

뿌리기업 스마트공장 구축 현황과 영향관계 분석

김보경^{a,b} · 이상목^b · 김태범^b · 김택수^b · 김창경^{a*}

^a한양대학교 과학기술정책학과, ^b한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

Investigation of Factors for Smartization of Ppuri Enterprises Based on the Smart Factory Status

Bo Kyung Kim^{a,b}, Sang Mok Lee^b, Tae Bum Kim^b, Taek Soo Kim^b and Chang Kyung Kim^{a*}

^aDepartment of Science and Technology Policy, Hanyang University Seoul, 04763, Republic of Korea

^bResearch Institute of Advanced Manufacturing & Materials Technology, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 21999, Republic of Korea

(Received April 13, 2022; Revised April 24, 2022; Accepted April 26, 2022)

Abstract Ppuri or Root technology primarily includes technologies such as casting, mold, plastic working, welding, heat treatment and surface treatment. It is regarded as an essential element for improving the competitiveness of the quality of final products. This study investigates the current status of smart factory implementation for Ppuri companies and analyzes the influencing relationships among various company factors. The factors affecting smart factory implementation for Ppuri companies are sales, exports, number of technical employees, and holding corporate research institutes. In addition, this research shows that even if smart factory implementation is pursued for data collection, data utilization is not implemented properly. Thus, it is suggested that the implementation of smart factories requires not only the availability of facilities and systems but also proper data utilization.

Keywords: Ppuri industry, Smart factory, Logistic regression, Data collection, Data utilization

1. 서 론

70년대부터 시작하여 최근까지 50여년간 이어져 온 글로벌 경기침체 상황에서 현 대량생산 체제가 존속하는 글로벌 경제 체제는 향후 30년뒤에도 저성장 국면을 벗어나지 못한다는 결과가 보고되어 있다[1]. 이러한 상황을 극복하기 위해 1990년대부터 맞춤형 생산(mass customization)과 경험 경제(experience economy) 등의 제조혁신 및 비즈니스 모델 이론이 발표되기 시작했다[2, 3]. 이러한 추세 속에서 2000년대에는 독일을 필두로 개인맞춤형 대량생산 체제 및 기술을 고안하여 고임금 국가형 제조기술 모델인 Industry 4.0과 CPS(Cyber Physical System)와 이에 기반한 스마트공장 개념을 소개하고 있다[4-6]. 저출산, 고령화 현상에 따른 생산가능 인구 감소에 대응하기 위한 방안으로,

중국 등 신흥국도 인건비 상승에 대한 대응 및 제조업 경쟁력 강화 측면에서 중국제조 2025 등 다양한 전략 및 정책연구와 제반 연구개발 활동이 이어지고 있다[7].

국내에서는 최근 주 52시간 근무제 시행과 급격한 임금 상승 등 중소기업들의 경영 환경이 크게 바뀌고 있다. 또한 미·중간 글로벌 패권 경쟁, 에너지 믹스, 환경 규제, 종사자 안전 및 권리에 대한 인식 강화로 제조업 전반에 걸친 다양한 압력이 가중되고 있는 상황이다. 따라서 생산성 증가를 통해 원가 경쟁력을 높이고 수익 현황의 개선 기대를 바탕으로 정부 주도하의 한국형 스마트공장 구축사업이 도입되어 왔다. 이러한 노력들의 결과로 스마트공장 필요성[8], 구축현황 분석[9] 및 데이터 수집[10] 관련한 연구들이 발표되고 있다. 또한 스마트공장 구축사업을 통하여 생산성 향상[11] 및 품질성과[12]에 영향을

- 김보경: 주임사무원, 이상목: 연구위원, 김태범: 박사, 김택수: 연구소장, 김창경: 교수

*Corresponding Author: Chang Kyung Kim, TEL: +82-2-2220-0409, FAX: +82-2-2220-0409, E-mail: cckim@hanyang.ac.kr

미치는 관련한 선행연구 등이 보고되고 있으며 스마트공장 추진 경과[13]도 소개되고 있다. 뿌리산업 분야에서도 스마트공장 구축 노력과 함께 스마트공장 구축 관련 모형과 실상, 데이터 수집 및 활용에 영향을 미치는 요인에 관한 실증연구가 병행될 필요가 있다. 이러한 실증연구는 3가지 내용이 포함될 수 있는데, 첫째, 뿌리기업의 스마트공장 추진실태 진단과 문제점 도출, 둘째, 스마트공장 추진 의사 및 추진 정도에 영향을 미치는 요인과 기업 경영성과의 연관성, 셋째, 데이터 수집 및 활용에 영향을 미치는 요인이다.

본 연구에서는 뿌리기업 스마트공장 추진 실태를 파악하고, 스마트공장 도입에 영향을 미치는 요인에 대한 통계적 분석을 실시하였다. 또한 데이터 수집 및 활용에 영향을 미치는 요인을 조사하여, 데이터 사용을 활성화하는 실무적 전략을 수립하는 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구배경

2.1. 선진국 스마트 공장 개념

독일, 미국 등 주요 제조 선진국들은 현재의 대량생산 방식으로는 어떠한 혁신적 활동을 하더라도 더 이상 제조산업 부문의 고도 성장이 가능하지 않다는 사실을 일찍이 깨닫고, CPS(Cyber Physical System) 기반 개별적 대량생산 체제를 지향하는 새로운 제조 형태의 스마트공장 개념을 도입하고, 2035년까지 개발하려는 목표를 가지고 있다. 이러한 목표를 이루기 위해서 이미 80년대부터 ERP(Enterprise Resource Planning), MES(Manufacturing Execution System), PLM(Product Lifecycle Management), POP(Point of Purchase), FEMS(Factory Energy Management System) 시스템 기반의 공장 제조관리시스템과 함께 JIT, JOT(Just-In-Time, Just-On-Time) 납기 기술을 약 40년에 걸쳐 발전시켜 왔다. 이러한 발전 토대 위에 진주기 공장에 걸쳐 end-to-end ICT network 기반의 느슨한 중앙 수직적 제어(Loosen CIM, Computer Integrated Manufacturing)와 실시간으로 일어나는 국부적 발생 사항에 대한 edge computing 기반의 자율결정이 수평적으로 결합되는 스마트공장 제조시스템을 개발 중이며, 이러한 기능을 구현할 수 있는 기본 인프라인 스마트공장 구축준비 5단계도 발표하였다[14]. 참고로 구축준비 5단계는 본격적으로 스마트공장 핵심기술을 도입할 개념적, 기반적 준비가 된 상태이지, 그 단계 자체가 스마트공장을 의미하는 것은 아니다. 진정한 스마트공장의 구비조건은 3가지인데, (1) 4가지 제조 주체들(작업자, 생산라인, 제조되어가는 반제품, 움직이는 협동로봇) 간의 통신, (2) 제조되는 반제품의 다음 공정에서의 제조관련 정보 공유, (3) 각 공정별 각 manufac-

turing cell에서의 필요 설비의 자동최적화와 필요 물품 자동 배열 및 구성이다[15]. 독일을 필두로 기술 선진국들은 이러한 기술개발과 함께 개인맞춤 제품가격 적정성 확보, 제품기반 servitization 등의 구독경제 기반 고수익성 확보 방안도 함께 개발 중에 있다.

정리하면, 선진국 스마트공장은 대량생산 방식에서의 단순한 생산성과 불량률을 개선하는데 그치는 것이 아니라, 개별적 생산체제를 가격 경쟁력 있게 개발하고, 그 시스템 하에서 개인맞춤형 제품들을 대량생산 방식으로 제조하며, 제품기반 플랫폼을 활용한 IoS(Internet of Service), 즉, 제조업의 servitization을 기반으로 선진국 국가에 합당한 고수익 제조업 모델을 추구한다. 이 내용이 독일 주도의 platform industry 4.0의 핵심이다[16].

이러한 개별적 대량생산방식을 기반으로 전략적인 선진국 제조업 비즈니스 모델은 두 가지인데, 하나는 CPS 제조 시스템 자체와 관련 장비, 소프트웨어의 판매이고 또 다른 하나는 제품기반 관련 고객서비스를 통한 고수익 창출이다. 이제 개별제품의 판매 자체만으로 수익을 창출하는 제조 비즈니스 모델은 후진국으로 밀려나고 선진국을 중심으로는 제조플랫폼 기반 servitization 비즈니스 모델이 채택되어 2035년경부터는 글로벌 영역에서 가시화할 것으로 사료된다.

2.2. 한국 뿌리기업 스마트공장 구축 필요성 및 애로사항

뿌리산업은 한 국가에 장기간 축적된 기술을 기반으로 후방산업의 기술적 연계 지원을 바탕으로 전방산업 제품의 품질과 경쟁력에 매우 큰 영향을 미치는 제조 요소 산업이며, 산업 환경 변화에 따라 글로벌 경쟁력을 갖출 수 있는 고도화 전략이 요구되고 있다[17]. 이러한 뿌리산업은 전방산업에 공통으로 활용될 수 있는 기술을 발전하는 기능을 가지고 있고, 현재 6대 분야에서 8,000개 이상의 요소기술이 있는 것으로 평가된다. 전방산업의 최종 제품 제조에 있어서 특정 뿌리기술 고도화 등을 해 나아간다면 다양한 응용을 통해 전 제조업 분야에 확실한 기술적 근간을 이룰 수 있다.

이러한 기술적 중요성에도 불구하고, 2021년 뿌리산업 백서에 따르면, 뿌리산업은 기업당 매출액과 고용인원을 기준으로 평가할 때, 타 산업에 비해 매우 영세한 상황임을 알 수 있다[18].

또한 대부분 금속 소재를 기반으로 한 에너지 다소비 업종으로 분류될 수 있어 이에 대한 에너지 최적화 기술개발에 국가적 지원이 필요한 상황이며[19], 공정에 따라서는 폐기물의 순환 및 환경오염 물질을 제어할 수 있는 기술 개발 및 확산도 시급하다. 따라서 뿌리산업의 스마트공장은 가격, 납기, 품질, 에너지, 환경, 소재, 생산성, 신뢰

성 등 중소기업의 8대 경쟁력 구성요소 확보를 지향해서 뿌리기업의 활력 도모와 함께 제조 생태계에서 제 역할을 할 수 있도록 지원되어야 한다. 이러한 상황에서 최근의 근로시간제, 임금상승 문제 등에 선순환적으로 대처하기 위해 자동화 설비 도입을 추진하고 스마트 재고관리 및 제품 생산 효율화, 최소 인력운영 등의 방안이 모색되고 있다[20]. 또한 생산성 향상을 통해 원가 경쟁력을 높이고 수익 상황을 개선하기 위해 스마트공장의 도입 및 활용도 부상하고 있다[21]. 다만 6대 뿌리산업 분야는 매우 다양한 공정과 기술적 특성을 가지고 있어 각 공정에 적합한 차별화된 스마트공장 도입 및 활용이 필요하다[22].

뿌리기술은 1) 다공정, 다변수, 2) 사용 소재의 유전적 대물림성, 3) 기체, 액체, 고체 및 고상 변태를 포함한 상 변화 및 반응, 4) 부정형 투입 소재, 5) 암묵지적 수작업의 수치화 어려움, 6) 제어 불가능 인자에 의한 공정 불안정, 7) 설계자 주문방식의 한계, 8) 가치사슬 기업간의 제조관련 정보 및 데이터 불투명 등으로 인하여 다른 제조분야보다 스마트공장의 구축 및 운영에 더 큰 본질적 어려움을 가지고 있다. 또한, 한국의 스마트공장 사업의 주요 일환으로 설치되는 MES 시스템이 효과적으로 사용되기 쉽지 않은 속성의 공정이 많다. 예를 들면 투입 소재의 QR 코드 등 식별 시스템 부착이 불가능하여 제품 lot별 식별 및 관리가 곤란한 상황이 많이 발생할 수 있다. 또한 단단계 공정으로 반제품이 제조되어 갈 때 특정 공정에서 많은 제품들이 불규칙하게 섞이면서 구분이 불가능한 상황도 많이 발생함으로써 데이터 관리 및 연계도 불가능한 상황이 많기 때문에 단순히 ERP/MES 구축만으로는 소정의 효과를 달성하기 어려운 경우가 많이 있을 수 있다. 따라서, 뿌리산업의 기술적 본질을 바탕으로 한 전문적 스마트공장 구축 과정이 필수적이다.

2.3. 한국의 스마트공장 구축사업

한국 뿌리산업의 경우, 독자적인 제품의 설계, 제조, 판매 활동을 하는 기업은 거의 없고, 대부분 수직 계열화된 수요기업에 하청부품의 납품형태로서 생산 소조의 역할을 담당하는 산업적 구조를 이루는 상황이 많다. 따라서 지금까지는 이러한 특성을 가지고 수요기업-뿌리기업간 상호 이해도 및 협력성이 높은 상태에서 품질, 납기, 가격 등의 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있었다. 하지만 선진국에서 먼저 시작한 개별적 대량생산 방식은 현재 상황에서는 뿌리기업의 현실에 맞지 않는다. 따라서 선진국형 개별적 대량생산 체제를 위한 스마트공장의 당장 도입은 매우 어려운 상황이고 당분간 필요하지 않을 수도 있다.

이러한 한계상황에서 구축되고 있는 한국형 스마트공장 구축사업은 선진국 모델과는 근본적으로 다르며, 주로

ERP와 MES 시스템을 구축하여 실시간 생산현황 모니터링, 전주기 생산공정의 합리적 관리, 생산성, 불량률, 각종 클레임 문제에 대응할 수 있는 기능을 부여하는 것을 목표로 한다. 따라서 제품 마케팅, 감사 대응, 전 공정 관리, 제품 생산관리, 재고관리 영역의 개선을 일정 부분 이룰 수는 있지만, 각 공정의 공정변수 최적화, 불량률 감소를 위한 기술적 방안, 제품특성 고도화 등 기업이 현실적으로 기대하고 요구하는 기능은 충족하기 어려운 숙제를 가지고 있다. 또한 고수의 추구를 위한 비즈니스 모델이 부재하여 향후 한국 제조업의 국제경쟁력을 위태롭게 할 수 있다. 이 부분에 대한 많은 연구와 전략 개발 및 적용이 필요한 실정이다.

2.4. 구축된 스마트공장의 데이터 수집 및 활용

뿌리산업에 있어 스마트공장 구축의 핵심 목표는 제조 데이터의 수집 및 활용일 수 있다. 스마트공장에서는 데이터는 제조 혁신의 밑알 역할을 함으로써 그 가치가 점차 확대되고 있으며, 데이터 수집 및 활용이 중요한 이슈로 부상하게 되었다[23]. 뿌리기업 현장 데이터는 설비운용 뿐만 아니라, 보조설비, 공정, 작업장 환경, 중간단계 반제품 특성, lot별 공정변수 및 품질, 전주기 공장운영, 최종제품의 품질 관련 등 그 속성의 종류만도 헤아릴 수 없이 많고, 실제 데이터 종류는 그 보다 매우 더 많다. 이러한 공정 변수 관련 핵심데이터를 기반으로 단위 공정을 최적화하고, 공정관리 요소를 DB화하면 개별 공정의 표준화를 진행할 수 있을 것이다[24].

문제는, ERP 또는 MES 시스템에서 취합하는 데이터는 대부분 주요장비 및 설비의 운전 데이터, 양품/불량 데이터, 조업현황 관련 데이터이며, 이러한 데이터만으로는 기업들이 진정 원하고 있는 공정 최적화 과정을 이루기 힘든 상황이다. 또한 대부분의 뿌리기술 공정은 제품의 lot별 관리나 각 제품별 데이터 분리 취득이 불가능한 공정들이 많이 포함되어 있어 MES의 기본적인 기능인 제조실행시스템 기반하의 안정적 생산관리 기능도 어려운 경우가 많은 실정이다.

3. 연구방법

뿌리산업의 스마트공장 실태를 분석하기 위하여 국가뿌리산업진흥센터의 뿌리산업 실태조사 데이터를 기반으로 실증분석을 수행하였다. 연구에 필요한 데이터는 뿌리산업 실태조사에 응답한 기업과 NICE평가정보의 신용정보 데이터를 기반으로 획득하였고, 조사기간은 2019년부터 2020년까지 2년으로 설정하였다.

Table 1은 변인별 조작적 정의를 나타내는데, 독립변수

Table 1. Operant definitions per variable

| Category | Variable name | Operant definition |
|-----------------------|--|---|
| Independent variables | Financial factors | Sales 2019–2020 Results – Natural logging |
| | | Business profits 2019–2020 Results – Natural logging |
| | | R&D cost results 2019–2020 Results – Natural logging |
| | Management factors | Scale of technical manpower 2019–2020 Results – Natural logging |
| | | Scale of functional manpower 2019–2020 Results – Natural logging |
| | | Establishment period Until the time of investigation |
| | | Status of exports 0 = No, 1 = Yes (Binary dummy variable) |
| Dependent variables | Operation of company-affiliated research institutes 0 = No, 1 = Yes (Binary dummy variable) | |
| | Smart factory implementation 0 = No, 1 = Yes (Binary dummy variable) | |
| Dependent variables | Status of the operation of smart factory | Collection of data 0 = No, 1 = Yes (Binary dummy variable) |
| | | Collection of data 0 = No, 1 = Yes (Binary dummy variable) |

Table 2. Cross-correlation analysis of the general characteristics of the surveyed Ppuri companies

| Category | | 2019 | | 2020 | | x ² | |
|---------------|------------------|-----------|-------|-----------|-------|----------------|-----------|
| | | Frequency | % | Frequency | % | | |
| Smart factory | Intention | No | 1,474 | 73.9 | 1,193 | 63.0 | 53.576*** |
| | | Yes | 520 | 26.1 | 700 | 37.0 | |
| | Already promoted | No | 1,539 | 77.2 | 1,283 | 67.8 | 43.187*** |
| | | Yes | 455 | 22.8 | 610 | 32.2 | |
| Total | | 1,994 | 100 | 1,893 | 100 | | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

는 재무요인과 관리요인으로 구성하였다. 재무요인은 매출액, 영업이익, 연구개발비 실적을 자연로그화 하였고, 관리요인은 기술직 인력규모, 기능직 인력규모를 자연로그화 하여 분석하였다. 이 때 설립기간은 조사시점까지의 기간으로 설정하였다. 각 기업의 수출 여부, 기업 부설연구소 운영 여부는 이분형 더미변수로 지정하여 분석과정에서 사용하였다.

3.1. 뿌리기업의 스마트공장 추진실태 분석

Table 2는 뿌리산업 분야의 스마트공장 추진실태를 나타내고 있다. 설문조사에 응답한 뿌리기업 중 분석대상에 포함된 뿌리기업은 총 3,887개였다. 뿌리기업 스마트공장 추진 의사가 있는 기업은 2019년도 520개(26.1%), 2020년도 700개(37.0%)로 조사되었고, 스마트공장 추진 여부는 2019년 455개(22.8%), 2020년 610개(32.2%)로 나타난다. 스마트공장 추진의사와 실제 추진 여부가 상호 유효한 요인인지를 확인하기 위하여 카이 제곱 검정을 활용하여 분석하였다[25]. 계산된 p-value 값을 바탕으로 스마트공장 추진의사와 추진 여부는 상호 유효한 요인임이 나타난다. 도출된 p-value 값이 0.001 보다 작게 나타나 추정 값이 틀릴 확률이 1%임을 알려주고 있다. 뿌리기업의 스마트공장 추진의사 및 추진 여부가 2019년 대비 2020년도에 증가하

고 있는 추세이다. 이는 뿌리기업의 스마트공장 필요성 및 관심이 증가하고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에 의하면 추진 의사가 있는 경우, 여러 가지 어려운 상황에도 불구하고 결국은 추진한다는 것을 알 수 있다. 반면 추진 의사가 있지만, 아직 추진하지 않고 있는 기업은 90여개로 전체의 5% 정도를 나타내고 있다. 추진을 희망하지만 아직 실행하지 못하고 있는 기업들의 이유를 현장에서 들어보면 정부 지원 대상에서 제외된 경우, 인력, 기계 부적합, 기업 문화 등 인프라 부족, 보안 등 기술유출에 대한 염려, 추진 후순위 등 4가지로 요약된다. 지원요건을 갖추고 실행 의지가 있는 기업이지만 아직 추진하지 못하고 있는 기업들에 대한 정밀한 지원 정책도 필요한 시점이다.

Table 3은 스마트공장 추진에 따른 관계를 확인하기 위한 교차 분석의 결과이다. 첫 번째로, 뿌리기업의 스마트공장 추진 방법에서는 정부지원이 743개(69.8%)로 대다수가 정부지원을 기반으로 추진하고 있는 것을 알 수 있다. 두 번째, 스마트공장 추진 목적으로는 생산성 향상이 755개(75.3%)로 가장 많았고, 세 번째, 스마트공장 구축의 애로 사항으로는 투자자금 부담이 602개(59.5%)로 가장 많이 나타난다. 요약하면, 뿌리기업의 스마트공장 구축은 생산성 향상을 목적으로 이루어지고 있으며, 투자자금 부담 등 애로 사항이 있어 대부분 정부 지원을 통해 이루어지

Table 3. Cross-correlation analysis performed on the company factors for the smart factory implementation

| Category | Smart factory implementation | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------|
| | No participation intention (%) | Participation intention (%) | |
| Method of smart factory | Government support | - (0) | 743 (69.8) |
| | Self-promotion | - (0) | 261 (24.5) |
| | Others | - (0) | 61 (5.7) |
| | Total | - (0) | 1,065 (100.0) |
| Purpose of smart factory | Productivity improvement | 161 (74.2) | 755 (75.3) |
| | Quality improvement | 22 (10.1) | 201 (20.0) |
| | Delivery time shortening | 12 (5.5) | 34 (3.4) |
| | Cost cutting | 11 (5.1) | 5 (0.5) |
| | Work environment improvement | 7 (3.2) | 2 (0.2) |
| | Business management | 3 (1.4) | 5 (0.5) |
| | Customers | 1 (0.5) | 1 (0.1) |
| | Total | 217 (100.0) | 1,003 (100.0) |
| | Chi-square (x^2) | 78.851*** | |
| Difficulties of smart factory | Lack of confidence | 462 (16.0) | 155 (15.3) |
| | Investment fund burdens | 1,706 (59.1) | 602 (59.5) |
| | Follow-up management burdens | 210 (7.3) | 174 (17.2) |
| | Concerns about technology leakage | 288 (10.0) | 10 (1.0) |
| | Lack of professional manpower | 151 (5.2) | 48 (4.7) |
| | Others | 68 (2.4) | 22 (2.2) |
| | Total | 2,885 (100.0) | 1,011 (100.0) |
| | Chi square (x^2) | 66.642*** | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

Table 4. Cross-correlation analysis performed on the collection and usage of data from the smart factory implementation

| Category | Smart factory implementation | | |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|
| | No participation intention (%) | Participation intention (%) | |
| Collection of data | No | 2,822 (100.0) | 455 (42.7) |
| | Yes | (0.0) | 610 (57.3) |
| | Total | 2,822 (100.0) | 1,065 (100.0) |
| | Chi square (x^2) | 3392.117*** | |
| Use of data | No | 2,822 (100.0) | 978 (91.8) |
| | Yes | (0.0) | 87 (8.2) |
| | Total | 2,822 (100.0) | 1,065 (100.0) |
| | Chi square (x^2) | 235.807*** | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

고 있는 것임을 알 수 있다.

Table 4는 뿌리기업의 스마트공장 추진 여부에 따른 데이터 수집 및 활용 여부 간의 관계를 확인하기 위해 교차 분석을 실시한 결과를 나타내고 있다. 첫 번째, 스마트공장을 추진하면서 610개(57.3%) 업체가 데이터 수집을 하고 있는 것으로 응답하였다. 두 번째, 스마트공장을 추진하면서 데이터 활용은 하지 않는다고 응답한 비율이 978개(91.8%)로 대부분 데이터 활용은 하지 않고 있는 것으로 조사되었다. 즉, 뿌리기업의 스마트공장 구축을 통하여 수집되는 데이터가 실제 활용으로는 전혀 이어지지 못한

다는 사실을 보여주고 있다.

Table 5는 인력, 재무 현황이 스마트공장 추진 여부에 미치는 영향을 분석하기 위하여 t-검정을 실시한 결과를 나타내고 있다. 본 연구에서 실시한 t-검정은 모집단의 구성요소들이 정규분포를 이룬다는 가정하에 비교분석을 실시하였고, 수집된 데이터가 정규분포를 만족하는지를 알아보기 위하여 정규성 검정을 실시하였다. 그 결과 신뢰구간을 95%로 가정하여 유의 확률이 0.05보다 크게 나타나고 있으므로 정규분포 특성을 만족한다는 것을 알 수 있다.

인력 현황을 정리해보면, 종사자는 평균 130.5명, 기술

Table 5. Comparison of financial and employee situations for the smart factory implementation

| Category | Smart factory implementation | | | | t(p) | |
|--------------------|--|-----------|--------------------|-----------|----------|------------|
| | Average | | Standard deviation | | | |
| | No promotion | Promotion | No promotion | Promotion | | |
| Manpower factors | Number of normal employees | 53.8 | 130.5 | 217.6 | 72.6 | -11.263*** |
| | Number of technical employees | 3.2 | 7.9 | 21.7 | 9.3 | -6.857*** |
| | Number of functional employees | 28.6 | 69.5 | 124.4 | 43.8 | -10.503*** |
| Management factors | Time of establishment (years) | 19.2 | 21.8 | 11.1 | 10.2 | -6.757*** |
| Financial factors | Sales (millions of KRW) | 22,851.3 | 55,858.1 | 114,884.6 | 50,063.2 | -9.057*** |
| | Exports (millions of KRW) | 12,174.6 | 24,812.9 | 53,489.3 | 26,323.9 | -5.262*** |
| | R&D investment costs (millions of KRW) | 356.3 | 810.6 | 2,252.8 | 1,315.6 | -6.195*** |
| | Business profits (millions of KRW) | 773.1 | 1,979.6 | 5,909.6 | 3,183.2 | -6.325*** |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

직 종사자 7.9명, 기능직 종사자 69.5명으로 분석되며, 종사자 수 및 기술직 종사자 수가 클수록 스마트공장 추진 경향이 크다고 볼 수 있다. 환경적 요인 중 설립기간을 분석해 보면, 추진하고 있는 기업은 평균 21.8년, 추진하지 않고 있는 기업은 평균 19.2년으로 분석되었고, 스마트공장 추진 여부에 따른 설립기간의 영향은 크지 않다고 판단된다. 스마트공장을 추진하고 있는 기업의 매출액은 평균 558억, 수출액은 평균 24억, 연구개발투자비는 평균 8억, 영업이익은 평균 19억으로 분석되었다. 반면, 스마트공장을 추진하지 않고 있는 기업은 매출액 평균 228억, 수출액 121억, 연구개발투자비 3억, 영업이익 7억으로 분석되었다. 즉, 매출액, 영업이익 등이 큰 기업일수록 스마트공장 추진 경향이 강해진다는 것을 알 수 있다.

3.2. 뿌리산업의 스마트공장 추진 및 운영에 대한 영향 관계 분석

본 연구의 모형 및 가설검증을 위하여 로짓 회귀 분석을 활용하였다. 독립변수로 크게 재무요인(매출액, 연구개발비, 영업이익, 수출여부)과 관료요인(기술직 인원, 기능직 인원, 설립기간, 기업부설연구소)을 설정하였다. 종속변수는 스마트공장 추진여부와 데이터 운영상황(데이터 수집여부, 데이터 활용여부)을 설정하여 분석을 진행하였다.

Table 6에 나타난 바와 같이, 유의수준 0.05에서 스마트공장 추진여부에 영향을 미치는 변수는 매출액, 수출여부, 기술직, 기업부설연구소가 유의적인 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 좀 더 구체적으로, 스마트공장 추진여부는 재무요인 중 매출액에 의해 통계적으로 유의한 정적 영향을 받고 있고, 수출을 많이 하는 기업이 상대적으로

Table 6. Influence of relationship regression analysis results on the smart factory implementation

| Category | Variable | B | Wals | Exp(B) |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| Financial factor | L Sales | 0.292** | 7.913 | 1.339 |
| | L R&D costs | 0.047 | 0.699 | 1.048 |
| | L Business profits | -0.111 | 3.008 | 0.895 |
| | Exports | 0.602*** | 18.222 | 1.826 |
| Management factor | L Technical manpower | 0.270** | 7.242 | 1.310 |
| | L Functional manpower | 0.188 | 3.608 | 1.206 |
| | Time of establishment | -0.004 | 0.406 | 0.996 |
| | Company-affiliated research centers | 0.351* | 5.248 | 1.420 |
| Constant term | | -4.638*** | 44.782 | 0.010 |
| Hosmer and Lemeshow | | Chi-square = 14.849 (p = 0.062) | | |
| -2 Log likelihood | | 1406.910 | | |
| Nagelkerke R-square | | 0.185 | | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

유의한 정적 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 상대적으로 연구개발비, 영업이익은 유의한 정적 영향이 낮게 나타난다. 관리요인에 있어 기능직보다는 기술직에 의해 통계적으로 유의한 정적 영향을 받고 있다. 실제 본 연구에서 의미하는 기술직은 현장에서는 연구직을 포함한 관리직, 영업직 등에 끌고루 포진되어 있는 이공계 4년제 대학 이상의 전문능력을 획득한 종사자를 의미한다. 이러한 기술직이 많은 기업일수록 스마트공장을 더욱 많이 추진하는 것으로 분석된다. 기업 부설연구소 설립 여부가 통계적으로 유의한 정적 영향을 받고 있으며, 기능직과 설립기간은 상대적으로 낮게 나타난다.

분석내용을 정리해 보면, 스마트공장을 추진하는 요인에 있어서는 매출액이 크고 수출을 많이 하는 기업, 기술직이 많고 기업부설연구소가 설립되어 있는 뿌리기업이 스마트공장 추진을 할 가능성이 높게 나타난다. 이러한 로짓회귀 모형의 Nagelkerke R-제곱근의 값은 0.185로서 모

형의 설명력은 18.5%이었다. 또한 적합도를 나타내는 Hosmer 검정 통계량은 $p > 0.05$ 으로 산출되어 적합한 모형인 것으로 파악되었다. 데이터 수집 여부에 대한 영향관계를 분석해보면 Table 7에 나타난 바와 같이 매출액, 수출여부, 기술직 항목이 유의한 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 구체적으로, 데이터 수집여부는 재무 요인 중 매출액과 수출 비율에 의해 통계적으로 유의한 정적 영향을 받고 있다. 또한 연구개발비, 영업이익은 유의한 정적 영향이 낮게 나타났다. 관리 요인중에서는 기술직 항목이 통계적으로 유의한 정적 영향을 받고 있는 것으로 나타나고, 기능직, 설립기간, 기업부설연구소 유무는 유의한 정적 영향이 상대적으로 낮게 평가된다. 이러한 로짓 회귀모형의 Nagelkerke R-제곱근의 값이 0.185로 모형의 설명력은 18.5%이다. 적합도를 나타내는 Hosmer 검정 통계량은 $p > 0.05$ 으로 나타나서 적합한 모형인 것으로 판단되었다. 데이터 활용 여부에 대한 영향 관계를 분석해 보면 Table 8

Table 7. Influence of relationship regression analysis results on the collection of data

| Category | Variable | B | Wals | Exp(B) |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| Financial factor | L Sales | 0.299** | 7.957 | 1.349 |
| | L R&D costs | 0.075 | 1.726 | 1.078 |
| | L Business profits | -0.099 | 2.319 | 0.905 |
| | Exports | 0.599*** | 17.542 | 1.819 |
| Management factor | L Technical manpower | 0.231* | 5.120 | 1.260 |
| | L Functional manpower | 0.195 | 3.716 | 1.215 |
| | Time of establishment | -0.003 | 0.238 | 0.997 |
| | Company-affiliated research centers | 0.308 | 3.839 | 1.361 |
| Constant term | | -5.016*** | 49.576 | 0.007 |
| Hosmer and Lemeshow | | Chi-square = 10.844 (p = 0.211) | | |
| -2 Log likelihood | | 1361.632 | | |
| Nagelkerke R-square | | 0.185 | | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

Table 8. Influence of relationship regression analysis results on the use of data

| Category | Variable | B | Wals | Exp(B) |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------|--------|
| Financial factor | L Sales | 0.145 | 0.261 | 1.156 |
| | L R&D costs | 0.023 | 0.023 | 1.023 |
| | L Business profits | -0.067 | 0.156 | 0.935 |
| | Exports | 0.502 | 1.707 | 1.653 |
| Management factor | L Technical manpower | 0.126 | 0.215 | 1.135 |
| | L Functional manpower | -0.091 | 0.120 | 0.913 |
| | Time of establishment | 0.004 | 0.046 | 1.004 |
| | Company-affiliated research centers | 0.243 | 0.298 | 1.275 |
| Constant term | | -5.127** | 7.527 | 0.006 |
| Hosmer and Lemeshow | | Chi-square = 11.236 (p = 0.189) | | |
| -2 Log likelihood | | 293.046 | | |
| Nagelkerke R-square | | 0.019 | | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

Table 9. Logit regression analysis results

| Dependent variables | | Smart factory implementation | | Collection of data | | Use of data | |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| Category | Variable | B | Exp(B) | B | Exp(B) | B | Exp(B) |
| Financial factors | L Sales | 0.292** | 1.339 | 0.299** | 1.349 | 0.145 | 1.156 |
| | L R&D costs | 0.047 | 1.048 | 0.075 | 1.078 | 0.023 | 1.023 |
| | L Business profits | -0.111 | 0.895 | -0.099 | 0.905 | -0.067 | 0.935 |
| | Exports | 0.602*** | 1.826 | 0.599*** | 1.819 | 0.502 | 1.653 |
| Management factors | L Technical manpower | 0.270** | 1.310 | 0.231* | 1.260 | 0.126 | 1.135 |
| | L Functional manpower | 0.188 | 1.206 | 0.195 | 1.215 | -0.091 | 0.913 |
| | Time of establishment | -0.004 | 0.996 | -0.003 | 0.997 | 0.004 | 1.004 |
| | Company-affiliated research centers | 0.351* | 1.420 | 0.308 | 1.361 | 0.243 | 1.275 |
| Constant term | | -4.638*** | 0.010 | -5.016*** | 0.007 | -5.127** | 0.006 |
| Hosmer and Lemeshow | | Chi-square = 14.849 (p = 0.062) | | Chi-square = 10.844 (p = 0.211) | | Chi-square = 11.236 (p = 0.189) | |
| -2 Log likelihood | | 1406.910 | | 1361.632 | | 293.046 | |
| Nagelkerke R-square | | 0.185 | | 0.185 | | 0.019 | |

***, **, and * show statistical significance at 1%, 5%, and 10%, respectively.

에서와 같이 재무요인이나 관리요인에는 어떠한 변수도 유의한 정적 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 즉, 기업의 모든 조건에 관계없이 구축된 스마트공장의 데이터 사용은 이루어지지 않는다는 사실이다. 이러한 로짓회귀 모형의 Nagelkerke R-제곱값은 0.019로 모형의 설명력은 1.9%로 분석되었다. 적합도를 나타내는 Hosmer 검정 통계량은 $p > 0.05$ 으로 나타나서 적합한 모형인 것으로 판단되었다.

Table 9의 연구결과에 따르면 스마트공장 추진에 영향을 미치는 요인은 매출액, 수출여부, 기술직, 기업부설연구소로 제시될 수 있다. 데이터 수집에 영향을 미치는 요인으로는 매출액, 수출여부, 기술직이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 데이터 활용에는 어떠한 변수도 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았다. 데이터 수집과 활용은 서로 다른 차원의 접근 방법이 필요하다고 사료되며, 구축된 스마트공장 데이터 수집의 의미가 무엇인지를 고민해야 할 시점이다.

4. 본 연구의 한계점

본 연구는 뿌리기업을 대상으로 한 스마트공장 추진실태를 분석하고 데이터 수집 및 활용에 영향을 미치는 요인과 관계를 규명한 연구라는 점에서 의의가 있을 수 있다. 하지만 전체 뿌리기업 3만여개 중 12%에 해당하는 뿌리기업을 대상으로 조사하였는데, 일부분의 기업체만을 대상으로 한 조사이기 때문에 일반화에는 한계가 있다. 또한, 독일, 미국 등 선진국의 스마트공장 구축 전략은 국내와 같은 정부주도의 중소기업 지원 방식 보다는 국가 연구소, 대기업과 관련 유관업체 컨소시엄 구성을 통한 장기

간 대형 R&D투자를 통한 실제적인 기술도출을 지향하기 때문에, 기업지원의 성과를 직접 비교하기 어려운 한계도 있다. 향후 연구결과를 일반화하기 위해서는 스마트공장을 구축, 운영하고 있는 다양한 산업 및 기업의 표본을 반영할 필요가 있다. 또한 본 연구에는 연구 모형에 있어서 한계를 가지고 있다. 스마트공장 구축에 영향을 미치는 선행요인과 결과변수는 매우 다양한 것으로 나타나고 있는데, 향후 스마트공장 구축에 영향을 받는 결과변수를 포함한 연구모형의 확정이 필요하다. 마지막으로, 독립변수, 매개변수 및 종속 통제간의 관계를 명확하게 하기 위해 재무지표 성장성, 수익성, 안정성, 활동성 등을 추가하고 기업별 가치사슬 분석을 위해 매출처, 매입처 같은 변수를 통제하는 추가적인 연구방법론이 필요하다고 사료된다.

5. 시사점

본 연구를 통하여 자본력이 있고 규모가 큰 기업일수록, 수출을 많이 할수록 기술직이 많을수록, 기업부설연구소를 운영하는 기업일수록 스마트공장 구축을 더욱 적극적으로 추진한다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 스마트공장을 추진하더라도 데이터 생산/수집에만 그칠 뿐 데이터 활용으로 이어지지 않는 한계가 있음을 알 수 있었다.

스마트공장 구현의 목표를 달성하기 위해서는 MES, ERP 시스템을 갖추는 것도 중요할 뿐만 아니라 첫째로 데이터 활용성을 높이는 연구개발 활동이 있어야 한다. 실제로 스마트공장을 추진하고 있는 기업들에게서 공통적으로 발견되는 특징은 현재 공장내 전 주기 제조실행시스템 설치 및 운영을 통한 생산라인 운용 최적화를 지향하지만, 단위 공정 최적화 기능이 전혀 없어 한계가 있다는 사실

이다. 실제 단위공정의 공정 지능 최적화를 위한 추가적인 기술적 개발 및 확산 노력이 필요한 이유이다. 실제로 공정최적화가 이루어져야만, 실제 데이터를 수집하고 활용하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통 및 판매 등 전 과정에 데이터를 기반으로 한 디지털 기술 접목이 효과적으로 가능해지고 기업은 수익성을 높일 수 있어, 스마트공장의 구축 효과가 중대하게 나타난다. 예를 들어 각 설비에 부착되는 IoT 센서 데이터 취득 모듈을 통해 실시간 공정변수 및 제품특성 관련 데이터 수집, 데이터 통신 및 formulation, augmentation 등을 통한 데이터 마이닝, 공정 최적화 지능형 솔루션을 얻을 수 있는 인공지능 기반 공정최적화 노력이 필수적으로 더해져야 한국형 스마트공장 사업의 성공을 앞당길 수 있다.

둘째 정부는 스마트공장 사업을 추진함에 있어서 모든 제조기업을 대상으로 하는 것 보다는 일정 규모(예: 50인 이상 등)가 있는 기업을 대상으로 했을 때 자체적 개선 효과 및 자체적인 공정 최적화 개발 가능성이 크다는 사실이다. 선택과 집중 전략을 통하여 기업별 획득 목표를 분명하게 설정하고, 기업의 정확한 실태 진단과 시스템 필요성 평가에 따른 기업맞춤형 ERP, MES 기반 공정최적화 설계 및 운용방안 확보, 모니터링 시스템 하에서의 공정최적화 또는 강건설계를 지향함이 좋다고 생각된다. 스마트공장 사업의 해당 요건에 맞지 않는 소외되는 기업에게는 각 기업의 취약한 부분의 개선을 지원해 주는 정책 및 프로그램을 마련하여 two track 전략으로 제조 중소기업의 지원을 하면 효과적인 것으로 사료된다. 즉, 강한기업은 스마트공장 기반 공정지능 최적화를 통한 혁신지원, 애로사항이 많은 기업은 그 사항을 핀셋 지원할 수 있는 취약 지원 프로그램 구축 및 실시를 제안한다.

6. 결 론

본 연구는 뿌리기업 스마트공장 추진 실태와 운영 상황에 미치는 영향 관계에 대하여 분석하였다. 또한 스마트공장 구축 실태를 파악하고 스마트공장 도입에 영향을 미치는 기업의 요인에 대한 실증 분석을 하였다. 주요 연구결과는 크게 세 가지로 요약된다. 첫째, 스마트공장 추진에는 매출액, 수출여부, 기술직 인원, 기업부설 연구소가 주요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 둘째, 데이터 수집에 있어서는 매출액, 수출여부, 기술직 인원이 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 셋째, 데이터 활용에 있어서는 어떠한 변수도 영향을 미치지 않았으며, 데이터 수집에서 활용까지는 전혀 이어지지 않는다는 것으로 밝혀졌다. 종합하면, 스마트공장을 추진하는 뿌리기업은 매출액이 크고 수출을 하고 있으며, 기술직 인원이 많고 기업

부설연구소를 가지고 있는 기업으로 조사되었고, 향후 취득한 데이터를 활용하여 공정지능 최적화 방안이 있어야 성공적인 뿌리기업 스마트공장 사업을 이룰 수 있다.

Acknowledgement

“이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 뿌리경쟁력강화 지원을 받아 수행된 연구임.”

References

- [1] B. Joseph Pine II: Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press (1992).
- [2] OECD: Shifting Gear: Policy Challenges for the next 50 Years, OECD Economics Department Policy Notes, (2014).
- [3] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Kukherjee and B. Yin: IEEE Access., **6** (2017) 6505.
- [4] D. Kolberg, J. Hermann and F. Mohr: Smart Factory System Architecture for Industries 4.0 Production Plants, (2018).
- [5] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee and B. Yin : IEEE Access., **6** (2018) 6595.
- [6] J. W. Byun: Cult. Ind. Res., **21** (2021) 143.
- [7] J. S. Park and J. W. Kang: Small Medium Bus. Res., **42** (2020) 117.
- [8] D. G. Choi: J. Electron. Eng., **45** (2018) 18.
- [9] C. Y. Sung: J. Kor. Soc. Ind. Acad. Tech., **20** (2019) 182.
- [10] J. S. Kim: Journal of Korean Soc. Precis. Eng., **20** (2020) 681.
- [11] H. W. Oh and J. D. Heo: J. Electron. Eng., **47** (2020) 33.
- [12] R. Lee and C. S. Kim: Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship, **15** (2020) 59.
- [13] Y. J. Cho: J. Inform. Sci., **35** (2017) 40.
- [14] J. Berthold and D. Imkamp: J. Sens. Sens. Syst., **2** (2013) 1.
- [15] A. Radziwon, A. Bilberg, M. Bogers, and E. S. Madsen: Procedia Eng., **69** (2014) 1184.
- [16] J.-R. Jiang: Adv. Mech. Eng., **10** (2018) 6.
- [17] S. D. Kim and I. J. Park: Journal of Surface Science & Engineering., (2019) 9.
- [18] J. Lee, H. Lee, S. Kim and S. Lee: J. Kor. Soc. Cast. Eng., **41** (2021) 26.
- [19] T. H. Kim, S. H. Koo and G. S. Ham: J. Comput. Sci. Eng., (2018) 1340.
- [20] J. H. Lee, E. R. Kim, S. R. Kim and Y. G. Kim: J. Kor. Internet Broadcast. Comm. Soc., **19** (2019) 229.
- [21] H. S. Shim and K. H. Choi: J. Kor. Soc. Living Environ. Syst., **28** (2021) 306.
- [22] K. H. Song, H. J. Jung and B. H. Kim: Journal of Korean Soc. Precis. Eng., (2020) 326.

- [23] S. H. Ahn, H. M. Choi, H. C. Tae and Y. J. Cho: Korean Reliability Society., (2019) 145.
- [24] J. Y. Hwang, S. Y. Shin and S. K. Kang: J. Kor. Inform. Comm. Soc., **25** (2021) 1525.
- [25] S. K. Hong, S. H. Lee and Y. S. Moon: Korea Information Science Society., **29** (2014) 225.