

# 스마트공장 지원 정부사업의 경제적 정책효과 분석

이기은 · 김민지 · 윤병운<sup>†</sup>

동국대학교 산업시스템공학과

## Analysis of the Economic Effect of the Smart Factory-supporting Government Programs

Keeun Lee · Minji Kim · Byungun Yoon

Department of Industrial & Systems Engineering, Dongguk University

The purpose of this study is to quantitatively analyze the policy effects in terms of macroeconomics for companies through smart factory-supporting programs of Korean government. For the analysis of economic effects, a total of two analysis methods are conducted. First, the trend, growth rate, and growth contribution were examined through the analysis of GDP contribution, and second, the production, value-added, employment inducement effects, and forward-backward linkage effects in the input-output model were examined. As a result, the average annual growth rate of companies that built smart factories was higher than GDP and manufacturing, and the contribution to economic growth was higher than that of some manufacturing industries. In forward-backward linkage effect, the influence coefficient was 1.2490 and the sensitivity coefficient was 2.2725, all higher than the average of 1. This means that companies that implement smart factories influence the domestic economy and affect other industries as core industries.

**Keywords:** Smart Factory, GDP Contribution, Economic Effect, Input-output Model, Forward-backward Linkage Effect

### 1. 서론

4차 산업혁명과 함께 지능형 정보기술의 발달에 따라 공장의 자동화 라인과 빅데이터를 활용하여 생산을 효율적으로 운영하는 스마트공장의 도입이 증가하고 있다. 스마트공장이란 모든 생산과정을 정보통신 기술로 통합한 첨단 지능형 공장으로, 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라 정부는 4차 산업혁명 시대를 선도하기 위해 스마트공장 보급 및 확산을 지원하고 있다. 먼저 '제4차 과학기술 기본계획'을 5년간(2018~2022) 수행하였으며, 초연결 네트워크 기반구축으로 개방형 플랫폼을 활용한 혁신 생태계를 구축하고자 하였다. 또한, 4차 산업혁명위원회는 2018년 '스마트 공장 확산 및 고도화 전략'을 발표하여 스마트

제조 혁신을 통해 중소 제조기업의 경쟁력을 강화하는 정책을 제시하였다. 중소기업벤처부와 산업통상자원부는 2018년 '중소기업 스마트 제조혁신 전략'을 통해 중소기업 스마트공장 3만개를 구축하여 중소기업 제조강국을 실현하겠다는 비전을 발표하였다.

매년 구축된 스마트공장의 양적증대에 따라 이에 대한 성과를 객관적으로 조사하고 사후관리 방안을 도출하는 연구가 진행되고 있다. 기존 연구들은 주로 생산성과 품질 향상 등의 공정개선과 고용 및 매출액 증가에 대한 경영개선 성과를 살펴 보았다. Son and Choi(2022)은 생산 효율적 측면에서 스마트공장이 긍정적인 효과가 있으며, 유지를 위해 실무현장의 교육 필요성을 강조하고 있다. Kang and Cho(2018)는 정부의 스마트 공장 구축 지원사업이 경영성장에 미치는 효과를 분석하였

이 논문은 2023년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2023S1A5A2A01075014).

<sup>†</sup> 연락저자 : 윤병운 교수, 04620 서울특별시 중구 필동로 1길 30 동국대학교 공과대학 산업시스템공학과, Tel: 02-2260-8743,

Fax: 02-2269-2212, E-mail: postman3@dongguk.edu

2023년 10월 4일 접수; 2023년 12월 1일 수정본 접수; 2023년 12월 11일 게재 확정.

고, 2년 후부터 매출액 증가율이 비지원 기업보다 더 큰 것으로 나타났다. Kim *et al.*(2019)은 스마트화 수준이 공장의 생산성 성과지표에 어떤 영향을 미치는지 추정된 결과, 생산품의 1일 생산량, 제품불량률에서 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 하지만 짧은 기간을 대상으로 하여 장기적인 생산성 증가 효과를 검증할 수 없었다는 한계점이 있었다. 또한 스마트공장이 여러 산업과 연계된 부가가치를 창출하고 있다는 점에도 불구하고 경제적 파급력과 타 산업과의 연관관계를 분석한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 스마트공장 보급·확산사업에 참여한 16,325개 스마트공장 도입기업을 대상으로 두 가지 경제적 파급효과 분석을 수행한다. 첫째, 스마트공장 도입기업의 성장률, 비중, GDP 대비 기여도 수치를 구하여 이들의 전반적인 현황과 국내 경제에 어느 정도 기여하고 있는지를 살펴본다. 이를 통해, 국내 GDP 성장에 어느 산업이 중요한 역할을 해왔는지 분석하고 스마트공장 도입기업의 위치를 확인할 수 있다. 둘째, 산업연관분석을 적용하여 스마트공장 도입기업의 생산·부가가치·고용 유발계수와 산업 간 연관관계를 살펴본다. 이를 위해, 스마트공장 도입기업들이 속한 산업을 고려하여 재분류하고 한국은행의 산업연관표를 활용한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제1장에서는 연구 목적을 소개하고 제2장에서는 GDP기여도 분석 및 산업연관분석을 활용한 기존의 선행연구를 살펴본다. 제3장에서는 본 연구에 적용한 GDP 기여도 분석 방법과 산업연관분석 모형에 대해 설명한다. 제4장에서는 GDP 기여도 분석과 산업연관분석 결과를 살펴본 후 마지막으로 제5장에서 본 연구의 결론과 스마트공장 도입기업의 경쟁력 강화를 위한 시사점을 제시한다.

## 2. 선행연구

### 2.1 스마트공장의 개념

4차 산업혁명과 주요 선진국들 기업의 디지털 산업혁신과 관련하여, 공장 시스템의 연결 및 지능화, 그리고 자동화는 중요한 부분으로 대두되고 있다. 제조업체들의 공장 프로세스를 디지털로 전환하고 인공지능을 적용하는 것은 새로운 생산 수준의 기회를 포착할 수 있게 되었으며, 이를 스마트공장이라 한다. 스마트공장을 통해 이해관계자들의 의사결정 결과를 공급망과 통합할 수 있게 되었고 이는 즉, 물리적 기계와 비즈니스 프로세스의 자동화 및 연결로 볼 수 있다(Lass and Gronau, 2020). 스마트공장은 물리적 기술과 디지털 기술을 통합하고, 휴먼 에러를 줄여 제조 프로세스의 성능, 품질, 제어 가능성, 관리 및 투명성을 향상시킨다(Kalsoom *et al.*, 2020). 초기의 디지털 혁명은 전자 및 IT를 활용하여 제조 공정의 자동화 및 제어를 강화하는 것에 초점을 두었으나, 현재는 사물인터넷이 도입되면서 중앙 집중식 공장 시스템에서 분산형 시스템으로

이동하게 되었다(Wilkesmann and Wilkesmann, 2018).

분산형 시스템으로 이동하면서 스마트 공장의 핵심 요소는 다음과 같다. 첫째, 스마트 공장의 핵심 기술 중 하나는 데이터 수집 기술이다(Kalsoom *et al.*, 2020). 데이터 수집 방법으로는 제조업의 생산 및 조립 라인에 부착하여 온도, 이상징후 등의 값을 수집하는 지능형 센서와 모터 및 로봇틱스 등이 있다(Benitez *et al.*, 2020). 둘째, 단일 스마트공장 개선뿐만 아니라 여러 스마트공장 간 연결성이 갖추어져야 한다. 고객 및 공급업체와의 연결을 통해 기업은 시장의 급변한 변화와 고객 요구에 적절히 대처할 수 있으며, 제조 공정에서는 다양한 제품 유형 및 가변적인 생산프로세스를 갖추는데 도움이 될 수 있다(Choy *et al.*, 2020). 전통적인 구조의 공장 시스템은 대량생산 및 생산 품질에 초점을 두는 반면, 스마트공장은 변화하는 요구에 학습하고 적응할 수 있는 운영 및 생산 시스템의 데이터의 원활한 연결에 중점을 두고 있다. 이는 제품의 계획부터 출고까지 실시간 추적과 설비의 유지보수, 재고 확인, 경영 운영의 디지털화 등 여러 활동을 가능하게 한다. 향후 스마트공장 내 기기를 상호 연결하면 정보 교환, 상황 인식 및 평가와 같은 의사결정 시스템, 물리적 세계와 디지털 세계를 통합할 수 있다(Dalenogare *et al.*, 2018). 마지막으로, 스마트 공장의 핵심 요소는 지능화이다. 로봇과 인공지능으로 스마트공장의 공정 간 자동화가 이루어질 수 있도록 하며, 인공지능 기술로 인간의 지적 능력을 통합하여 공장이 자체적으로 분석 및 의사결정을 수행할 수 있도록 한다. 그리고 가상현실 기술의 시뮬레이션으로 제조 공정을 가상화하여 자가진단 및 자가수리가 이루어져 공장의 자율운동을 가능하게 한다.

### 2.2 스마트공장 정책 동향

4차 산업혁명 기술은 여러 국가와 기업들이 경제 및 기업의 경쟁력 향상을 위해 고려해야 할 중요한 정책 및 대상으로 간주되고 있다(Kim, 2020). 여러 산업혁명 기술 중 스마트제조기술은 국가의 제조업 경쟁우위를 가질 수 있는 주요 성장 동력으로, 미국, 독일, 일본 등 주요 제조 선진국뿐만 아니라 중국 등 신흥 제조국에서도 이를 활용한 강화 정책을 수립하고 추진하고 있다(Kim and Lee, 2020). 독일은 2013년부터 ‘인더스트리 4.0’이라는 전략과 ‘플랫폼 인더스트리 4.0’ 정책을 추진하고 있다. 이는 스마트공장 전략으로, 제조업과 IT 산업의 융합을 통해 생산시설을 지능화하여 제조공정의 디지털 측면 개선, 표준화, 데이터 보안, 인력 육성 등을 핵심 내용으로 한다. 미국은 제조업의 리쇼어링을 지원하는 정책으로 첨단제조 및 스마트 제조 중심의 전략을 추진하고 있다. 연방 정부 주도의 연구개발 컨소시엄을 통해 지능형 시스템을 기업의 공장에 적용하고, IIC(Industrial Internet Consortium)와 같은 민간 기업의 스마트공장 강화 프로그램도 진행 중이다. 일본은 2013년 수립한 국가경쟁력 및 산업 성장전략인 ‘일본재흥전략(日本再興戦略)’을 시작으로, 2015년부터는 4차 산업혁명 개념을 적용

한 전략을 추가하였다. 현재 일본은 생산성 향상을 위해 2017년 ‘스마트팩토리 로드맵’ 전략을 추진하고 있다. 디지털 전환 전략으로 ‘선택과 집중’ 전략을 채택하였고, 일원화된 컨트롤 타워에서 집중적으로 육성하고 있다. 중국 정부는 빅데이터, 클라우드, 사물인터넷과 관련된 ‘인터넷 플러스’, ‘중국제조 2025’ 정책을 발표하였다. 이는 중국 내 제조업의 성장이 둔화되자, 4차 산업혁명 기술을 적용한 제조업 경쟁력 확보에 목표를 두고 있다. 독일의 ‘인더스트리 4.0’과 미국의 정책을 토대로 계획된 중장기 전략인 ‘중국제조 2025’는 제조업 디지털 경쟁력 향상과 고도화된 지능형 전환을 실현하고자 한다.

한국은 스마트제조혁신추진단을 통해 적극적으로 제조혁신 3.0을 추진하고 있다(Hahm, 2017). 2015년에 발표된 한국 정부의 ‘제조업 혁신 3.0 전략’은 스마트공장 보급 및 확산을 통해, 2020년까지 제조시설 1만 개로의 확장을 목표로 설정했다. 제조업 혁신 3.0은 독일의 전략을 토대로 계획된 목표이다. 한국 내 스마트공장은 도입 및 활용수준은 대기업과 일부 중견기업을 제외하고는 중소기업은 아직 시작 단계로 전반적으로 낮은 수준으로 평가되고 있다(Kim *et al.*, 2019). 또한 ‘ICT 융합형 스마트 팩토리’ 지원사업을 통해 2025년까지 3만 개의 스마트공장 공급을 목표로 설정하였다. 해당 사업은 IT/SW 융합을 통해 융합 신산업을 창출하여 새로운 부가가치를 생성하는 것에 초점을 두고 있다.

전 세계적으로 스마트공장은 다양한 기술 수준을 필요로 하며 기술 고도화에 따라서, 정부의 기술 역량 보급이 필요로 하고 있다. 또한, 정부의 스마트공장 질적 고도화 정책이 효과적으로 구현되기 위해서는, 중소기업이 직면할 수 있는 IT 전문 인력 부족, 하드웨어 및 소프트웨어 설치, 유지보수, 보안 문제 등에 대한 지원 방안 정책이 필요하다고 보고 있다(Chung and Park, 2021).

### 3. 분석 방법

본고의 경제적 정책효과 분석은 스마트공장 보급·확산사업 도입기업의 거시경제적 효과를 파악하기 위한 분석을 의미하며, GDP 기여도 분석과 산업연관분석으로 구분할 수 있다. GDP 기여도 분석으로 스마트공장 도입기업의 전반적인 현황과 국내 경제에 어느 정도 기여하고 있는지를 GDP와 제조업과 비교한다. 산업연관분석은 다양한 산업 분야에서 주고받는 영향을 파악하는 수단으로, 스마트공장 도입기업의 경제적 파급효과를 분석하고자 한다.

#### 3.1 GDP 기여도 분석 방법

GDP 기여도 분석이란, 최근 년도 GDP 중 스마트공장 도입기업의 기여도를 분석하고 기여도 향상에 대한 추이를 확인하는 것을 의미한다. 이를 위해 ① 연도별 GDP, 제조업, 스마트

공장 도입기업의 부가가치와 성장률을 확인하고, ② 스마트공장의 GDP 성장기여도를 연쇄시계열 성장기여도 계산법을 이용하여 도출하며, 최종적으로 ③ 제조업과 스마트공장 도입기업 간 성장기여도 추이를 비교한다.

본고는 스마트공장 도입기업의 경제성장률과 같은 시계열 자료의 변동을 분석하기 위해, 성장기여도를 파악하였다. 성장기여도는 특정 부문이 전체 경제에 얼마나 기여했는가를 보여주는 지표로, 성장률과 함께 부문별 현황을 파악하는데 활용된다. 전년도 기준년 가격 국내총생산에 대한 각 경제활동별 실질 부가가치 증가액의 백분위로, ‘연쇄시계열 성장기여도’ 계산방법을 이용하여 스마트공장 도입기업의 GDP 기여도를 산출한다. 연쇄시계열 성장기여도란, 연쇄가중법에 의한 기여도 계산을 포함한 방법으로 시간이 흐름에 따라 기준년이 직전년으로 매년 변경되는 것처럼 연쇄시계열 자료를 이용하여 기여도를 측정하는 방법을 의미한다. 본 분석은 한국은행에서 연간 성장기여도를 측정할 때 사용되는 PCh(Previous year price Chained) 방법을 사용하며, 수식은 아래 식 (1)과 같이 정의된다(Jeon and Kang, 2008; Choi and Min, 2020; Jung, *et al.*, 2015).

$$C^{PCh}(Y, X)_y = \frac{Y_y^{CLV} - Y_{y-1}^{CLV}}{Y_{y-1}^{CLV}} \times \frac{Y_{y-1}^{CP}}{X_{y-1}^{CP}} \quad (1)$$

여기서,  $C^{PCh}(Y, X)_y$ 는  $y$ 년 총량  $X$ 의 연간성장률에 대한 부문  $Y$ 의 PCh 산식으로 계산한 연쇄시계열 성장기여도 값, 총량  $X$ 는 전체 GDP,  $Y$ 는 스마트공장 도입기업의 부가가치,  $Y_y^{CLV}$ 와  $Y_{y-1}^{CLV}$ 는  $y$ 년과  $y-1$ 년의 연쇄가중법에 의한 실질금액(Chain-Linked Volumes: CLV),  $Y_{y-1}^{CP}$ 는  $y-1$ 년의 명목금액(Volume at Current year Price: CP)를 의미한다.

#### 3.2 산업연관분석 방법

정부 사업으로 지원받은 스마트공장을 도입기업으로 인한 파급효과를 산업연관분석을 통해 파악하였다. 산업연관분석이란, 한 국가 경제에 존재하는 서로 다른 산업 간의 상호의존 관계를 수량적으로 분석하는 방법을 의미한다. 이 방법은 산업간 주고받는 영향을 파악할 수 있다는 장점을 지니며, 다양한 산업 분야에서 경제적 파급효과를 알아보기 위한 수단으로 활용되고 있다(Ryu and Jeong, 2022). 본 연구에서 산업연관분석은 (1) 산업 재분류 및 통합 단계, (2) 양비례조정법(RAS)을 통한 2021년 산업연관표 작성 단계, (3) 수요유도형 모형과 전후방연쇄효과 분석을 통한 파급효과 도출 단계로 진행된다.

##### (1) 산업 재분류 및 통합

산업연관분석을 위해 고려해야 할 사항은 경제적 함의를 어느 수준에서 도출하고 이에 따라 부문을 어떻게 통합 또는 분류하느냐 결정하는 것이다(Lee *et al.*, 2014). 공식통계로 발표

된 투입산출표(Input-Output Table)는 「상품×상품」 행렬 형식의 통계표로 스마트폰, 자동차와 같이 소비자가 거래하는 단위인 재화와 서비스의 표준분류로 작성되어 있다. 이때, 정형화된 분류이므로 다양한 분야와 특정 목적에 모두 부합하기 어려운 한계점이 있다. 381개 내외 부문분류를 갖고 있는 투입산출표의 기본부문으로 분석하는 경우, 내생부문 행렬이 크기 때문에 행렬 연산과 결과 해석에 어려움이 있으며 차원이 큰 행렬의 연산 결과를 이용하면 함의를 찾기가 쉽지 않다.

스마트공장 도입기업의 업종은 통합대분류 30개로 부문분류 개수 중 90%를, 제조업에서 100%를 차지한다. 일부분 산업끼리 통합할 수 있지만, 대부분의 산업부문이 많이 통합된 표라면 투입산출표가 갖는 다부문에 기반한 경제분석의 장점이 약화된다. 이런 이유로, 산업연관표 재분류 방법은 ‘통합대분류 투입산출표에서 분석 대상인 특정 부문들을 분리하는 방식’을 활용한다. 해당 방식은 분석 대상인 특정 부문들을 도출하는 방식으로, Hong *et al.*(2019)은 스마트 팜 산업을 재분류하였고, Ryu and Jeong(2022)는 로봇산업 특수분류체계표를 근거로 서비스 로봇산업을 재분류하여 경제적 파급효과를 분석하였다.

본 연구에서도 새로운 스마트공장 도입기업으로 구성된 부문분류를 도출하기 위해 투입산출표의 행과 열을 통합하였다. 다음과 같이 3개 부문으로 구성된 원래의 행렬 Z를 예로 들어 부문 통합 방법 수식을 나타내면 다음 식 (2)와 같다(Kim, 2021).

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

원래 행렬에서 부문 1과 부문 2를 통합한다면, Z의 제1열과 제2열을 더한 후 다시 1차 통합된 행렬로부터 제1행과 제2행을 더하

여 최종적인 행렬을 구한다. 이 방법을 통하여 Z의 부문 1과 부문 2를 통합한 행렬을 Z\*로 표기하고 Z\*의 원소  $z^*_{ij}$ 로 구성된 행렬을 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다(Kim, 2021).

$$Z^* = \begin{bmatrix} z^*_{11} & z^*_{12} \\ z^*_{21} & z^*_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} + z_{12} + z_{21} + z_{22} & z_{13} + z_{23} \\ z_{31} + z_{32} & z_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

본 연구에서 산업연관표 재분류 방법은 총 3단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 10차 한국표준산업분류의 중분류 업종코드와 산업연관표 통합중분류 및 통합대분류와 연계한다. 한국표준산업분류, 국제표준산업분류, 수입품목분류 등 각종 분류 체계는 통계 자료 작성에 활용되며, 국내 산업 통계는 한국표준산업분류에 따라 각 산업별 고용, 매출 등의 통계 자료가 작성된다(Park, 2022). 그리고 산업연관표는 모든 산업의 전체 경제 활동을 파악하기 위하여 국가 경제에서 일어난 재화나 서비스 거래를 하나의 표로 나타낸 것을 의미하며, 이를 기초로 국가 경제의 움직임이나 연관 관계를 규명할 수 있다(Leontief, 1936). 스마트공장 도입기업의 59가지 한국표준산업분류 중분류 업종코드와 산업연관표의 분류와 연계하여 향후 분석을 위한 스마트공장 도입기업의 부문을 확인한다.

두 번째 단계는 스마트공장 도입기업의 부문을 설정하고, 각 부문별 비율을 도출한다. 최종적으로 해당 분석에서 세분화하고자 하는 스마트공장 도입기업의 부문을 비제조업까지 포함하여 총 30개 부문으로 전체 산업연관표 통합대분류의 90%를 차지한다. 본 분석에서는 30개 스마트공장 도입기업 부문을 통합하여 하나의 스마트공장 도입기업 부문을 추가하기 위해, 각 부문별 스마트공장 도입기업의 매출액 비율을 이용한다. 각 부문별 매출액 비율은 2019년 통계청 전국사업체 조사에서 산업중분류별 매출액과 스마트공장 도입기업의 매출액 비중을 적용하여 산정하였다.

**Table 1.** Linkage between Korean Standard Industrial Classification and Industry Association for Smart Factory Adopters

Korean Standard Industrial Classification of Smart Factory Introducing Companies (Criteria for Middle Classification)		Current Input-Output Table (Consolidated Intermediate Classification Standards)	Current Input-Output Table (Based on Integrated Major Classification)
Manufacturing Industry			
1	Manufacture of food products	Food products	Food products, beverages and tobacco
2	Manufacture of beverages	beverages	
3	Manufacture of tobacco	tobacco	
4	Manufacture of textile; excluding clothing	Textiles, textile products	Textiles, textile products, leather and footwear
5	Manufacture of clothing, clothing accessories and fur products		
6	Manufacture of Leather, bags and shoes		
7	Manufacture of wood and wood products; excluding furniture	Wood and wood products	Wood and products of wood and cork
8	Manufacture of pulp, paper and paper products	Pulp and paper products	
9	Print and Record Media Replication industry	Print and record media replication	



**Table 1.** Linkage between Korean Standard Industrial Classification and Industry Association for Smart Factory Adopters(Continued)

Korean Standard Industrial Classification of Smart Factory Introducing Companies (Criteria for Middle Classification)		Current Input-Output Table (Consolidated Intermediate Classification Standards)	Current Input-Output Table (Based on Integrated Major Classification)
11	Manufacture of chemicals and chemical products	Basic chemicals	Chemicals and chemical products
		Synthetic resin and synthetic rubber	
		Chemical fiber	
		Fertilizers and pesticides	
		Other Chemicals	
12	Manufacture of medical materials and medicines	Medicines	Chemicals and chemical products
13	Manufacture of rubber and plastic products	Plastic goods	
		Rubber products	
14	Manufacture of other non-metallic mineral products	Glass and glass products	Other non-metallic mineral products
		Other non-metallic mineral products	
15	Manufacture of basic metals	Primary steel product	Basic metals
		Nonferrous metal bars and primary products	
		Metal casting	
16	Manufacture of metalworking products; excluding machinery and furniture	Metal processing products	Fabricated metal products
17	Manufacture of electronic components, computer, precision and optical instruments equipment	Semiconductor	Computer, Electronic and optical equipment
		Electronic display	
		Other electronic components	
		Computers and Peripherals	
18	Manufacture of Healthcare, precision, optical instruments and watch	Telecommunications, Broadcasting and Video, Sound equipment	Computer, Electronic and optical equipment
		Precision instrument	
...	...	...	...
25	Manufacture of other machinery and equipment	Maintenance and repair services of industrial machinery and equipment	Maintenance and repair services of industrial machinery and equipment
<b>Non-Manufacturing Industry</b>			
26	Agriculture, farming, farming industry	Agriculture products	Agriculture, forestry and fishing
		livestock products	
		forestry products	
		fishing products	
		Agriculture, Forestry and Fisheries Services	
27	Non-metallic mineral mining ; excluding fuel	Coal, crude oil and natural gas	Mining and quarrying
		Metallic and non-metallic minerals	
...	...	...	...
57	Associations and organizations	Social organization	Other services activities
58	Personal and consumer goods repair activities	Automobile and consumer goods repair and personal services (automobile and consumer goods repair services)	
59	Other personal service activities	Repair of automobiles and consumer goods and personal services (personal services)	

※ If it falls under the integrated sub-classification among the contents of the ‘Current Input-Output Table (based on integrated middle classification)’, it is indicated in parentheses.

마지막 세 번째 단계는 최종 수정된 산업연관표 도출하는 것이다. 최종적인 스마트공장 도입기업 세분화 산업연관표의 부문분류는 스마트공장 도입기업 내역과 그렇지 않은 부문으로 구분될 수 있다. 기존 33개 부문인 산업연관표에서 ‘스마트공장 도입기업’을 추가하여 총 34개 부문으로 수정된 산업연관표를 도출한다.

(2) 양비례조정법(RAS)을 통한 2021년 산업연관표 작성

양비례조정법(biproportional adjustment method; 도출하는 식의 표기를 따서 ‘RAS’라고 명칭)이란, 기준 시점의 투입계수행렬을 이용하여 비교 시점의 투입계수행렬을 예측하는 데 이용하는 수학적 방법론을 의미한다. RAS 방법을 적용하기 위해서는, 기준 시점의 투입계수행렬, 비교 시점에서의 부문별 중간수요계와 중간투입계, 총산출액이 존재하여야 한다. 본 분석의 기준시점은 2019년 수정된 산업연관표(스마트공장 도입기업 포함)이고, 비교시점은 2020년 및 2021년으로 설정한다(<Figure 1>).

< Base point of input-output table >

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Total intermediate demand	Total Output
Sector 1	80	120	40	240	400
Sector 2	120	60	20	200	300
Sector 3	80	30	60	170	200
Total intermediate inputs	280	210	120		

< Comparison point of input-output table >

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Total intermediate demand	Total Output
Sector 1				280	400
Sector 2				240	400
Sector 3				200	300
Total intermediate inputs	320	280	120		

Figure 1. Input-Output Tables for RAS Analysis

비교시점의 투입계수행렬 도출 수식은 다음 식 (4)와 같다 (Stone, 1963; Bank of Korea, 2014; Kim, 2021).

$$A_1 = Z^{(5)}(\hat{X}) - 1 = \hat{R}^{(2)} \hat{R}^{(1)} A_0 \hat{S}^{(1)} \hat{S}^{(2)} = \hat{R} A_0 \hat{S} \quad (4)$$

여기서,  $A_1$ 는 비교 시점의 투입계수행렬,  $Z^{(n)}$ 는 비교 시점에서의 중간재 거래 행렬,  $\hat{X}_1$ 는 비교 시점의 총산출액 벡터의 대각행렬,  $\hat{R}^{(n)}$ 는 n차 행수정계수 벡터의 대각행렬,  $\hat{S}^{(n)}$ 는 n차 열수정계수 벡터의 대각행렬을 의미한다.

양비례조정법을 통한 2021년 산업연관표 작성은 두 단계를 통해 이루어진다. 첫 번째 단계는 비교 시점 추계를 위한 연도별 증가율 도출한다. 비교 시점(2021년)의 값들을 추계하기 위해, ① 스마트공장 도입기업의 증가율은 한국기업데이터로부터 추출한 2019년부터 2021년까지의 전체 스마트공장 도입기

업의 매출액 증가율을 이용하고, ② 다른 구분들은 관련 산업의 2019년부터 2021년까지의 매출액 증가율을 활용한다. 두 번째 단계는 비교 시점의 총산출액, 중간수요계, 중간투입계 도출한다. 증가율을 이용하여 2019년 산업연관표의 총산출액으로 2021년 산업연관표의 총산출액을 추정한다. 그 결과, 2021년 추정 산업연관표의 총산출액은 2019년 총산출액보다 14.18% 증가한 값으로 나타났다. 비교시점의 산업연관표 중간수요계는 총산출액과 마찬가지로 매출액 배분비율로 각 부문별 중간수요계를 도출한 후, 증가율을 이용하여 추정하였다. 중간투입계의 합계는 중간수요계의 합계와 동일하며, 중간투입계 값은 기존 값과 총산출 값 간의 비율로 계산하였다.

(3) 수요유도형 모형과 전후방연쇄효과 분석을 통한 파급효과 도출 방법

스마트공장 도입기업의 파급효과 분석 결과는 ① 수요유도형 모형 기반 생산, 부가가치, 고용 유발효과와 ② 전후방연쇄효과 분석 기반 타 산업과의 연관관계로 구분된다. 수요유도형 모형 분석이란, 스마트공장 도입기업이 국내 경제에 미치는 파급력을 생산, 부가가치, 고용 측면에서 측정하며 각각 수식은 다음 식 (5), 식 (6), 식 (7)과 같다(Kim, 2021).

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} A_k^e \Delta X_k \quad (5)$$

여기서,  $\Delta X^e$ 는 생산유발효과,  $A^e$ 는 투입계수행렬  $A$ 에서  $K$ 부분이 포함된 열과 행을 제외시킨 행렬,  $A_k^e$ 는 투입계수행렬  $A$ 에서  $K$ 부분을 나타내는 열벡터 중에서  $K$ 부분 원소를 제외한 열벡터,  $X_k$ 는  $K$ 부분의 투자액을 의미한다.

$$\Delta W^e = \hat{V}^f (I - A^e)^{-1} A_k^e \Delta X_k \quad (6)$$

여기서,  $\Delta W^e$ 는 부가가치유발효과,  $\hat{V}^f$ 는 부가가치계수의 대각행렬에서  $K$ 부분의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬을 의미한다.

$$\Delta N^e = \hat{n}^e (I - A^e)^{-1} A_k^e \Delta X_k \quad (7)$$

여기서,  $\Delta N^e$ 는 고용유발효과,  $\hat{n}^e$ 는 고용유발계수의 대각행렬에서  $K$ 부분의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬을 의미한다.

전후방연쇄효과분석이란, 스마트공장 도입기업의 최종수요 증가가 전 산업부문에 미치는 연관관계를 ‘감응도’와 ‘영향력’ 정도로 측정하여 판단하는 방법론이다. 전방연쇄효과는 영향력 계수를 이용하며 특정 부문의 산출물이 여타 부문의 생산활동을 위하여 중간재로 판매된 정도를 측정한다. 후방연쇄효과는 감응도 계수를 이용하며 특정 부문이 생산활동을 위하여 여타 부문으로부터 중간재를 구매한 정도를 측정한다 (Kwon, 2020). 감응도계수( $S$ )는 모든 산업부문의 생산물에 대한 최종 수요가 각각 한 단위씩 증가하였을 때 어떤 산업이 받는 영향으로 전방연쇄효과의 정도를 측정하며, 수식은 다음

식 (8)과 같다(Sin, 2019).

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n A_{ij}} \quad (8)$$

여기서, n개의 산업 내  $A_{ij}$ 는 i번째 행산업과 j번째 열산업의 생산유발계수를 의미한다.

영향력계수(I)는 어떤 산업부문의 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 증가하였을 경우 전산업부문에 미치는 영향으로 후방연쇄효과의 정도를 측정하며, 수식은 다음 식 (9)와 같다.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n A_{ij}} \quad (9)$$

여기서, n개의 산업 내  $A_{ij}$ 는 i번째 행산업과 j번째 열산업의 생산유발계수를 의미한다.

#### 4. 경제적 정책효과 분석 결과

##### 4.1 GDP 기여도 분석 결과

GDP 기여도 분석 결과 중 명목 GDP와 제조업 및 스마트공장의 명목 부가가치에 대한 추이는 <Table 2>에서 확인할 수 있다. 스마트공장 도입기업의 부가가치는 2021년까지 지원받은 전체 16,325개 기업에 대해 분석한 결과, 2014년 48.2조 원에서 2021년 74조 원으로 꾸준히 증가하고 있으며, GDP 대비 비중은 3.1%에서 3.6%로 상승했다. 연도별 누적으로 지원받은 스마트공장 부가가치는 2014년 0.9조 원에서 2021년 74조 원으로, 평균 GDP 대비 비중은 2014년 0.1% (275개 기업)에서 2021년 3.6% (16,325개 기업)으로 상승했다.

GDP 기여도 분석 결과 중 실질 GDP와 제조업 및 스마트공장의 실질 부가가치에 대한 추이 그리고 성장률은 <Table 3>에서 확인할 수 있다. 2014년부터 2021년까지 도입기업의 부가가치 평균 성장률은 5.6%로 GDP 평균 성장률(2.6%)과 제조업 평균 성장률(2.6%)보다 높게 나타났다. 이때, 스마트공장 도입기업이 2021년 성장률 -0.9% 하락하였으며, 이 원인은 코로나와 인플레이션으

**Table 2.** Trends of Nominal GDP and Value Added

(Unit: KRW 1 trillion, %)									
Type	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Average
nominal GDP	1562.9	1658	1740.7	1835.6	1898.1	1924.4	1940.7	2071.6	1829
manufacturing, nominal value added	422.6	441.1	458.8	494.6	505.6	485.4	480.9	527.4	477.1
% of GDP	29.5	29	28.8	29.5	29.1	27.5	27.1	27.9	28.6
All of Smart Factory, nominal value added, (n=16,325)	48.2	52.9	56.3	59.5	62.2	65.2	72.9	74	61.4
% of GDP	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.8	3.6	3.3
Cumulative number of Smart Factory, nominal value added	0.9 (n=275)	6 (n=1,180)	14.1 (n=2,627)	26 (n=4,478)	34.8 (n=6,825)	46.6 (n=9,696)	65.2 (n=13,919)	74 (n=16,325)	-
% of GDP	0.1	0.4	0.8	1.4	1.8	2.4	3.4	3.6	-

**Table 3.** Trends in Growth Rate of Companies Introducing Smart Factories

(Unit: KRW 1 trillion, %)									
Type	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Average
real GDP	1612.7	1658	1706.9	1760.8	1812	1852.7	1839.5	1915.8	1769.8
growth rate(%)	3.2	2.8	2.9	3.2	2.9	2.2	-0.7	4.1	2.6
manufacturing, real value added	433.9	441.1	451.3	468.1	483.5	488.9	483.7	517	470.9
growth rate(%)	3.2	1.7	2.3	3.7	3.3	1.1	-1.1	6.9	2.6
All of Smart Factory, real value added, (n=16,325)	49.8	52.9	55.2	57.1	59.4	62.8	69.1	68.4	59.3
growth rate(%)	11.8	6.3	4.4	3.5	4	5.7	10.1	-0.9	5.6
Cumulative number of Smart Factory, real value added	0.9 (n=275)	6 (n=1,180)	13.9 (n=2,627)	25 (n=4,478)	33.2 (n=6,825)	44.9 (n=9,696)	61.8 (n=13,919)	68.4 (n=16,325)	-
growth rate(%)	-	540.4	130.6	80.2	33	35.1	37.8	10.7	-

로 인한 재고상승으로 볼 수 있다. 2020년 코로나19에 따른 충격이 소비 부진에 큰 영향을 미쳐 전체적인 GDP 성장률이 하락하였고 이는 재고를 증가시켜 차년도의 생산 활동이 줄어들었다. 소비 부진으로 기업의 제품 재고가 늘어나면서 스마트공장 도입기업의 2021년 재고에 대한 투자가 전년도보다 줄어들어 부가가치 성장률 감소에 영향을 미쳤다.

스마트공장 도입기업의 GDP 성장기여도는 <Table 4>에서 확인할 수 있다. 국민경제에 스마트공장 도입기업의 국내 경제성장 기여도는 평균 0.2%p로, 타 제조업 분야(컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업 제외)보다 높게 나타났다. 제조업 중분류업종의 GDP 성장기여도는 컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업(0.5%p)이 가장 높으며, 화학물질 및 화학제품 제조업과 기계 및 장비 제조업(0.1%p) 순으로 높게 나타났다.

**4.2 산업연관분석 결과**

**(1) 산업 재분류 및 통합 결과**

산업 재분류 및 통합을 위해 스마트공장 도입기업의 부문을 설정하고, 각 부문별 스마트공장의 매출액 비율을 한국표준산업분류 중분류 업종코드 기준으로 도출하였다(<Table 5>). 그 결과, 제조업에서 스마트공장 도입기업이 배분받는 대상부문은 음식료품(23.52%), 섬유 및 가죽제품(11.18%), 목재 및 종이, 인쇄(33.88%), 석탄 및 석유제품(0.36%), 화학제품(19.47%), 비

금속광물제품(21.31%), 1차 금속제품(10.86%), 금속가공제품(47.90%), 컴퓨터, 전자 및 광학기기(7.22%), 전기장비(27.45%), 기계 및 장비(40.14%), 운송장비(18.56%), 기타 제조업 제품(27.40%), 제조임가공 및 산업용 장비 수리(6.61%)가 있다. 비제조업에서 스마트공장 도입기업이 배분받는 대상부문은 농림수산물(6.35%), 광산물(0.46%), 전력, 가스 및 증기(0.08%), 수도, 폐기물처리 및 재활용서비스(2.29%), 건설(1.07%), 도소매 및 상품중개서비스(0.79%), 운송서비스(0.12%), 음식점 및 숙박서비스(0.01%), 정보통신 및 방송 서비스(0.28%), 부동산서비스(0.03%), 전문, 과학 및 기술 서비스(0.18%), 사업지원서비스(1.03%), 기타 서비스(4.60%)가 있다.

(2) 양비례조정법(RAS)을 통한 2021년 산업연관표 작성 결과 양비례조정법을 이용하는 이유는 2020년~2021년 산업연관분석을 수행해야 하지만 현재 산업연관표는 2019년까지 공개된 상태이다. 이런 데이터의 한계점으로 2019년 이후의 분석은 RAS 방법으로 성과를 추정하여 분석하였다. RAS 분석 후 중간투입계와 중간수요계를 모두 만족하는 중간재 거래 행렬을 도출하기 쉽지 않으므로 수렴조건은 0.000001로 설정하였다. 증가율을 이용하여 2019년 산업연관표의 총산출액으로 2021년 산업연관표의 총산출액을 추정한 결과, 2021년 추정 산업연관표의 총산출액은 2019년 산출액보다 14.18% 증가한 것으로 나타났다.

**Table 4.** Contribution to GDP of Manufacturing and Smart Factory

Type	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Average
Contribution of Manufacturing Industry (%p)	0.9	0.5	0.6	1	0.9	0.3	-0.3	1.7	0.7
Contribution of Smart Factory (%p)	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0	0.2
Contribution of manufacturing industry list(%p)									
Manufacture of beverages and food products	0	0	0	0	0	0	0	0	0
textiles and manufacture of leather articles	0	-0.1	-0.1	0	0	-0.1	-0.1	0	-0.1
Manufacture of wood, paper, printing and Manufacture of wearing apparel products	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
Manufacture of coke and refined petroleum products	0.1	0	0.1	0	-0.1	0	-0.1	0	0
Manufacture of chemicals and chemical products	0.1	0.2	0	0.1	0.1	0	0	0.2	0.1
Manufacture of other non-metallic mineral products	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0
Manufacture of basic metals	0.1	0	0	0	-0.1	0	0	0.1	0
Manufacture of fabricated metal products	0.1	0.2	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0
Manufacture of electronic components, computer, precision and optical instruments equipment	0.4	0.1	0.6	0.3	0.9	0.5	0.3	0.8	0.5
Manufacture of electrical equipment	0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0
Manufacture of other machinery and equipment	0	0	-0.1	0.5	0	0	0	0.3	0.1

**Table 5.** Calculating the Proportion of Divisions Including Smart Factory Adopters

(Unit: million won)

Type		Total sales in 2019 <sup>1)</sup>		Distribution Ratio (Total = 1)	
		The entire	Smart Factory Adopters <sup>2)</sup>	The whole industry	Smart Factory Adopters
1	Food products, beverages and tobacco	93,148,360	21,910,003	0.7648	0.2352
2	Textiles, textile products, leather and footwear	54,861,102	6,135,391	0.8882	0.1118
3	Wood and products of wood and cork	27,559,378	9,336,352	0.6612	0.3388
4	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel	139,951,762	509,112	0.9964	0.0036
5	Chemicals and chemical products	306,158,488	59,623,661	0.8053	0.1947
6	Other non-metallic mineral products	31,209,284	6,649,730	0.7869	0.2131
7	Basic metals	170,481,807	18,515,685	0.8914	0.1086
8	Fabricated metal products	41,848,632	20,046,479	0.5210	0.4790
9	Computer, Electronic and optical equipment	482,136,766	34,819,139	0.9278	0.0722
10	Electrical equipment	75,103,335	20,615,977	0.7255	0.2745
11	Other machinery and equipment	94,400,565	37,894,004	0.5986	0.4014
12	Other transport equipment	365,824,700	67,893,458	0.8144	0.1856
13	Other manufacturing	10,695,997	2,930,909	0.7260	0.2740
14	Maintenance and repair services of industrial machinery and equipment	2,930,062	193,693	0.9339	0.0661
15	Agriculture, forestry and fishing	12,770,943	810,478	0.9365	0.0635
16	Mining and quarrying	4,425,349	20,278	0.9954	0.0046
17	Electricity, gas and water supply	150,650,578	121,461	0.9992	0.0008
18	Collection, purification and distribution of water	26,741,446	611,661	0.9771	0.0229
19	Construction	385,823,922	4,115,096	0.9893	0.0107
20	Wholesale and retail trade	1,289,867,149	10,211,717	0.9921	0.0079
21	Transportation and storage	217,222,793	250,167	0.9988	0.0012
22	Accommodation and food service	158,565,205	18,730	0.9999	0.0001
23	Information and communication	169,927,169	474,966	0.9972	0.0028
24	Financial and insurance activities	891,998,566	7,337	1.0000	0.0000
25	Real estate activities	131,492,705	39,255	0.9997	0.0003
26	Professional, scientific and technical activities	226,608,156	417,308	0.9982	0.0018
27	Business support services	91,328,490	944,637	0.9897	0.0103
28	Education	136,250,421	2,253	1.0000	0.0000
29	Human health and social work	150,908,236	5,149	1.0000	0.0000
30	Other services activities	55,286,147	2,545,299	0.9540	0.0460
Excluding smart factory companies		198,920,440	0	1.0000	0.0000
Total		6,195,097,953	327,669,385	-	-

1) Since the most recent industry-related table is 2019, this distribution ratio is also based on sales in 2019, and the sales data is based on the integrated major classification of the industry-related table based on the Korean Standard Industrial Classification. (Data: National Business Survey of the National Statistical Office, 2019).

2) Out of 16,325 participating companies (non-redundant business number), 16,333 companies were calculated excluding two companies with sales and missing industries.

(3) 수요유도형 모형과 전후방연쇄효과 분석을 통한 파급효과 도출 결과

산업연관분석을 통해 산업별 생산·부가가치·고용유발계수를 도출하였다(<Table 6>). 생산유발계수 결과를 예로 들면, 스마트공장 도입기업에 대한 최종수요가 한 단위 발생하면 화

학제품은 0.191단위만큼, 전문, 과학 및 기술 서비스는 0.115 단위만큼, 도소매 및 상품중개서비스는 0.117 단위만큼 순으로 생산이 유발되었다. 여기서 최종수요란, 공급된 상품이 어떤 산업의 중간재가 아닌 소비, 투자, 수출 등 최종재로 판매되는 내역을 의미한다. 최종수요가 1단위 증가할 때 이를 충족시

키기 위해 각 산업에서 직·간접으로 유발되는 산출액의 크기를 나타내는 것을 생산유발계수라고 한다. 보통 최종수요 발생에 따른 국내 생산 파급효과만을 정확히 계측하기 위해 생산유발계수행렬이 사용된다(Gao *et al.*, 2020). 즉, 최종수요 10억 원 증가에 따라 화학제품은 1.91억 원, 전문, 과학 및 기술 서비스는 1.15억, 도소매 및 상품중개서비스는 1.17억 생산유발액이 도출되었다. 2019~2021년간 연간 평균 스마트공장 도입기업의 전체 산업 생산유발계수는 2.92, 부가가치유발계수

는 1.00, 고용유발계수는 7.7(명/10억 원)로 추정되었다.

스마트공장도입기업을 제외한 생산유발계수·부가가치유발계수·고용유발계수의 연도별 합계를 도출한 결과는 다음과 같다. 생산유발계수의 연도별 합계는 2019년 1.670, 2020년 1.523, 2021년 1.873으로 나타났다. 2019-2021년 기간에 스마트공장도입기업이 100억 원에 소비·투자·수출하였을 경우 타 산업에서 창출되는 3년간 생산이 약 506.6억 원, 3년간 부가가치는 약 193.6억 원, 고용은 약 164명에 달하는 것으로 추정되었다(<Table 7>).

**Table 6.** Production, Value-added, and Employment Inducement Coefficients(year=2021)

Type	Production inducement coefficient	Value-added inducement coefficient	Employment inducement coefficient			
1	Smart Factory Introduction Company	1.243	0.285	2.139		
2	Agriculture, forestry and fishing	0.067	0.034	0.087		
3	Mining and quarrying	0.120	0.057	0.280		
4	Food products, beverages and tobacco	0.048	0.012	0.088		
5	Textiles, textile products, leather and footwear	0.024	0.005	0.073		
6	Wood and products of wood and cork	0.032	0.010	0.103		
7	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel	0.088	0.022	0.006		
8	Chemicals and chemical products	0.191	0.052	0.210		
9	Other non-metallic mineral products	0.018	0.005	0.037		
10	Basic metals	0.187	0.035	0.116		
11	Fabricated metal products	0.051	0.018	0.204		
12	Computer, Electronic and optical equipment	0.084	0.034	0.084		
13	Electrical equipment	0.072	0.020	0.104		
14	Other machinery and equipment	0.050	0.016	0.133		
15	Other transport equipment	0.063	0.014	0.090		
16	Other manufacturing	0.004	0.001	0.019		
17	Maintenance and repair services of industrial machinery and equipment	0.102	0.054	0.561		
18	Electricity, gas and water supply	0.062	0.017	0.037		
19	Collection, purification and distribution of water	0.016	0.009	0.080		
20	Construction	0.004	0.002	0.019		
21	Wholesale and retail trade	0.117	0.062	0.628		
22	Transportation and storage	0.126	0.046	0.568		
23	Accommodation and food service	0.036	0.012	0.197		
24	Information and communication	0.036	0.020	0.122		
25	Financial and insurance activities	0.052	0.031	0.156		
26	Real estate activities	0.030	0.022	0.032		
27	Professional, scientific and technical activities	0.115	0.058	0.566		
28	Business support services	0.051	0.034	0.500		
29	Public administration and defence; compulsory social security	0.003	0.003	0.021		
30	Education	0.001	0.001	0.012		
31	Human health and social work	0.005	0.003	0.047		
32	Arts, sports and recreation related services	0.004	0.002	0.030		
33	Other services activities	0.010	0.004	0.091		
34	Other	0.004	0.000	0.000		
Average				0.092	0.029	0.219
Total (excluding smart factory companies)				1.873	0.715	5.304

스마트공장 도입기업의 최종수요 증가가 전 산업부문에 미치는 연관관계를 ‘감응도’와 ‘영향력’ 정도로 측정하여 판단하였다(<Table 8>). 그 결과, 스마트공장 도입기업의 2021년 영향력 계수는 1.2490, 감응도 계수는 2.2725로 모두 평균인 1보

다 높은 것으로 나타났다. 스마트공장 도입기업 분야의 최종수요 증가가 전 산업부문에 미치는 영향력과 경기변동의 영향을 받는 정도 모두 타 산업분야에 비해 상대적으로 높다고 볼 수 있다.

**Table 7.** The Ripple Effect of Companies Introducing Smart Factories (when Consuming, Investing, and Exporting KRW 10 billion)

Year	Production (KRW 100 million)	Value Added (KRW 100 million)	Employment (number of people)
2019	167.0	63.1	57
2020	152.3	59.0	54
2021	187.3	71.5	53
Total	506.6	193.6	164

**Table 8.** Results of forward and backward chaining

Type	Dispersion (Backward linkage effects)	Sensibility (Forward linkage effects)	
1	Smart Factory Introduction Company	1.2490	2.2725
2	Agriculture, forestry and fishing	0.9181	0.9499
3	Mining and quarrying	0.9252	1.8486
4	Food products, beverages and tobacco	1.1451	0.9652
5	Textiles, textile products, leather and footwear	1.2347	0.7220
6	Wood and products of wood and cork	1.1222	0.7358
7	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel	1.1158	1.2646
8	Chemicals and chemical products	1.1970	1.8526
9	Other non-metallic mineral products	1.1272	0.5828
10	Basic metals	1.3037	1.5463
11	Fabricated metal products	1.1314	0.7228
12	Computer, Electronic and optical equipment	1.0335	1.1057
13	Electrical equipment	1.2105	0.9402
14	Other machinery and equipment	1.1778	0.6982
15	Other transport equipment	1.3169	0.8571
16	Other manufacturing	1.1787	0.4726
17	Maintenance and repair services of industrial machinery and equipment	0.8894	1.2561
18	Electricity, gas and water supply	1.1242	1.1097
19	Collection, purification and distribution of water	0.8371	0.5636
20	Construction	1.0026	0.4807
21	Wholesale and retail trade	0.8226	1.5466
22	Transportation and storage	1.0532	1.7794
23	Accommodation and food service	1.0571	0.9252
24	Information and communication	0.7832	0.9988
25	Financial and insurance activities	0.7272	1.1163
26	Real estate activities	0.6155	0.9100
27	Professional, scientific and technical activities	0.8641	1.5879
28	Business support services	0.6909	1.1610
29	Public administration and defence; compulsory social security	0.6213	0.7022
30	Education	0.6752	0.4150
31	Human health and social work	0.8750	0.4610
32	Arts, sports and recreation related services	0.8279	0.4667
33	Other services activities	0.9820	0.5306
34	Other	1.1648	0.4522
	Average	1.0000	1.0000



### 4.3 연구 결과 및 해석

스마트공장 도입기업의 GDP 기여도 분석과 산업연관분석의 최종적인 결과 및 해석은 다음과 같다.

첫째, 스마트공장 도입기업이 산업연관분석을 통해 핵심기업으로 분류되는 이유는 타 산업의 중간재화와 타 산업을 필요로 하는 최종재를 모두 포함하여 생산하고 있기 때문이다. 스마트공장 도입기업의 업종은 산업연관표 표준분류체계 내 33개 통합대분류 중 30개 부문을 차지하고 있으며, 이는 대다수의 업종을 90% 포함하고 있음을 볼 수 있다. 이를 볼 때, 본 사업에서 선정한 스마트공장 대상 업종이 다양한 산업을 포함하고 있으며 스마트공장을 도입하지 않은 기업들보다 더 핵심적인 역할을 할 수 있음을 시사한다. 스마트공장 도입기업의 매출 증가는 해당 기업에서 중간재화로 필요로 하는 타 산업의 수요를 증가시켜 경제 전체의 생산을 증가시키고, 스마트공장 도입기업이 중간재화의 역할이라면 최종재화 기업에게 납품하여 생산 활동을 증가시킨 것으로 나타났다.

둘째, 기존 대기업과 중소기업의 파급효과보다 스마트공장 도입기업의 파급효과가 더 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 중소기업은 역량과 보유자원 등의 한계로 인해 기술혁신에 대한 투자가 어렵기 때문에 적극적인 정부 지원이 필요하다. 분석결과, 산업연관분석의 파급효과 결과로 국내 중소기업이더라도 기술혁신 투자를 받으면 기존 파급효과보다 더 커질 수 있는 것을 확인하였다. '19~21년간 연간 평균 스마트공장 도입기업의 전체 산업 생산유발계수 2.92, 부가가치유발계수는 1.00, 고용유발계수는 7.7(명/10억 원)로 추정되었다. 한국은행에서 발표한 2019년 제조업 생산유발계수는 1.90, 부가가치유발계수는 0.64, 고용유발계수는 4.72로 나타나 생산, 부가가치, 고용 측면에서 모두 스마트공장 도입기업의 파급효과가 더 큰 것으로 볼 수 있다. 제조업 중소기업과 비교하기 위해 산업연관구원의 보고서(Lee et al., 2019)에 따르면, 제조업 중소기업의 생산유발계수 2.02, 부가가치유발계수는 0.68, 취업유발계수는 9.5로 나타났다. 스마트공장 도입기업의 생산유발계수와 부가가치유발계수가 제조업 중소기업보다 높고, 고용유발계수는 상대적으로 낮게 나타났다. 인력 채용과 관련된 고용 및 취업유발계수가 제조업 중소기업이 더 높은 이유는 스마트공장의 도입으로 인력의 수는 큰 변화가 없으나 생산과 부가가치가 상대적으로 더 많아진 것으로 볼 수 있다. 제조업 대기업의 생산유발계수는 1.93, 부가가치유발계수는 0.60, 취업유발계수는 5.9이며, 스마트공장 도입기업의 생산, 부가가치, 고용 측면에서 모두 제조업 대기업보다 타 산업으로의 파급효과가 더 큰 것으로 볼 수 있다. 추이를 확인한 GDP 기여도 분석 결과는 스마트공장 도입기업의 매년 GDP 대비 부가가치의 비율이 과거 2014년 3.1%에서 2021년 3.6%로 높아지고, 평균 부가가치 증가율이 제조업보다 높은 것으로 나타났다. 이를 보았을 때, 스마트공장을 도입하여 기존보다 파급력 및 부가가치 상승 모두 긍정적인 결과가 나타난 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 스마트공장 도입기업이 국가 경제에 미치는 경제적 파급효과 정도를 파악하였다. 이를 위해, 2014년부터 2021년까지 스마트공장 구축사업으로부터 지원받은 스마트공장 도입기업의 성장률, 비중, GDP 대비 기여도 현황을 살펴보고 산업연관분석을 진행하였다. 도입기업의 국민경제 성장 기여도를 구하여 국민경제가 성장하는데 어느 정도 중요한 역할을 해왔는지 분석했다. 그리고 산업연관분석을 위해 스마트공장 도입기업을 재분류하고, 한국은행의 2019년 산업연관표 연장표를 활용하여 수요유도형 모형, 전후방연쇄효과 분석을 수행하였다.

분석 결과를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 스마트공장 도입기업의 부가가치는 2014년 48.2조 원에서 2021년 74조 원으로, GDP 대비 비중은 3.1%에서 3.6%로 상승하였다. 그리고 국내 경제성장 기여도는 연평균 0.2%p로 나타났으며, 이는 '컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업'을 제외한 다른 제조업 산업보다 기여도가 높다. 둘째, 산업연관분석으로 2019년부터 2021년까지 스마트공장 도입기업의 3년간 타 산업에서 창출되는 생산유발효과는 약 506.6억 원, 부가가치유발효과는 193.6억 원, 고용유발효과는 약 164명으로 나타났으며, 스마트공장 도입기업의 유발계수가 제조업 중소기업보다 높은 것으로 볼 수 있다. 셋째, 전후방연쇄효과를 분석하여 스마트공장 도입기업의 감응도 계수와 영향력 계수를 도출하여 산업 구조를 파악하였다. 그 결과, 스마트공장 도입기업은 전방연쇄효과와 후방연쇄효과가 모두 평균 1보다 높은 핵심 산업인 것을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과, 스마트공장 보급·확산사업에 참여한 기업의 GDP 기여 및 생산·부가가치·고용 파급효과 등에서 경제적 정책효과가 창출된 것으로 보았다. 스마트공장 도입기업은 산출물이 다른 생산 활동을 위해 중간재로 판매도 많으며, 다른 부분으로부터 중간재를 구매할 정도도 많은 핵심 산업으로 나타났다. 이는 여러 산업에 경제적 파급력이 있다고 볼 수 있으며 스마트공장 도입기업은 산업 전반에 긍정적인 영향을 끼치는 것을 확인하였다. 본 결과는 사업에 참여한 기업의 경제적 측면 정책효과를 살펴보는 방법을 도출하여 향후 국가 정책 개발의 방향성 제시에 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- Bank of Korea (2014), Explanation of Input-Output Analysis, Bank of Korea.
- Benitez, G. B., Ayala, N. F., and Frank, A. G. (2020), Industry 4.0 Innovation Ecosystems: An Evolutionary Perspective on Value Cocreation, *International Journal of Production Economics*, **228**, 107735.

- Choi, C. Y. and Min, Y. J. (2020), A Analysis of the Economic Effect of the Intelligent Information Technology Industry According to the 4th Industrial Revolution, *Journal of Corporation and Innovation*, **43**(3), 123-137.
- Choy, J. L. C., Wu, J., Long, C., and Lin, Y. B. (2020), Ubiquitous and Low Power Vehicles Speed Monitoring for Intelligent Transport Systems, *IEEE Sensors Journal*, **20**(11), 5656-5665.
- Chung, S. I. and Park, H. (2021), The Influencing Factors of SME's Acceptance Intention to Advance Smart Factory, *Journal of Digital Convergence*, **19**(6), 199-211.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., and Frank, A. G. (2018), The Expected Contribution of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance, *International Journal of Production economics*, **204**, 383-394.
- Gao, J. X., Yu, W., and Lee, H. J. (2020), The Analysis of Economic Effect Analysis of Media Industry by Input-out Table, *Journal of Korea Culture Industry*, **20**(1), 21-31.
- Hahm, H. J. (2017), A Study of Smart Factory Policy For ICT-Based, *The e-Business Studies*, **18**(6), 363-380.
- Hong, J. P., Kim, D., and Hong, S. J. (2019), National Economic Effects of Smart Farm: Using Input-output Analysis, *Korean Industrial Economic Association*, **32**, 1313-1332.
- Jeon, K. and Kang, C. (2008), How to Calculate Growth Contribution of a Chain Time Series, *Quarterly National Account*, **2008**(4).
- Jung, K., Park, Y., Jin, H., and Lee, I. (2015), Analysis of ICT Industry: Situation and Its Direction, 14-115, KISDI.
- Kalsoon, T., Ramzan, N., Ahmed, S., and Ur-Rehman, M. (2020), Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0, *Sensors*, **20**(23), 6783.
- Kang, J. S. and Cho, K. T. (2018), An Analysis of the Effect of Government Support on Automation and Smart Factory, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, **21**(2), 738-766.
- Kim, H. D., Lee, K. G., Yoon, J. W., and Youm, S. (2019), Effect of SMEs Business Conditions on Smart Factory Level, *Korean Journal of Business Administration*, **32**(9), 1561-1579.
- Kim, I. S. (2020), A Study on the Success Cases of the German Automated Smart Factories, a Key Research Subject to the Fourth Industrial Revolution, and the Introduction of Smart Factories to Korea: Proposal of Policies and Strategies for the Construction of Smart Factories in Korea, *The Review of Eurasian Studies*, **17**(3), 189-213.
- Kim, J. R. and Lee, S. J. (2020), Factors Affecting Technology Acceptance of Smart Factory, *Journal of Information Technology Applications & Management*, **27**(1), 75-95.
- Kim, M. H., Jung, S. H., and Lee, C. G. (2019), Smart Policy Plan for the Smartization of Factories, *KDI FOCUS*, **97**, 1-8.
- Kim, T. J. (2021), Input-Output Analysis using R, Seoul: Hannarae Academy.
- Kwon, T. H. (2020), *Input-Output Analysis*, Seoul: Chung Ram Publishing.
- Lass, S. and Gronau, N. (2020), A Factory Operating System for Extending Existing Factories to Industry 4.0, *Computers in Industry*, **115**, 103128.
- Lee, H. D., Han, K. S., and Lee, S. H. (2014), A Study on the Segmentation of Fisheries Sectors in Korean Input-Output Tables and Application Plans, *Korea Maritime Institute*, 1-174.
- Lee, J. M., Kim, J. J., and Lee, Y. H. (2019), A study on Compilation and Analysis of 2015 Korean SME's Input Output Table, *Korea Institute for Industrial Economics & Trade*, 1-197.
- Leontief, W. W. (1936), Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States, *The Review of Economic Statistics*, 105-125.
- Park, C. (2022), A Study for Improvement a New Classification System of Shipbuilding Equipment Industry Reflecting the Technological Changes, *Regional Industry Review*, **45**(1), 231-266.
- Ryu, S. E. and Jeong, I. J. (2022), Input-Output Analysis of Service Robot Industry, *Journal of Korean Society of Industrial land Systems Engineering*, **45**(4), 142-149.
- Sin, Y. J. (2019), A Study on the Structure and Impact Analysis of the Core Components Industry of the 4th Industrial Revolution, *The e-Business Studies*, **20**, 221-239.
- Son, Y. J. and Choi, H. Y. (2022), A Study on Smart Factory Introduction Cases and Sustainable Effect, *Journal of Practical Engineering Education*, **14**(1), 127-136.
- Stone (1963), *A Programme for Growth: Input-Output Relationships 1954-1966*, Department of Applied Economics University of Cambridge.
- Wilkesmann, M. and Wilkesmann, U. (2018), Industry 4.0—organizing Routines or Innovations? *Journal of Information and Knowledge Management Systems*, **48**(2), 238-254.

## 저자소개

**이기은**: 동국대학교 산업시스템공학과에서 2019년 박사학위를 취득하고 동국대학교에서 연구원으로 재직하고 있다. 연구분야는 중소기업의 혁신, R&D 프로세스, 기술경영 등이다.

**김민지**: 동국대학교 산업시스템공학과에서 학사과정에 재학 중이다. 주요 연구 관심분야는 기술경영, 기술가치평가, 텍스트 마이닝 등이다.

**윤병운**: 서울대학교 산업공학과에서 1998년 학사, 2000년 석사, 2005년 박사학위를 취득하였다. LG CNS 엔트루 선임컨설턴트를 역임하고 2007년부터 동국대학교 산업시스템공학과 교수로 재직하고 있다. 연구분야는 기술경영, 기술예측, 특허분석, 디지털혁신 등이다.