

## 스마트 공장 문헌연구 및 향후 추진전략

이성희\* · 김재영\*\* · 이원희\*\*\*

### Smart Factory Literature Review and Strategies for Korean Small Manufacturing Firms

Sunghee Lee\* · Jae-Young Kim\*\* · Wonhee Lee\*\*\*\*

#### Abstract

Smart factory has been regarded as a big opportunity for manufacturing industries. However, little literature has been studied for the current status of Korean smart factory. Our paper tries to find gaps between research and real world by summarizing the recent literature and cases in Korean context. As the present level of smart factory introductions in Korean small manufacturing firms is lower than what a variety of literature says, our study points out that more efforts, investments and government support are required to catch up with the knowhow and technologies of developed countries although real-time control, enhanced productivity have been obtained. In future research, we will continue the smart factory study with the accumulated real data.

Keywords : Smart Factory, Korean Manufacturing, Literature Review

Received : 2017. 12. 01.    Revised : 2017. 12. 15.    Final Acceptance : 2017. 12. 20.

\* Assistant Professor, Department of Business Administration, Hoseo University, e-mail : shlee16@hoseo.edu

\*\* Assistant Professor, Division of Convergence Business, Korea University, e-mail : korean4u@korea.ac.kr

\*\*\* Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Business Administration, Hoseo University, 12 Hoseodae-gil, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31066, Korea, Tel : +82-41-560-8365, e-mail : whlee@hoseo.edu

## 1. 서 론

4차 산업혁명이란 말은 독일의 Industrie 4.0이란 용어에서 유래한 것으로, 최신의 정보와 통신 기술을 바탕으로 한 생산 방식의 형태로 존재한다. 이러한 원동력에는 빠르게 변화하고 있는 디지털화가 자리 잡고 있으며, 지능화된 시스템들이 연결되면서 새로운 가치를 창출하는 생산 프로세스를 구축할 수 있게 한다. 스마트한 생산을 하는 공장을 스마트 공장이라 부르며, 여러 기관들은 다양한 정의를 내리고 있는 실정이다. 국내 산업통상자원부는 제품의 기획, 설계, 유통, 판매 등 전 생산 과정을 정보통신기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 진화된 공장을 의미한다고 이야기하고 있으며, 독일의 경제 및 에너지부는 생산 및 생산 관련 모든 비즈니스 활동에 스스로 통합할 수 있는 역량을 지닌 공장이라고 정의하고 있다.

세계 여러 나라들은 글로벌경쟁에서 살아남기 위해서 새로운 제조업 시대를 꿈꾸며 여러 혁신 정책들을 제시하였고, 이러한 정책들을 바탕으로 스마트 공장과 관련된 여러 비전들을 확인할 수 있다.

독일의 경우 국가 10대 미래전략의 일환으로 기업, 노조, 정부, 학교가 연계되어 제조업 혁신을 추진하는 밑바탕을 세웠고, 제조업과 ICT 융합을 통한 스마트 공장을 구축하면서 첨단기술을 개발하고 있다. 이를 위해 독일정보통신협회, 독일기계산업협회, 독일전기전자산업협회 등이 중심이 되어 여러 프로젝트를 진행하고 있다.

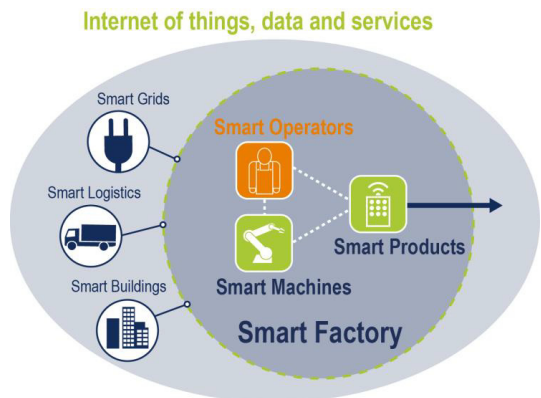
미국은 오바마 대통령이 2009년 취임하자마자 지속가능한 성장을 위한 혁신 전략을 제시하였고, 2011년 제조업 발전 국가협의체인 AMP(Advanced Manufacturing Partnership) 이니셔티브를 발족하고 스타트업 육성 이니셔티브 등을 발표하면서, 미국 제조업의 부활을 위한 투자 확대에 연

계하여 여러 세제혜택을 제공하는 등의 정책들을 잇달아 내놓았다. 이를 통해 첨단 제조기술 혁신을 가능토록 하였으며, 산업용 로봇 활성화를 추진하였다.

현재 세계제조업 경쟁력 지수 1위의 중국은 경우 세계의 공장이라 불리며 제조업 경쟁력을 보여주었으나, 산업고도화에는 뒤처져있다고 판단하면서 창의성과 브랜드 등을 강조하면서 중국제도 2025를 내세우고 있다. 이를 위해 모든 산업을 연결하면서 가치를 창출하는 계획을 추진하고 있다.

일본은 다른 선진국들보다 늦게 4차 산업혁명을 시작했다고 판단하면서 2013년 산업재흥플랜을 내세우면서, 제조업 중심의 산업경쟁력 강화를 위해 산업경쟁력강화법 등을 제정하는 등의 노력을 취하고 있다. 또한, 자동운전시스템 등을 비롯한 인프라에 예산을 지원하는 등의 활동들을 진행하고 있다.

우리나라의 경우, 스마트 공장 추진단 등 여러 제조업경쟁력 강화프로그램을 도입하면서 2020년까지 1만 개의 중소 및 중견기업들의 스마트 공장 시스템을 보급하려고 노력중이며, 시스템 뿐만이 아니라 관련 인재들도 육성하려는 정책을 제시하고 있다.

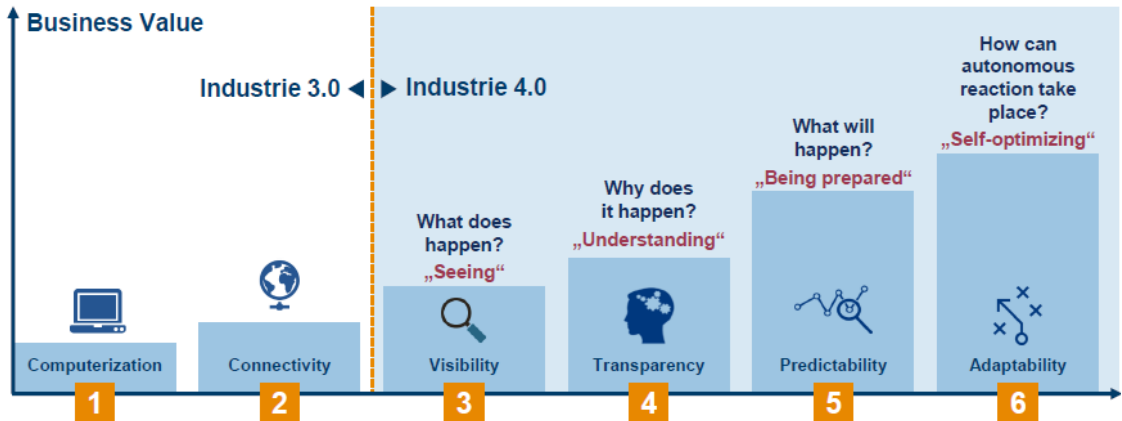


〈Figure 1〉 Components of Smart Factory(source : From Industrie 4.0 to Data-driven Business Ecosystems)

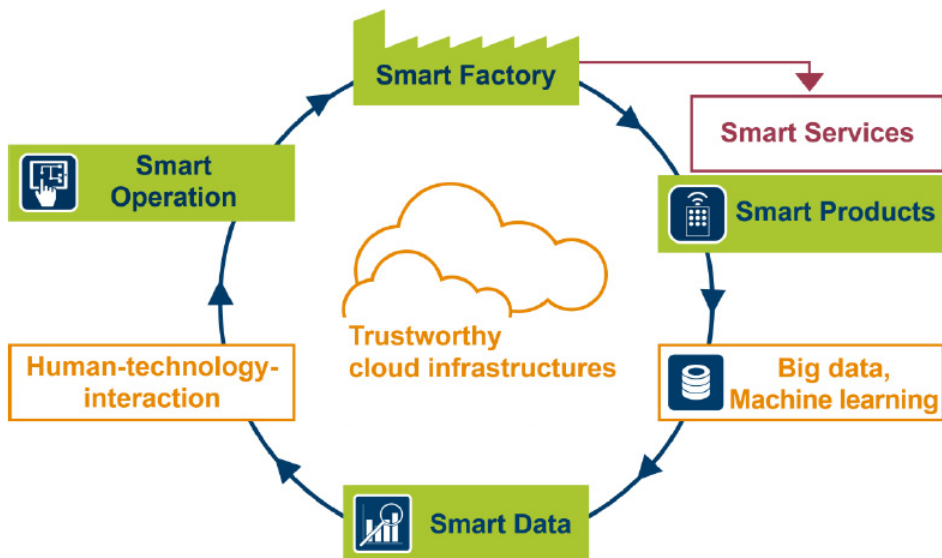
<Figure 1>은 스마트 제품을 생산하기 위해서 스마트 운영자 및 스마트 기계가 어우러져야 함을 보여주고 있으며, 이를 위해 전체 프로세스가 연결되어야 함을 강조한다.

컴퓨터의 보급, 인터넷의 등장으로 대표되는 3차 산업혁명으로 인해 인류는 더 편하고 발전된 삶을 영위할 수 있었다(<Figure 2> 참조). 하지만, 이에 그치지 않고, 자료의 가시성, 투명성, 예측가능성, 적용가능성 등을 고려하며, 기업의 전

략적 의사결정에 도움을 주며, 차별화된 비즈니스를 가능하게 하면서 축적된 자료를 바탕으로 초연결의 시대에 접어들게 되는 것이 4차 산업혁명의 특징이라고 볼 수 있다. <Figure 3>은 스마트 공장에서 제조된 스마트 제품에 스마트 서비스를 붙여서 새로운 혁신이 가능함을 보여준다. 이를 통해 발생한 데이터들을 활용해 스마트 운영에 도움을 주고, 이로 인해 보다 효율적인 스마트 공장의 가능성을 예상할 수 있다.



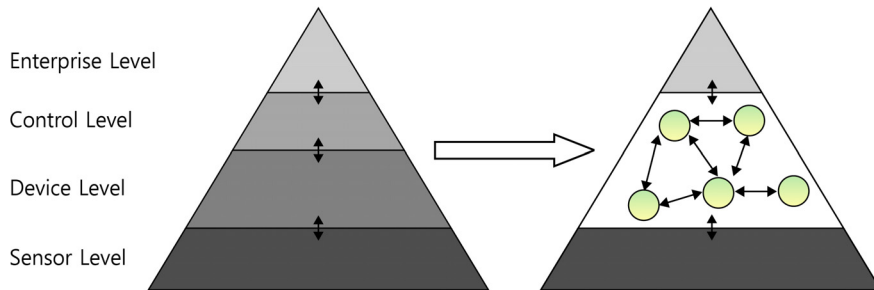
<Figure 2> Industrie 4.0 Maturity Index(source : From Industrie 4.0 to Data-driven Business Ecosystems)



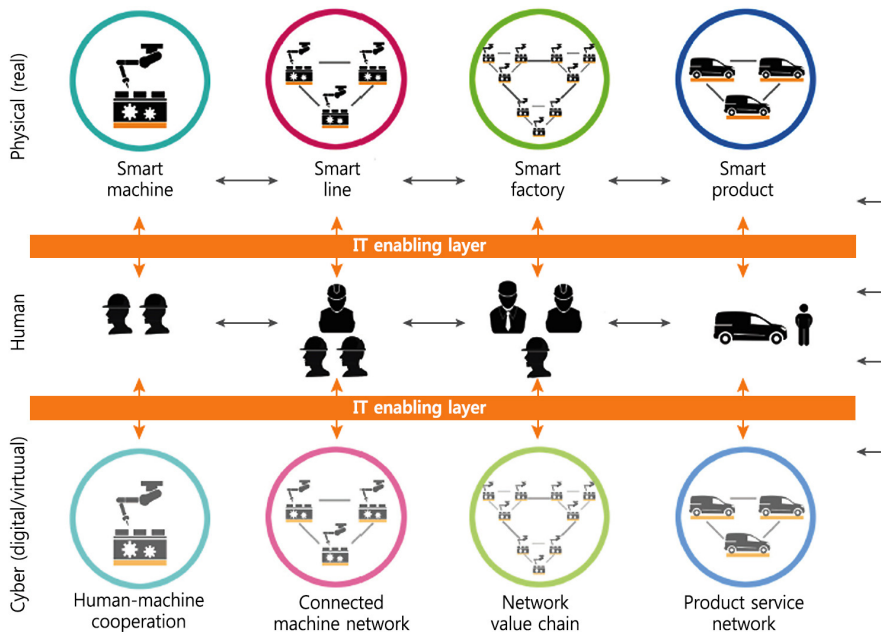
<Figure 3> Smart Cycles(source : From Industrie 4.0 to Data-driven Business Ecosystems)

Brettel et al.[2014]는 <Figure 4>에서 자동화 공장과 스마트 공장의 차이를 연결성으로 설명하는데, Park et al.[2017]은 이러한 차이를 자세히 설명한다. 첫째, 사전 프로그래밍과 실시간 자율화의 차이로, 자동화 공장은 사전 프로그래밍에 따라 생산하고, 공정이 변경되면 프로그램도 변동되어야 하며, 기계는 미리 정해진 일만을 수행하는데 비해, 스마트 공장은 설비, 프로그램 등이 서로 통신하면서 자율적으로 판단하고, 상황에 맞춰서 제품을 생산하도록 한다. 둘째, <Figure 4>처럼 자동화 공장은 서로 수직적으로 연결되

어 있으므로, 정보연결에 한계가 발생할 수 있지만, 스마트 공장은 운영 기술, 정보 기술, 데이터 기술을 바탕으로 초연결되어 있어서 자율적으로 운영될 수 있다. Posada et al.[2015]는 <Figure 5>에서 구체적인 연결 및 상호작용의 가능성을 보여준다. 강화된 사람-기계의 협력(사람과 로봇/인공지능과의 상호작용), 인터넷 연결과 소셜 네트워크의 패러다임을 보여주는 연결된 기계 네트워크 등은 향후 스마트 머신에서 스마트 공장에 이르는 발전 가능한 시나리오가 될 수 있을 것이다.



<Figure 4> Resolution of the Classical Automation Pyramid with Enhanced Communication(source : From Brettel et al.[2014])



<Figure 5> Interaction Possibilities in a Smart Machine-Line-factory-Product Scenario (source : From Posada et al.[2015])

〈Table 1〉 Four Technology Development Areas for Smart Factory

Classification	Key Technologies
1) Application	1) Customized process and operation optimization technology 2) Forecasting-based quality and equipment acceleration technology 3) Human-centered safety and work support technology 4) Smart retailing and procurement logistics technology 5) Smart factory integration operation and service technology
2) Platform	1) Big data analysis 2) CPS(Cyber Physical System) 3) Factory resource modeling/simulation 4) Production Process Control 5) Cloud
3) Device/Network	1) Smart factory network technology 2) Cognitive smart sensor technology 3) Industrial gateway technology
4) Interactive Operability/Security	1) Smart factory standardization technology 2) Prevention technology for malicious Code execution and diffusion 3) SW reliability, security 4) Data protection and remote control technology

source : From Smart Factory Technology Development Roadmap[2015].

스마트 공장은 기본적으로 데이터를 실시간으로 수집하면서 공정을 컨트롤하고 이를 바탕으로 끊임없이 프로세스를 개선시키려는 프로세스 혁신의 확장판이라고 할 수 있다. 시간이 지날수록 데이터는 축적되면서 공정 개선 및 비용 절감의 여지는 더욱 더 커지는 상황에 이를 수 있다. 소비자들은 예전과 달리 주어진 제품을 취사선택하는 것에서 본인들이 요구하는 것들을 기업들이 제공하기를 바라고 있으며 이러한 형태의 경제 체제에서 다양한 소비자의 기호를 맞추기 위해서는 다품종 소량생산이 가능해야 하고 이를 위해 스마트 공장도입은 필수적이라 볼 수 있다.

〈Table 1〉은 산업통상자원부의 스마트 공장 기술개발 로드맵으로 4대 분야로 구분하고 세부 기술을 18개로 정리하여 개발 방향을 설정한 것이다. 본 연구의 문헌연구 부분은 최신 해외 연구부분을 이 프레임에 맞춰서 실제 진행상황에 대해 살펴보기로 한다.

본 연구는 이러한 흐름을 살펴보기 위해서 문헌 연구를 수행하고 현재 한국의 스마트 공장 사

례들을 차례로 살펴봄으로써, 스마트 공장이 가지는 의의 및 향후 발전 방향에 대한 방안을 도출하고자 한다.

## 2. 문헌 연구

### 2.1 어플리케이션 연구

어플리케이션에 대한 세부 분류 중 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 분야는 사람중심 작업 지원 기술, 제조 및 서비스 통합, 스마트 유통 및 물류분야라고 할 수 있다. 사람중심 작업지원 기술관련 연구는 시스템과 사람간의 상호작용, 작업자의 교육 및 학습에 대한 주제로 크게 분류해 볼 수 있다.

첫째, 사람중심 작업지원 기술 연구의 경우 스마트 공장 체제 도입에 따른 역할 변화에 대한 이해가 선행되어야 한다. 산업 4.0시대로 전환되면서 기계의 기능은 현장의 낮은 수준에서 공장 경영 및 전사적 자원관리의 높은 수준으로 확장

되었으며 이에 따라 작업자의 역할도 달라지고 있다[Wittenberg, 2016]. 자동화된 생산시스템은 엔지니어링과 운영의 두 단계로 다시 구분할 수 있고 각 단계에 따라 엔지니어, 생산관리자, 유지보수관리자의 세 가지의 사용자 집단이 구성되며 다음과 같은 역할변화가 기대된다.

엔지니어링 단계에서는 설계, 생산, 양산의 전통적인 프로세스가 모델링과 가상양산(virtual commissioning)을 통하여 더욱 효율화된다. 양산단계의 일부업무는 시뮬레이션 툴을 사용하게 되고 현장의 엔지니어는 사무실 작업으로 전환된다. 이는 다른 업무를 위한 자원을 확보해주는 장점이 있지만 더 많은 툴을 사용해야 한다는 부담도 증가한다. 과거에도 CAD/CAM 등 많은 툴이 있었지만 데이터베이스 및 사용자간 상호작용 측면에서 호환성의 심각한 문제가 존재하였다[During et al., 2001]. 따라서 스마트 공장 체제하에서는 기계, 전자, 소프트웨어 등 각 분야의 엔지니어가 사용하는 툴이 증가할 뿐만 아니라 컴퓨터 공학의 원칙 내에서 공동 작업이 가능한 수준으로 통합되어야 한다[Wittenberg, 2016]. 컴퓨터 공학의 역할은 더욱 중요해지고 있으며 사용자의 역할 간 인터페이스를 분석하여 하나의 최적화된 툴로 보여지도록 통합되어야 한다. 또한 작업자의 안전에 기반한 실시간 자동화시스템의 도입에 따라 클라우드 시스템을 통합하는 전문가의 새로운 역할도 요구된다.

운영단계에서는 자동화 시스템의 복잡도 증가에 따라 생산작업자의 업무는 관리자 형태로 전환된다. 통제실의 인간과 컴퓨터간의 인터페이스는 작업관리와 상황대응의 역할에 따라 설계되어야 하며 고객화 제품생산 특성을 반영한 높은 정확성이 요구된다. 시스템 실패를 예방하기 위한 서비스 및 유지보수 기술자의 부품교체 업무는 자가진단 기계로 대체되면서 반장이 아닌 시스템으로부터 작업계획이 전달된다[Wittenberg,

2016]. 유지보수 업무 담당자를 대상으로 한 설문조사 결과 익숙한 작업환경임에도 불구하고 스마트 공장 시스템 하에서는 새롭게 도입된 복잡한 관리업무가 증가하여 수리 중 예측하지 못한 상황의 발생 가능성이 높고(60% 응답자), 추가적인 정보의 필요성도 증가(48% 응답자)할 수 있다[Hagg, 2012]. 따라서 산업용 용도에 적합한 내구성과 배터리 특성을 갖춘 모바일 기기가 필수적이며 한정된 화면으로 필요한 정보를 열람할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 간, 동료 간의 상호작용이 가능해야 한다[Wittenberg, 2016].

둘째, 제조 및 서비스 통합분야 연구는 스마트 공장 전체 또는 단일 기계를 위한 데이터 서비스 관점에서 많은 접근이 이루어지고 있다. Bagozi et al.[2017]은 사례에 기반한 인터랙티브 자료 탐색 분석툴을 제시하였다. 서비스 알고리즘에 따르면 대규모의 빅데이터가 물리적 시스템에서 취합되고 클라우드 및 새로운 서비스에 의하여 조직화되어 군집화, 중요도 평가기법, 이상요인 확인 등을 통해 핵심자료를 요약하여 제공할 수 있다. 또한 스마트 공장에서는 하나의 대상에 다양한 기기 및 서비스가 연결되어 있으므로 각각에서 발생하는 다양한 정보의 통합은 매우 중요하다. 따라서 느슨하게 연결되어 있는 자원들에 대한 정보를 파악하고 제공하는 디렉토리 서비스가 필수적이다. Rotondi et al.[2014]은 EU의 FP7 과제를 수행하면서 개발한 사물인터넷 기반 디렉토리 서비스를 제안하였다. 이에 따르면 표준화된 그래프 데이터모형, 시맨틱스(semantics), 모바일 컴퓨팅 등 기술을 활용하여 디렉토리 서비스를 구현할 수 있으며 시범적인 사례에 적용한 바 있다.

Lee et al.[2014]은 단일 기계단위에서 자가진단 및 자가 수리보전 서비스의 가상물리시스템을 제안하였다. 기계 상태에 대한 지식에 기반하여 군집을 분류하고 지속적으로 정보를 업데이트

하여 군집 재분류 및 진단결과에 따른 보진활동 지원 서비스가 가능하다.

셋째, 스마트 유통 및 물류 분야의 연구는 공급사슬 하류보다는 상류의 물류 조달 및 공장간 생산 네트워크 관리를 중심으로 진행되었다. 이러한 연구의 흐름은 스마트 네트워킹 연구에서 다루는 협력적 가상물리시스템 확대로 연계되고 있는데[Camarinha-Matos and Macedo, 2010], 더욱 짧아진 공급사슬 스케줄링에 대응하기 위한 동적모델 및 알고리즘의 필요성이 부각되고 있다. Ivanov et al.[2016]은 전통적인 흐름숍(flow shop) 스케줄링을 확대하여 기계의 일시적인 비활성화 상태와 처리시간의 변동, 기술적인 제약을 고려한 비결정적인 이슈를 반영한 수리모형과 알고리즘을 포함한 공급사슬 동적 모형을 개발하였다. 이러한 운영적 관점의 접근 이외에도 공급사슬 구조적 측면의 연구들도 주목할 만하다.

Veza et al.[2015]은 스마트 공장의 핵심요소를 고객화된 제품, 제품과 서비스의 통합, 생산 네트워크의 협업으로 구분하고 생산 네트워크 관점에서 Brans et al.[1984]이 제시한 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) 방법론을 사용하여 구매자의 선호도 편차를 고려한 공급기업 평가 시스템을 제안하였다. 이러한 모형 구조는 가격, 품질, 거리 등 다양한 기준에 따라 공급자를 선정하되 인터넷 플랫폼을 통하여 자동화된 입찰 프로세스에 적용이 되면서 전통적인 모형의 구현방식을 제안하고 있다. Kang et al.[2016]은 사물인터넷, 빅데이터 등을 활용한 스마트 공장간 공급사슬 정보 추적(traceability) 시스템을 구현할 때 확장성을 검증하기 위한 평가 알고리즘을 개발하였다. 이러한 연구는 스마트 공장간 물류 시스템 연계 초기단계에서 필요한 하드웨어 확장계획 의사결정에 활용 가능하다.

## 2.2 플랫폼 연구

스마트 공장 관련 연구 중 플랫폼 분야는 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 빅데이터, 클라우드, 가상물리시스템, 공장자원 모델링 및 시뮬레이션, 생산 프로세스 통제 분야에서 모두 활발한 연구가 진행되고 있다.

첫째, 빅데이터 연구는 독립적인 영역으로 진행되기 보다는 다른 연구에 포함되어 진행되는 경우가 많다. Xu and Hua[2017]는 스마트 공장의 빅데이터 이슈를 포괄적 관점에서 리뷰하고 연구 전략을 제시하고 있다. 저자의 접근을 기반으로 빅데이터 연구를 분류하면 데이터의 수집, 제품설계 활용, 생산라인 활용 유형으로 구분할 수 있다. 데이터의 수집은 무선센서 네트워크 및 사물인터넷 등을 기반으로 한 산업용 빅데이터의 수집 알고리즘 연구가 대표적이다[Dong et al., 2009; Wang, 2016]. 제품설계 활용분야에서는 인공지능 및 시맨틱 네트워크, 소프트웨어 엔지니어링 분야에서 많이 활용되는 온톨로지(ontology) 지능형 제품 설계를 참고할 수 있다[Zhang et al., 2016; Fang et al., 2016]. 생산라인 활용분야에서는 실시간 모니터링을 통한 동적 학습 및 자기조직화(self-organizing) 연구가 중심을 이루고 있다. 스마트 공장의 고객화된 소량 생산시스템 내에서는 생산라인의 빠른 재구조화가 필요하다. Azaiez et al.[2016]은 로봇 언어를 활용하여 생산단위의 기능을 추가하거나 제거하는 자기조직화 분석틀을 개발하였으며, Lope et al.[2015]은 자동화 기계 학습이론 및 게임집단 알고리즘, 작용역(response threshold) 모형을 활용한 자기조직화 기법을 제시한 바 있다. 개별단위의 학습 이외에도 집단 학습이 가능한데 Seo et al.[2008]은 큐러닝(Q learning)을 통하여 여러 대의 로봇이 학습능력을 갖게 하는 구조를 제안하였고, Wu et al.[2013]은 신경망 이론을 기계에 적용하여 새로운

자기적용 신경통제 알고리즘을 개발하였다. 특히 Wu et al.[2016]은 불확실성 대응능력을 반영하여 페트리(Petri) 네트워크 기반 교착상태 통제전략을 통하여 신뢰할 수 없는 자원을 가진 자동화 생산시스템 관리에 적용이 가능함을 보여주었다. 그러나 현재의 단계는 동적인 변화를 반영한 장비의 상태진단 등 생산현장에 충분히 적용할 수 있는 수준은 아니며, 제조환경 내 자원 할당 및 성과 최적화 문제를 해결하는데 효과적인 대안이 되지는 못하고 있다[Xu and Hua, 2017].

둘째, 클라우드 시스템에 대한 연구는 가상물리 시스템과 함께 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이며 적용범위도 다양하다. 클라우드 생산 시스템은 기본 구성요소인 생산자원 레이어, 생산자원을 시각화하고 서비스화하는 가상서비스 레이어, 생산자원을 할당하고 모니터링하는 글로벌 서비스 레이어, 사용자와 클라우드 자원간 인터페이스를 제공하는 어플리케이션 레이어, 사용자 도메인으로 이루어진다[Xu, 2012]. Talhi et al.[2015]은 상위수준에서는 클라우드 생산 관점에서 SOA(Service-Oriented Architecture), 클라우드 컴퓨팅과 같은 최신 기술을 제품 설계, 생산, 검사 등 생산 전주기에 효과적으로 적용할 수 있는 방법론 개발에 초점을 두었다. 저자는 다양한 산업 및 의사결정 지원시스템 설계에 활용되고 있는 ASDI(Analysis-Specification-Design-Implementation) 방법론[Gourgand and Kellert, 1992]을 클라우드 생산시스템에 적용하는 방안을 제시하였다. 하위수준에서는 클라우드 시스템과 모바일 기기에 기반한 설비관리의 예방보전 작업 순서 및 소프트웨어 개발연구[Dimitris Mourtzis et al., 2016], 클라우드 기반 설계 및 엔지니어링과 자체 개발 옵션간의 비용비교 연구[Wu et al., 2015], 클라우드 생산시 인공신경망 앙상블 접근을 통한 공장 시뮬레이션 처리 시간비교 연구[Chen and Wang, 2016] 등이 이루어졌다.

셋째, 가상물리 시스템 연구는 스마트 공장을 포괄하는 전산업에 걸친 넓은 범위의 개념이며 하위 개념인 가상물리 생산시스템(cyber-physical production system)은 스마트 공장과 유사한 의미로 사용되기도 한다.

가상물리 시스템은 2006년 상호 연계된 컴퓨팅 시스템과 물리적 세계간의 상호작용 중요성을 인지하면서 미국을 중심으로 사용된 용어이다[Lee, 2006]. 이후 메카트로닉스나 로봇틱스와 같이 컴퓨터공학과 전자공학의 융합분야의 의미로 사용되다가 컴퓨팅, 커뮤니케이션, 물리적 프로세스의 통합을 의미하는 하나의 독립적인 영역으로 발전하였다[Grimheden, 2001; Lee, 2008]. 최근에는 가상물리 시스템의 개념이 수송, 스마트홈, 로봇수술, 항공, 국방, 인프라 등 다양한 분야로 적용되고 있다. 생산 영역에서는 가상물리 생산시스템으로 불리며 높은 잠재력을 가지고 있으나 아직도 명확히 정의할 수 있는 단계는 아니다[Monostori, 2014; Wang et al., 2015].

가상물리생산 시스템의 아키텍처는 대표적으로 5C로 표현되며 스마트 연결수준(connection), 데이터전환 수준(conversion), 가상수준(cyber), 인식수준(cognition), 구성수준(configuration)으로 이루어져 연결수준에서 구성수준으로 갈수록 가상의 영역과 의사결정 수준이 증가한다[Lee et al., 2015]. 이러한 가상물리생산 시스템을 도입하기 위해서는 내부시스템 의존정도, 도메인의 범위, 오픈 시스템 여부, 자동화 수준 및 유형, 지배구조, 분산형 통제 방식여부, 불확실성 대응성, 사람의 역할, 통합의 정도 등을 먼저 정의한 이후 구체적인 실행방법을 도출할 수 있다[Cengarle et al., 2013].

넷째, 공장자원 모델링 및 시뮬레이션은 활용범위가 넓은 방법론이기 때문에 관련 연구도 다양한 관점에서 진행되고 있다. 주목할 점은 스마트공장의 분권화된 자율조직 특성에 적합한 에이전트



기반 시뮬레이션 방법론이 부각되고 있다는 것이다. Fedorov et al.[2015]는 실험실 수준의 사례이지만 인공지능에 활용되는 POMDP(Partially Observable Markov Decision Process)를 활용하여 에이전트기반 모형을 통하여 과거의 데이터를 이용한 통합적 추론과 최적화 루틴을 수행하는 알고리즘을 제안하였다. Shpilevoy et al.[2013]은 조직, 작업자, 기계, 주문, 기술적 프로세스 등을 에이전트로 정의하고 대응적(adaptive) 스케줄링 방법을 이용하여 러시아 항공사를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였고 생산성과 개선 가능성을 제시하였다. Kannengiesser and Muller[2013]는 주체지향적 사업 프로세스 관리(S-BPM : Subject-oriented Business Process Management) 개념 [Fleischmann et al., 2012]을 사람과 기계에 적용하여 주체의 기능, 행동, 구조에 따른 유연한 프로세스 재구성 방법을 제시하였다. S-BPM은 사업 프로세스를 자율적 주체 간 상호작용과 행동에서 창발(emerging)되는 과정으로 인식하고 있어 주체의 정의에 따라서 스마트 공장 시뮬레이션에 많이 활용될 것으로 예상된다. 그 외에도 시스템, 통제, 프로세스, 커뮤니케이션 등 다양한 에이전트를 정의하여 스스로 인지하고 기술하는 소프트웨어 모듈로 구성된 가상물리 생산시스템 구조를 제안한 연구, 이러한 구조를 포함하여 모델링과 시뮬레이션을 통합한 방법론을 제안한 연구들을 통하여 향후 연구방향을 예측할 수 있다 [Hehenberger et al., 2016; Vogel-Heuser, 2015].

다섯째, 생산 프로세스 통제에 대한 연구는 모델링 및 시뮬레이션 방법을 사용하는 경우가 많아 위의 연구들과 일부 중복이 나타난다. 프로세스 통제 방식은 일반적으로 동적 분석을 요구하지 않는 논리적(logical) 통제, 연속적 작업 특성상 동적 최적화가 가능한 순환(loop) 통제, 단속적인 논리적 통제와 연속적인 순환 통제를 모두 포함하는 관리적(control) 통제로 구성된다. Li

and Si[2017]는 지능형 생산을 위한 통제 연구를 리뷰하면서 공정 특성에 따른 통제 접근이 필요함을 강조하였다. 구체적으로는 불확실성과 지능적용 범위에 따라 활용할 수 있는 방법론이 서로 다르며 최적화 관점의 모델링, 통계적 관점의 기계 학습, 경험적 관점의 강화(reinforcement) 학습, 생태적 관점의 진화연산을 활용할 수 있음 확인하였다.

프로세스 개선 관점에서는 Keddis et al.[2015]의 작업 재배치 모형을 참고할 수 있다. 스마트 공장은 개별화된 제품을 추구하고 이러한 특성을 반영하여 대응적 생산시스템을 위한 작업순서를 자동으로 생성하는 것이 효율적이다. 저자는 자원 모형과 공장 모형을 개발하고 각 모듈을 통제하기 위한 소프트웨어 인터페이스를 매핑하는 방법을 제안하였다. 이를 통하여 공급, 이동, 조립, 저장, 분류 등의 생산흐름을 통제하는 분석들에 대한 아이디어를 제시하고 있다.

### 2.3 기기와 네트워크 연구

산업통상자원부의 분석들에서는 기기와 네트워크 기술을 인지적 스마트 센서 기술, 산업 게이트웨이 기술, 스마트 공장 네트워크 기술로 나누어 접근하고 있다. 그러나 이는 정부주도적인 국내 관점에서 바라본 것으로 해외 연구에서는 주로 사물인터넷, 증강현실에 대한 스마트 센서 기술연구가 중심을 이루었으며 산업적 통합 및 네트워크 기술 분야는 많지 않았다. 스마트 센서는 인지뿐만 아니라 폭넓은 센서 기술을 포함한다. 인간의 감각에 의한 경험은 심리적 표상(representation), 자극, 개념으로 구성되며 반응은 행동적, 인지적, 정서적으로 나타난다[Norman, 2008; Peruzzinia et al., 2017]. 이러한 경험과 반응에 기초하여 모바일 및 태블릿 등 디스플레이를 활용한 다양한 기술을 활용할 수 있으며 유지 및 수선

업무 등에 활용 가능한 증강현실 기술이 새로운 대안으로 주목받고 있다[Platonov et al., 2006]. Zhong et al.[2017]은 레이저 스캐너, ARM 중앙처리, RFID 모듈, 무선 네트워크 서비스, 데이터 입력모듈, 디스플레이 서비스, 작업 상태 모듈, 메모리 모듈로 구성된 사물인터넷 관점의 스마트 공장 구현가능성을 제시하였다. 특히 스마트 센서 중심의 접근은 중소기업 관점에서 상대적으로 도입이 용이하며 ERP, MES 등의 상위 시스템과 연계 가능한 아키텍처 구성이 가능함을 언급하였다.

Gonçalves et al.[2014]은 스마트 플러그 & 플레이 생산을 위한 I-RAMP3 사업에 참여하면서 네트워크 통합 관점에서 지능형 공장의 스마트 센서 기술을 검토하였다. 저자는 무선센서 네트워크 아키텍처가 안정적이고 효율적이며 새로운 센서 기술에도 유연하게 대응할 수 있다는 점을 강조하였다. 아키텍처는 기기 간 게이트웨이의 정보를 처리하는 웹서버, 네트워크 연결이 용이한 산업 표준 프로토콜, 물리적 아키텍처, 커뮤니케이션 프로세스로 구성된다. 그러나 센서 기기의 복잡도 증가에 따라 처리속도 및 저장용량 확보를 위한 비용이 상승할 수 있다는 점도 명시하였다. 또한 센서들로부터 확보된 정보를 통합 처리할 수 있는 네트워크 서비스의 개발과 업데이트가 필요함을 강조하고 있어 실질적인 스마트 공장내 적용까지는 해결해야 할 장애요인들이 아직 많다는 점을 알 수 있다.

## 2.4 인터랙티브 운영용이성 및 보안연구

스마트 공장의 분권화된 자율 조직화 구조에서는 데이터 정확성에 대한 의존도가 극도로 증가하게 되므로 데이터 및 소프트웨어의 보안과 안정성, 기술표준화가 매우 중요하다. 이와 관련된 스마트 공장 연구를 살펴보면 기술 표준화에

대한 연구가 가장 많이 진행되고 있는데 기술 표준하에서 소프트웨어 및 데이터 안정성이 결정될 수 있기 때문이다. Radziwon et al.[2014]은 협력적인 생산 플랫폼에 대한 기존 연구를 리뷰하고 시장내 지배적인 표준 프로토콜 부재와 함께 기기간의 호환성 부족을 지적하면서 모든 기기들의 안전성과 안정성 검증이 필요함을 강조하였다. Weyer et al.[2015]은 산업 4.0 시대에서 가장 중요한 요건이 표준화임을 확인하고 전자기계 표준과 커뮤니케이션 표준의 도입이 시급함을 주장하였다. 저자에 따르면 컨베이어 벨트와 같은 기계적인 표준이 가장 우선이 되어야 하며 전자적 인터페이스는 범용적인 플러그인 커넥터로 정의되어야 한다. 각 모듈은 RFID 태그와 리더기를 가지고 있어야 하며 인접한 모듈로부터 자동으로 정보를 수집할 수 있어야 한다. 커뮤니케이션 표준의 경우 산업 내 커뮤니케이션 프로토콜인 OPC UA, 인터넷을 중심으로 한 웹서버 기술, RFID 데이터 포맷의 표준수립이 중요함을 강조하였다.

산업 시스템의 현대화와 복잡도 증가에 따라 데이터 품질문제도 증가하고 있으며 시스템 효과성 및 안정성에 영향을 주고 있다. 따라서 산업 빅데이터 활용하여 문제를 파악할 수 있고 예측적 진단에 활용할 수 있다[Li et al., 2016; Xu et al., 2014].

## 3. 사례 정리

2014년 국내 스마트 공장 시범사업 결과 노동생산성, 납기, 생산품목 수, 시제품 제작기간 등의 생산성뿐만 아니라 불량률, 원가, 매출액 등 도입기업들에게 다양한 분야에서 성과를 확인할 수 있었다. 이는, 정제되고 있는 제조업의 부가가치를 2013년의 23%에서 2017년의 26%로 기대효과가 예상되는 등 국가경제 차원에서도 도입

확산에 따른 사회, 경제적 혜택이 크다고 볼 수 있다.

다음은, 스마트 공장 추진단의 보급확산사업에서 우수사례로 뽑힌 기업들을 경영자, 담당자, 성과로 구분하여 인터뷰 한 내용들을 경영관련 현안 위주로 새롭게 정리한 것이다.

### 3.1 경영자 의견 정리

A기업 : 자동화 시스템 도입하면서 작업자의 불필요한 동선을 줄이는 등의 방법을 도입하고 생산공정 현황을 실시간 모니터링함으로써, 업무 효율성을 높이면서 중소기업들이 겪고 있는 문제인 필요한 인력의 조달 문제를 해결할 수 있었다.

B기업 : 관리 측면의 효율성뿐만 아니라, 가시적인 성과들도 얻을 수 있었다. 다만, 도입하는 공장 현실에 맞게 작업 현장에 적합한지를 충분히 검토하고서, 도입한 것들이 필요한 기능들에 부합하도록 사전에 확실히 준비하는 것이 중요하다.

C기업 : 우리나라 도장업의 수준이 낙후되어 있는데, 스마트 공장 경험으로 경쟁력 상승의 기회를 가졌다. 하지만, 중소기업 대상의 프로그램 뿐만이 아니라 지원 폭이 넓어지는 계기가 마련되는 것이 필요하다.

D기업 : 제조업이라면 반드시 스마트 공정이 요구되며, 특히 꾸준한 성장이 요구되는 중소기업에게는 더욱 필요하다. 따라서 시간이 걸리더라도 회사 실정에 맞는 시스템을 갖추려고 하면서, 직원들의 꾸준한 참여 분위기를 조성해야 성공시킬 수 있다.

E기업 : 중소기업의 특성상 예산이 제한되어 있기 때문에, 스마트 공장을 도입하기 전에 어떻게 품질 및 생산성을 높일 수 있을지에 대한 고민을 먼저 해야 한다.

F기업 : 공정 및 품질 데이터를 실시간으로 점검하면서, 불량 및 제조품 이력을 바로 확인할 수 있게 되었고 제품이 생산되는 과정을 바로 파악할 수 있게 되었다.

G기업 : 규모가 작을수록 새로운 시스템을 도입한 후의 효과를 누리기 위해서는 다음 단계가 중요하다. 변화된 시스템에 맞춰서 프로세스 및 설비 등도 바뀌어야 하며, 이를 위해서는 생산라인의 레이아웃도 정비하는 등의 노력이 필요하다.

H기업 : 혁신의 두 가지 측면인 제품과 프로세스 관점에서 보았을 때, 새로운 기술/제품뿐만 아니라 스마트 공장 도입으로 프로세스 개선으로 경쟁력 향상에 도움이 될 수 있다.

I기업 : 스마트 공장으로 생산 및 품질관리를 기업이 원하는 수준까지 끌어올릴 수 있으며, 이는 경쟁력향상을 위한 필수도구라고 할 수 있다. 다만, 도입 및 운영시 전산화과정에서 요구되는 필수인력이 확보되어야 하며, 활발한 내부 의견 공유가 선행되어야 한다.

J기업 : 업무의 효율 및 품질 개선에서 한 단계 업그레이드 할 수 있다.

K기업 : 기업 실정에 최적화된 시스템뿐만 아니라, 이를 운용하는 인력도 확보되어야 한다. 아무리 좋은 시스템을 구축했다고 하더라도 이용자가 제대로 활용하지 못한다면 어떤 의미도 없다.

L기업 : 현재 진행되고 있는 업무의 정확하면서도 신속한 파악은 기업의 경쟁력이 된다. 이는 외부 고객에게 신뢰를 줄 수 있는 자산이 되므로, 기술력뿐만이 아니라 공정관리력 및 고객관리를 잘해야 한다. 이것이 스마트 공장을 무조건 구축해야 하는 이유이다.

M기업 : 회사가 살아남기 위해서 기술만이 아니라 우수한 기술을 얼마나 효율적으로 사용하고 관리하느냐가 중요하므로 스마트 공장은 회사의 발전에 분명히 필요하다.

N기업 : 현장에서 필요로 하는 것이 무엇인지를 먼저 파악하고, 회사와 작업자에 맞는 시스템을 구축하여야 한다.

O기업 : 스마트 공장의 구축 전에 기업 수준을 자체 파악함으로써, 향후 꾸준히 지속시킬 수 있는지에 대한 분석으로 시간 및 비용 등의 자원이 최적으로 소요될 수 있도록 유도해야 한다.

P기업 : 기업의 특수한 공정에 맞도록 시스템을 구현하는 것이 쉽지 않은 작업이었고, 꾸준한 의사소통으로 지금까지 하지 않았던 일에 대한 두려움을 제거할 필요가 있다.

Q기업 : 불필요한 작업을 제거하면서 효율성을 높인 시스템은 공정에서 약간의 오류라도 발생할 경우 멈출 수 있어 고품질의 제품을 만들어 낼 수 있게 되었다. 이는 오랜 시간동안 유지 및 보수를 하면서 강력한 시스템으로 발전시킬 수 있다.

R기업 : 스마트 공장 도입으로 정확한 생산 공정을 파악하면서 이에 따른 근거 자료를 확보하게 할 수 있어 고객 신뢰도를 높일 수 있게 되었고, 문제가 발생하였을 경우 실시간 모니터링이 가능해졌다.

S기업 : 작업 지시 및 생산 기록을 전산화함으로써, 효율성을 올리면서 부가적인 업무는 시스템이 하고 핵심업무에 집중하면서, 체계적인 설비 등을 보다 효과적으로 사용하게 되었다.

T기업 : 효과적인 스마트 공장을 도입하려면 솔루션업체와 꾸준한 소통을 하면서 기업이 지향하는 바가 명확히 이루어질 수 있도록 해야 한다. 이를 통해 어떠한 프로세스가 기업에 적합한지를 파악할 수 있게 된다.

### 3.2 담당자 의견 정리

A기업 : 효율적인 업무 프로세스를 구축하면서 그로 인한 품질 향상과 데이터 정확도 상승으

로 고객사의 믿음이 더욱 두터워지는 계기를 마련하였다.

B기업 : 전공정을 ICT를 기반으로 하여 전산화시켰고, 메인서버와 네트워크를 연결하는 과정, 각 공정마다 ERP 등 시스템들을 설치하는 과정, 소프트웨어를 개발하고 구현하는 과정 등 작은 일들 하나하나가 어려운 일들이었다. 특히 기술에 대한 자부심이 큰 엔지니어들의 스마트 공장에 대한 오해를 해소하는 부분도 예상치 못한 장벽이었다.

C기업 : 스마트 공장을 도입하려는 기업들이 높은 기술 수준을 보인다고 해도, 산업별 특성에 맞는 현장 중심형 솔루션을 제공하지 않으면 효과를 볼 수 없는 경우가 발생한다. 따라서, 컨설팅과 더불어 시스템을 도입하는 것이 필요할 수도 있다.

D기업 : 산업마다 스마트 공장의 진행 방식이 다를 것이므로 타 산업의 모범 케이스를 벤치마킹하는 전략보다는 내부적으로 부족한 부분을 파악하여 필요한 것들을 받아들일 수 있는 방식으로 접근해야 한다.

E기업 : 예산 등의 이유로 여러 대의 설비를 하나의 단말기로 관리하는 등의 접근을 먼저 했지만, 경험이 쌓이고 데이터 확보에 따른 효과가 검증될 수 있다면 단말기별로 설비를 관리할 수 있는 시스템을 구축하는 등 양질의 데이터를 생산할 수 있을 것이다.

F기업 : 스마트 공장을 효율적으로 받아들이기 위해서는 현장 실무자의 공정 및 품질에 대한 이해도가 높아야 하며, 이를 바탕으로 기업에 적합한 시스템을 구축할 수 있다.

G기업 : 스마트 공장의 선두주자인 독일이 경쟁력을 보이는 이유는 설비와 관리 측면에서의 자동화를 바탕으로 보다 적은 사람들이 일을 할 수 있는 환경을 마련했기 때문이며, 우리나라의 중소 제조기업도 생존을 위해서 벤치마킹할 필요가 있다.

H기업 : MES, ERP, POP 등의 시스템을 무차별적으로 도입하는 것은 바람직하지 않으며, 우선 적용하고 확대시키는 등의 전략으로 적용범위를 확대하는 것이 필요하다.

I기업 : 국내 중소기업의 경우 전산화 자체에 익숙하지 못한 경우가 대부분이므로, 이런 작업을 수행하는데 협력할 솔루션 업체 선정은 핵심 과제 중 하나이며, 이후 구축하는 과정에서 의사 전달이 정확히 이루어지는 것이 필요하다. 기존 직원들은 스마트 공장 활성화에 따른 IT에 대한 지식수준은 낮지만, 프로세스에 담길 현장지식이 월등하므로, 솔루션 업체와 현장 담당자가 지속적으로 수정·보완해가며 구축하는 것이 중요하다.

J기업 : 스마트 공장 도입시 새로운 장비 도입 여부 보다 회사에 필요한 것이 먼저 파악하는 것이 중요하다. 또한 기업이 이해하지 못하는 것을 솔루션 업체가 해결해줄 것이라 기대해서는 안 되고, 소통을 하면서 문제를 해결해 나가야 한다.

K기업 : 스마트 공장 도입과정에서 충분한 검토가 필요하며, 실제 사용자들의 요구가 무엇인지를 충분히 파악하면서 도입되는 시스템의 필요성을 충분히 인지시켜야 한다. 또한, 단기간에 성과에 치우치지 않고, 지속발전이 가능한 시스템을 구축하여 장기간 성과를 얻을 수 있도록 준비해야 한다.

L기업 : NFS-SCM 시스템 도입으로 당초 목표한 수준에는 도달했지만, 지속적인 활용을 위해서는 지금보다 다양한 기능들을 제공해야 한다. 또한, NFC-SCM 시스템 구축에 상당한 시간이 필요하므로, 충분한 사전 검토 및 준비가 선행되어야 한다.

M기업 : 스마트 공장은 당장의 성과를 위해서가 아니라, 장기적인 관점에 꾸준히 발전시켜야 하며, 설치에만 만족할 것이 아니라 수정 및 보완해 나가면서 회사만의 시스템을 설치해야 한다.

이를 위해 현장 직원들과의 소통과 설득이 필요하다.

N기업 : 시스템을 구축 후 직원들이 적극적으로 참여할 수 있도록 유도하면서 현업에 실질적으로 연계 될 유용성 등을 끊임없이 공유해야 한다.

O기업 : 기업 현실을 맞는 시스템을 도입하면서 정형화된 틀에서 맞추는 것이 아닌 창의성이 가미된 현장에서 필요한 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

P기업 : 솔루션 업체와의 협업과 사내 전문인력의 양성은 불가분의 관계로 빠르게 시스템을 동화시키기 위해서는 시스템에 대한 교육 및 훈련이 중요하다.

Q기업 : 기업 활동 중에 발생하는 모든 자료를 전산화 시킬 수 있게 되었고, 축적된 자료를 바탕으로 경영 및 현장에 전략적으로 대응할 수 있게 되었다. 또한, 실시간으로 자료를 분석할 수 있어서 가시적인 성과도 얻게 되었다.

R기업 : 기획단계에서부터 설계를 거쳐 이를 구축해 나가는 과정에서 현장 작업자와 시스템 전문가가 협업하면서 진행할 경우 효과적인 결과를 얻을 수 있다.

S기업 : 스마트 공장을 도입함으로써, 기존 기업의 제약조건을 뛰어넘어 더 높은 수준의 운영을 할 수 있게 되었고, 이를 위해 충분한 사전 준비가 요구된다.

T기업 : 스마트 공장에 대한 정확한 이해를 바탕으로 기업에 필요한 형태의 시스템 구축해야 하면, 시스템의 기본이 되는 DB화를 수행하고 있다.

### 3.3 성과 정리

A기업 : 공정 불량률이 3,500PPM 수준에서 529PPM으로 낮아지는 개선을 보였고, 시스템 도입 전인 2014년 4월부터 12월까지의 평균 폐기

비용이 약 167만 원에 달했던 반면에, 시스템을 도입하고 나서는 4월부터 6월까지 3개월 평균 폐기 비용은 약 73만 원으로 줄어들었다.

B기업 : 공정 손실률을 5%에서 2%로 줄일 수 있었고, 검사 및 검사 성적서에 필요한 시간을 15분에서 5분으로 낮출 수 있었으며, 원가 분석에 240분에서 120분으로 낮은 시간을 투입하였다.

C기업 : 불량 제품의 비중을 소수점 이하로 줄이면서, 고객사에게 전해주었던 약 3% 정도의 불량품들을 발생시키지 않고, 양품만을 생산함으로써 자사와 고객사 모두의 이익을 발생시킬 수 있었다.

D기업 : MES를 바탕으로 작업 입력 시간을 70% 이상 단축시켰으며, 불필요한 서류 업무도 절반 이상 감소시켰다. 실시간 모니터링으로 신속한 대응을 하였고, 데이터를 공유함으로써 조직간 업무 비효율을 감소시켰다.

E기업 : 이상 발생시 대응 시간이 90분에서 71분으로 단축되었고, 최대 수요 전력과 수전 설비 역률 관리를 실시간으로 함에 따라서 95% 이상 관리가 가능해지면서, 전기 요금을 줄일 수 있었다.

F기업 : 제품 이력 추적 및 불량의 원인 파악 등에 소요되는 시간과 노력을 줄이면서 축적한 데이터를 활용하여 공정의 전반을 컨트롤할 수 있는 시스템을 구축하였으며, 고객 대응이 좋아지면서 고객만족도도 올라가게 되었다.

G기업 : 작업 지시와 제품 요구 사양과 도면 등을 실시간으로 확인하게 되면서 설비 상태, 작업량, 공정 등의 관리가 용이해졌다.

H기업 : 재공재고를 457.1%만큼 감소시켰고, 불량률을 406% 떨어뜨리는 등의 성과를 얻었다.

I기업 : 기계·가공라인 생산 가동 향상률 136%에 달하고, 불량 및 비가동 정보에 대한 100% 실시간 관리를 하면서, 기업 지정 종합 KPI 151.6%를 달성하는 등의 성과를 도출했다.

J기업 : 제품별 가열시간 최적화를 통해 에너

지 비용을 절감하고, 싸이클 타임이 단축되었다. 또한, 냉각 설비 자동화로 불량품 생산이 감소했으며, 냉각수 흐름을 감지하면서 급형에 이상이 생기는데도 알게되었다. 이를 바탕으로 실시간 상황과 제품 온도를 모니터링할 수 있게 되었고, 생산의 최적화 조건을 구성할 수 있었다.

K기업 : 구매 기준 소요시간 생산성 부분에서 5시간 → 2.5시간, 불량률은 0.92% → 0.50%로 감소시킬 수 있었으며, 원가 및 인건비 절감으로 생산성을 향상시키면서 납기일 단축으로 고객사 만족도 끌어내는 등의 성과를 얻었다.

L기업 : 생산 공정에 있어서 로드밸런싱을 통한 생산성 향상을 이루었고, 자재 및 재고의 정확도를 높일 수 있어서 계획 대비 성과를 추적할 수 있었기에 경영 성과를 개선시킬 수 있었다.

M기업 : MES를 통해 업무 효율성이 향상되었고, 기존에 자료화하지 않았던 고객정보도 시스템에서 처리하게 되면서 예상외의 효과를 얻었다.

N기업 : 현장에서 실시간으로 생성된 데이터를 바탕으로 한 공정제어로 불량품이 줄어드는 등의 품질 개선이 이루어졌다.

O기업 : a) 데이터 입력 시간이 하루 240분에서 70분으로 줄었고, b) 서류 작업 시간은 180분에서 30분으로 줄이면서, c) 불량률을 5%에서 3%까지 낮추었고, d) 당초 계획 대비 실적도 90%대로 올리는 등 생산성에서 개선효과를 보였다.

P기업 : 작업 현장에서의 부차적인 일들이 전산화되면서 작업자들의 부담이 현저하게 줄어들었고, 실시간 원자재 관리로 WIP 감소 및 정확한 재고 파악이 가능해졌다.

Q기업 : 데이터를 정확하고 체계적으로 관리하게 되면서, 1인당 생산량을 1인당 하루 120개에서 460개로 늘리는 등 생산성에서 획기적인 성과를 이루었다.

R기업 : MES 시스템 구축으로 특정 공정에서 Fool Proof를 완성시켰고, 이와 같은 컨트롤 시스템을 마련함으로써 오작동 등을 방지할 수 있는 토대를 마련하였다.

S기업 : 실시간으로 품질 데이터를 관리하게 되면서 효율 개선으로 a) 생산성 10% 향상, b) 영업 이익 7% 상승, c) 불량률 125% 감소, d) 재고비용절감 등을 1,300만 원의 비용 절감을 이루어 냈다.

T기업 : 기존 실시간 모니터링을 뛰어 넘어 모니터링 한 것을 자동화시킴으로써 고객의 요구사항에 빠르게 대응할 수 있게 되면서 신뢰도도 증가하였다.

## 4. 결론 및 향후 연구방향

### 4.1 결론 및 한계점

국내 스마트 공장 관련 기술력 수준은 해외 기술력 대비 뒤쳐지는 것으로 나타나고 있으며, 센서, CPS, 사물인터넷은 미국 대비 각각 75.3%, 74.5%, 81.5% 수준이고, 특히 제품수명주기관리(PLM, Product Lifecycle Management), 컴퓨터 지원설계(CAD, Computer Aided Design) 등 해결책(솔루션)은 대부분 해외기업들에 의지하는 바가 큰 상황이다.

따라서, 국내 스마트 공장 보급을 늘리는 동시에 사용기술에 대한 자립도를 확보하는 것이 중요하다.

본 연구는 최근의 해외문헌들을 통해 스마트 공장 도입시 적용 가능한 다양한 기술들을 소개하였지만, 국내 중소기업들의 도입상황은 낮은 수준의 적용에 그쳐 있는 것을 파악할 수 있었다. 기업수준에 맞는 스마트 공장의 확산도 중요하지만, 세계 선도기업들이 채택하고 있는 수준 높은 기술들을 공정에 도입함으로써, 제품 개발뿐

만 아니라 공정 개발도 기업의 성과에 도움이 될 수 있다는 부분에 대한 인식 공유가 필요하다.

현재, 최저임금제의 도입 등으로 일자리 축소가 우려되는 상황에서 스마트 공장의 도입은 일반 근로자들에게 반갑지 않은 소식일 수도 있다. 일자리의 형태가 달라지는 것이지 일자리의 숫자는 변함이 없다는 주장도 있지만 노동계의 걱정을 단번에 없앨 수는 없는 상황이다. 따라서, 이러한 부작용들을 최소화할 수 있는 정부 정책들을 마련하면서 스마트 공장 운영에 필요한 강력한 평생교육 정책으로 고급 일자리를 육성하는 방향으로 전환하면서 제조업 경쟁력을 다시 찾는 계기로 삼아야할 것이다.

### 4.2 향후 연구방향

스마트 공장의 도입에 가장 큰 장애요인은 제조업의 낮은 수익성을 고려할 때 경영진이 높은 불확실성을 가지고 투자하기가 쉽지 않기 때문이다. 따라서 대규모 투자가 필요한 전략적인 수준보다는 작업장에서부터 점진적인 도입이 필요하다 [Wang et al., 2015]. 또 하나의 제조분야에서의 도전은 공급자, 조립, 포장, 운송, 품질관리 등 다양한 활동을 다양한 주체가 함께 진행해야 한다는 점이다. 또한 센서 및 로봇, 다양한 장비와 사용자 등 상호간의 통합이 필요하나 현재 통합적인 이니셔티브가 부족한 상황이다. 따라서 이를 위해 다양한 스마트 공장 기술들을 도입한 기업들의 실 데이터를 종합해 다양한 결론들을 도출하면서 아직 도입하지 못한 기업들이 참조할 수 있게 하는 프레임워크 등이 마련되는 것이 필요하다고 판단된다.

## References

- [1] Azaiez, S., Boc, M., Cudennec, L., Simoes, M. D. S., Hauptert, J., Kchir, S., and Schleipen, M., "Towards exhibity in future industrial

- manufacturing : A global framework for self-organization of production cells”, *Procedia Computer Science*, Vol. 83, 2016, pp. 1268–1273.
- [2] Bagozi, A., Bianchini, D., De Antonellis, V., Marini, A., and Ragazzi, D., “Interactive data exploration as a service for the smart factory”, *In Web Services(ICWS), 2017 IEEE International Conference on*(pp. 293–300), 2017.
- [3] Brans J. P., Mareschal, B., and Vincke, P. H., “PROMETHEE—a new family of out-ranking methods in multicriteria analysis”, *Operational Research IFORS*, Vol. 84, 1984, pp. 477–490.
- [4] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., and Rosenberg, M., “How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape : An Industry 4.0”, *International Journal of Information and Communication Engineering*, Vol. 8, No. 1, 2014, pp. 1–8.
- [5] Camarinha-Matos, L. M. and Macedo, P., “A Conceptual Model of Value Systems in Collaborative Networks”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 21, No. 3, 2010, pp. 287–299.
- [6] Cengarle, V., Törngren, M., Bensalem, S., McDermid, J., Sangiovanni-Vincentelli, A., and Passerone, R., “Structuring of CPS domain : characteristics, trends, challenges and opportunities associated with CPS”, D2.2 of CyPhERS FP7 Project; 2013. (<http://www.cyphers.eu/sites/default/files/D2.2.pdf>).
- [7] Chen, T. and Wang, Y. C., “Estimating simulation workload in cloud manufacturing using a classifying artificial neural network ensemble approach”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 38, 2016, pp. 42–51.
- [8] Chung, T., *Smart Factory—Theory and Practice*, 2017.
- [9] de Lope, J., Maravall, D., and Quiñonez, Y., “Self-organizing techniques to improve the decentralized multi-task distribution in multi-robot systems”, *Neurocomputing*, Vol. 163, 2015, pp. 47–55.
- [10] Dong, J., Zhuang, D., Huang, Y., and Fu, J., “Advances in multi-sensor data fusion : Algorithms and applications”, *Sensors*, Vol. 9, No. 10, 2009, pp. 7771–7784.
- [11] During, A., Komischke, T., and Wittenberg, C., “Analysis, Design and Evaluation of User-Centered Engineering Tools in Industrial Automation”, *IFAC Proceedings*, Vol. 34, No. 16, 2001, pp. 291–295.
- [12] Fang, G., Guo, Y., Liao, H., and Wang, L., “Knowledge representation and annotation method based on ontology for complex products design”, *Computer Integrated Manufacturing System*, Vol. 22, No. 9, 2016, pp. 2063–2071.
- [13] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy(Germany), <http://www.plattform40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>, 2017.
- [14] Fedorov, A., Goloschchapov, E., Ipatov, O., Potekhin, V., Shkodyrev, V., and Zobnin, S., “Aspects of Smart Manufacturing Via Agent-based Approach”, *Procedia Engineering*, Vol. 100, 2015, pp. 1572–1581.
- [15] Fleischmann, A., Schmidt, W., Stary, C.,



- Obermeier, S., and Börger, E., *Subject-Oriented Business Process Management*, Berlin : Springer, 2012.
- [16] Gonçalves, G., Reis, J., Pinto, R., Alves, M., and Correia, J., “A step forward on Intelligent Factories : A Smart Sensor-oriented approach”, *In Emerging Technology and Factory Automation(ETFA), 2014 IEEE* (pp. 1-8), IEEE, 2014.
- [17] Gourgand, M. and Kellert, P., “An object-oriented methodology for manufacturing system modelling”, In Summer Computer Simulation Conference (pp. 1123-1123), 1992, Society For Computer Simulation, Etc.
- [18] Grimheden, M. and Hanson, M., “What is mechatronics? Proposing a didactical approach to mechatronics”, *In : Proc. of the 1st Baltic Sea Workshop on Education in Mechatronics*, Kiel, Germany, 2001.
- [19] Haag, M., *Anforderungsanalyse Servicetechniker(Requirement analysis service technicians)*, Internal study project, Heilbronn University, 2012.
- [20] Hehenberger, P., Vogel-Heuser, B., Bradley, D., Eynard, B., Tomiyama, T., and Achiche, S., “Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems : Methods and applications”, *Computers in Industry*, Vol. 82, 2016, pp. 273-289.
- [21] Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., and Ivanova, M., “A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0”, *International Journal of Production Research*, Vol. 54, No. 2, 2016, pp. 386-402.
- [22] Kang, Y. S., Park, I. H., and Youm, S., “Performance Prediction of a MongoDB-Based Traceability System in Smart Factory Supply Chains”, *Sensors*, Vol. 16, No. 12, 2016, pp. 2126.
- [23] Kannengiesser, U. and Muller, H., “Towards agent-based smart factories : A subject-oriented modeling approach”, *In Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on* (Vol. 3, pp. 83-86), IEEE, 2013.
- [24] Keddis, N., Kainz, G., and Zoitl, A., “Product-Driven Generation of Action Sequences for Adaptable Manufacturing Systems”, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 1502-1508.
- [25] Lee, E. A., “Cyber physical systems : design challenges”, In : Technical Report, UCB/EECS-2008-8; 2008. (<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.html>).
- [26] Lee, E. A., “Cyber-physical systems—are computing foundations adequate?”, *NSF Workshop on Cyber-Physical Systems : Research Motivation, Techniques and Roadmap*, Austin, Texas, 2006.
- [27] Lee, J., Bagheri, B., and Kao, H.-A., “A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems”, *Manufacturing Letters*, Vol. 3, 2015, pp. 18-23.
- [28] Lee, J., Kao, H. A., and Yang, S., “Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment”, *Procedia CIRP*, Vol. 16, 2014, pp. 3-8.
- [29] Li, G., Hu, Y., Chen, H., Li, H., Hu, M., Guo,

- Y., and Hu, W., "A sensor fault detection and diagnosis strategy for screw chiller system using support vector data description-based D-statistic and DV-contribution plots", *Energy and Buildings*, Vol. 133, 2016, pp. 230-245.
- [30] Li, H. X. and Si, H., "Control for Intelligent Manufacturing : A Multiscale Challenge", *Engineering*, Vol. 3, No. 5, 2017, pp. 608-615.
- [31] Ministry of Trade, Industry and Energy, Smart Factory Technology Development Roadmap, 2015.
- [32] Monostori, L., "Cyber-physical production systems : roots, expectations and R&D challenges", *Procedia CIRP*, Vol. 17, 2014, pp. 9-13.
- [33] Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N., and Xanthopoulos, N., "A cloud-based approach for maintenance of machine tools and equipment based on shop-floor monitoring", *Procedia CIRP*, Vol. 41, 2016, pp. 655-660.
- [34] Norman, D. A., *The Design of Everyday Things*, New York, Doubleday, 2008.
- [35] Park, H., Song, H., Jang, W., Lee, S., and Lim, C., 4<sup>th</sup> Industrial Revolution, Era of New Manufacturing, Heute, 2017.
- [36] Platonov, J., Heibel, H., Meier, P., and Grollmann, B., "A mobile markerless AR system for maintenance and repair", *In Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2006, IEEE/ACM International Symposium on*(pp. 105-108), IEEE, 2006.
- [37] Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., Amicis, R., Pinto, E., Eisert, P., Döllner, J., and Vallarino Jr., I., "Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet", *IEEE Computer Graphics and Applications*, March/April, 2015, pp. 26-40.
- [38] Radziwon, A., Bogers, M., and Bilberg, A., *The Smart Factory : Exploring an Open Innovation Solution for Manufacturing Ecosystems*, 2014.
- [39] Rotondi, D., Gusmeroli, S., Givehchi, O., and Jasperneite, J., *An application of Directory Service for a Smart Factory*, 2014.
- [40] Seo, S. W., Yang, H. C., and Sim, K. B., "Object tracking algorithm of Swarm robot system for using polygon based Q-learning and parallel SVM", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent System*, Vol. 8, No. 3, 2008, pp. 220-224.
- [41] Sheresh, B. and Sheresh, D., *Understanding Directory Services*, Systems Research Corporation, 2001.
- [42] Shpilevoy, V., Shishov, A., Skobelev, P., Kolbova, E., Kazanskaia, D., Shepilov, Y., and Tsarev, A., "Multi-agent system "Smart Factory" for real-time workshop management in aircraft jet engines production", *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 46, No. 7, 2013, pp. 204-209.
- [43] Talhi, A., Huet, J. C., Fortineau, V., and Lamouri, S., "Towards a Cloud Manufacturing systems modeling methodology", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 288-293.
- [44] Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., and Peeters, P., "Reference architecture for holonic manufacturing systems : PROSA", *Computers in Industry*,

- Vol. 37, No. 3, 1998, pp. 255-274.
- [45] Veza, I., Mladineo, M., and Gjeldum, N., "Managing Innovative Production Network of Smart Factories", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 555-560.
- [46] Vogel-Heuser, B., "Cyber physical production systems/industry 4.0-challenges in research and industrial application", *41<sup>st</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON)*, Yokohama, Japan, Plenary Talk, 2015. (<https://media-tum.ub.tum.de/node?id=1283333>).
- [47] Wang, L., Törngren, M., and Onori, M., "Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 37(Part 2), 2015, pp. 517-527.
- [48] Wang, M., "Data fusion processing of the Internet of industrial things based on adaptive unscented Kalman algorithm", *Electric Drive Automation*, Vol. 38, No. 4, 2016, pp. 43-47.
- [49] Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., and Gorecky, D., "Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 579-584.
- [50] Wittenberg, C., "Human-CPS Interaction-requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, No. 19, 2016, pp. 420-425.
- [51] Wu, D., Terpenney, J., and Gentsch, W., "Cloud-Based Design, Engineering Analysis, and Manufacturing : A Cost-Benefit Analysis", *Procedia Manufacturing*, Vol. 1, 2015, pp. 64-76.
- [52] Wu, X., Zhang, J., and Wang, C., "Adaptive neural network control and learning for robot manipulator", *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 49, No. 15, 2013, pp. 42-48.
- [53] Wu, X., Zhu, X., Wu, G.-Q., and Ding, W., "Data mining with big data", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 26, No. 1, 2014, pp. 97-107.
- [54] Wu, Y., Xing, K., Luo, J., and Feng, Y., "Robust deadlock control for automated manufacturing systems with an unreliable resource", *Information Sciences*, Vol. 346, 2016, pp. 17-28.
- [55] Xu, X. and Hua, Q., "Industrial big data analysis in smart factory : current status and research strategies", *IEEE Access*, Vol. 5, 2017, pp. 17543-17551.
- [56] Xu, X., "From cloud computing to cloud manufacturing", *Robotics and computer-integrated manufacturing*, Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 75-86.
- [57] Zhang, F., Xue, F., and Xu, Y., "Collaborative modeling method of performance prototype for aerospace products based on ontology", *Computer Integrated Manufacturing System*, Vol. 22, No. 8, 2016, pp. 1887-1899.
- [58] Zhong, R. Y., Xu, X., and Wang, L., "IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability using Laser-scanners", *Procedia Manufacturing*, Vol. 10, 2017, pp. 1-14.

## ■ 저자소개

**Sunghee Lee**

Sunghee Lee received his Ph.D. degree in Management from Korea University. His research interests are in the areas of technology management,

operations-marketing interface and supply chain management. His previous published research has appeared in *International Journal of Production Economics*, *Total Quality Management & Business Excellence*, *Management Decision* and *Sustainability*. Sunghee Lee is an Assistant Professor at the Department of Business Administration at Hoseo University.

**Jae-Young Kim**

Jae-Young Kim is currently an Assistant Professor at the division of Convergence Management at Korea University.

He received his Ph.D. degree from Korea University. He is involved in innovation activities and helps young people to be innovative and creative. He is interested in business model bringing information and communication technology and finding ways to make the best uses of the technology for the start-up companies.

**Wonhee Lee**

Wonhee Lee received his Ph.D. degree in Management Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). His research

has focused on the areas of operations management and green management in the perspective of supply chain management. He worked for 9 years as a head of business development division at Eco-Frontier whose mission is to help public and private organization make improvements in corporate sustainability management and develop environment-friendly businesses. He is an Assistant Professor at the Department of Business Administration at Hoseo University.