Research Paper Informatization Policy Vol. 30, No.4 (2023), pp.040-061
https://doi.org/10.22693/NIAIP.2023.30.4.040

스마트제조 고도화를 위한 기술표준 정책영역 발굴 및 우선순위 도출: 전문가 AHP와 IPA를 중심으로*

김재영** · 정두엽*** · 진영현**** · 강병구*****

요약 제조업의 경쟁력 제고와 성장을 위한 전략으로 도입된 스마트공장 및 스마트제조는 미래의 국가 경쟁력이며, 국가 산업 구조를 혁신하기 위한 제반 활동이라 할 수 있다. 한국 정부는 산업부의 제조업 혁신 3.0 전략부터 지속적으로 스마트제조혁신 정책을 추진하였다. 본 연구는 스마트공장 및 스마트제조산업에 대해 기술표준을 기반으로 정책영역을 발굴하고자 한다. 국제 기술표준에 부합하는 국내표준의 정립과 지원이 요구되는 현시점에 정책적 영역에 대한 분석 및 제조업 분야의 스마트제조 공정영역별 우선순위를 살펴봄으로써 국제표준화가 많이 이루어진 영역에 대해 맹목적인 국제표준화를 추진하기보다는 기술표준 정책영역을 구분하고 정책적 우선순위를 도출하는 것은 스마트제조 고도화를 위한 중요한 정책적 결정을 위한 근거가 될 수 있다. 이를 위해 전문가 인터뷰를 기반한 계층화분석방법과 5대 공정영역에 대한 중요도-성능 분석을 통해 국제표준화가 많이 이루어진 영역에 대한 정책 추진보다는 데이터와 보안 영역 등 신기술에 대한 탐색을 기반으로 선도적인 표준화 참여가 요구되며, 탄소배출과 에너지 비용 등과 관련된 국제환경대응에 따른 글로벌 정세에 따른 수출과 디지털 통상에 대한 정책적 고려가 필요하다.

주제어 : 스마트제조, 기술표준화, 생산설비, 공정영역, 생산운영체제, 디지털전환

Technology Standards Policy Support Plans for the Advancement of Smart Manufacturing: Focusing on Experts AHP and IPA*

Kim, Jaeyoung** · Jung, Dooyup*** · Jin, Young-Hyun**** · Kang, Byung-Goo*****

Abstract The adoption of smart factories and smart manufacturing as strategies to enhance competitiveness and stimulate growth in the manufacturing sector is vital for a country's future competitiveness and industrial transformation. The government has consistently pursued smart manufacturing innovation policies starting with the Manufacturing Innovation 3.0 strategy in the Ministry of Industry. This study aims to identify policy areas for smart factories and smart manufacturing based on technical standards. Analyzing policy areas at the current stage where the establishment and support of domestic standards aligning with international technical standards are required is crucial. By prioritizing smart manufacturing process areas within the industry, policymakers can make well-informed decisions to advance smart manufacturing without blindly following international standardization in already well-established areas. To achieve this, the study utilizes a hierarchical analysis method including expert interviews and importance-performance analysis for the five major process areas. The findings underscore the importance of proactive participation in standardization for emerging technologies, such as data and security, instead of solely focusing on areas with extensive international standardization. Additionally, policymakers need to consider carbon emissions, energy costs, and global environmental challenges to address international trends in export and digital trade effectively.

Keywords : smart manufacturing, technical standardization, production equipment, process area, production operations system, digital transformation

Received Apr 17, 2023; Revised Jul 27, 2023; Accepted Aug 12, 2023

* This article is the result of quoting, correcting or supplementing a part of the research project 「Science, Technology, and Innovation Policy in the Era of Digital Transformation: 10 Policy Tasks for Industrial Advancement and Creation of New Convergence Markets (AV22060)」 conducted by the Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP) funded by the Ministry of Science and ICT. The contents of this article are the opinions of the individual authors and have nothing to do with the official opinions of the KISTEP.

** First Author, Associate Professor, Department of Corporate Management, Korea University(korean4u@korea.ac.kr, https://orcid.org/0000-0002-8304-939X)
*** Co-author, Associate Research Fellow, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning(dooyupjung@kistep.re.kr, https://orcid.org/0000-0002-1747-1728)
**** Co-author, Research Fellow, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning(yhjin@kistep.re.kr, https://orcid.org/0009-0005-6074-6546)
***** Corresponding Author, Professor, Department of Corporate Management, Korea University(bgkang@korea.ac.kr, http://orcid.org/0009-0007-7842-7230)

I. 서론

최근 세계에 불어 닥친 코로나19로 각국 정부는 연쇄 감염 차단을 위해 사회적 거리두기 등의 강제 폐쇄조치를 시행하였으며, 이는 국가의 내수경기 및 대면서비스업의 침체를 가져오는 주된 원인이 되었다(Fletcher & Griffiths, 2020). 하지만, 이러한 위기 속에서도 한국은 제조업 경쟁력을 바탕으로 한 수출 전략으로 다른 국가들에 비해 상대적으로 낮은 하락폭을 유지할 수 있었다(Hwang, 2021). 이처럼 한국의 경제발전 과정에서 제조업은 단순히 물리적인 제품을 생산하는 것에 멈추지 않고 경제의 핵심적 역할을 담당하였다. 지금껏 제조업은 새로운 일자리를 창출하는 것은 물론, 부가가치 창출을 통해 국가의 경제성장을 촉진하는 역할을 담당해 왔다.

최근 기업들은 4차산업혁명이라는 이름으로 데이터에서부터 비즈니스 운영전략의 변화를 가져왔으며, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 사물인터넷(Internet of Things: IoT)과 인공지능(Artificial Intelligence: AI) 등이 통합되며 강력한 네트워크효과를 유발하는 디지털 전환이 가속화되었다. 과거부터 증기엔진, 전기, 컴퓨터와 인터넷과 같은 혁신적인 기술로 전환되는 산업혁명은 사회환경을 바꾸어왔다(Son, 2021). 이러한 사회적 변화 속에 제조업 역시 정보통신기술과의 융합을 통한 변화와 성장을 요구하고 있다.

제조업이 스마트공장 및 스마트제조로 전환되는 디지털전환의 핵심에는 기술표준이 있다. 전 세계 시스템 공급업체들은 각자의 요소기술 혁신 및 통합을 내세우고 있는 상황에서 이를 뒷받침하기 위한 상호운용성(Interoperability)이 중요하다. 디지털전환을 통한 공장 운영 및 제조와 관련한 애플리케이션 및 플랫폼은 수평적·수직적 통합이 이루어져야 하며, 스마트디바이스에 있어 기기간의 연결이 주된 이슈이다. 이를 가능하게 하는 것이 기술표준이기 때문이다.

기술표준을 통한 상호운용성의 확보는 내부 시스템 간소화 및 효율성 제고, 비용 및 시간 절감을 가져온다. 국제표준화기구인 ISO와 IEC의 스마트제조 관련 표준화 활동은 이미 산업데이터, 산업기기 및 시스템 등 표준 간 상호운용성 확보를 추진 중이다. 어떠한 스마트공장 및 스마트제조 관련 기술이 시장의 표준이 될 것인가를 둘러싼 표준전쟁은 이미 시작되었다.

또한 코로나19와 같은 생산 현장의 상시 방역 및 감염 발생 상황에서 기업들은 생산손실을 최소화할 수 있는 유연한 생산방식의 글로벌 공급망에 대한 재구성을 심각하게 고려하였다. 이에 각국 정부는 글로벌 공급망 재구성을 위해 풍부한 인적자원과 건실한 경제기반(Fundamental)을 보유하고, 정부의 제조업 지원 정책이 활발한 아시아·태평양 지역 고성장 국가들이 새로운 공급망 핵심 허브로 주목하였다(Fletcher & Griffiths, 2020). 이뿐만 아니라 자국중심주의적 경제권역화는 생산시설을 본국이나 권역 내 인접국으로 옮기도록 강제하고 있으며, 최근 미국이 「인플레이션 방지법」을 발의하는 등의 행보를 보임으로써 제조기업의 리쇼어링(Reshoring)은 주된 당면과제로 부상하게 되었다. 기업 역시 변화에 유연하게 대응하기 위해서는 정보기술의 발달에 따른 경제성장과 사회변혁의 주요 동인으로서 정보와 지식 등 데이터의 자유로운 이동이 가능한 환경 조성의 중요성을 인식하고 있다(Kang & Hwang, 2018).

이처럼 제조업은 사회·환경적 변화에 가장 직접적 영향을 받는 산업분야로 최근 수출입 품목 제한, 해운물류 지연, 원자재 가격 폭등 등의 이슈가 잇달아 터지며 위기와 변화를 맞이하고 있다. 글로벌 공급망에 대한 재편 및 디지털전환의 가속화 속에서 한국의 대표적 수출상품인 반도체의 중요성이 강조된 것은 당연한 일이었다. 특히 코로나19 이후 더욱 가속화된 디지털 전환 추세 속에 한국 제조업의 경쟁력을 갖추기 위한 대응이 필요한 시점이다.

그동안 한국 정부는 다양한 스마트제조혁신 정책을 추진하였다. 2014년 산업자원부 주도의 '제조업 혁신 3.0 전략'을 시작으로 2020년까지 스마트공장 1만개 구축 목표에서 2017년 중소벤처기업부가 신설되며,

2022년까지 스마트공장 2만개 목표를 수립하였다. 하지만 스마트공장 및 스마트제조 정책사업들은 여러 관리기관에서 다양하고 유사한 이름으로 수행함으로 인해 차별화 정도가 낮으며, 집행의 효율성 저하에 대한 우려가 제기되었다(Choo & Lee, 2019). 또한 스마트제조의 완성형은 하드웨어적 설비와 소프트웨어적 운영이 완벽하게 융합된 '고도화' 단계이나, 지금까지 스마트제조에 대한 한국 정부의 지원사업은 지원 단가가 상대적으로 저렴한 '기초' 단계에 편중되는 문제점이 선행연구를 통해 제기되었다(Goo et al., 2018).

본 연구는 글로벌 공급망이 위기에 직면한 시대에 돌파구로 부상하고 있는 스마트공장 및 스마트제조산업에 대해 기술표준을 기반으로 정책영역을 발굴하고자 한다. 표준화 과정은 상이한 이해관계가 개입되며 다양하게 전개될 가능성으로 불확실성이 매우 높다. 하지만 선택된 표준은 사회적 협상의 결과를 반영한 것으로 관련된 행위자의 전략적 이해를 반영하며 사회구조적인 조건들이 연계된다는 점에서 그 중요성이 매우 높다. 연구의 대상이 되는 스마트공장(Smart Factory) 및 스마트제조(Smart Manufacturing)분야의 기술표준의 정책영역 발굴은 국가의 전략산업으로 부각되고 국제화의 진전이 심화됨에 따라 더욱 중요한 요소이다.

국제 기술표준에 부합하는 국내표준의 정립과 지원이 요구되는 현시점에 정책적 영역에 대한 분석 및 제조업 분야의 스마트제조 공정영역별 우선순위를 살펴봄으로써 국제표준화가 많이 이루어진 영역에 대해 맹목적인 국제표준화를 추진하기보다는 기술표준 정책영역을 구분하고 정책적 우선순위를 도출하는 것은 스마트제조 고도화를 위한 중요한 정책적 결정을 위한 근거가 될 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 정책적 우선순위 도출을 위해 전문가 인터뷰를 통한 AHP 분석을 수행하였다.

II. 이론적 배경

1. 스마트제조분야에서의 기술표준 중요성

스마트공장 및 스마트제조 분야에 있어서도 디지털 전환은 피해갈 수 없는 시대적 변화로 인식되었다. 일반적으로 표준은 특정 국가에 의해 선도적으로 제정되었다. 실제 80년대까지의 표준은 단순화와 통일화를 통한 자동화를 촉진함으로써 선진국에 의해 시장수요 확대 및 원가절감의 수단으로 활용되었다. 하지만, 최근 기술표준은 특정 국가의 주도가 아닌 생산제조기업들이 공통의 기술을 넓게 이용하고, 보다 빠르게 활용하기 위한 목적으로 변화되었다(KDI EIEC, 2021).

선진 기업들의 고객에게 다가가는 제조 전방 산업과 원부자재를 공급하는 후방산업의 가치사슬을 연결하는 수평적 통합과 공장의 생산체계에 대한 수직적 통합을 통해 스마트제조를 지원하고 있다(Kang & Hwang, 2018). 만약 가치사슬 전반에 있어 제조공정에 대한 정보가 호환성 있게 연결되지 못한다면, 사용자들은 많은 불편을 느끼게 된다. 이로 인해 기술이 표준화되어야 하는 필요성과 상호운용성 확보를 통한 표준화의 장점은 다양한 분야에서 제시되었다(Choo & Lee, 2019). 세계적 기업들이 공동작업을 통해 기술표준에 대한 국제표준화를 서두르는 사이, 한국의 기업들은 스마트공장의 수평통합을 위한 핵심 요소기술인 생산설비(Programmable Logic Controller: PLC), 센서, 기반 소프트웨어(ERP, MES, CAD) 등의 솔루션은 대부분 글로벌 기업의 기술에 종속되어 있는 실정이다(Park, 2017). 이미 선진국들은 수직통합 부분 역시 국제표준화를 통해 컨트롤러, 서보모터/드라이브 등 핵심부품, 초고품질(High-End)의 장비, 유연생산 운용 솔루션 등 스마트공장의 핵심 요소 대부분은 독일, 일본, 미국의 기업으로부터 수입하고 있다(Oah & Kim, 2021).

하지만, 아직 스마트제조에 있어서는 유연성, 자율적 운영, 지속가능성, 에너지 효율성 등의 분야에서 발

생할 수 있는 표준화 논의가 진행되고 있고, 사실상표준화기구(IEEE, ISSA, OCF 등)의 관련 표준들도 ISO와 IEC를 통해 국제표준화가 진행 중에 있다. ISO/TC 184와 IEC/TC 65는 스마트제조 관련 주요 국제표준화 기구이며, ISO/IEC/JTC1, IEEE, OCF(Open Connectivity Foundation), IIC(Industrial Internet Consortium) 등은 IoT, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 보안, CPS(Cyber-Physical Systems) 등 제조와 관련된 정보통신기술 표준 개발을 수행하고 있다. 최근에는 IEC/TC 65와 ISO/TC 184가 스마트제조 참조 구조에 대한 표준화를 위해 공동작업반인 JWG 21을 설치하여 표준 개발에 착수하였다(Oah & Kim, 2021).

전세계적으로 스마트공장과 스마트제조에 대한 기술 개발과 표준화 활동이 활발히 진행 중이다(Kang & Hwang, 2018). 하지만 아직은 스마트제조와 관련한 글로벌 선도기업들이 기존 시장 지배력을 무기로 독점력을 강화하고 있는 현실 속에. 이와 관련된 기술 개발 및 표준화에 대한 독점 역시 우려된다(Byun, 2021). 몇몇 선도적 기업들이 업계를 주도하고 있는 상황에서 스마트공장 및 스마트제조 분야에서의 국제표준화는 공급산업의 성장동력 강화 및 경쟁력 확보는 국내 제조산업이 해외 공급기술에 대한 의존력을 낮추기 위한 중요한 요소이다.

2. 한국 정부의 대응과 현주소

한국 정부는 제조업의 디지털전환 및 스마트제조 기술표준화의 중요성을 인식하고 최근 스마트공장의 보급 확대 등의 성과로 다시 경쟁력을 확보하기 위한 노력을 진행 중이다. 스마트공장은 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 정보통신기술로 통합해 최소비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장을 의미한다(Oah & Kim, 2021). 제조과정 각 단계에서의 데이터 연계, 제조현장의 무선통신 활용 확대에 따른 스마트제조 고도화 및 운영기술(Operational Technology: OT)과 정보기술(Information Technology: IT) 융합의 가속화, 사이버 보안 문제해결 방안 등을 제시함으로써 제조 관련 모든 과정을 연계하고자 하였다.

특히 2018년 중소기업 스마트제조혁신 전략의 일환

〈표 1〉 스마트공장 수준단계
〈Table 1〉 Smart factory levels

Rating	Level Stage	Characteristic	Condition(Construction Level)	Score
Level 5	Advancement	Custom and autonomous	Autonomous operation from monitoring to control and optimization	≥ 950
Level 4	Intermediate 2	Optimization and integration	Proactive and optimizing decision making through simulation	850~950
Level 3	Intermediate 1	Analysis and control	Control by analyzing the collected information	750~850
Level 2	Basic 2	Measurement and validation	Real-time monitoring of production information	650~750
Level 1	Basic 1	Identification and inspection	Partial standardization and performance information management	550~650
Level 0	No ICT application	No recognition and application	No recognition and ICT application	≤ 550

source: Jang et al., 2022

으로 중소기업 생산현장의 스마트화를 추진하기 위해 스마트제조혁신추진단을 신설하였으며 스마트공장 보급과 함께 제조혁신 R&D 및 표준화를 종합 지원하는 역할을 수립하였다. 스마트공장의 수준별 보급 활성화를 위해 제조과정에서의 정보통신기술의 활용 정도 및 역량에 따라 '구축시스템 스마트화 수준(기초-중간1-중간2-고도)'로 구분하였으며, 기업의 종합적인 스마트 역량을 측정하여 '기업제조혁신역량 수준(Level 1~5)'을 구분하였다.

산업인력의 고령화, 현장 생산성의 정체 등과 같은 내적 차원의 문제해결을 위해 초기 산업통상자원부 주관으로 스마트공장 분야 연구개발, 데모공장 구축, 보급·확산사업을 진행하였으나, 2018년부터 중소벤처기업부에서 스마트공장 보급 확산사업을 주관하고 있다. 중소벤처기업부는 총 1조원을 투입하여 스마트공장 구축 및 고도화를 진행하고 있으며, 제조데이터 인프라 구축 및 로봇활용 제조혁신지원, 스마트 마이스터 등 11개 내역사업을 진행 중이다. 또한 이와 별도로 과학기술정보통신부 역시 5G 기반 디지털트윈 공공선도 지원사업을 진행 중이며 연간 100억 원을 투입하여 주요 건물 대상 건물의 다양성 및 특성을 반영한 공공시설물 및 중소기업의 제조현장 디지털트윈 구축 지원을 진행하고 있다(Choo & Lee, 2019).

특히 산업통상자원부는 산업계 디지털 전환의 필수 과제로 스마트공장 및 스마트제조 시스템[1]간 데이터 교환을 가능하게 하는 국가표준(KS)을 필요성을 강조하며, 스마트제조 시스템간 데이터 교환 방식 등을 규정하는 국가표준(KS X 9101)[2]을 2021년에 제정하였다. 해당 국가표준은 스마트제조 시스템별로 다르게 표현해 온 데이터 양식을 통일하여 서로 다른 이종의 시스템 간 데이터 연계 작업을 가능하게 하였다. 해당 국가표준은 스마트공장 표준을 위한 참조모델로 다양한 표준들 간의 관계를 설명하는데 그 기준과 스마트제조와 관련된 국내외 표준들의 적용범위를 규정하였다. 한국 정부 역시 대기업과 중소기업에서 스마트공장 관련 기술을 도입하고 있으며, ISO/TC 184와 IEC/TC 65는 스마트제조 관련 국제표준화에 적극적으로 참여하는 등 정책적 노력을 다하고 있다. 이처럼 디지털 전환에 따른 기술표준 및 기술인증의 체계는 더욱 복잡한 의사결정 문제를 동반할 것으로 예상되는 상황에서 정책적 우선순위를 제시하는 것은 매우 중요하다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구의 목적인 정책영역 발굴과 우선순위의 도출을 위해 크게 정성조사 방법인 전문가 인터뷰와 정량조사 방법인 계층화분석과 중요도-성능 분석방법을 활용하였다. 분석은 크게 3단계로 진행되었다. 첫 번째 단계에서는 전문가 인터뷰를 통한 의견수렴 및 도출된 논의 내용을 기반으로 계층화분석을 위한 문제 정의 및 목표설정을 진행하였다. 해결해야 하는 문제와 목표를 기반으로 하위레벨의 계층구조를 작성하였으며, 두 번째 단계에서는 구조화된 계층화분석 설문을 통해 최종 우선순위 도출 및 대안을 설정하였다. 또한 설문과정에서 추가적으로 계층화분석 설문에 참여한 전문가들에게 한국의 스마트공장 및 스마트제조 표준에 대한 공정영역별 중요도와 성과에 대해 응답토록 하였다. 마지막으로 세 번째 단계에서는 해당 응답 내용을 기반으로 스마트공장 표준지도에서 구분한 5가지 공정영역에 대한 중요도-성능 분석을 진행하였다.

1. 분석도구

정량적 분석을 위해 본 연구에서는 계층화분석방법

1) 스마트제조시스템은 제조 업무 프로세스 전반의 실행 · 관리 · 모니터링 등을 위한 기업 업무 시스템, 전사적 자원 관리(ERP, Enterprise Resource Planning), 제조 실행 시스템(MES, Manufacturing Execution System), 제품 수명주기 관리(PLM, Product Life-cycle Management), 설비 데이터 수집 시스템(DAQ, Data Acqusition System) 등이 있음

2) KS X 9101: 제조분야 기업업무시스템 간 제조업무데이터 교환 - 제1부: 데이터 모델 / 제2부: 관리체계 (2021. 9. 9. 제정고시)

과 중요도-성능 분석 방법을 활용하였다. 대표적 계층화분석방법인 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석 방법은 평가기준이 모호하고 상호배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정 기법으로 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인으로 분해하고 도출된 각각의 요인들을 일대일로 쌍대비교(Pairwise Comparison)함으로써 상대적 중요도를 산출하는 방법이다(Park & Yong, 2012). 해당 분석 방법은 행정학, 정책학의 대표적인 분석기법 중 하나로 사업시행 타당성 등의 여부를 판별하기 위해 널리 사용되는 분석기법이다(Huh, et al., 2016).

계층화분석을 위한 설문응답의 절차는 다음과 같다. 우선 의사결정을 하고자 하는 대상을 설정하고, 관련 요인을 만들어 평가항목을 설정한 후, 계층구조를 형성하여 중요도를 평가하는 순서로 진행된다. 이러한 과정에서 가장 중요한 단계는 중요도 및 영향값을 구하는 단계이다. 본 연구에서는 상대적 중요도를 분석하는 방법으로 응답의 신뢰도 측정을 위해 일관성비율(Consistency Ratio: CR)을 분석하였으며, 만약 산출된 중요도 값에 대한 CR값이 10% 이상이 되면 의사결정자가 다시 검토해야 한다(Huh, et al., 2016). 해당 내용은 온라인 설문지의 응답화면 하단에 포함하여 응답자가 CR값을 확인하고 자신의 답을 수정할 수 있도록 하였다.

또한, 각 영역별 중요도와 성과를 평가하며 분석된 결과에 대한 검증 및 사회적 영향요인을 도출하기 용이한 분석방법으로 중요도-성능 분석(Importance-Performance Analysis: IPA) 방법을 추가적으로 시행하였다. 중요도-성능 분석은 지각하는 특정 요소에 대한 중요도와 성과를 각각 X축과 Y축으로 하는 2차원상의 평면 위에 좌표로 각 요소를 표현하는 분석방법이다. 본 연구에서는 스마트공장 표준지도에서 구분한 5가지 공정영역으로 구분하였으며, 이때 제안된 각 사분면은 자원할당에 의해 각기 상이한 의미(유지관리, 중점개선노력, 개선대상, 과잉투자)를 부여하게 되며, 이를 기반으로 산업 분류 내 해당 기술표준의 상대적 중요성에 대한 의사결정을 지원한다.

2. 전문가 그룹 구성 및 소개

본 연구의 목적인 기술표준 정책영역의 발굴을 위해 전문가 인터뷰를 통한 정성조사를 수행하였다. 일반적으로 전문가 인터뷰는 특정 영역에 대한 경험과 지식을 보유한 사람들로부터 압축적인 정보를 빠르게 얻을 수 있어 사회과학에서 많이 사용되는 방법으로 현상에 대한 진단과 문제해결에 대한 조언을 얻을 수 있다(Creswell & Poth, 2016). 전문가 인터뷰에 대한 주된 논의 내용은 정부의 대응 전략 도출을 위해 디지털 전환에 따른 정부의 기술표준 체계 관련 문제점 진단, 스마트공장 및 스마트제조 기술표준화 동향 및 정책방향 모색으로 진행되었다.

우선 첫 번째 단계의 전문가 인터뷰는 특정 분야에 대한 보다 다양한 측면에서의 총체적 견해를 파악하기 위한 목적으로 주로 사용되는 방법으로 스마트공장 및 스마트제조에 대한 특정 분야의 전문가의 의견을 듣기 위해 국가기술표준원의 추천을 받아 참여 대상자를 선정하였다. 전문가 인터뷰 참가자는 기술표준 관련 기관·협회, 대학 및 출연연 연구자, 기술예측 전문가 등을 중심으로 섭외하였으며, 최종적으로 관련 협회에서 1인, 대학에서 2인, 출연연에서 2인의 총 5인의 전문가 인터뷰 참가자에게 인터뷰를 진행하였다. 해당 대상자에 대한 상세 정보는 〈표 2〉와 같다.

두 번째 단계인 계층화분석 설문을 위한 전문가 패널은 스노우볼링 샘플링(Snowball Sampling) 방법을 활용한 비확률편의추출방법을 활용하였다. 이를 통해 총 10명의 전문가를 대상으로 온라인 설문으로 진행되었다. 본 연구에서 계층화분석 설문은 총 2회에 걸쳐 진행되었으며, 1차는 기술표준화와 관련하여 질문하였으며, 2차에는 기술인증과 관련하여 질문을 하였다. 설문 조사기간은 2022년 10월 2일부터 11일까지 총 10일간 진행되었다. 계층화분석 설문에 참여한 전문가 인터뷰 대상자는 〈표 3〉과 같다.

〈표 2〉 전문가 인터뷰 패널 현황
〈Table 2〉 Expert interviewee status

Interviewee Code	Job Position	Classification	Region
A	Headquarters Director	Association	Gyeonggi
B	Department Head	Government-Contributed Research Institute	Daejeon
C	Professor	University	Sejong
D	Professor	University	Jeju
E	Senior Researcher	Government-Contributed Research Institute	Chungbuk

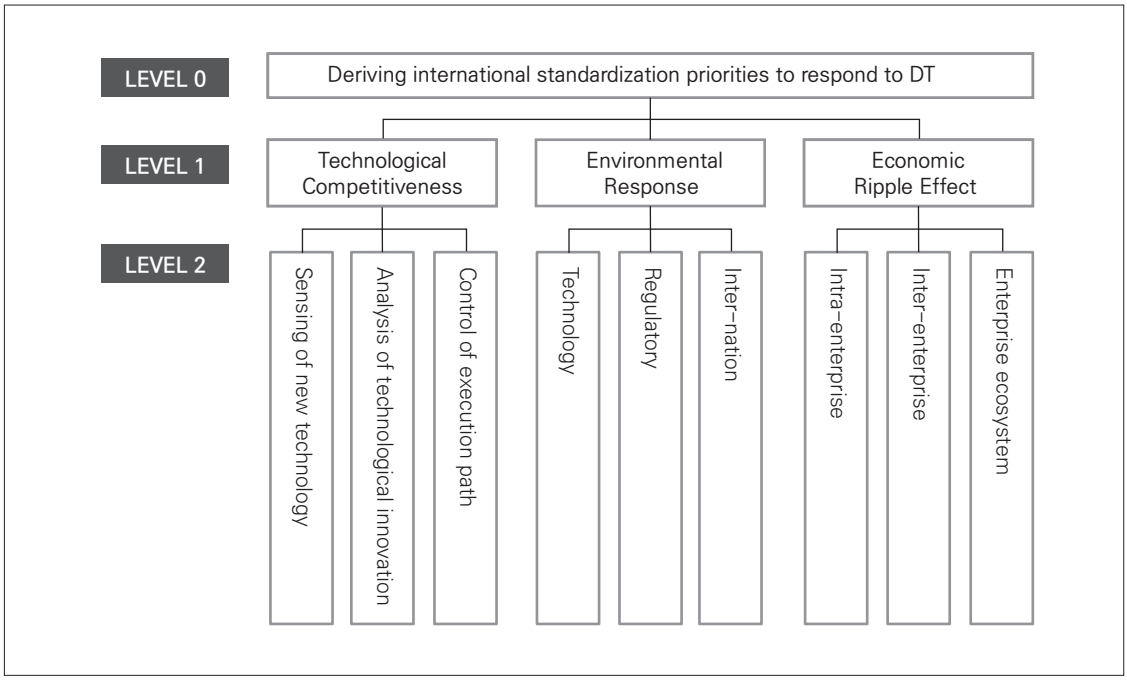
〈표 3〉 계층화분석 전문가 패널 현황
〈Table 3〉 Analytic Hierarchy Process expert interviewee status

Interviewee Code	Job Position	Classification	Region
A	Headquarters Director	Association	Gyeonggi
B	Department Head	Government-Contributed Research Institute	Daejeon
C	Professor	University	Sejong
D	Professor	University	Jeju
E	Senior Researcher	Government-Contributed Research Institute	Chungbuk
F	Center Head	Association	Gyeonggi
G	Senior Executive	Enterprise	Gyeonggi
H	Associate Professor	University	Seoul
I	Senior Researcher	Enterprise	Seoul
J	President	Enterprise	Seoul

3. 분석 프레임워크 도출

첫 번째 단계인 전문가 인터뷰는 현재 디지털 전환에 따른 정부 정책과 국제표준과 관련된 국가별 기술표준에 대한 질문과 이에 대한 응답을 진행했다. 분석의 목적은 디지털전환 대응을 위한 국제표준화 우선순위 도출이며, 디지털전환의 대상은 스마트공장 및 스마트제조로 한정하였다. 스마트공장 및 스마트제조 분야의 초기 수행 단계에서 기술표준 체계를 형성하기 위해서는 기술과 인프라 및 환경변화에 대한 중요성은 간과할 수 없는 부분임이 제시되었다. 도출된 내용을 계층적 구조로 도식화하면 〈그림 1〉과 같다.

인터뷰 결과, 전문가들로부터 공통적으로 나타났던 세 가지의 키워드는 기술경쟁력, 환경대응력 그리고 경제적 파급효과로 요약되었다. 우선 기술경쟁력은 좁은 의미로 제품의 종류 및 질의 차이를 초래하는 기술수준의 차이로 표현할 수 있으며, 넓은 의미로는 현재의 기술력에 대한 감지(Sensing)와 미래 잠재력을 위한 기술혁신의 분석 및 기술혁신을 위한 수행경로의 관리를 포함한다. 세부적 요인에 대한 구분을 통해 계층구조로 표현할 수 있으며 우선적 고려 요소를 선별하는 작업이 필요하다(Park & Yong, 2012). 기술경쟁력은 다시



〈그림 1〉 계층화 구조
〈Fig. 1〉 Hierarchical structure

크게 세 가지로 구분되어 신기술에 대한 탐지와 기술혁신의 분석, 수행경로의 관리통제로 세분화되었다.

두 번째로 환경대응력은 급변하는 환경변화 속에서 지속가능성의 추진은 과학기술의 주요한 과제로 넓은 의미로는 조직의 의사결정이나 전반적인 조직활동에 영향을 미치는 외부환경에 대한 대응역량을 의미한다. 환경대응력 역시 기술환경과 규제환경 국제적 환경으로 구분되며, 기술환경과 관련하여서는 M2M(Machine to Machine)을 실현하기 위한 기계판독형(Machine Readable: MR) 등의 기술에 대한 논의가 이루어졌다. 이는 스마트공장에서의 인간의 간섭이 없이도 학습과 의사결정이 이루어질 수 있는 변화된 환경이다. 또한 미래환경은 탈탄소화 등에 따른 규제환경으로 인식되었다.

마지막으로 경제적 파급효과는 넓은 의미에서 사회적 상호작용이 어떻게 초기 상호작용과 직접적인 관련이 없는 상황에 영향을 미칠 수 있는지를 관찰하는 것으로 기업 내, 기업 간, 산업 간(생태계) 미치는 파급효과를 의미한다. 스마트공장 및 스마트제조의 경제적 파급력은 연계되어 나타날 수 있어 그 중요성이 증가하고 있는 상황이다. 이처럼 스마트공장 및 스마트제조에 대한 세 가지의 중요 이슈를 기반으로 요인별의 중요성과 시급성의 우선순위를 도출하였다.

기존 연구에서 한국의 스마트공장 및 스마트제조와 관련하여 제조업은 낮은 구축 수준 문제, 중소기업의 인지도 부족, 관련 부처의 분산 거버넌스(Governance) 구조, 스마트팩토리 관련 빅데이터 활용 규제 등 제도적 문제의 선결이 필요하다는 의견이 많았다(Byun, 2021). 본 연구의 목적에 부합하고자 추가적으로 계층화분석 전문가들에 대한 설문에 한국의 스마트공장 표준에 대한 공정영역별 중요도와 성과에 대해 응답하도록 하였다.

〈표 4〉 기술표준 ·인증 계층화분석 분류 및 설명
〈Table 4〉 AHP classification and description for technology standards and certification

Division	Subdivision	Description
Technological Competitiveness	"Sensing" of new technology	Detecting new technologies unknown to competitors and recognizing changes in the external environment
	"Analysis" of technological Innovation	Analytical capabilities for the technological innovation of technology-based organizations
	"Control" of execution path	Thorough management, R&D investment and support, etc.
Environmental Response	Technology	Analysis of technological environment (Machine-readable technology, etc.)
	Regulation	Analysis of technological regulatory environment (decarbonization, technical standardization and regulation of partner countries, etc.)
	Inter-nation	Analysis of international environment (US-China trade conflict, Russian-Ukrainian war, etc.)
Economic Ripple effect	Intra-enterprise	Organizational R&D investment and social interaction for the ripple effect inside the company
	Inter-enterprise	Organizational R&D investment and social interactions for cross-enterprise ripple effects
	Enterprise ecosystem	Organizational R&D investment and social interactions for the business ecosystem ripple effects

공정영역의 구분 및 설명은 2021년 중소벤처기업부와 스마트제조혁신추진단에서 제시한 국내외 스마트공장 표준(2019년 12월 기준) 2,011종에 관한 표준지도 '스마트공장 표준지도 ver1.0'을 기반으로 하였다. 이에 전문가들은 스마트공장 표준지도는 5개의 계층구조/공정영역(생산설비, 전송제어, 데이터수집, 공장관리, 기업운영관리)에 대해 관련 기술분야(데이터, 자동화, 시스템 통합, 디바이스 네트워크, 제어시스템, 보안)별 표준(국제표준, 국가표준, 사실상표준)을 표시하였다.

Ⅳ. 분석 결과

본 연구의 목적은 기존 제조업의 중장기적 디지털 전환을 뒷받침하기 위한 스마트공장 및 스마트제조와 관련된 기술표준 관련 국내 법제와 국제기구의 관련 규약 및 프로토콜 등에 대한 문제 등을 분석함으로써 합리적인 고도화방안을 마련하고 국제표준을 선도할 수 있는 제도적 기반 마련의 참고자료로 활용될 수 있도록 하는데 있다. 분석 및 결과도출을 통해 한국의 현 위치와 전문가들이 바라보는 기술표준과 기술인증에 대한 우선순위를 도출해 보았다. 우선 정책적 우선순위 분석을 위해 전문가들에게 9점 척도의 설문에 대한 응답을 받았다. 계층화분석 결과 일관성비율(CR값)은 모두 10% 이하로 제시되어 결과에 대한 신뢰성은 담보된 것으로 확인되었다(Huh, et al., 2016).

1. 정책 우선순위 분석 결과

기술표준과 관련된 정책 우선순위 분석 결과, 중분류에 대한 응답 분석 결과는 환경대응력이 50.05%로 도

〈표 5〉 스마트공장 공정영역 설명

〈Table 5〉 Description of smart factory process area

Process area	Technology field	Description
Production facility	Smart factory standard equipment directly necessary for product production, such as factory buildings, production machines, tools, material handling equipment, inspection equipment, and other equipment necessary for product production and computer systems that control processes	
	Data	Data exchange in conjunction with devices and machine tools for the collection and management of manufacturing information
	Automation	Manufacturing automation programming, system linkage
	System integration	Integration with industrial automation system and evaluation certification
	Device network	Industrial communication networks, interfaces
Data collection	Activities to collect data necessary for service utilization in the necessary form from inside or outside the system periodically	
	Data	Machine numerical control, program file structure, and reference language
	System integration	XML and Schema for industrial automation
	Device network	Industrial communication network
	Security	Network and system security
Transmission control	A function wherein the machine determines and communicates by itself when the transmitting/receiving device is physically connected and becomes available for communication and initiates or terminates communication	
	Data	Process equipment data structures and elements
	Automation	Measurement interface standards with automation systems
	System integration	Gateway system standard
	Device network	Industrial communication network
	Control system	Industrial automation system machine numerical control and motion naming
	Security	Framework and system security for functional safety and security
Factory management	Research on scientific and rational management to increase production efficiency in factories, work management to improve efficiency and reduce waste, and facility improvement	
	Data	Representation and exchange of product data
	Automation	Simulation, engineering language, and template standards
	System integration	Real-time platform and interoperability reference standard
	Device network	Data exchange of product and industry application
	Control system	Electronic safety-related system safety and requirements
	Security	Network and system security
Corporate operation management	A set of management process activities that plan/organize/direct/control so that the production process can be operated efficiently	
	Data	Application of industrial automation system open technical dictionary and master data
	Automation	Handling systems and industrial automation site production rules
	System integration	Smart manufacturing-reference architecture model and framework
	Device network	OPC integration architecture
	Control system	Industrial process control system controller and function control
	Security	Safety and security framework, network and system security

〈표 6〉 기술표준 우선순위 분석결과
〈Table 6〉 Priority analysis result of technology standard

Division	Weight	Subdivision	Weight	Final weight	Priority
Technological competitiveness	24.37%	Sensing	43.27%	10.55%	4
		Analysis	25.56%	6.23%	9
		Control	31.17%	7.60%	7
Environmental response	50.05%	Technology	29.55%	14.79%	3
		Regulation	33.92%	16.98%	2
		Inter-nation	36.53%	18.28%	1
Economic Ripple effect	25.58%	Intra-enterprise	33.61%	8.60%	6
		Inter-enterprise	26.68%	6.82%	8
		Enterprise ecosystem	39.72%	10.16%	5
				100.0%	

출되어 가장 높은 중요도가 나타났다. 이후 경제적 파급효과(25.58%)와 기술경쟁력(24.37%) 순으로 나타나 최근의 변화된 디지털 전환에 대한 대응과정에 있어 환경에 대한 문제가 스마트공장 및 스마트제조 분야에 있어 미친 영향을 알 수 있었다. 이는 아마도 디지털 전환의 미치는 범위가 세일즈, 마케팅, 고객 서비스 등 각 영역의 전통적인 역할에 얽매이지 않기도 하며, 심화된 지구온난화 등으로 인한 생산 공정에서의 탈탄소화 및 재생 에너지 등에 대한 관심이 높아진 결과로 풀이되며, 글로벌 공급망의 불안정에서 야기된 국제적 협력관계의 변화 역시 환경대응력에 대한 중요성이 영향을 미쳤다 판단된다.

소분류에 대한 응답 분석은 국제환경이 18.28%로 가장 높은 우선순위로 나타났다. 뒤를 이어 규제환경(16.98%), 기술환경(14.79%)로 제시되었다. 이러한 결과 역시 미·중 무역분쟁, 우크라이나에 대한 러시아의 침공까지 국제 정세가 혼란해짐에 따른 글로벌 공급망의 위기와 붕괴가 반영된 결과라 판단된다.

코로나19 이후 글로벌 무역통상 환경은 빠르게 재편되고 있는 상황으로 공급망의 핵심 거점이 중국에서 대만, 말레이시아, 인도네시아 등 제3국으로 재편되는 현상이 진행되고 있으며, 미·중 무역분쟁은 글로벌 공급망의 脫중국화를 가속화하고 있다. 이와 더불어 미국과 독일을 중심으로 시작된 리쇼어링의 확산은 보호무역주의로 회귀하는 듯한 비관세장벽의 강화와 같은 국제적 규제환경의 변화에 대한 대응이 중요한 이유로 제시되었다. 국제기술환경에 대한 변화로 지적재산권 보호의 강화, 지역주의의 확산, 전략적 제휴의 확대 등과 더불어 신기술에 대한 선점 및 국제표준에 대한 관심이 증가하고 있다.

실제 소분류에서 가중치는 '신기술에 대한 감지' 즉, 경쟁기업이 알지 못하는 신기술의 탐지, 외부환경 변화 등에 대한 인지 등이 경쟁력의 원천임을 전문가들은 지적하였다. 최종가중치는 우선순위 4위로 한국 정부의 기술경쟁력의 강화를 위해서는 정책적으로 신기술 개발에 대한 지원이 필요한 것으로 나타났다. 또한 우선순위 5위는 생태계 차원의 경제적파급효과를 고려해야 한다. 조직의 연구개발 투자 및 사회적 상호작용은 기업은 물론 비즈니스 생태계적 파급효과를 우선시 해야 함을 강조하고 있다.

기술표준과 관련된 계층화분석 결과, 전통적인 산업환경에서 생산시설의 입지조건 중 가장 중요한 요소는

〈표 7〉 기술인증 계층화 분석결과
〈Table 7〉 AHP analysis result of technology certification

Division	Weight	Subdivision	Weight	Final weight	Priority
Technological competitiveness	24.03%	Sensing	39.77%	9.56%	5
		Analysis	34.63%	8.32%	7
		Control	25.59%	6.15%	9
Environmental response	48.11%	Technology	25.90%	12.46%	3
		Regulation	44.82%	21.56%	1
		Inter-nation	29.28%	14.09%	2
Economic Ripple effect	27.86%	Intra-enterprise	26.13%	7.28%	8
		Inter-enterprise	32.66%	9.10%	6
		Enterprise ecosystem	41.22%	11.48%	4
				100.0%	

저렴한 인건비였으나, 선진국의 리쇼어링으로 인해 인건비가 높은 지역으로 시설을 이전해야 하는 상황에서 제조원가를 유지하기 위해서는 생산자동화를 통한 인건비 비중 축소 및 생산성의 극대화가 필수적인 상황이다. 최근의 스마트공장 및 스마트제조의 기술혁신은 노동자가 없는 완전자동화 생산현장의 구현을 가능하게 하고 있다. 센서와 사물인터넷으로 수집된 정보는 초저지연 5G 네트워크를 통해 전달되고, 인공지능 기반의 의사결정 시스템을 통해 최적화되고 결과적으로 생산성을 극대화를 한다(Seo, 2019).

또한, 한국 정부는 스마트공장 수준확인 제도[3]를 통해 기업의 스마트화 수준을 평가하고 있다. 평가요소는 4개 영역(추진전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과)의 10개 범주에 대해 평가를 진행하고 있다. 국가정책적으로 기업 자체역량 평가에 있어 스마트공장을 구축한 기업 및 기구축 후 자체 추가 투자 등을 통해 수준 상승기업을 대상으로 무료로 진행하고 있다.

기술인증과 관련된 계층화분석 결과, 중분류에 대한 응답 분석 결과는 환경대응력이 48.11%로 가장 중요한 요소로 도출되어 기술인증이 변화된 환경대응력을 위한 중요성이 높은 것으로 제시되었다. 이후 경제적 파급효과(27.68%)와 기술경쟁력(24.03%)로 나타나 기술인증이 창출하는 경제적파급효과에 대한 중요성이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 소분류에 대한 응답 분석은 규제환경이 21.56%로 가장 높은 우선순위로 나타났으며, 뒤를 이어 국제환경(14.09%)과 기술환경(12.46%) 순으로 제시되었다.

이러한 결과는 보다 강화되고 있는 글로벌 규제환경에 대한 대응으로 인증이 강조되고 있는 상황으로 이해된다. 기후변화에 대한 국제적인 대응이 강화되고 있고 이에 따라 환경에 대한 규제가 강화되고 있다. 대표적으로 '탄소'배출 관련 규제들은 에너지 시장을 넘어, 전 경제주체들의 생활에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

파리기후협약이 시장에 미치는 영향은 크지 않았다. 아무래도 미국이 탈퇴하고 높은 자율성을 제시하였기 때문이라 유추할 수 있지만, 사실 규제의 약화로

3) 스마트공장 수준확인제도(Korea Smart Management System, KSMS)란 기업의 스마트화 수준을 규정된 정파에 따라 공신력있는 제 3자(확인기관)가 확인하고 검증하는 제도임

이어지지 않았다는 학술적 지지가 존재한다(Hwang, 2021). 전통적으로 환경문제에 적극적인 유럽의 주요 국가들이 2030년까지 구체적인 온실가스 감축 목표와 실행계획을 제시한 상태였기 때문이다. 더군다나 바이든 정부가 들어서면서 미국이 다시 파리협정에 복귀했으며 전세계에서 가장 많은 탄소를 배출하고 있는 중국이 2060년까지 탄소중립을 선언한 상황에서 규제환경이 보다 강화될 것을 예측할 수 있다.

또한, 세계경제포럼(World Economy Forum: WEF)은 매년 두 차례 등대공장(Lighthouse Factories)[4]을 선정하는데, 등대공장은 세계 제조업 변화와 혁신을 선도하는 공장으로 기술혁신을 통해 생산성을 극대화한 스마트공장 및 스마트제조의 가장 이상적인 모델이라 할 수 있다. 2022년 상반기 기준 전 세계에서 지금까지 총 103개가 선정되었으며, 국내기업으로는 포스코와 LS일렉트릭을 보유하고 있었으며 2022년 LG전자 창원공장이 신규 선정됨으로써 3곳의 등대공장을 보유하게 되었다.

하지만, 중국은 이미 37곳의 등대공장을 보유하고 있다. 한국은 제조업을 기반으로 성장해 온 나라로 제조 선진국과 겨룰 수 있는 경쟁력을 갖추기 위한 노력이 필요하다. 중소벤처기업부는 2022년 K-스마트등대공장[5]으로 11개 기업을 선정하였고 향후 2025년까지 100개 기업으로 확대하겠다는 정책을 제시하였다. 이에 따라 스마트공장에 부합하는 실행전략 마련과 신시장 창출을 위한 사업모델과 제조데이터를 활용한 최적의 공장제어 솔루션 등에 대한 구축과 확산이 요구된다.

2. 기술표준 중요도 분석 결과

중소벤처기업부는 스마트공장 공급기업의 표준경쟁력을 강화하고자 5대 공정영역으로 구분하였다(Smart Manufacturing Innovation Promotion Team, 2020). 스마트공장 및 스마트제조는 제품을 생산하는 공정만 바뀐 것이 아닌 제품 기획·개발부터 양산까지, 주문에서부터 완제품 출하까지 제조 관련 모든 과정을 포괄하며, 응용 시스템뿐 아니라 현장자동화와 제어자동화 영역까지 사실상 공장운영의 모든 부분을 적용 범위에 포함하고 있다. 본 연구에서는 생산설비, 전송제어, 데이터수집, 공장관리, 기업운영관리 5개 분야에 있어 절대적 중요도와 만족도로 구분하는 포트폴리오 방식을 사용하였다. 다음 〈표 8〉과 〈그림 2〉는 스마트공장 및 스마트제조의 5대 공정영역에 대한 중요도-성능 분석 결과와 포트폴리오 차트(Portfolio Chart)이다.

〈표 8〉 5대 공정영역에 대한 중요도-성능 분석 종합결과
〈Table 8〉 IPA comprehensive results for 5 process areas

Process area	Importance	Performance
Production facility	6.20	5.30
Data collection	6.70	4.70
Transmission control	6.40	5.00
Factory management	6.20	5.50
Corporate operation management	6.10	5.10
Average	6.32	5.12

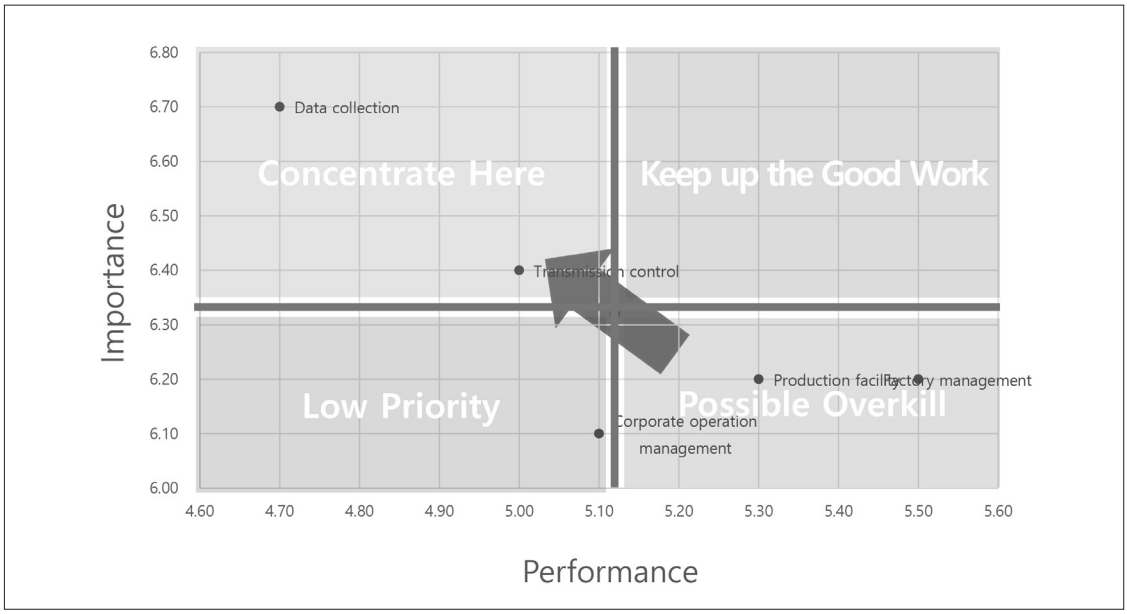
4) 세계경제포럼(WEF)은 글로벌 컨설팅기관 매킨지(Mckinsey&Company)와 공동 연구조사를 통해 세계 제조업 변화와 혁신을 선도하는 '등대공장'을 선정

5) 국내 중소·중견기업의 고도화 방향을 제시하고 업종을 선도하는 벤치마킹 모델공장 역할을 수행하며 '21 10개사, '22 11개사 선정함

각 영역별 기술표준 중요도 분석과정에서 1사분면은 '유지관리' 영역으로 중요도가 높고 이에 따른 성과도 높은 영역이다. 정책적인 측면에서 본다면 이미 충분히 잘 하고 있는 영역으로 현재 수준을 꾸준히 유지하는 것이 중요하다. 2사분면은 '중점개선노력' 영역으로 정부의 입장에서 큰 문제 영역으로 볼 수 있다. 중요성이 떨어지지만 지나친 투자나 과잉노력을 통해 불필요할 정도로 성과가 높은 경우이다. 비효율적 활동 및 예산 낭비적인 방법이 이루어졌다는 의미로 해석된다. 3사분면은 '개선대상' 영역으로 사회에서 요구하는 중요도가 높음에도 불구하고 정부 입장에서 느끼는 성과가 낮은 경우이다. 해당 영역은 가장 시급하게 개선이 필요한 내용으로 개선활동에 대한 효과성도 가장 큰 영역이다. 마지막으로 4사분면은 '과잉투자' 영역으로 현재 크게 신경 쓸 필요가 없는 중요하지 않은 영역에 높은 성과가 도출된 영역이라 볼 수 있다. 향후 중요도가 높아진다면 '유지관리' 영역으로 이동될 수 있지만, 현재 상태에서는 큰 문제가 되지 않아 향후 장기적인 개선과제로 인식된다.

지금까지 한국 정부는 공정 자동화 기술에 있어 각각의 공정별 자동화에 대한 노력을 기울였지만, 이는 전체 공정을 유기적으로 관리하기 어렵다는 한계가 선행연구를 통해 지적되었다(Goo, et al., 2018). 하지만 스마트공장은 ICT 기술을 통해 모든 설비나 장비가 통신기술을 기반으로 연결되어 있어 전후 공정간 자유롭게 데이터를 연계할 수 있고, 이를 통해 최적의 생산 환경을 이루는데 도움이 된다(Choo & Lee, 2019). 본 연구에서는 다음의 〈그림 2〉는 5대 공정영역에 대한 기술표준 중요도 분석의 종합결과를 도출하였다.

분석 결과, 현재 상태에서 유지관리 단계에 대한 영역은 없는 것으로 나타났으며, 5대 영역에 있어 데이터 수집과 전송제어 영역은 그 중요성에 비해 성과가 매우 낮은 영역으로 분석되어 정부 입장에서 큰 문제 영역인 '중점개선노력'이 요구되는 공정영역으로 구분된다. 해당 영역은 예산의 사용과 함께 비효율적 방법에 대한 개선이 요구된다. 또한 기업운영관리 영역은 '개선대상' 영역으로 사회에서 요구하는 중요도가 높음에도 불구



〈그림 2〉 5대 공정영역 포트폴리오 차트
〈Fig. 2〉 Portfolio chart for 5 process areas

하고 정부 입장에서 느끼는 만족도가 기대만큼 제시되지 않고 있는 것으로 나타났다. 생산설비와 공장관리는 현재 '과잉투자' 영역으로 지적되어 중소기업에 있어 시설 및 공장관리 지원이 데이터수집과 연계될 수 있도록 지도하는 것이 중요한 상황으로 분석되었다. 다음은 각 공정영역에 있어 상세한 영역별 결과를 도출하였다.

1) 생산설비

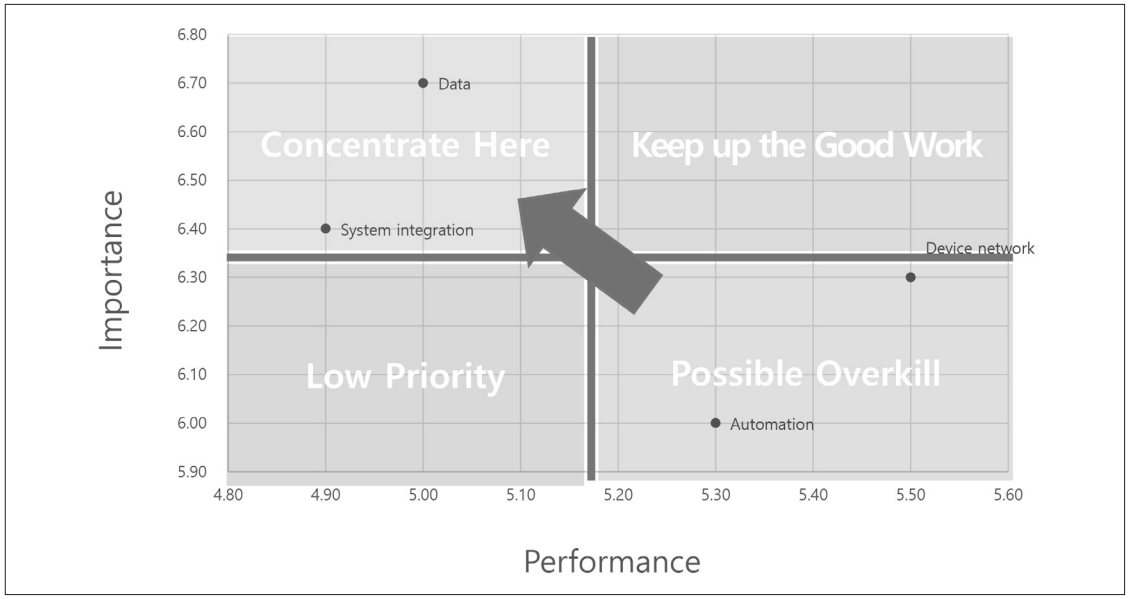
다음의 5대 영역 중 생산설비 영역은 4개의 기술영역으로 구분되며, 이는 데이터, 자동화, 시스템통합과 디바이스 네트워크로 구분하여 살펴보았다.

생산설비에 대한 기술표준 중요도 분석 결과, 현재 상태에서 유지관리 단계에 대한 영역은 없는 것으로 나타났다. 중점개선노력이 필요한 영역으로는 데이터, 시스템통합이 나타났으며, 과잉투자 영역으로는 디바이스 네트워크와 자동화인 것으로 나타났다. 실제 생산설비 분야의 경우, 자동화 분야에 대한 국제표준이 다수 제시되어 있는 상태로 추가적인 투자보다는 기존 표준

〈표 9〉 5대 공정영역 중 생산설비에 대한 중요도-성능 분석 종합결과

〈Table 9〉 IPA comprehensive results for production facility among 5 process areas

Technology field	Importance	Performance
Data	6.70	5.00
Automation	6.00	5.30
System integration	6.40	4.90
Device network	6.30	5.50
Average	6.35	5.18



〈그림 3〉 생산설비에 대한 포트폴리오 차트

〈Fig. 3〉 Portfolio chart for production facility

의 적용이 요구되며, 산업 자동화시스템과의 통합을 위한 네트워크에 대한 개선방안이 필요하다.

2) 데이터수집

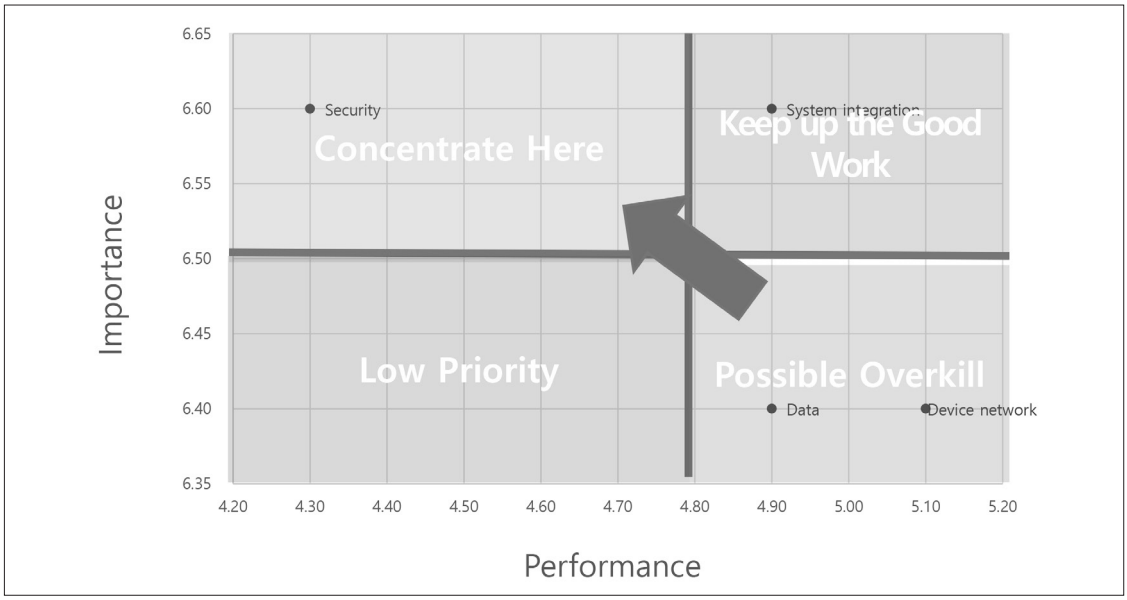
데이터수집 영역은 4개의 기술영역으로 구분되며, 이는 데이터, 시스템통합, 디바이스 네트워크와 보안으로 구분하여 살펴보았다.

데이터수집 영역에 있어 시스템통합은 유지관리 영역으로 매우 잘 관리되고 있는 것으로 나타났다. 중점개선노력이 필요한 영역으로는 보안에 대한 성과 향상이 요구되고 있으며, 과잉투자 영역은 디바이스 네트워크 및 데이터인 것으로 나타났다.

실제 데이터수집에 있어서는 데이터 분야에 대한 국제표준이 다수 존재하고 있어 데이터 분야에 대해서는 추가적인 표준개발의 노력보다는 기존 표준을 이용할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 또한 한국 정부는 보안에 대한 성과 창출을 위한 정책적 요구가 필요하다.

〈표 10〉 5대 공정영역 중 데이터수집에 대한 중요도-성능 분석 종합결과
〈Table 10〉 IPA comprehensive results for data collection among 5 process areas

Technology field	Importance	Performance
Data	6.40	4.90
System integration	6.60	4.90
Device network	6.40	5.10
Security	6.60	4.30
Average	6.50	4.80



〈그림 4〉 데이터수집에 대한 포트폴리오 차트
〈Fig. 4〉 Portfolio chart for data collection

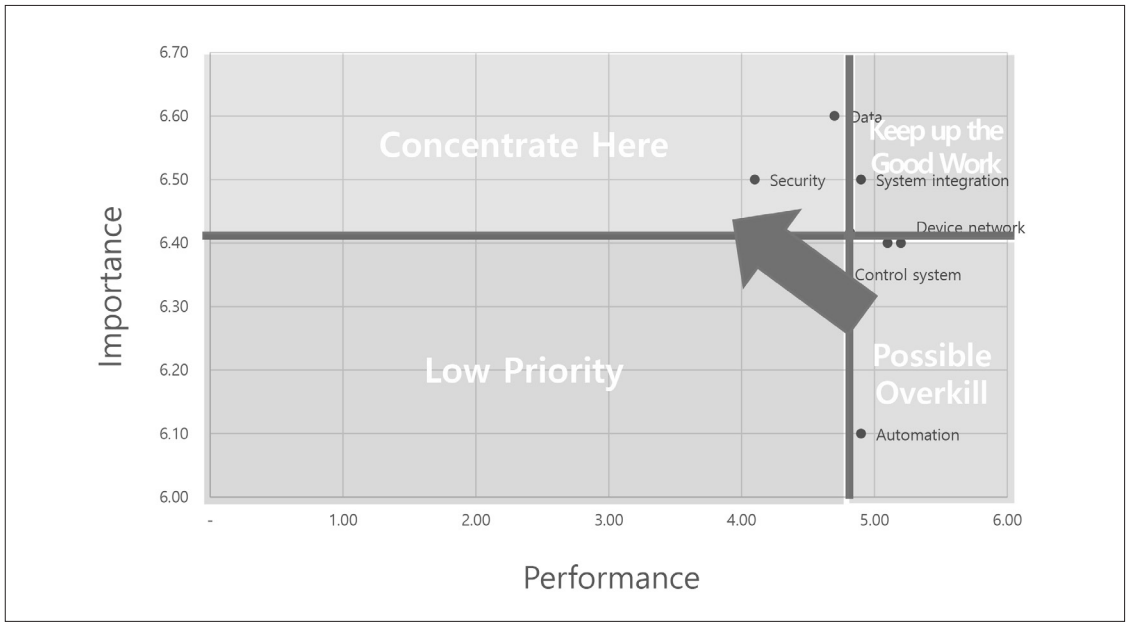
3) 전송제어

전송제어 영역은 6개의 기술영역으로 구분되며, 이는 데이터, 자동화, 시스템통합, 디바이스 네트워크, 제어시스템과 보안으로 구분하여 살펴보았다.

전송제어 영역에 있어 시스템통합은 유지관리 영역으로 매우 잘 관리되고 있는 것으로 나타났다. 중점개선 노력이 필요한 영역으로는 데이터와 보안에 대한 성과 향상이 요구되고 있으며 과잉투자 영역은 자동화, 디바이스네트워크와 제어시스템으로 조사되었다. 특히 제어시스템과 디바이스 네트워크는 유지영역의 근접한 것으로 나타나 그 중요도가 높아질 경우 유지영역으로의 이동이 가능할 것으로 보인다. 제어시스템에 대한 국

〈표 11〉 5대 공정영역 중 전송제어에 대한 중요도-성능 분석 종합결과
〈Table 11〉 IPA comprehensive results for transmission control among 5 process areas

Technology field	Importance	Performance
Data	6.60	4.70
Automation	6.10	4.90
System integration	6.50	4.90
Device network	6.40	5.20
Control system	6.40	5.10
Security	6.50	4.10
Average	6.42	4.82



〈그림 5〉 전송제어에 대한 포트폴리오 차트
〈Fig. 5〉 Portfolio chart for transmission control

제표준이 다수 존재하기 때문에 새로운 표준개발보다는 시스템통합과 연계한 제어시스템 및 디바이스 네트워크 연계가 향후 중요한 이슈가 될 것으로 분석되었다.

4) 공장관리

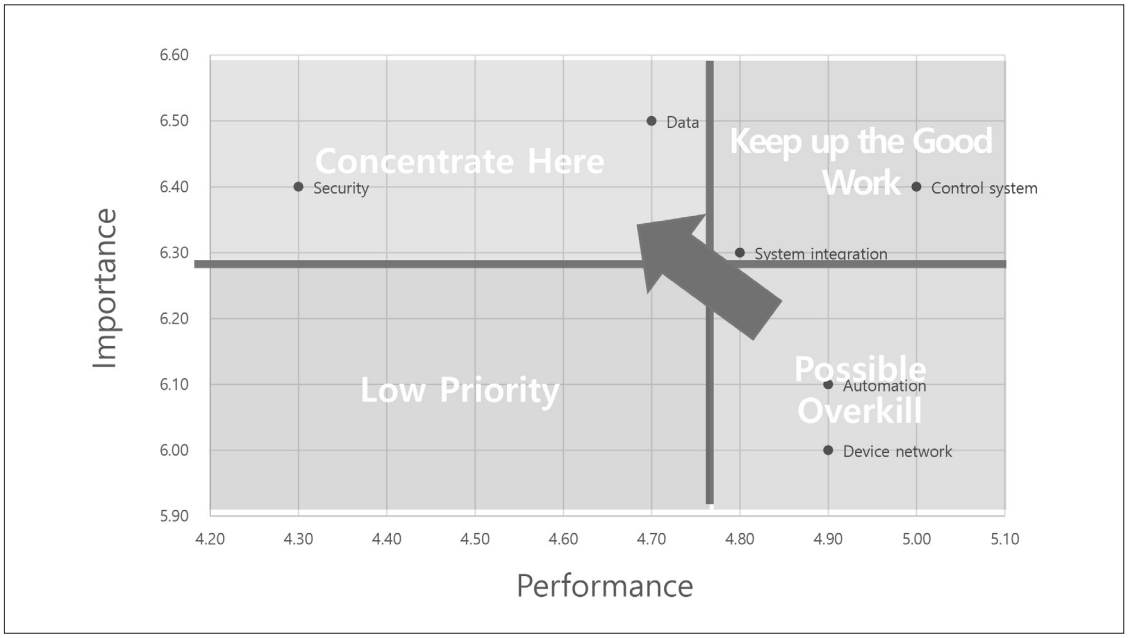
공장관리 영역은 6개의 기술영역으로 구분되며, 이는 데이터, 자동화, 시스템통합, 디바이스 네트워크, 제어시스템과 보안으로 구분하여 살펴보았다.

공장관리 영역에 있어 제어시스템과 시스템통합은 유지관리 영역으로 매우 잘 관리되고 있는 것으로 나타났다. 중점개선노력이 필요한 영역으로는 데이터와 보안에 대한 성과 향상이 요구되고 있으며, 과잉투자 영

〈표 12〉 5대 공정영역 중 공장관리에 대한 중요도-성능 분석 종합결과

〈Table 12〉 IPA comprehensive results for factory management among 5 process areas

Technology field	Importance	Performance
Data	6.50	4.70
Automation	6.10	4.90
System integration	6.30	4.80
Device network	6.00	4.90
Control system	6.40	5.00
Security	6.40	4.30
Average	6.28	4.77



〈그림 6〉 공장관리에 대한 포트폴리오 차트

〈Fig. 6〉 Portfolio chart for factory management

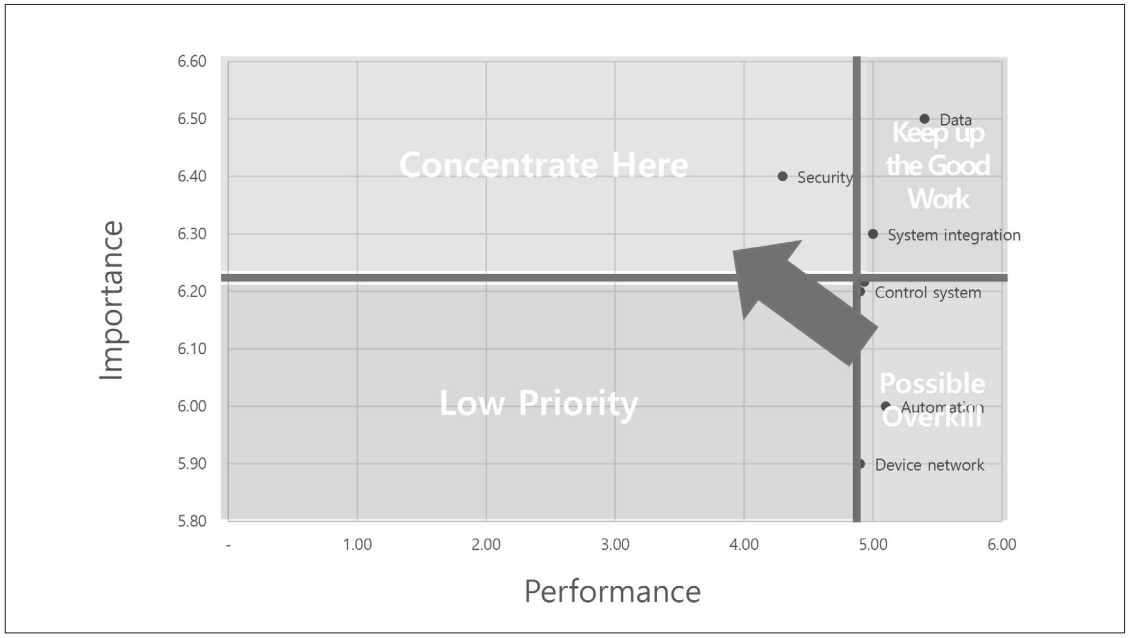
역은 자동화와 디바이스 네트워크로 조사되었다. 특히, 시스템통합은 유지관리의 경계선에 있어 지속적인 유지가 요구되며 데이터 영역 역시 성과관리를 통해 유지관리로 쉽게 이전이 가능할 것으로 분석되었다. 다만, 시스템통합에 있어 보안은 그 중요성에 비해 지속적인 성과관리가 요구되는 부분이며, 공장관리에 있어서도 시스템통합 분야 국제표준이 다수 존재하여 이를 활용하는 전략이 필요하다.

5) 기업운영관리

기업운영관리 영역은 6개의 기술영역으로 구분되며, 이는 데이터, 자동화, 시스템통합, 디바이스 네트워크,

〈표 13〉 5대 공정영역 중 기업운영관리에 대한 중요도-성능 분석 종합결과
〈Table 13〉 IPA comprehensive results for corporate operation management among 5 process areas

Technology field	Importance	Performance
Data	6.50	5.40
Automation	6.00	5.10
System integration	6.30	5.00
Device network	5.90	4.90
Control system	6.20	4.90
Security	6.40	4.30
Average	6.22	4.93



〈그림 7〉 기업운영관리에 대한 포트폴리오 차트
〈Fig. 7〉 Portfolio chart for corporate operation management

제어시스템과 보안으로 구분하여 살펴보았다. 전체적으로 성과가 높은 것으로 제시되고 있어 평균선에 근접하고 있는 것을 알 수 있다.

기업운영관리 영역은 공장관리와는 달리 효율적 생산운영관리를 목적으로 한다. 이에 따라 데이터와 시스템통합은 유지관리 영역으로 잘 관리가 되고 있는 것으로 나타났다. 다만 경계선상에 디바이스 네트워크와 제어시스템이 개선대상 영역에 위치하고 있으며, 중점개선노력이 요구되는 영역으로 보안이 중요하다.

과잉투자에 대한 부분은 자동화에 대한 부분으로 향후 자동화에 대한 추가적인 투자를 지양할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 기업운영관리에 필요한 시스템통합 분야에 다수의 국제표준이 있어 중점개선노력이 요구되는 보안분야에 대한 추가적인 개선노력이 필요하다.

V. 결론 및 시사점

본 연구는 글로벌 공급망이 위기에 직면한 시대에 돌파구로 부상하고 있는 스마트공장 및 스마트제조산업 동향과 국내외 정책 동향 등을 종합적으로 정리 분석하였다. 한국 정부의 제조업의 중장기적 디지털 전환을 뒷받침하기 위한 스마트공장 및 스마트제조 분야의 정책영역 발굴과 우선순위의 도출을 위해 크게 정성조사 방법인 전문가 인터뷰와 정량조사 방법인 계층화분석과 중요도-성능 분석을 활용함으로써 한국 정부의 정책수립과 경쟁전략 수립을 위한 기반연구가 될 수 있도록 하는데 중점을 두었다.

정성평가 결과, 전문가 인터뷰 결과에 비추어 스마트공장 및 스마트제조와 관련하여 IT 융합을 통한 제조업의 스마트화 추진은 기술경쟁력, 환경대응력, 그리고 경제적 파급효과 측면으로 구분이 되었다. 이를 다시 세 가지 중요 이슈를 기반으로 계층화구조로 구분함으로써 기술경쟁력 부분에서의 신기술에 대한 감지, 생태계적 관점에서의 경제적 파급효과 분석의 중요성이 도출되었다. 이를 기반으로 정량평가를 통해 아직 초기단계에 있는 스마트공장 및 스마트제조에 대한 기술표준 및 기술인증의 우선순위를 도출하였다.

정량평가 결과, 정부 정책적으로 디지털 전환에 있어 '환경대응력'에 대한 강조가 선행되어야 함이 나타났다. 전 세계는 글로벌 무역통상환경의 빠른 재편에 주목하여 비관세장벽의 강화와 같은 국제적 규제환경에 대한 대응이 필요하다. 또한 환경문제에 적극적인 유럽의 주요 국가들이 주도하고 있는 탈탄소화에 따른 탄소중립은 향후 제조업에 큰 규제환경으로 작용할 가능성이 높으며, 이에 대한 대처가 우선순위에 있는 것으로 나타났다. 대표적인 5대 공정영역에 대한 기술표준 중요도 분석 결과, 현재 상태에서 한국의 강점이 될 수 있는 '유지관리' 단계에 대한 영역은 아직 없는 것으로 나타났다. '중점개선노력'이 필요한 영역으로는 데이터수집과 전송제어 영역의 성과관리가 필요한 것으로 나타났으며, '개선대상' 영역으로는 기업운영관리, '과잉투자' 영역으로는 공장관리와 생산설비인 것으로 나타났다. 이는 지금까지 한국 정부가 스마트공장 추진과정에서 정책적으로 공정 자동화에 초점을 맞춰 진행함으로 인해 전체 공정에 대한 유기적 관리의 어려움이 나타났다.

이에 따라 정책적으로 중점개선노력 영역에 위치한 데이터와 보안 영역에 대한 관심과 투자가 이루어져야 한다. 또한 국제표준화가 많이 이루어진 영역에 대해 맹목적인 국제표준화를 추진하기보다는 신기술에 대해 탐색을 통한 선도적인 표준화 참여가 요구되며, 탄소배출과 에너지 배용 등과 관련된 국제환경대응에 따른 글로벌 정세에 따른 수출과 디지털 통상에 대한 정책적 관심이 필요함을 알 수 있었다.

세계적 추세인 디지털 전환에 있어 제조업의 변화는 필수불가결한 상황이다. 스마트공장과 스마트제조는 ICT 기술을 통해 모든 설비나 장비가 통신기술을 기반으로 연결되어 있어 전후 공정간 자유롭게 데이터를 연계할 수 있고, 이를 통해 최적의 생산 환경을 이루는 데 도움이 된다. 정량적 분석을 통해 생산성 향상 및 현장 노하우의 시스템 내재화는 시스템을 통한 원재료 기인 불량 억제, 설비 돌발고장 및 사고 억제 및 축소, 생산작업 편차 축소를 통한 생산성 향상, 현장의 노하우를

시스템에 내재화함으로써 인력 교체의 트러블 억제 등을 기대할 수 있다.

또한 데이터 기반 생산 운영체계의 정착은 데이터 기반 생산운영체제 구축을 통해 가동시간의 증가와 품질 비용의 감소, 단순업무 자동화를 통한 인력비용 감소 등의 효과를 기대할 수 있다. 기업운영관리 영역에서 간헐적 생산중단을 감소시키고 불량률 및 가동률 등의 데이터 기반 지표를 통한 체계적 관리가 가능할 것으로 예상된다. 다만, 이 과정에서 인력의 감소가 유발할 수 있어 추가적인 정책적 고려가 요구된다.

본 연구의 학술적 시사점은 디지털 전환에 따른 스마트공장 및 스마트제조 분야에 대한 동향과 문제점에 대해 종합적으로 고려하였으며, 구조적 분석을 통해 분석을 체계화하였다는 점에서 연구의 의의가 있다. 또한 정성적, 정량적 분석을 통해 기술경쟁력 부분에서의 신기술에 대한 감지, 생태계적 관점에서의 경제적파급효과 분석에 대한 학술적 관심이 높다는 점을 제시하였다는 점에서 학술적 시사점이 있다. 실무적으로는 정부의 정책적 측면과 기업의 자원에 있어 재분배가 요구된다는 점에 있어 정책을 준비하고 추진하는 정부와 기업의 현 상태를 분석하는데 기반연구가 될 수 있을 것으로 기대된다.

이와 같은 연구의 시사점에도 불구하고 본 연구의 한계는 참여한 전문가의 인터뷰 및 설문 결과에 대한 분석이라는 점에서 편의(Biases)와 오류(Error)가 포함될 수 있다. 이를 해결하고자 업계를 대표할 수 있는 기술표준 관련 기관·협회, 대학 및 출연연 연구자, 기술예측 전문가 등을 중심으로 섭외하였음에도 불구하고 보다 상세한 분류 및 참여자의 객관성 있는 응답을 담보하지 못하였다. 비록 이러한 정성적평가의 문제점에도 불구하고 본 연구에서는 의사결정 문제에서 시간과 자원의 제약하에서 최선을 대안을 선택하기 위해 정량적 평가를 통한 종합적이고 체계적인 방법을 사용하였다. 향후 추가적 연구에서는 대상자 샘플링의 고도화를 통해 최대한 편의와 에러를 줄일 수 있는 통계적 방법을 고려할 필요가 있다.

■ References

Byun, J. W. (2021). "Analysis and Implications of Smart Factory Policy in the 4th Industrial Revolution: Case Studies of Germany and the USA." *Journal of Culture Industry, 21*(3), 143-150.

{변재웅 (2021). 4차산업혁명시대의 스마트팩토리 정책과 시사점 연구: 독일과 미국 사례 중심으로. 〈문화산업연구〉, 21권 3호, 143-150.}

Choo, Y. & Lee, D. (2019). "A Study on Factors for Introducing Smart Factory to Improve Competitiveness of Small and Medium-Sized Metal Processing Companies." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 45*(1), 70-80.

{주영석·이동희 (2019). 중소 금속가공 기업의 경쟁력 향상을 위한 스마트공장 도입 요인 연구. 〈대한산업공학회지〉, 45권 1호, 70-80.}

Creswell, J. W. & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches.* Sage publications.

Fletcher, G. & Griffiths, M. (2020). "Digital transformation during a lockdown." *International Journal of Information Management, 55*, 102185.

Goo, B., Lee, J., Lee, M. & Shon, S. (2018), Domestic smart manu-facturing policy, support status and improvement plan, *KISTEP Issue Weekly,* 219, 1-29.

{구본진·이종선·이미화·손석호 (2018), 국내 스마트 제조 정책과 지원 현황 및 개선 방안, 〈KISTEP Issue Weekly〉, 219권, 1-29.}

Huh, S. Y., Jo, M. & Lee, Y. G. (2016). "Analysis of Priorities of Constructive Factors of New and Renewable Energy Policy in South Korea using Analytic Hierarchical Process." *Innovation Studies, 11*(1), 29-69.

{허성윤·조만석·이용길 (2016). 계층분석법(AHP)을 이용한 우리나라 신재생에너지정책 구성 요인의 상대적 중요도 분석. 〈한국혁신학회지〉, 11권 1호, 29-69.}

Hwang, G. (2021). "The Competitiveness of Korean Manufacturing, the Bulwark of the Economic Crisis of COVID-19." *i-KIET Industrial Economics Issues*, (108).

{황경인 (2021). 한국 제조업 경쟁력, 코로나 19 경제위기의 버팀목. 〈산업연구원 i-KIET 산업경제이슈〉, (108).}

Jang, J, H., Kim, S. R., Kim, J. H., Bae, B. S. & Kim, S. Y. (2022). "Imporved Relability of Manufacturing Process Data Using FOMs(smart-Factory Operation Management) Solution." *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 31*(3). 216-223,

{장재훈·김상락·김재하·배병성·김수영 (2022). FOM Solution을 활용한 제조공정 데이터의 신뢰도 향상. 〈한국생산제조학회지〉, 31권 3호, 216-223.}

Kang, H. M. & Hwang, K. T. (2018). "Analysis of Research Trends of Cyber Physical System(CPS) in the Manufacturing Industry." *Informatization Policy, 25*(3), 3-28.

{강형묵·황경태 (2018). 제조 분야 사이버 물리 시스템 (CPS) 연구 동향 분석. 〈정보화정책〉, 25권 3호, 3-28.}

KDI EIEC (2021). "Smart Factory Activation Policy… Responses and Strategies of Countries around the World" https://eiec.kdi.re.kr/publish/reviewView.do?idx=84&fcode=000020003600003&ridx=8&pp=20&pg=1. (Retrieved on March 27, 2023)

{KDI 경제정보센터 (2021). "스마트팩토리 활성화정책… 세계 각국의 대응과 전략" https://eiec.kdi.re.kr/publish/reviewView.do?idx=84&fcode=000020003600003&ridx=8&pp=20&pg=1. (검색일: 2023.03.27.)}

Oah, J. T. & Kim, E. H.(2021). "German Policy for SMEs' Digital Transformation and Implications: Focused on the Mittelstand 4.0 Competence Center." *Korean Business Education Review, 36*(4), 233-263.

{오정택·김은희 (2021). 독일의 중소기업 디지털 전환 정책 및 시사점: 미텔슈탄트 4.0 컴피턴스 센터를 중심으로. 〈경영교육연구〉, 36권 4호, 233-263.}

Park, C. & Yong, T. S. (2012). "Study on Conflicts and Coordination in Smart Grid." *Informatization Policy, 19*(4), 27-45.

{박찬국·용태석 (2012). 스마트그리드 갈등양상 및 조정방안 연구. 〈정보화정책〉 19권 4호, 27-45.}

Park, J. (2017). "Analysis on Success Cases of Smart Factory in Korea: Leveraging from Large, Medium, and Small Size Enterprises." *Journal of Digital Convergence, 15*(5), 107-115.

{박종필 (2017). 인더스트리 4.0 시대의 스마트 팩토리 성공 사례 분석: 국내 대·중·소기업을 대상으로. 〈디지털융복합연구〉, 15권 5호, 107-115.}

Seo, H. J. (2019). "A Preliminary Discussion on Policy Decision Making of AI in The Fourth Industrial Revolution." *Informatization Policy, 26*(3), 3-35.

{서형준 (2019). 4차 산업혁명시대 인공지능 정책의사결정에 대한 탐색적 논의. 〈정보화정책〉, 26권 3호, 3-35.}

Smart Manufacturing Innovation Promotion Team (2020). "Project Introduction." https://www.smart-factory.kr/ (Retrieved on March 27, 2023)

{스마트제조혁신추진단 (2020). "사업소개" https://www.smart-factory.kr/ (검색일: 2023.03.27.)}

Son, H. (2021). "A Study on Governance of Intelligent Information Society by Digital Transformation." *Public Law, 49*(3), 199-230.

{손형섭 (2021). 디지털 전환(Digital Transformation)에 의한 지능정보화 사회의 거버넌스 연구. 〈공법연구〉, 49권 3호, 199-230.}