기술요소에 대한 기능 및 주요 역할을 살펴보면, 먼저 디바이스/센서는 내·외부 제조환경으로부터 발생하는 수많은 정보를 식별·수집하여 상위의 플랫폼 및 애플리케이션으로 전달하는 기능을 수행한다[28].

플랫폼 기술은 하위단계인 디바이스 및 센서로부터 수집된 데이터를 저장하는 클라우드 컴퓨팅[29], 데이터를 유효정보로 가공하는 빅데이터 분석[30], 가상 환경을 실제 환경으로 전환하는 사이버-물리 시스템(Cyber-Physical System, CPS) 및 시뮬레이션[31] 등으로 구성되어 있으며, 디바이스/센서를 통해 수집된 데이터를 최상위 단계인 애플리케이션에서 활용할 수 있도록 가공·처리·전달하는 매개체 역할을 수행한다.

애플리케이션은 플랫폼 단계에서 전달된 데이터를 기반으로 ERP, SCM, PLC, PLM, MES, CRM 등과 같은 정보시스템을 통해 실제 제조 프로세스에서의 최적화된 의사결정에 관여한다[32-34].

스마트공장과 관련한 국가별 주요 기관 및 협의체에서는 앞서 중소벤처기업부에서 강조한 3가지 기술요소를 포함하여 핵심기술요인에 대한 몇 가지 공통된 의견을 나타내고 있다. 예를 들어 2015년 스마트공장 기술개발 로드맵을 발표한 산업통상자원부[35]의 경우 중소벤처기업부와 동일한 관점에서 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 애플리케이션을 핵심 기술요소로 분류하는 한편, 각각의 기술요소 간 상호운용성과 관련한 기능안전성 및 사이버 보안에 대한 기술적 요소를 추가로 강조하였다.

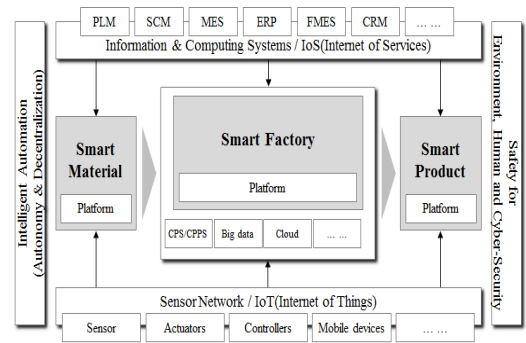


Fig. 1. Smart Factory Framework and Technological Determinants

플리케이션을 핵심 기술요소로 분류하는 한편, 각각의 기술요소 간 상호운용성과 관련한 기능안전성 및 사이버 보안에 대한 기술적 요소를 추가로 강조하였다.

한국표준협회에서는 네트워크화 센서, ICT인프라, 데이터 상호운용성, 신규 생산시스템 등 중소벤처기업부 및 산업통상자원부와 동일한 방향성을 나타내는 한편, 지능형 자동화 및 사이버 보안의 요소를 핵심적인 기술결정요인으로 추가하여 분류하였다[36].

유사한 관점에서 미국의 스마트 제조 리더십 연합회(Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC)에서는 스마트 제조를 위한 필수 기술요소에 네트워크화 센서, 데이터 상호운용성, 모델링·시뮬레이션을 포함하는 한편, 지능형 자동화와 확장형 다중보안기술을 강조하였다[37]. 특히 보안기술과 관련하여 연결성으로부터 발생하는 사이버 보안뿐만 아니라 환경(environment), 건강(health), 안전(safety)을 내포하는 'EHS'의 개념을 강조하였다.

더 나아가 독일의 국가표준기관으로서 각각 ISO와 IEC를 대표하는 독일표준원(Deutsches Institut für Normung e.V., DIN)과 전기전자기술위원회(Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, DKE)에서도 4차 산업혁명의 국가 표준 로드맵을 통해 센서 네트워크, 상호운용성과 더불어 지능형 자동화 및 사람과 환경, 데이터에 대한 안전·보안을 스마트공장의 핵심기술로 강조하였다[38]. 이에 따라 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 스마트공장의 체계를 도식화하는 한편, 국가별 공통 기술요인을 토대로 ① 센서 네트워크, ②플랫폼 기술, 애플리케이션에 해당하는 ③ 정보시스템과 함께 ④ 안전, ⑤ 지능형 자동화를 추가하여 총 5개를 기술결정요인으로 분류하고자 한다.

앞서 언급된 바와 같이 스마트공장을 주제로 한 연구

에서 안전(safety)의 이슈는 산업안전 및 보건과 함께 환경과 사이버 보안 측면을 포괄하는 관점에서 논의된다. 전통적으로 제조업은 산업 전체를 망라하여 가장 위험한 현장이라는 연유로 안전이 주요 개념으로 다루어져왔다 [39]. 이후 1990년대 초부터 친환경 경영 및 제조부문의 지속가능성(sustainability)이 세계적 이슈로 대두되면서 기업으로 하여금 환경 안전성이 시장경쟁력 확보에 영향을 미치는 긍정적 요소로 자리 잡았다[40]. 최근에는 4차 산업혁명의 시대적 상황에 따라 제조 현장에서 데이터의 양적 증대 및 의존성이 높아지는 ‘제조 디지털화’로 인해 사이버 보안을 통한 안전성을 확보하는 이슈까지 고려되면서 안전에 대한 개념이 지속적으로 확대·적용되어졌다 [41]. 이에 따라 스마트공장에서의 안전을 기계·설비 및 작업자의 안전성, 유해물질 등을 포함한 환경 안전성, 그리고 사이버 보안에 대한 안전성을 포괄하는 ‘무사고 운영(zero-incident operations)’으로 표현하기도 한다[42].

한편, “제조 프로세스에서 자동화된 기계·설비와 지능화된 S/W의 협력적 적용과 이행[43]”으로 정의되는 지능형 자동화(intelligent automation)는 전통적인 기계·설비의 자동화에서 더 나아가 AI와 같은 디지털 기술을 활용하여 프로세스 내에서 작업자의 관여를 최소화하는 한편, 최적의 의사결정 과정에서 지식 근로자와 지능형 시스템 간 협업을 이루는 형태로 구현되어진다[7].

지능형 자동화는 스마트공장의 주요 특징으로 언급되는 분권화(decentralization) 및 자율화(autonomy)가 확장·적용된 개념으로 이해할 수 있으며[44], 기존의 중앙집중식 생산방식을 모듈(module) 형태로 운영함과 동시에 분산·자율제어 방식을 활용하여 프로세스의 목표 및 변동 상황에 유연하게 대처하는 지능적 체계를 구축하는 것을 가능하게 한다.

## 2.2 스마트 제조운영

기업 경영에서의 운영(operations)은 “제품 및 서비스

의 설계·생산·전달과 관련된 제반활동을 계획 및 실행”하는 것으로 정의된다[45]. 이와 동일한 관점에서 한국생산성본부 및 민관합동 스마트공장 추진단에서는 광의의 의미에서 스마트공장을 “제품의 기획부터 판매를 포함한 전 과정을 IT 기술로 통합하여 고객맞춤형 제품을 생산하는 운영시스템”으로 정의하는 한편, 작업자(man), 기계(machine), 자재(material), 방법(method) 및 에너지·환경(energy/environment)을 일컫는 ‘4M+1E’를 활용한 지능형 공장운영시스템을 협의의 의미로 개념화하였다[46].

스마트공장의 핵심기술 구조도를 제시한 산업통상자원부[35]에서는 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 애플리케이션에 활용되는 정보시스템을 거쳐 궁극적으로 제조 운영 프로세스에서 시행되어지는 활동을 Fig. 2와 같이 공정 설계, 제조실행, 품질관리, 설비보전, 작업자 안전, 유통/조달/고객대응에 해당하는 6가지로 분류하여 제시하였다.

2016년 6월 13일에 제정된 한국표준협회[47]의 스마트공장 운영관리 시스템(진단평가 모델)에서도 동일한 관점에서 센서 네트워크, 플랫폼, 정보시스템을 포함한 핵심기술요소가 설계 및 계획, 생산 및 품질·설비 관리, 물류운영을 포함한 전반적인 운영 프로세스에 반영되어진다는 점을 강조하는 한편, 스마트공장의 평가체계와 관련한 실증연구[48]에서도 표준협회의 운영관리 항목을 착안하여 측정 항목에 활용하였다.

이외의 선행연구[49,50]에서도 스마트 제조 운영에 대하여 제품개발, 생산관리, 설비 및 품질관리, 유지보수, 환경·안전·건강관리 등의 항목을 강조하는 등 앞선 논의와의 공통된 의견을 보이고 있다.

## 3. 연구 설계

### 3.1 연구가설 및 연구모형의 설정

‘스마트공장’을 주제로 한 연구가 주로 질적 연구에 집

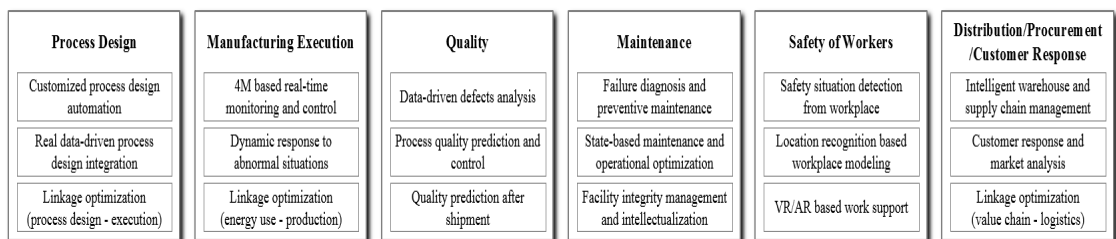


Fig. 2. Various Activities for Smart Manufacturing Operations in Smart Factory

중되어 있는 한계에 따라 본 연구에서 수립하고자 하는 가설을 실증연구를 통해 지지하는 것은 제약이 따른다. 그러나 스마트공장과 관련한 주요국의 핵심기관 및 협의체를 중심으로 앞서 제시한 선행연구[25,35-38,46,47]에서는 본 연구에서 분류한 5가지 기술결정요인이 유기적인 상호운용적 체계를 토대로 실제 제조 프로세스 전반에 반영된다는 점에서 공통된 견해를 지니고 있다. 이 외에도 스마트공장의 원활한 제조운영을 위한 핵심기술 요소로 센서 네트워크[51], 정보시스템[52], 플랫폼 기술 및 지능형 자동화를 강조한 연구[53], 보안이슈를 포함한 안전을 강조한 연구[54] 등 본 연구에서 분류한 기술결정요인을 개별적으로 강조한 연구도 존재한다. 이러한 논의에 따라 본 연구에서 분류한 5가지 기술결정요인이 스마트 제조운영에 유의한 영향을 미칠 것이라는 가설(H1-H5)을 수립한다.

한편, 중소벤처기업부는 2014-2017년까지 스마트 공장의 보급·지원사업에 참여한 5,003개 기업을 대상으로 한 성과조사를 통해 생산성, 품질, 원가, 납기 등과 같은 운영성과의 향상을 확인하였다[55]. 성공적인 스마트공장 구축의 대표사례로 대두되는 LS산전의 경우 생산성 60% 향상, 품질불량 93% 감소 등의 운영성과와 함께 에너지 사용률 60% 절감과 같은 환경적 측면의 긍정적 성과도 동시에 창출하였다[50]. 따라서 본 연구에서는 스마트 제조운영이 기업의 운영 및 환경성과에 긍정적 영향을 미칠 것이라는 가설(H6-H7)을 수립하고 Fig. 3과 같이 도식화된 연구모형을 제시하고자 한다.

### 3.2 조작적 정의 및 측정항목의 구성

본 연구에서 측정하고자 하는 요인은 스마트공장 도입을 위한 5개 기술결정요인과 스마트 제조운영, 운영성과, 환경성과를 포함하여 총 8개 요인으로 구성되어있다. 각

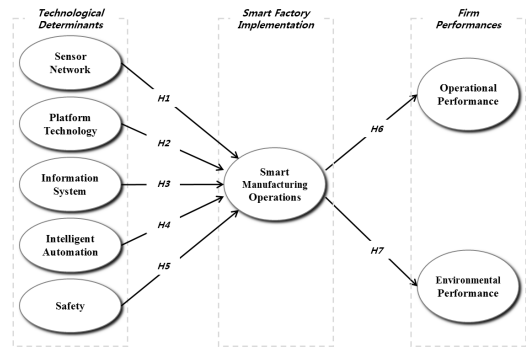


Fig. 3. Research Model

요인에 대한 조작적 정의 및 측정항목은 선행연구에서 공통적으로 논의되는 내용을 기반으로 본 연구에 맞게 수정 및 보완하여 재구성하였으며 총 38개 문항을 리커트 7점 척도로 측정하였다. 해당 내용은 Table 1에 종합하여 제시하였다.

### 3.3 연구 대상 및 분석 방법

본 연구는 중소 제조기업의 스마트화를 통한 산업경쟁력 향상에 노력을 경주하는 정책적 기조에 따라 스마트 공장을 구축한 중소 제조기업을 대상으로 하였다. 1차 pilot test 및 약 2개월 간 실시된 2차 본 조사를 통해 192부의 데이터를 수집하였으며, 정제(purification) 과정을 거쳐 총 157부를 활용하였다.

계량적 방법론을 적용하여 결과를 도출하는 양적 연구를 충족하기 위해 수집된 데이터의 신뢰성 및 타당성을 검증한 이후 구조방정식 모형(Structural Equation Modeling, SEM)을 기반으로 한 경로분석을 통해 수립한 가설을 검증하였다.

Table 1. Definition and Measurement Items

Factors	Definition	Scale	N	Ref.
Sensor Network	Network systems to identify, gather and deliver data in the production process field	7-points Likert scale	4	[37,42,47]
Platform Technology	Channel for connecting between sensor/devices and application		5	[35,42,37]
Information System	Systems to support decision making applied to manufacturing operations		5	[35,47]
Intelligent Automation	Joint implementation between automated machine and intelligent software		4	[42,47]
Safety	Safety in terms of environment, human, and cyber-security		4	[37,42,47]
Smart Mfg. Operations	Activities to intelligently operate manufacturing process with 4M+1E		7	[35,47,49]
Operational Performance	Firm's performances based on cost, quality, flexibility, dependability, and speed		5	[47,56]
Environmental Performance	Firm's performances based on eco-friendly activities	4	[57,58]	

## 4. 실증분석

### 4.1 측정대상의 일반적 특성

스마트공장을 도입한 157개 중소기업에 대한 일반적 특성은 Table 2에 요약·제시하였다. 주요 특성을 살펴보면, 먼저 대상기업의 규모는 종업원수를 기준으로 50인 미만이 49.7%를 차지하였으며 산업분류에서는 기계·금속 산업이 51.5%의 절반 이상을 차지하였다. 매출 규모의 경우 500억 미만이 전체 77.1%로 구성되어 있으며 스마트공장을 도입·구축하기 위해 정부의 보급·지원 사업에 참여하여 재정적 지원을 받은 기업이 93.0%의 절대다수를 차지하는 한편, 정부로부터 지원을 받지 않고 자체적으로 구축한 기업은 7.0%에 해당하였다.

### 4.2 타당성 및 신뢰성 검증

통계적 분석 절차를 요구하는 실증연구에서 척도의 단일차원성(unidimensionality) 검증과 관련된 타당성(validity) 및 반복측정에 대한 내적일관성(internal consistency)과 관련한 신뢰성(reliability)의 확보는 가설 검증에 앞서 수행되어야 할 중요한 절차다[59].

본 연구에서 실시한 타당성 및 신뢰성 분석의 결과는 Table 3에 종합하여 제시하였으며 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 타당성 검증을 위해 실시한 확인적 요인분석(Confirmatory Factor Analysis, CFA)

에 따른 모형적합도의 경우, 절대적합지수에 해당하는 RMSEA(=.043), SRMR(=.031), 증분적합지수에 해당하는 TLI(=.969), CFI(=.972), IFI(=.973)는 모두 적합한 것으로 도출되었다. 한편, 절대적합지수의 GFI(=.817) 및 간명적합지수의 AGFI(=.783)는 기준치( $\leq .9$ )를 충족하지 못하였으나 두 지표의 발전된 형태로써 대체 가능한 지표인 CFI가 기준치를 상회한 결과를 토대로 전체 모형적합도의 이상이 없음을 확인하였다.

상관행렬의 공통요인을 규명함으로써 단일차원성을 검증하는데 활용되는 요인부하량은 일반적으로 .6 이상을 적절한 기준으로 판단한다[60]. 이에 따라 기준에 부합하지 못하는 PT2(CPS 기반의 동적 연동체계 구축), IS5(FEMS의 활용수준), IA4(자재흐름 및 설비의 자율적 재구성·재조직화)와 같은 3개 항목을 제거하였으며, 이외의 항목은 모두 최소 .762 이상으로 분석되어 집중타당성(convergent validity)이 확보되었다고 판단하였다. 한편, 집중타당성에 대한 교차검증을 위하여 확인한 평균 분산추출(Average Variance Extracted, AVE, 이하 AVE) 및 개념신뢰도(Construct Reliability, CR)의 수치도 모두 각각의 기준치(AVE:  $\leq .5$ , CR:  $\leq .7$ )를 모두 충족하는 것을 확인하였다.

AVE 수치가 상관관계의 제곱 값을 상회하는지의 여부에 따른 판별타당성(discriminant validity)은 각 요인의 상관관계와 함께 Table 4에 제시하였다. 해당 표에 따르면 대각선상에 위치한 AVE의 제곱근이 상관관계를 모두 상회하는 결과에 따라 각 요인 간의 독립성이 확보되었음을 확인하였다. 추가적으로 가설수립의 방향과 요인 간 상관관계의 부호에 따른 방향성의 일치여부로 판단하는 법칙타당성(nomological validity)도 가설의 방향(+)과 상관관계의 방향(+)이 모두 일치하는 결과를 통해 최종적으로 타당성이 확보되었다고 판단하였다.

### 4.3 경로분석 및 가설검증

경로분석을 통한 가설검증에 앞서 모형에 대한 적합성을 확인한 결과, CFI=.972, TLI=.969, IFI=.972, RMSEA=.043 등 주요 적합성 지표가 높은 수준의 적합도를 나타내는 것으로 확인되어졌다. 한편, RMR의 경우 .055의 수치를 나타내어 기준치를 .005 상회하였으나, RMR의 수치를 대체하는 SRMR(=.0332) 값이 기준에 부합하여 이상이 없음을 확인하였다. 따라서 가설검증과 관련한 전제조건을 모두 충족하였다고 최종적으로 결론지었다.

Table 2. Sample demographics

Category		Freq.	%
Firm size	< 50	78	49.7
	50-99	28	17.8
	100-299	36	23.0
	300-999	15	9.5
Industry	Machinery/metal	81	51.5
	Electronics/electricity	31	19.8
	Textiles/chemical	11	7.0
	Automobile components	24	15.3
	Others	10	6.4
Annual sales (hundred million)	< 100	64	40.7
	100-500	57	36.4
	500-1,000	17	10.8
	$\leq 1,000$	19	12.1
Government funding	Funded	146	93.0
	Non-funded	11	7.0

Table 3. Results of Reliability and Validity Test

Factors	Items and relative terms	Std. factor loading	S.E.	t-value	p-value	AVE	CR	Cronbach's alpha
Sensor Network	SN1 Sensor-actuator	.833	-	-	-	.646	.879	.909
	SN2 Communication infrastructure	.827	.078	12.620	***			
	SN3 Self-awareness	.845	.076	13.063	***			
	SN4 Interoperability	.885	.071	14.092	***			
Platform Technology	PT1 Big data analysis	.862	-	-	-	.609	.861	.919
	PT3 Modeling/simulation	.853	.071	14.102	***			
	PT4 Process control/management	.874	.067	14.778	***			
	PT5 Cloud computing	.849	.069	13.995	***			
Information System	IS1 Utilization of MES	.873	-	-	-	.633	.873	.921
	IS2 Utilization of SCM	.879	.059	15.329	***			
	IS3 Utilization of ERP	.861	.069	14.723	***			
	IS4 Utilization of PLM	.842	.066	14.103	***			
Intelligent Automation	IA1 Automation	.879	-	-	-	.667	.858	.924
	IA2 Autonomous decision-making	.919	.059	17.039	***			
	IA3 Decentralized intelligence	.885	.059	15.730	***			
Safety	SF1 Cyber security	.911	-	-	-	.683	.896	.942
	SF2 Functional safety	.870	.054	16.521	***			
	SF3 Workforce safety	.910	.052	18.520	***			
	SF4 Environmental safety	.896	.049	17.797	***			
Smart Manufacturing Operations	SO1 Optim. process/product design	.850	-	-	-	.571	.903	.933
	SO2 Real-time monitoring/response	.798	.071	12.531	***			
	SO3 Big data based quality control	.762	.082	11.636	***			
	SO4 Preventive maintenance mgmt	.812	.077	12.896	***			
	SO5 Real-time safety management	.827	.073	13.313	***			
	SO6 Optim. logistics management	.851	.071	13.991	***			
	SO7 Environmental management	.825	.067	13.240	***			
Operational Performance	OP1 Cost	.862	-	-	-	.567	.867	.907
	OP2 Quality	.810	.076	12.708	***			
	OP3 Flexibility	.784	.079	12.056	***			
	OP4 Dependability	.795	.075	12.325	***			
	OP5 Speed	.815	.082	12.847	***			
Environmental Performance	EP1 Reduction of input resources	.935	-	-	-	.696	.901	.946
	EP2 Energy efficiency	.855	.054	16.765	***			
	EP3 Reduction of waste	.905	.049	19.648	***			
	EP4 Reduction of environmental pollutants	.911	.051	20.017	***			

\* $p < .1$ , \*\* $p < .05$ , \*\*\* $p < .01$

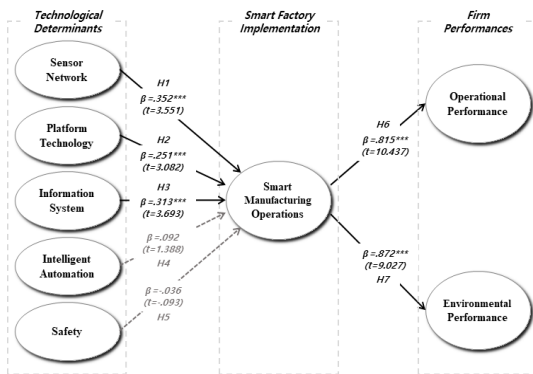
Model fit: CMIN=685.024, CMIN/df=1.288, CFI=.972, TLI=.969, IFI=.973, NFI=.888, GFI=.817, AGFI=.783, RMR=.051, RMSEA=.043, SRMR=.031

Table 4. Results of Correlation and Discriminant Validity Test

		SN	PT	IS	IA	SF	SO	OP	EP
Sensor Network	SN	.804							
Platform Technology	PT	.777***	.780						
Information System	IS	.793***	.763***	.796					
Intelligent Automation	IA	.760***	.763***	.769***	.817				
Safety	SF	.753***	.716***	.743***	.780***	.826			
Smart Manufacturing Operations	SO	.727***	.754***	.744***	.735***	.756***	.756		
Operational Performance	OP	.742***	.750***	.748***	.743***	.736***	.681***	.753	
Environmental Performance	EP	.627***	.543***	.637***	.587***	.636***	.612***	.512***	.834

\* $p < .1$ , \*\* $p < .05$ , \*\*\* $p < .01$

Notes: Diagonal elements are the square root of AVE(Average Variance Extracted)



\* $p < .1$ , \*\* $p < .05$ , \*\*\* $p < .01$

Fig. 4. Path Analysis of SEM and Hypothesis Test Results

본 연구에서 수립한 가설을 검증하기 위해 구조방정식 모형(SEM)을 활용하여 인과적 회귀모형을 통합적으로 분석하였으며, 이를 종합하여 Fig. 4에 도식화하였다.

구체적인 경로분석 결과에 따르면 첫째, 스마트 공장의 성공적인 도입·구축을 위한 기술결정요인 중 센서 네트워크( $\beta = .352, t = 3.551$ ), 플랫폼 기술( $\beta = .251, t = 3.082$ ), 정보시스템( $\beta = .313, t = 3.693$ )은 스마트 제조운영에  $p < .01$ 의 높은 수준에서 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 3가지 기술요인은 정부의 스마트공장 보급·지원 사업에서 주요한 기술지원 부문으로 다루어지고 있다는 점에 기인한다면 충분히 수용 가능한 결과로 판단된다.

둘째, 지능형 자동화( $\beta = .092, t = 1.388$ )는 스마트 제조운영에 유의한 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 그러나 한국표준협회의 스마트공장 5단계 성숙도 모형에서는 지능형 자동화를 4단계 이상의 고도화 수준으로 분류하는 것에 비하여[46], 아직까지 국내 스마트공장 도입

기업의 수준이 대부분 초기단계에 머물러 있는 상황을 고려한다면[61] 지능형 자동화를 핵심 기술결정요인에서 배제하는 판단은 지양해야 한다고 판단한다. 더 나아가 지능형 자동화의 핵심기술에 해당하는 AI에 대한 활용수준이 아직까지 미비하다는 평가[62], 산업에 따라 중요시되는 기술이 차별적일 수 있기 때문에 모든 기업이 AI를 적용해야 한다는 것은 아니라는 관점[63] 등은 본 연구결과에 대한 해석을 지지한다.

마지막으로 안전( $\beta = .036, t = .093$ )도 스마트 제조운영에 유의한 영향을 미치지 않는 결과가 도출되었다. 이러한 연구결과와 해석과 관련한 다양한 시각 중 본 연구에서는 안전의 중요성에 대한 '상대적 인식 차이'에 집중하고자 한다. 예를 들어, 중소벤처기업부에서 제시한 스마트공장 기술로드맵에 따르면 안전과 관련된 기술개발 및 수준향상의 시점을 타기술 대비 상대적으로 늦추고 있다는 점을 확인할 수 있다. 또한 스마트제조 시스템에서 사이버 보안에 대한 이슈를 주제로 한 선행연구[64]에서는 제조 인프라와 관련한 사이버 보안은 초기 단계에 있다고 지적하였으나 여전히 핵심적인 기술로써 그 중요성이 강조되어야 한다고 언급하였다.

한편, 기술요인을 통한 성공적인 스마트 제조·운영은 기업의 운영성과( $\beta = .815, t = 10.437$ )와 환경성과( $\beta = .872, t = 9.027$ )를 향상시키는 긍정적 인과관계가 있음을 확인하였다. 해당 결과는 그간 제조현장을 중심으로 검증되었던 기업의 성과향상 사례가 실증적으로도 동일한 결과를 나타내고 있다는 것으로 해석할 수 있다. 특히, 스마트 제조·운영이 성과에 미치는 회귀계수가 높은 수준을 보이는 것은 중소기업의 성과 향상을 위해 스마트공장의 도입 필요성을 강력하게 지지하는 계량적 근거자료가 된다.



## 5. 결론 및 제언

### 5.1 연구결과의 요약

본 연구는 4차 산업혁명 시대에 제조업 부흥을 선도할 스마트공장의 기술결정요인을 규명하는 한편, 기업의 실제 제조운영 및 성과에 미치는 인과적 영향관계를 실증적으로 규명하는데 집중하였다. 공통적으로 논의되는 5개 기술결정요인 중 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 정보시스템과는 다르게 지능형 자동화 및 안전 요인은 스마트 제조운영에 유의한 영향을 미치지 않았다. 그럼에도 불구하고 국내 기업의 도입수준 및 상대적 인식 차이 등을 근거로 하여 기각된 두 요인이 여전히 기술결정요인으로써 중요성을 지니고 있음을 강조하였다. 아울러 스마트 제조운영이 기업성과에 긍정적 영향을 미치는 것을 토대로 스마트공장 도입의 당위성을 확인하였다.

### 5.2 이론적 시사점

본 연구는 최근 양적 증대를 보이는 대다수의 스마트공장 연구가 관련 기술유형을 산발적으로 분류하고 있는 한계점을 해소하는 측면에서 공통적으로 논의되는 기술결정요인을 체계화하였다. 한편, 이론적 토대 및 사례를 중심으로 한 기존의 연구와는 차별화된 실증적인 결과를 제시하였다는 점에서 향후 관련 부문의 확장된 연구 활성화를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 구체적으로, 특정 기술의 경우 스마트공장의 구축수준과 같은 현실적인 이슈를 함께 고려해야 한다는 점을 토대로 이와 관련한 새로운 연구의 확장을 기대할 수 있다.

### 5.3 실무적 시사점

수많은 중소기업들이 스마트공장 도입의 필요성을 공감하지만 적극적인 도입을 추진하지 못하는 것이 현실이다[61]. 본 연구는 기업의 성과향상을 위한 스마트공장의 실효성을 입증하는 증거로서 실무자에게 적극적인 도입의 필요성을 각인시켜주는 계기로 작용할 수 있다. 아울러, 신규 구축을 고려하는 기업에게 요구되는 핵심기술요소와 관련한 정보를 제공함으로써 실무자의 효율적이고 효과적인 의사결정을 가능하게 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5.4 정책적 시사점

정부는 2014년 ‘제조업혁신 3.0’ 이래 중소 제조기업의 스마트공장 구축에 앞장서왔으며, ‘22년까지 10인 이

상 중소 제조기업 50%(67,000개사)의 스마트화를 목표로 하고 있다[10]. 이와 관련하여 본 연구는 지속적으로 추진되어왔던 정부의 지원정책에 대한 효과를 재확인하였다는 측면에서 의의가 있다.

그럼에도 불구하고 현재까지 추진되어 온 지원정책의 내용은 주로 기술에 집중되어 있어 제조업의 본원적 경쟁력 향상으로 이어지지 못하였다는 시각도 존재한다[63]. 따라서 인적자원, 문화 등 조직 내부의 유기적인 특성과 기술 간 전체체적화를 이룰 수 있도록 추가적인 정책의 발굴에 힘써야 할 것이다.

한편, 스마트공장의 성공적인 구축에 요구되는 첨단기술의 대외 의존도를 낮추기 위해 기술 국산화를 위한 솔루션 업체의 육성 및 표준화 전략에 대한 세밀한 정책과 제도를 갖추어야 한다. 아울러, 수평적·수직적 통합을 통한 네트워크 생태계 구축을 지향하는 스마트공장의 완결성을 위해서는 중소 제조기업과 대기업 간 상생협력의 방안도 반드시 제도적 차원에서 적극적으로 고려되어야 한다.

### 5.5 한계점 및 향후 연구 제언

본 연구에서 강조한 기술결정요인은 선행연구의 공통된 의견에 기반함에도 불구하고 일반화의 제약이 존재하기 때문에 반복된 실증연구를 통한 신뢰성 강화가 요구된다. 또한, 산업, 도입수준, 규모 등과 같은 기업의 특성을 고려한 차이연구를 통해 심층적인 결과를 도출하는 것 이외에도 기술적 측면에서 더 나아가 조직적 특성을 고려한 확장된 연구를 통해 연구내용의 지속적인 발전을 모색해야 한다.

## References

- [1] D. Teece, M. Peteraf, S. Leih, "Dynamic capabilities and organizational agility: Risk, uncertainty, and strategy in the innovation economy", *California Management Review*, Vol.58, No.4, pp.13-35, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1525/cmr.2016.58.4.13>
- [2] R. Drath, A. Horch, "Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Vol.8, No.2, pp.56-58, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- [3] W. H. Dutton, "Putting things to work: Social and policy challenges for the Internet of things", *Info*, Vol.16, No.3, pp.1-21, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1108/info-09-2013-0047>

- [4] C. Carrincazeaux, M. Coris, "Why do firms relocate? Lessons from a regional analysis", *European Planning Studies*, Vol.23, No.9, pp.1695-1721, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2015.1048186>
- [5] U. Y. Kim, M. S. Park, "A study on the limits of manufacturing innovation and policy direction of SMEs in the 4th industrial revolution: Focusing on the limitations and examples of Pohang SME's smart factory introduction", *Journal of Science and Technology Studies*, Vol.18, No.2, pp.269-306, 2018.
- [6] V. Diederik, D. Kristina, N. Fabian, P. Laurent, F. Laurent, Smart Factories: Smart Process Applications, Biz. Innovation Observatory, European Commission, EU, pp.2-4.
- [7] S. I. Kwon, *An Empirical Study of Critical Success Factors for Implementation of Smart Factory and Firm Performance: Focused on Small and Medium-Sized Manufacturing Firms*, Ph.D dissertation, Dankook University, Yong-in, Korea, pp.4-5.
- [8] Republic of Korea Government, 100 Agendas for State Affairs, Korea, pp.48-53.
- [9] Interagency, 「Korean Version of New Deal」Master Plan, Political Report, 7<sup>th</sup> Emergency Economic Meeting, Korea, pp.1-9.
- [10] Misistry of SMEs and Startups, The Great Transformation to the Digital Economy 'Smart Korea', Work Report, Korea, pp.1-7.
- [11] Interagency, 4<sup>th</sup> Industrial Revolution Committee, Response Plan for 4<sup>th</sup> Industrial Revolution I-KOREA4.0, Political Report, Korea, pp.34-83.
- [12] Ministry of Science and ICT, 2020 Work Report, Korea, pp.4-6.
- [13] E. Hofmann, M. Rüsçh, "Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics", *Computers in Industry*, Vol.89, pp.23-34, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- [14] G. Büchi, M. Cugno, R. Castagnoli, "Smart factory performance and Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.150, 119790, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- [15] A. R. Sadeghi, C. Wachsmann, M. Waidner, "Security and privacy challenges in industrial internet of things", *52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, IEEE, San Francisco, CA, USA, pp.1-6, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/2744769.2747942>.
- [16] N. Tuptuk, S. Hailles, "Security of smart manufacturing systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.47, pp.93-106, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.04.007>
- [17] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto, "Design principles for industrie 4.0 scenarios", *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, IEEE, Koloa, HI, USA, pp.3928-3937, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- [18] S. Mittal, M. A. Khan, D. Romero, T. Wuest, "Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol.233, No.5, pp.1342-1361, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- [19] R. G. Cooper, E. J. Kleinschmidt, "Benchmarking the firm's critical success factors in new product development", *Journal of Product Innovation Management: An International Publication of the Product Development and Management Association*, Vol.12, No.5, pp.374-391, 1995.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0737-6782\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0737-6782(95)00059-3)
- [20] T. Oliveira, M. Thomas, M. Espadanal, "Assessing the determinants of cloud computing adoption: An analysis of the manufacturing and services sectors", *Information and Management*, Vol.51, No.5, pp.497-510, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.im.2014.03.006>
- [21] M. Dora, M. Kumar, X. Gellynck, "Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs-A multiple case analysis", *Production Planning and Control*, Vol.27, No.1, pp.1-23, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1050477>
- [22] Z. Wen, X. Liu, Y. Xu, J. Zou, "A RESTful framework for internet of things based on software defined network in modern manufacturing", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.84, No.1-4, pp.361-369, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8231-7>
- [23] C. Scheuermann, S. Verclas, B. Bruegge, "Agile factory-an example of an industry 4.0 manufacturing process", *IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications*, IEEE, pp.43-47, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/CPSNA.2015.17>
- [24] Korean Standards Association, Smart Factory - Part 1: Basic Concepts and Structure KS X 9001-1:2016, Standards Establishment Report, Korea, pp.2-25.
- [25] Misistry of SMEs and Startups, Technology Roadmap for SME 2019-2021: Smart Factory, Political Report, Korea, pp.1-48.
- [26] Smart Factory Task Group, Smart Factory Applications in Discrete Manufacturing, White Paper, IIC:WHT:IS, Industrial Internet Consortium, pp.1-34.
- [27] E. Kim, S. T. Kim, "Smart factory implementing flexible production system: Effective operation of production strategy", *Deloitte Anjin Review*, Vol.4, pp.62-68, 2015.
- [28] J. Lee, "Smart factory systems". *Informatik-Spektrum*, vol.38, No.3, pp.230-235, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00287-015-0891-z>
- [29] J. Posada, C. Toro, I. Barandiaran, D. Oyarzun, D. Stricker, "Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet".

- IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.35, No.2, pp.26-40, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>
- [30] K. D. Thoben, S. Wiesner, 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. 4-19, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
- [31] J. Davis, T. Edgar, J. Porter, J. Bernaden, M. Sarli, "Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance", *Computers and Chemical Engineering*, vol.47, pp.145-156, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.037>
- [32] J. Lee, B. Bagheri, C. Jin, "Introduction to cyber manufacturing", *Manufacturing Letters*, vol.8, pp.11-15, 2016.
- [33] D. Romero, F. Vernadat, "Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends", *Computers in Industry*, vol.79, pp. 3-13, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.03.001>
- [34] Y. Zhang, S. Ren, Y. Liu, S. Si, "A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products", *Journal of Cleaner Production*, Vol.142, No.2, pp.626-641, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.123>
- [35] Ministry of Trade, Industry and Energy. Ministry of Trade, Industry and Energy Reveals Roadmap for Technology Development of Smart Factory. c2015 [cited 2015 August 20], Available From: <http://www.korea.kr/policy/pressReleaseView.do?newslid=156070531> (accessed Jan. 23, 2018)
- [36] Korean Standards Association, Smart Factory - Part 2: Terminology KS X 9001-2:2016, Standards Establishment Report, Korea, pp.4-9.
- [37] Smart Manufacturing Leadership Coalition, Implementing 21st Century Smart Manufacturing, In Workshop Summary Report, Washington, D.C, USA, pp.2-5.
- [38] L. Adolph, T. Anlahr, H. Bedenbender, (2016). German Standardization Roadmap: Industry 4.0, Version 2, Technical Report, DIN eV, Berlin, German, pp.45-63.
- [39] N. A. Amirah, W. L. Asma, S. Muda, A. Amin, N. F. N. Him, "Analysis of individual factors on employees' perception towards safety culture in the Malaysian manufacturing industry", *In 1st Aceh Global Conference (AGC 2018)*, Atlantis Press, pp.613-619, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.2991/agc-18.2019.92>
- [40] J. B. Linhard, "Understanding the return on health, safety and environmental investments", *Journal of Safety Research*, Vol.36, No.3, pp.257-260, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isr.2005.06.007>
- [41] A. Kusiak, "Smart manufacturing", *International Journal of Production Research*, Vol.56, No.1-2, pp.508-517, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- [42] J. F. Davis, T. F. Edgar, Y. Dimitratos, J. Gipson, I. Grossmann, "Smart process manufacturing: An operations and technology roadmap", *Smart Process Manufacturing Engineering Virtual Organization Steering Committee*, Los Angeles, CA, USA, pp.3-55, 2009.
- [43] Sam Solution. What Is Intelligent Automation, and Why Is It Important for Successful Digital Transformation?. c2018 [cited 2017 July 21], Available From: <https://www.sam-solutions.com> (accessed Jan. 18, 2018)
- [44] V. Vyatkin, "IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.7, No.4, pp.768-781, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166785>
- [45] J. Van Mieghem, G. Allon, Operations Strategy, p.526, Dynamic Ideas, 2008, pp.23-42.
- [46] Korea Productivity Center, Korea Smart Manufacturing Office, Overview and Evaluation Items of Smart Factory Diagnosis and Certification Model, Technical Report, Korea, pp.8-14, 2015.
- [47] Korean Standards Association, Smart Factory - Part 3: Operation Management System KS X 9001-3:2016, Standards Establishment Report, Korea, pp.5-14.
- [48] J. Lee, S. Jun, T. W. Chang, J. Park, "A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process", *Sustainability*, Vol.9, No.5, pp.794, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su9050794>
- [49] R. Burke, A. Mussomeli, S. Laaper, M. Hartigan, B. Sniderman, "The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing", *Deloitte Insights*, Vol.31, No.1, pp.1-10, 2017.
- [50] LS Electric, 2015-2016 LS Electric Sustainability Report, Korea, pp.22-27.
- [51] S. Simons, P. Abé, S. Nesper, "Learning in the AutFab-The fully automated industrie 4.0 learning factory of the university of applied sciences darmstadt", *Procedia Manufacturing*, Vol.9, pp.81-88, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>
- [52] T. G. Kang, Y. R. Kim, "An empirical study on factors affecting smart factory introduction performance from a BSC perspective: Focus on manufacturing firms", *Indian Journal of Science and Technology*, vol.9, No.S1, pp.1-8, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9iS1/109890>
- [53] M. Kurth, C. Schleyer, D. Feuser, "Smart factory and education: An integrated automation concept", *International Journal of Service and Computing Oriented Manufacturing*, Vol.3, No.1, pp.43-53, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2016.7603738>
- [54] M. Reuter, H. Oberc, M. Wannöffel, D. Kreimeier, J.

Klippert, "Learning factories' trainings as an enabler of proactive workers' participation regarding industrie 4.0", *Procedia Manufacturing*, Vol.9, pp.354-360, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.020>

- [55] Misistry of SMEs and Startups. Result of Smart Factory Performance Analysis Research (Summary). c2019 [cited 2019 May 23]. Available From: <https://www.mss.go.kr/site/smba/ex/bbs/View.do?cbIdx=86&bcIdx=1011893&parentSeq=1011893> (accessed May. 28, 2019)
- [56] I. Belekoukias, J. A. Garza-Reyes, V. Kumar, "The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organizations", *International Journal of Production Research*, Vol.52, No.18, pp.5346-5366, 2014.
- [57] International Organization for Standardization, ISO 14031: 2013(E), Environmental Management - Environmental Performance Evaluation-Guidelines, ISO Global Standards Report, Geneva, Swiss, pp. 15-21.
- [58] C. Trumpp, J. Endrikat, C. Zopf, E. Guenther, "Definition, conceptualization, and measurement of corporate environmental performance: A critical examination of a multidimensional construct", *Journal of Business Ethics*, Vol.126, No.2, pp. 185-204, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-013-1931-8>
- [59] S. W. O'Leary-Kelly, R. J. Vokurka, "The empirical assessment of construct validity", *Journal of Operations Management*, Vol.16, No.4, pp.387-405, 1998.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00020-5)
- [60] S. L. Hoe, "Issues and procedures in adopting structural equation modeling technique", *Journal of Applied Quantitative Methods*, Vol.3, No.1, pp.76-83, 2008.
- [61] B. J. Koo, J. S. Lee, M. H. Lee, S. H. Son, "Smart manufacturing policy, support status and improvement plan in Korea", *Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KIESTEP), ISSUE WEEKLY*, Vol.219, pp.1-29, 2018.
- [62] E. M. Jung, The Influence and Implications of the Fourth Industrial Revolution on the Korean Manufacturing Industry, p.219, Korea Institute for Industrial Economics and Trade (KIET), 2017, pp.23-27.
- [63] Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea Smart Manufacturing Office, Smart Factory Reference Model: Focused on type of industry (Version 3.1), Technical Report, Korea, pp.7-13.
- [64] N. Tuptuk, S. Hailes, "Security of smart manufacturing systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.47, pp.93-106, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsv.2018.04.007>

권 세 인(Se-In Kwon)

[정회원]



- 2014년 8월 : 단국대학교 (경영학 석사)
- 2019년 8월 : 단국대학교 (경영학 박사)
- 2017년 3월 ~ 2020년 7월 : 단국대학교 경영학부 초빙교수
- 2020년 7월 ~ 현재 : 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 위촉부연 구위원

<관심분야>

R&D정책, 개방형 혁신, 스마트공장-제조, SMEs, TPS, SCRM

양 종 곤(Jong-Gon Yang)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 남오레곤 주립대 (MBA)
- 1998년 6월 : 네브라스카 주립대 (경영학 박사)
- 2002년 8월 ~ 2003년 8월 : IBM BCS 경영컨설턴트
- 2006년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 경영학부 교수

<관심분야>

산학협력, 경영혁신, Gsigma, Lean Enterprise, TPS, SCM