

스마트팩토리 도입 영향요인에 관한 실증연구: 우리나라 중소기업을 중심으로

정지윤
승실대학교 글로벌통상학과 조교수

The Implementation of Smart Factories: Empirical Evidence from Korean Small and Medium-Sized Enterprises

Jiyeon Chung^{ab}

^{ab} Department of Global Commerce, Soongsil University, South Korea

Received 01 June 2022, Revised 26 June 2022, Accepted 27 June 2022

Abstract

Purpose - The purpose of this study is to examine firm-level attributes related to Korean manufacturing small and medium-sized enterprises' (SMEs') decisions to implement smart factories.

Design/methodology/approach - This study uses the <Survey on Actual State of SMEs> provided by the Ministry of SMEs and Startups of Korea and the Korea Federation of SMEs. Manufacturing SMEs' decisions to implement smart factories in 2018-2019 were analyzed using multinomial logit and ordered logit models.

Findings - The findings of this study suggest that firms' decisions to implement smart factories were positively related to firm size, R&D intensity, international market scope, and transactional relationships with customers. However, smart factory implementation decisions were not related to firm age and CEO gender.

Research implications or Originality - This study illuminates firm-level attributes that may drive organizational innovation in the era of Industry 4.0 and thus contributes to the innovation adoption literature. This study also contributes to growing research on smart factories by analyzing the actual, progressive decisions to implement smart factories, as opposed to perceived intentions to implement them.

Keywords: Industrie 4.0, Organizational Innovation, Smart Factories, SMEs

JEL Classifications: M11, O33

I. 서론

인더스트리 4.0(Industrie 4.0)은 4차산업혁명을 의미하며, 그 중심에는 소비자 개인의 다양한 기호를 충족시키기 위한 새로운 수준의 조직화와 제품수명주기 전반에 걸친 가치사슬에 대한 새로운 수준의 통제력이 있다(Neugebauer et al., 2016; Vaidya, Ambad, and Bhosle, 2018). Neugebauer et

^a First Author, E-mail: jchung@ssu.ac.kr

^b Corresponding Author, E-mail: jchung@ssu.ac.kr

© 2022 The Institute of Management and Economy Research. All rights reserved.

al.(2016)은 기술적인 측면에서 인더스트리 4.0이 가치사슬 전반의 디지털화와 통합을 강조한다고 보았다. 최근에는 인더스트리 4.0을 구현하는 제조방식으로 스마트팩토리 도입의 중요성이 증가하고 있다 (Neugebauer et al., 2016; Won and Park, 2020). 스마트팩토리는 생산공정에서 기계, 설비, 교통수단, 제품, 인간을 연결하고 실시간 정보교환을 가능하게 하는 정보통신기술을 통합하여 활용한다(Kumar and Lee, 2022). 이에 따라 효율적인 다품종 소량생산이 가능해진다(이규택, 2016; Rub and Bahemia, 2019).

인더스트리 4.0이 컴퓨터 통합 생산(Computer Integrated Manufacturing, CIM)과 다른 점은 가치사슬 전반의 디지털화와 통합에 더해 생산공정에서 인간의 역할을 강조한다는 점이다(Kumar and Lee, 2022; Vaidya, Ambad, and Bhosle, 2018). 스마트팩토리 도입은 최근 경영학 연구에서 깊이있게 다루어오고 있는 조직혁신(organizational innovation)의 시의적절하고도 중요한 예시이다. 경제협력개발기구의 오슬로 매뉴얼에서는 조직혁신을 “기업의 운영 관행, 조직구조, 외부관계에 대한 새로운 조직방식의 도입”(OECD, 2005: p. 51)으로 정의한다. 조직혁신이 비교적 넓게 정의되는 만큼 여러 부문에 걸쳐 발생할 수 있지만, 그중에서 운영 관행에 대한 새로운 조직방식 도입은 업무수행방식에 대한 변화 도입으로 이해하여 그 예시로 공급사슬관리, 식스 시그마, 지식관리, 린생산방식, 품질경영 등을 든다(조가원 외, 2018). 스마트팩토리 도입 또한 인더스트리 4.0 시대에 대비한, 업무수행방식에 대한 변화 도입으로 볼 수 있다.

우리나라에서도 대통령 직속 4차산업혁명위원회를 조직하여 중소기업의 스마트팩토리 도입을 정책적으로 지원해오고 있다(대통령 직속 4차산업혁명위원회, 2018). 전세계 기업들이 스마트팩토리를 경쟁적으로 도입함에 따라 스마트팩토리 관련 연구는 매우 가파르게 증가하고 있다. 특허청에 따르면 제어시스템, 빅데이터, 사물인터넷(Internet of Things) 등 관련 기술에 대한 우리나라 특허 출원이 스마트팩토리 개념이 국내에 소개된 2010년대 중반 이후 급증하였다(관계부처 합동, 대통령 직속 4차산업혁명위원회, 2017). 하지만 스마트팩토리 도입과 관련한 대규모의(large scale) 경영학 연구는 아직 부족한 편이어서 경영자들이 스마트팩토리라는 중대한 조직혁신을 도입함에 있어 고려할 만한 사항에는 어떤 것들이 있는지 인지하기 어렵다. 또한, 정책결정자들이 중소기업의 스마트팩토리 도입을 장려하고자 함에도 불구하고 기업특성에 따라 잠재적으로 차등적일 수 있는 도입률에 대한 정보가 부족하다. 또한, 실제 스마트팩토리 도입 결정을 분석한 대규모 연구는 도입 결정의 점진적인(단계적인) 성격을 고려하지 않고 도입유무에 초점을 두고 이분법적으로 연구해왔다(e.g., Won and Park, 2020).

이러한 간극을 메우기 위해 본 연구는 우리나라 중소기업의 점진적인 스마트팩토리 도입 결정이 기업의 특성들과 어떠한 연관성을 가지는지에 관해 연구한다. 본 연구는 이론적으로는 스마트팩토리 도입과 관련한 소수의 경영학 관점의 연구와 넓게는 조직혁신 관련 선행연구에 기반하여 가설을 설정한다. 본 연구는 중소벤처기업부와 중소기업중앙회에서 제공한 <중소기업실태조사>의 제조업 부문 자료를 이용하여, 2018년과 2019년 모두 정보가 존재하는 1,924개 중소기업들을 대상으로 이들의 스마트팩토리 도입 결정에 대해 실증분석한다. 다항 로지스틱 모형을 사용하여 분석한 결과, 기업의 규모, R&D집약도, 해외시장의 범위, 위탁기업과의 거래는 기업이 스마트팩토리 도입을 완료하였을 가능성과 정(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 순서형 로지스틱 모형을 사용하여 추가적으로 기업의 스마트팩토리 도입 결정을 분석한 결과와도 부합하였다. 또한, 스마트팩토리를 도입완료한 기업이 도입계획이 없는 기업과는 다양한 기업특성에서 유의미한 차이를 보이는 반면, 도입계획 중이거나 도입 중인 기업은 기업규모를 제외한 기업특성에서 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

본 연구는 기업의 조직혁신의 일환으로 이해할 수 있는 스마트팩토리 도입의 선행요인을 조명함으로써 최근 많은 주목을 받고 있는 조직혁신 관련 연구에 기여점을 가진다. 스마트팩토리는 인더스트리 4.0 시대의 주축이 되는 조직혁신으로서 다른 부문에 있어서의 조직혁신(조직구조 및 외부관계에 대한 새로운 조직방식의 도입)에 비해 그 중요성이 증가하고 있다. 본 연구는 최근자료를 이용하여 우리나라 중소기업의 실제 스마트팩토리 도입 결정을 대규모로 실증분석하였다. 스마트팩토리 도입과 관련한 경영학 관점의 연구 대부분이 소규모 설문조사를 바탕으로 기업이 인식하는, 스마트팩토리를 도입하고자 하는 의도를 분석했었다는 점에서(김정래, 이상직, 2020; 이다솔 외, 2020) 본 연구는 차별성을 가진다. 또한, 본 연구는 스마트팩토리 도입 결정이 단계성을 가짐을 인식하여 이를 별개의 범주(도입계획 없음-도입계획

중-도입 중-도입완료)로 구분하여 분석하였다는 점에서 선행연구와 차이가 있다. 본 연구의 결과는 학술적인 시사점 외에도 실무적으로도 풍부한 시사점을 가진다. 본 연구를 참조하여 중소기업의 경영자들은 스마트팩토리 도입을 필요하게 혹은 용이하게 만드는 기업특성에 주목하여 적절한 조직혁신 전략을 전개할 수 있다. 정책결정자들은 4차산업혁명 시대에 필요한 스마트팩토리 도입 장려정책을 전개하는 데 있어 더욱 집중된 정책을 펼칠 수 있게 되어 정책의 효율성을 제고할 수 있다.

II. 이론적 배경

1. 스마트팩토리의 개념과 특징

스마트팩토리란 인더스트리 4.0 시대를 구현하는 제조방식으로서(Neugebauer et al., 2016; Won and Park, 2020), 기계, 설비, 교통수단, 제품, 인간을 연결하고 실시간 정보교환을 가능하게 하는 정보통신기술의 통합을 골자로 한다(Kumar and Lee, 2022). 스마트팩토리는 구체적으로는 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 가상물리시스템(Cyber Physical System) 등의 정보통신기술을 바탕으로 실시간으로 정보를 수집, 공유, 이용하여 일련의 제조과정을 최적화한다(김상문, 유연우, 2020; 박형욱, 2015). 따라서 기업은 스마트팩토리 도입을 통해 인건비 절감과 생산 유연화, 생산시간(lead time) 단축, 생산 자동화 등을 달성할 수 있으므로 생산성 증진과 제품의 품질 향상을 동시에 추구하는 것이 가능하다(Sousa et al., 2019).

스마트팩토리는 생산의 맥락에 대한 이해도를 반영하고 자율성을 띠는 제조방식이다. Sousa et al.(2019)은 스마트팩토리의 주요한 특징으로 상호운용성(interoperability), 가상화(virtualization), 탈중앙화(decentralization), 실시간 역량(real-time capability)이 있다고 정리하였다. 첫째, 상호운용성은 스마트팩토리가 생산공정의 기술 및 설비 간 소통을 가능하게 한다는 특징이다. 둘째, 가상화는 스마트팩토리가 현실세계를 가상화 혹은 시뮬레이션하여 실시간 관리감독을 할 수 있다는 특징이다. 셋째, 탈중앙화는 통제기능이 단일 컴퓨팅 단위에 집중되어 있지 않고 유연하게, 최적의 방식으로 이루어진다는 것을 의미한다. 넷째, 실시간 역량은 스마트팩토리가 자료를 실시간으로 관리하여 변칙성을 발견, 예측할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 특징들에 기반하여 스마트팩토리는 다품종 소량생산에 소품종 대량생산에 비견되는 효율성을 달성하며 진행하는 것을 가능하게 한다(이규택, 2016; Rub and Bahemia, 2019).

스마트팩토리는 기술 및 설비 간 소통뿐만 아니라 이들과 인적자원과의 소통도 통합한다. 사물인터넷 기술과 가상물리시스템 등은 생산공정을 관리감독하고 설비를 통제하는 인간 오퍼레이터(operator)와 경영자 및 엔지니어가 반드시 생산현장에 있지 않더라도 원격으로 업무를 수행할 수 있도록 지원한다(Duman and Akdemir, 2021; Kumar and Lee, 2022; Vaidya, Ambad, and Bhosle, 2018). Kumar and Lee(2022)는 최근 리뷰논문에서 스마트팩토리 운영과 관련하여 인간과 설비 간 소통을 중점적으로 다루었는데, 시선, 목소리, 몸짓, 터치 등 인간 오퍼레이터가 사용할 수 있는 첨단 소통방식들을 제시하였다. Longo, Nicoletti, and Padovano(2017)는 스마트팩토리가 다변하는 생산현장에서 인간 오퍼레이터의 적응력을 증진시키기 위해 증강현실(Augmented Reality)에 기반한 작업훈련을 가능하게 함을 중점적으로 다루었다.

이렇듯 스마트팩토리의 개념과 특징들로 미루어보아 스마트팩토리의 도입은 기업이 업무수행방식에 있어 변화를 도입하는 것으로 볼 수 있으며, 넓은 의미에서 조직혁신에 임하는 것으로 볼 수 있다. 스마트팩토리의 도입은 전통적인 생산과 경영 패러다임에서 벗어나 업무수행방식, 절차, 구조 상에 있어 변혁을 추구하는 것으로 이해할 수 있기 때문이다(Longo, Nicoletti, and Padovano, 2017; Sousa et al., 2019). 이규택(2016)은 스마트팩토리가 생산뿐만 아니라 이후 유통, 판매 과정에서도 모기업-협력사 간 실시간 정보교환을 가능하게 하여 재고비용을 낮추는 등 협력을 용이하게 할 수 있다고 보았다. 또한, 생산 이전의 기획, 설계 과정에서는 제품성능을 시뮬레이션할 수 있어 생산시간을 단축하며 다품종 소량생산하는 것이 가능하다고 보았다.

2. 스마트팩토리 도입의 선행요인

본 연구는 스마트팩토리 및 혁신의 도입과 관련한 선행연구에 기반하여 스마트팩토리 도입을 설명하는 기업차원의 선행요인에 대한 가설을 설정한다.

우선, 기업의 연령은 기업의 경험을 의미하므로 혁신에 영향을 줄 수 있다(Balasubramanian and Lee, 2008; Cucculelli, 2018). 기업이 설립되고 산업 내에서 경험을 축적할수록 기업은 조직관성(organizational inertia)의 영향을 받아 혁신에 임하기 어려울 수 있다(Balasubramanian and Lee, 2008; Hannan and Freeman, 1984; Leonard-Barton, 1992). Hannan and Freeman(1984)은 조직관성을 기업이 환경변화에 직면하여 전략과 조직구조에 급진적인 변화를 도입하기 어려운 상태로 정의한다. 조직관성은 조직의 익숙한 행동패턴을 의미하는 루틴(routines)을 바꾸는 것이 기업의 입장에서 어렵고도 비용이 많이 소요된다는 점에서 발생한다(Nelson and Winter, 1982: p. 96). Hannan and Freeman(1984)은 루틴이 생성되는 데에는 시간이 소요되며, 이에 따라 조직관성이 조직의 연령에 따라 증가한다고 주장하였다. 기업이 운영된 시간이 길수록 기업은 익숙해진 루틴과 학습효과를 통해 이미 높은 생산성을 달성했을 가능성이 높으므로 전반적인 업무수행방식에 변화를 도입하는 새로운 투자를 하기에는 그 기회비용이 매우 클 수 있다(Balasubramanian and Lee, 2008). 스마트팩토리의 도입이 생산 및 경영에 있어 새로운 패러다임의 도입을 의미하는 만큼(Longo, Nicoletti, and Padovano, 2017; Sousa et al., 2019), 요구되는 투자의 크기 또한 상당한 규모에 달한다. 따라서, 기업의 연령은 스마트팩토리 도입 가능성과 부(-)의 관계를 가질 것이다.

가설 1. 기업의 연령이 낮을수록 기업이 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

다음으로, 선행연구에서는 기업의 규모를 기업이 혁신활동을 수행하는 데 사용 가능한 자원의 규모로 의미한다고 보았다. 규모가 큰 기업은 풍부한 자원을 바탕으로 원하는 혁신활동을 수행하는 데 큰 어려움을 겪지 않을 수 있다(Ganter and Hecker, 2013; Mol and Birkinshaw, 2009). 규모가 큰 기업은 작은 기업에 비해 재정적 자원 뿐만 아니라(Bronzini and Piselli, 2016; Lee, Sameen, and Cowling, 2015), 정보통신 기술과 같은 비재정적 자원을 더 많이 가지고 있으므로(Alvarez-Garrido and Dushnitsky, 2016) 정보통신 기술에 기반을 둔 스마트팩토리의 도입이 더욱 용이할 수 있다. 풍부한 자원은 “기업이 새로운 외부정보를 인지하고 이에 동화하여 상업적 목적을 위해 적용하는 능력”(Cohen and Levinthal(1990: p. 128)을 의미하는 흡수역량(absorptive capacity)을 잠재적으로 증진시켜(Schmidt, 2010; Schneckenberg, 2015) 혁신의 성공률을 높인다. 또한, 규모가 큰 기업은 조직혁신이 성공을 거두지 못하더라도 풍부한 자원으로 인해 생존에 큰 위협을 받지 않는다(Hannan and Freeman, 1984). 이렇듯 선행연구에서는 혁신에 소요되는 자원에 초점을 두고 기업의 규모가 혁신활동과 긍정적인 상관관계를 가짐을 보여주었다(Alsharkas, 2014; Dooley, Kenny, and Cronin, 2016). 그러므로 기업의 규모는 스마트팩토리 도입 가능성과 정(+)의 관계를 가질 것이다.

가설 2. 기업의 규모가 클수록 기업이 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

R&D집약적인 기업은 대체로 기술혁신에 활발하게 참여하고 있다고 볼 수 있다. R&D집약도는 R&D비용(R&D expenditures)의 기업규모 대비 상대적 규모를 나타내는데, 방대한 선행연구에서 R&D집약도가 기업의 혁신성과 긍정적인 상관관계를 가짐을 보여주었다(Hall, 2011). R&D 투입(input)과 산출(output)은 엄밀히 말하면 별개의 개념이지만(R&D비용이 혁신성과를 의미하는 것은 아니므로) 이들 사이에는 상당한 관련성이 있음이 실증적으로 보고되었다(Bauman and Kritikos, 2016; Pakes and Griliches, 1984). 한편, 최근 연구는 기업의 조직혁신이 기술혁신을 보완하여 성과에 영향을 줄을 보여주었다(Ballot et al., 2015; Hervas-Oliver et al., 2018; Lee, Lee, and Garrett, 2019). Hervas-Oliver et al. (2018)은 기업이 기술혁신과 조직혁신을 동시에 추구하는 경향이 있고, 이는 기업의 성과에 긍정적인 영향을 줄을 보여주었다. 이러한 선행연구의 결과들을 종합해보면 R&D집약적인 기업은 스마트팩토리 도입과 같은 조직혁신을 통해 기술혁신을 지원하고 총체적인 혁신의 성과를 제고하고자 할 가능성이 높다.

따라서, 기업의 R&D집약도는 스마트팩토리 도입 가능성과 정(+)의 관계를 가질 것이다.

가설 3. 기업이 R&D집약적일수록 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

기업의 해외시장의 범위는 조직혁신과 긍정적인 상관관계를 가질 수 있다(Mol and Birkinshaw, 2009). 기업이 지역적으로 더 광범위하게 활동할수록 관계회사, 공급자, 소비자, 대학 등 다양한 정보원천들로부터 가치있는 지식을 습득할 수 있고, 이는 혁신의 필요성을 인식하고 이를 도입하는 동기가 된다(Criscuolo, Haskel, and Slaughter, 2010). 또한, 정보통신기술을 바탕으로 한 조직혁신은 글로벌화된 기업들에서 관리역량을 향상시켜 내부조정비용(internal coordination costs)을 감소시키고, 국제거래에 있어 시장정보에 대한 접근을 용이하게 하여 시장거래비용(market transaction costs) 또한 감소시킨다(Chen and Kamal, 2016). 그러므로 기업은 내부운영 혹은 외부시장 중 어떤 방식으로 국제거래를 수행하는지를 불문하고 스마트팩토리 도입에 대한 필요성을 인식할 수 있다. 그뿐만 아니라 혁신비용의 측면에서도, 해외시장의 범위가 넓으면 기업은 다수의 시장에 비용을 분산시킬 수 있어 조직혁신에 임하기 더욱 용이하다(Kafouros et al., 2008). 그러므로 기업의 해외시장의 범위는 스마트팩토리 도입 가능성과 정(+)의 관계를 가질 것이다.

가설 4. 기업의 해외시장 범위가 넓을수록 기업이 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

기업이 위탁기업과 거래관계에 있다는 것은 “대기업 또는 다른 중소기업의 위탁(납품 주문)에 따라 1)부품 또는 반제품을 생산, 2)위탁기업이 판매할 완제품을 조립 또는 제조, 3)원재료를 가공하여 공급하는 것”을 의미하며(제 54차 중소기업 실태조사 조사표, 2019), 기업이 공급자로서 타기업과 협력관계에 있다는 것을 말한다. 개방형 혁신(open innovation) 관련 연구에 따르면 기업이 외부조직과 협력할 때 조직혁신을 도입하는 경향이 있다(Pippel, 2014). 특히 Moyano-Fuentes et al. (2012)은 기업이 공급망 내 소비자나 협력하는 정도가 클수록 린 생산방식(lean production) 도입이 증가함을 보여주었다. 하지만 이들의 연구에 따르면 기업이 공급자와 협력하는 정도는 린 생산방식 도입에 영향을 주지 않았다. 이는 기업의 조직혁신이 더 효율적으로 소비자의 요구에 부응하는 것을 가능하게 하거나 기업의 생산시스템과 소비자의 생산시스템이 통합을 이루도록 할 수 있어(Cagliano, Caniato, and Spina, 2006), 소비자들이 특정 조직혁신을 도입하도록 기업에게 영향을 줄 수 있기 때문인 것으로 보인다(Kamaruddin and Udin, 2009). 이러한 맥락에서 볼 때, 위탁기업과의 거래관계는 스마트팩토리 도입 가능성과 정(+)의 관계를 가질 것이다.

가설 5. 기업이 위탁기업과 거래관계에 있을 경우 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

마지막으로, 선행연구에서는 기업의 전략이 최고경영진의 특성에 따라 달리 수립될 수 있음을 강조하였다(김종석, 강진원, 2019; Hambrick and Mason, 1984). Hambrick and Mason(1984)이 제시한 최고경영진 이론(upper echelons theory)에 따르면 최고경영진이 기업의 전략을 수립한다는 점에서, 최고경영진 구성원들의 인류통계학적 특성들이 기업의 전략에 영향을 주는 경향이 있다. 이러한 인류통계학적 특성들은 인종, 국적, 연령, 교육수준 등 다양하지만, 최근에는 성별이 많은 주목을 받고 있다. 기본적으로 남성은 여성에 비해 의사결정에 있어 기꺼이 위험감수(risk-taking)하는 경향이 있는 것으로 알려져 있다(Croson & Gneezy, 2009; Eckel & Grossman, 2008; Ertac & Gurdal, 2012; Filippin & Crosetto, 2016). 이러한 경향성은 기업의 CEO가 남성일 경우에도 반영되어, 남성 CEO가 운영하는 기업은 여성 CEO가 운영하는 기업에 비해서는 더 공격적이고도 위험도 높은 투자 결정을 내릴 것으로 기대된다(Faccio, Marchica, & Mura, 2016; Martin, Nishikawa, & Williams, 2009). 스마트팩토리 도입 또한 기업의 전반적인 업무수행방식에 변화를 도입하는, 잠재적으로 위험도가 높은 투자이므로 남성 CEO가 선택할 가능성이 더 높을 수 있다. 따라서, 남성 CEO는 스마트팩토리 도입 가능성과 정(+)의 관계를 가질 것이다.

가설 6. 기업의 CEO가 남성일 경우 기업이 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높을 것이다.

III. 연구방법

1. 자료수집

본 연구는 중소기업의 스마트팩토리 도입 결정과 관련된 수 있는 기업의 특성들에 대해 연구한다. 자료는 중소기업부와 중소기업중앙회에서 제공한 제 53차(2018년 기준), 54차(2019년 기준) <중소기업실태조사>의 제조업 부문을 이용하였다. 중소기업실태조사는 전반적인 중소기업의 활동현황 및 경영실태 등을 파악하기 위한 설문조사로서 1967년 최초 개발된 이래로 매년 시행되고 있다. 중소기업부(2019)에 따르면, 중소기업실태조사는 통계청의 <전국사업체조사>와 <기업체모집단> 자료를 이용해 파악한 기업들에서 매출액 기준 중소기업으로 정의할 수 있는 기업들을 대상으로 업종별로 매출액, 종사자수, 업체수의 비중을 고려하여 모집단으로 구성하였다.¹⁾ 제조업 부문의 표본은 업종 및 매출액 규모별 표본 수 산출 공식에 근거하여 모집단에서 7,500개 기업을 추출하였다. 2018년의 53차와 2019년의 54차 조사 모두 일관된 기준으로 표본추출하여 각각 7,500개 중소기업들을 표본으로 한다.

본 연구는 53차와 54차 조사를 기업 식별자를 이용하여 매칭(matching)하여 패널데이터(panel data)를 구성하였다.²⁾ 그리고 기업의 경영조직이 법인이 아닌 개인일 경우 분석표본에서 제외하였다. 이후 2018년과 2019년 모두 정보가 존재하는 1,924개 중소기업들을 대상으로 이들의 스마트팩토리 도입 결정에 대해 실증분석하였다. 한 기업 당 2개 연도의 정보가 존재하므로 변수에 결측값(missing value)이 있는 경우를 제외하고 3,785개 기업-연도 표본에 대해 실증분석하였다.

2. 변수측정

1) 종속변수

본 연구는 중소기업들의 조직혁신 도입 결정을 이들의 스마트팩토리 도입 결정으로 측정한다. 스마트팩토리 도입 결정은 단계적으로 이루어질 수 있으며, 이를 측정하는 데 있어 설문문항 “귀사의 스마트공장 도입 여부는?”에 대해 기업들이 1) 도입 완료, 2) 도입 중, 3) 도입 계획 중, 4) 도입 계획 없음 중 하나를 선택하여 응답한 것을 이용하였다. 본 연구는 스마트팩토리 도입계획이 없는 기업들의 특징에 대비하여 스마트팩토리를 도입 완료하였거나 도입 중, 도입계획 중인 기업들의 특징을 각각 비교하기 위하여, 종속변수 **스마트팩토리 도입단계**를 범주형 변수(categorical variable)로 구성하였다. 구체적으로, **스마트팩토리 도입단계**는 기업이 도입계획 없음으로 응답했을 때 0값을, 도입계획 중으로 응답했을 때 1값을, 도입 중으로 응답했을 때 2값을, 도입완료로 응답했을 때 3값을 가지도록 하였다.

2) 설명변수

본 연구는 설명변수로 기업연령(자연로그), 매출(자연로그), R&D집약도, 해외시장 범위, 위탁기업 유무 더미, 남성 CEO 더미, 2020년도 더미를 사용한다. <Table 1>은 이들 변수의 조작적 정의를 보여준다.

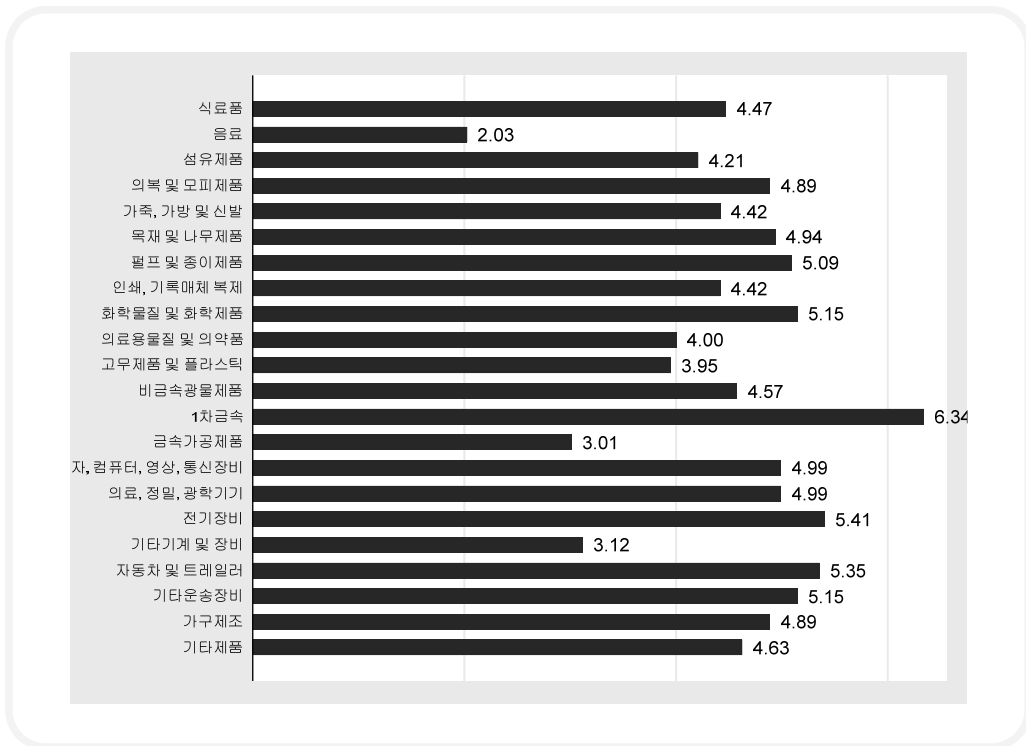
1) 시계열 유지를 위해 매출액이 5억 이하인 기업은 모집단에서 제외하였다(중소벤처기업부, 2019).

2) 자료의 기업 식별자는 마스킹(masking)되어있어, 각 조사년도에 동일한 기업에 관한 정보인지의 여부만을 확인할 수 있을 뿐 기업의 정체(identity)는 파악 불가능하다.

Table 1. 설명변수의 조작적 정의

설명변수	조작적 정의
기업연령(자연로그)	해당연도에서 기업의 설립년도를 제한 값에 자연로그를 취한 값
매출(자연로그)	해당연도에 발생한 기업의 매출총액(단위: 천 원)에 자연로그를 취한 값
R&D집약도	해당연도에 발생한 연구개발비 총액을 매출총액으로 나눈 값
해외시장 범위	해당연도에 발생한 해외매출액을 매출총액으로 나눈 값
위탁기업 유무 더미	해당연도에 거래한 위탁기업의 수가 0 이상이면 1값, 0이면 0값을 가지는 더미변수
남성 CEO 더미	해당연도에 기업대표가 남성이면 1값, 여성이면 0값을 가지는 더미변수
2019년도 더미	해당연도가 2019년도이면 1값, 2018년도이면 0값을 가지는 더미변수

산업분류는 총 22개의 산업 더미변수로 측정하였다. 이를 분석모형에 포함하여 산업효과를 통제하였다. <Fig. 1>은 1,924개의 분석표본 중소기업들이 속해있는 산업의 비중을 보여주고 있다.

Fig. 1. 분석표본 기업의 산업별 비중

3. 분석방법

본 연구는 스마트팩토리 도입과 관련한 기업의 단계적 결정에 대해 연구하기 위해 다항 로지스틱 회귀분석(multinomial logistic regression)을 수행하였다. 다항 로지스틱 회귀모형은 범주형 변수로 정의된 종속변수에 대하여 특정 범주가 선택될 확률을 모형화하여 추정한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다(Greene, 2012).

$$Prob(Y_i = j | w_i) = P_{ij} = \frac{\exp(w_i' \alpha_j)}{\sum_{j=0}^3 \exp(w_i' \alpha_j)}, j = 0, 1, 2, 3.$$

여기서 Y_i 는 스마트팩토리 도입단계, w_i 는 설명변수 벡터를 나타낸다.

IV. 연구결과

1. 기술통계량과 상관관계표

(Table 2)는 주요 변수들에 대한 기술통계를 보여주고 있다. 스마트팩토리 도입단계의 평균값은 0.754로 스마트팩토리 도입계획 없음과 도입계획 중 사이에 위치한다. 표본기업의 평균연령은 대략 13년이었으며, 평균매출은 82억 원이었다. 표본기업 중 37.7%가 해당연도에 위탁기업과 거래한 경험이 있었다. 또한, 표본기업 중 대다수를 차지하는 90.9%가 남성 기업대표가 경영하는 기업이었다.

Table 2. 기술통계

	변수	평균	표준편차	최소	최대
1	스마트팩토리 도입단계	0.754	1.180	0.000	3.000
2	기업연령(자연로그)	2.572	0.680	0.693	4.331
3	매출(자연로그)	15.921	1.350	13.131	18.821
4	R&D집약도	0.018	0.044	0.000	0.941
5	해외시장 범위	0.091	0.211	0.000	1.000
6	위탁기업 유무 더미	0.377	0.485	0.000	1.000
7	남성 CEO 더미	0.909	0.287	0.000	1.000
8	2019년도 더미	0.503	0.500	0.000	1.000

(Table 3)은 주요 변수들에 대한 상관관계표를 보여주고 있다.

Table 3. 상관관계표

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.000							
2	0.170***	1.000						
3	0.364***	0.418***	1.000					
4	0.045***	-0.020	-0.104** *	1.000				
5	0.131***	0.151***	0.250***	0.052***	1.000			
6	0.079***	0.002	0.097***	-0.024	-0.047** *	1.000		
7	0.043***	0.101***	0.156***	-0.007	0.049***	0.031*	1.000	
8	0.193***	0.072***	-0.004	-0.004	-0.019	0.049***	-0.006	1.000

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

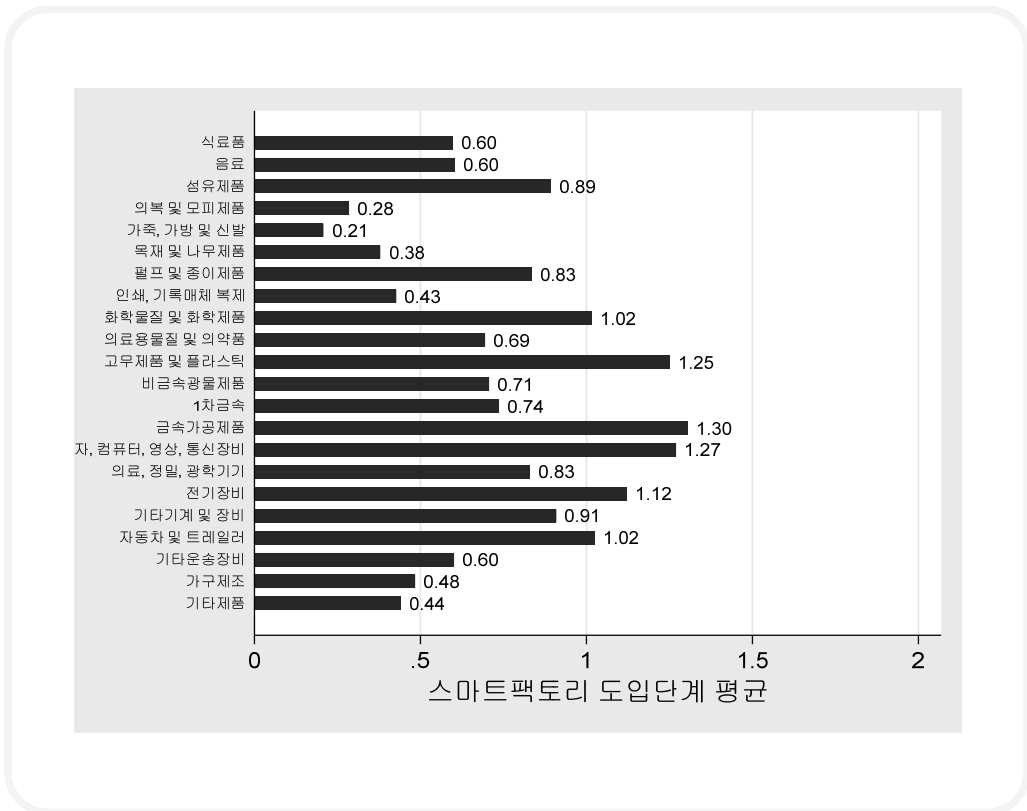
다음으로 <Table 4>는 범주형 종속변수인 스마트팩토리 도입단계의 분포현황을 단계별, 연도별로 보여주고 있다. 구체적으로는, 각 단계를 더미변수로 정의하여 이들의 연도별 기술통계를 제시하고 있다. 2018년도에서 2019년도의 기간 동안 스마트팩토리 도입 계획이 없는 기업의 비율은 77.5%에서 59.7%로 감소한 반면, 도입 계획 중이거나 도입 중인 기업, 혹은 도입 완료한 기업의 비율은 증가하였다. 스마트팩토리를 도입 완료한 기업의 비율은 10.5%에서 22.2%로 두 배 이상 증가하였다.

Table 4. 스마트팩토리 도입단계별 연도별 분포현황

범주형 변수: 스마트팩토리 도입단계	2018년도(표본 수=1,881)		2019년도(표본 수 =1,904)	
	평균	표준편차	평균	표준편차
도입 계획 없음(더미)	0.775	0.418	0.597	0.491
도입 계획 중(더미)	0.030	0.171	0.047	0.211
도입 중(더미)	0.089	0.285	0.134	0.341
도입 완료(더미)	0.105	0.307	0.222	0.415

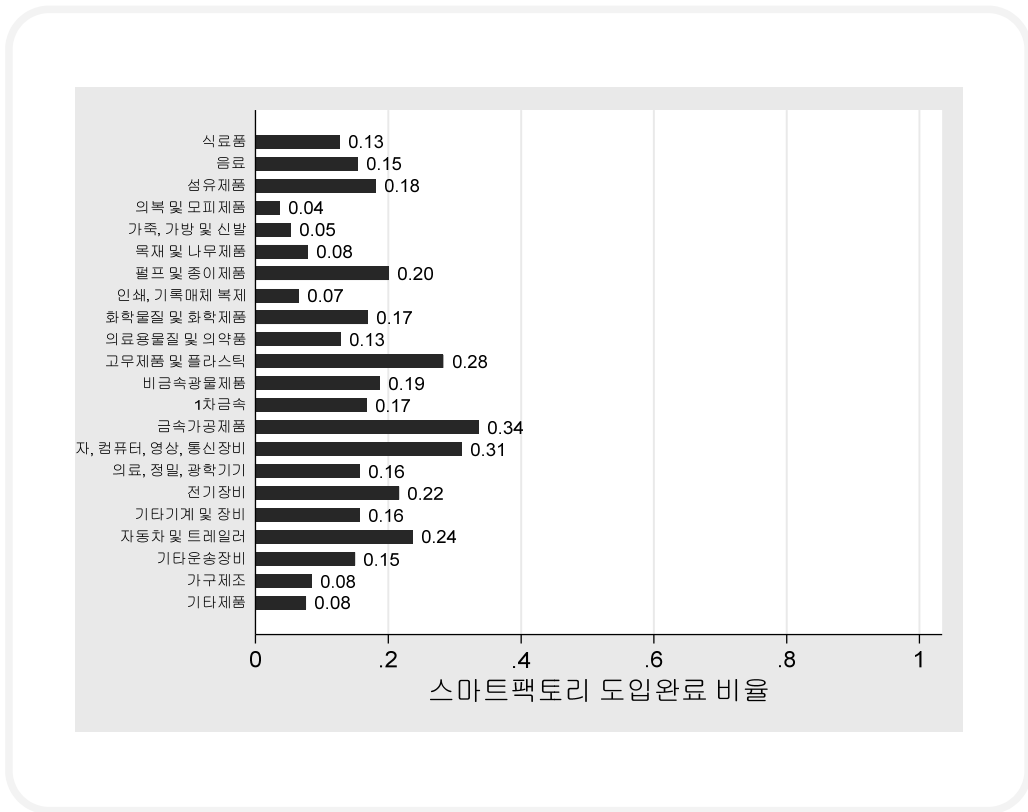
<Fig. 2>는 산업별 스마트팩토리 도입단계 평균을 보여주고 있다. 가장 평균값이 높은 산업은 금속가공 제품이었으며, 다음으로는 전자, 컴퓨터, 영상, 통신장비; 고무제품 및 플라스틱; 전기제품; 화학물질 및 화학제품; 자동차 및 트레일러가 뒤를 이었다. 가장 평균값이 낮은 산업은 가죽, 가방 및 신발이었으며, 다음으로는 의복 및 모피제품; 목재 및 나무제품; 인쇄, 기록매체 복제가 뒤를 이었다.

Fig. 2. 산업별 스마트팩토리 도입단계 평균



이어서 <Fig. 3>은 산업별 스마트팩토리 도입완료 비율을 보여주고 있다. 금속가공제품 산업에 속한 기업 중 34%가 스마트팩토리 도입을 완료하여 가장 높은 비중을 보여주었다. 다음으로는 전자, 컴퓨터, 영상, 통신장비에서 31%가, 고무제품 및 플라스틱에서 28%가 스마트팩토리 도입을 완료하였다. 이와 대조적으로 의복 및 모피제품에서는 4%가, 가죽, 가방 및 신발에서는 5%가, 인쇄, 기록매체 복제에서는 7%가 스마트팩토리 도입을 완료하여 낮은 비중을 보여주었다. <Fig. 2>와 <Fig. 3>은 스마트팩토리 도입과 관련하여 비교적 유사한 산업별 패턴을 보여주며, 스마트팩토리가 산업별로 차등적으로 분포하고 있음을 보여준다.

Fig. 3. 산업별 스마트팩토리 도입완료 비율



2. 다항 로지스틱 회귀분석 결과

<Table 5>는 기업의 스마트팩토리 도입단계에 대한 다항 로지스틱 회귀분석의 결과를 보여주고 있다. 추정계수의 표준오차(standard errors)는 기업에 대해 군집화(cluster)하였다. 기준범주(baseline category)는 스마트팩토리 도입계획이 없는($Y_i = 0$) 기업들이며, 열(1)-(3)은 기업이 이 기준범주에 속할 확률에 대비하여 도입계획 중($Y_i = 1$), 도입 중($Y_i = 2$), 도입완료($Y_i = 3$) 범주에 속할 확률을 나타내는 각각의 상대 로그 오즈(relative log odds)에 대한 설명변수의 영향을 보여주고 있다.

Table 5. 스마트팩토리 도입단계에 대한 다항 로지스틱 회귀분석 결과

종속변수=스마트팩토리 도입단계	열(1) 도입계획 중	열(2) 도입 중	열(3) 도입 완료
기업연령(자연로그)	0.160 (0.168)	0.139 (0.122)	-0.124 (0.100)
매출(자연로그)	0.397*** (0.089)	0.601*** (0.069)	0.771*** (0.070)
R&D집약도	2.567 (1.575)	1.791 (1.843)	4.528*** (1.180)
해외시장 범위	0.255 (0.404)	0.156 (0.274)	0.511** (0.244)
위탁기업 유무 더미	0.070 (0.199)	-0.110 (0.128)	0.255** (0.109)
남성 CEO 더미	-0.269 (0.335)	-0.189 (0.250)	-0.248 (0.225)
2019년도 더미	0.829*** (0.132)	0.863*** (0.077)	1.249*** (0.079)
상수	-9.515*** (1.423)	-12.914*** (1.189)	-14.895*** (1.157)
산업분류 더미	Yes	Yes	Yes
표본 수	3,785	3,785	3,785

Clustered standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

다항 로지스틱 회귀분석의 결과, 기업의 매출이 높을수록 기업이 스마트팩토리를 도입계획 중일 확률, 도입 중일 확률, 도입완료하였을 확률이 도입계획이 없을 확률에 대비하여 모두 높아지는 것으로 나타났다(열(1)-(3) p<0.01). 또한, 기업이 스마트팩토리 도입을 완료하였을 확률은 기업의 R&D집약도가 높을수록(p<0.01), 해외시장의 범위가 넓을수록(p<0.05), 위탁기업과 거래가 있는 경우(p<0.05) 도입계획이 없을 확률에 대비하여 높아졌다. 2019년도 더미의 계수는 2018년도에 비해 2019년도에 기업이 스마트팩토리를 도입계획 중일 확률, 도입 중일 확률, 도입완료하였을 확률이 도입계획이 없을 확률에 대비하여 모두 높아졌음을 보여준다(열(1)-(3) p<0.01).

하지만 기업연령은 기업의 스마트팩토리 도입에 도입단계를 불문하고 영향을 주지 않았다. 이는 가설 1과는 부합하지 않은 결과이다. 기업연령이 스마트팩토리 도입에 영향을 주지 않았던 것은 기업의 경험을 통해 형성된 조직루틴이 조직혁신의 도입을 저해하지는 않았던 것으로 해석할 수 있다. 아마도 조직혁신의 도입은 기업연령 그 자체보다는 기업연령과 잠재적으로 상관관계가 있는 CEO의 경험이나 기업이 생산하는 제품의 수명주기 등과 보다 직접적으로 관련되어 있을 가능성도 있다(Cucculelli, 2018). 또한, 남성 CEO 또한 기업의 스마트팩토리 도입에 도입단계를 불문하고 영향을 주지 않았으므로, 가설 6과는 부합하지 않았다. 이는 스마트팩토리 도입이 기업의 위험감수와는 크게 관련이 없었던 것으로 해석할 수 있다. 실제로 스마트팩토리 도입은 인더스트리 4.0 시대에 대비한, 제조업계의 주요 트렌드를 형성하고 있다고 볼 수 있어 수반하는 불확실성이 크지는 않다고 볼 수 있다. 또는 이 결과는 우리나라 제조업계의 맥락에서 CEO의 성별이 위험감수와는 큰 관련성이 없다는 것을 시사할 가능성도 있다.

전반적으로, 스마트팩토리를 도입완료한 기업이 도입계획이 없는 기업과는 다양한 기업특성에서 유의미한 차이를 보이는 반면, 도입계획 중이거나 도입 중인 기업은 기업규모를 제외한 기업특성에서 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조직혁신을 도입하는 혁신적인 기업들이 대체로 일찍 이에 착수하여 도입을 완료하는 것으로 잠재적으로 해석할 수 있다.

3. 추가 분석: 순서형 로지스틱 회귀분석(ordered logistic regression) 결과

앞서 본 연구는 스마트팩토리 도입단계를 범주형 종속변수로 정의하였다. 본 연구는 스마트팩토리 도입단계를 도입계획 없음($Y_i = 0$), 도입계획 중($Y_i = 1$), 도입 중($Y_i = 2$), 도입완료($Y_i = 3$)로 범주화하였는데, 이 변수가 점진적인(순서형) 성격을 가진다는 점을 고려하여 순서형 로지스틱 회귀모형(ordered logistic regression model)을 사용하여 추가 분석을 수행하였다. 앞선 다항 로지스틱 회귀분석에서와 마찬가지로 추정계수의 표준오차(standard errors)는 기업에 대해 군집화(cluster)하였다. Table 6은 기업의 스마트팩토리 도입단계에 대한 순서형 로지스틱 회귀분석의 결과를 보여주고 있다.

Table 6. 스마트팩토리 도입단계에 대한 순서형 로지스틱 회귀분석 결과

설명변수	열(1) 종속변수=스마트팩토리 도입단계
기업연령(자연로그)	-0.044 (0.080)
매출(자연로그)	0.653*** (0.052)
R&D집약도	3.701*** (1.001)
해외시장 범위	0.339* (0.194)
위탁기업 유무 더미	0.146* (0.084)
남성 CEO 더미	-0.195 (0.164)
2019년도 더미	1.017*** (0.054)
산업분류 더미	Yes
/cut1	12.176*** (0.832)
/cut2	12.413*** (0.834)
/cut3	13.224*** (0.842)
표본 수	3,785

Clustered standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

그 결과, 매출이 높을수록($p < 0.01$), R&D집약도가 높을수록($p < 0.01$), 해외시장의 범위가 넓을수록($p < 0.1$), 위탁기업과 거래가 있는 경우($p < 0.1$), 기업이 스마트팩토리를 도입완료하였을 확률이 도입계획 없음, 도입계획 중, 혹은 도입 중일 확률에 비해 높아지는 것으로 나타났다.³⁾ 또한, 기업연령과 남성 CEO는 기업이 스마트팩토리를 도입할 확률에 영향을 주지 않았다. 이러한 추가분석의 결과들은 앞선 다항 로지스틱 회귀분석의 결과와 부합하였다.

3) 순서형 로지스틱 회귀모형의 비례승산가정(proportional odd assumption)에 따라 이와 같이 해석할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 우리나라 중소기업의 스마트팩토리 도입 결정이 기업의 특성들과 어떠한 연관성을 가지는지에 대해 연구하였다. 본 연구는 중소벤처기업부와 중소기업중앙회에서 제공한 <중소기업실태조사>의 제조업 부문 자료를 이용하여, 2018년과 2019년 모두 정보가 존재하는 1,924개 중소기업들을 대상으로 이들의 스마트팩토리 도입 결정에 대해 실증분석하였다. 다항 로지스틱 모형을 사용하여 분석한 결과, 기업의 규모, R&D집약도, 해외시장의 범위, 위탁기업과의 거래는 기업이 스마트팩토리 도입을 완료하였을 가능성과 정(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 순서형 로지스틱 모형을 사용하여 기업의 스마트팩토리 도입 결정을 분석한 결과와도 부합하였다.

본 연구는 스마트팩토리 도입의 선행요인을 조명함으로써 조직혁신 관련 연구에 상당한 기여점을 가진다. 조직혁신은 업무수행방식에 대한 변화 도입을 포함하는 개념으로(OECD, 2005), 인더스트리 4.0 시대에 대비한 기업의 스마트팩토리 도입 또한 조직혁신의 일환으로 이해할 수 있다. 선행연구에서는 조직혁신이 기업의 규모 및 지리적 범위와 같은 조직요인과 긍정적인 상관관계를 가짐을 보여주었는데(Mol and Birkinshaw, 2009), 본 연구의 결과는 이와 부합하였다. 또한, 선행연구에서는 기업이 외부로부터 정보를 습득하거나 외부조직과 협력하면 조직혁신을 도입할 가능성이 높아짐을 보여주었는데(Moyano-Fuentes et al., 2012; Pippel, 2014; Simao and Franco, 2018), 기업이 위탁기업과 거래관계에 있을 때 스마트팩토리를 도입할 가능성이 높아진다는 본 연구의 결과는 이와도 부합하였다. 하지만 선행연구를 바탕으로 예상했던 것과는 달리, 기업연령과 CEO의 성별은 스마트팩토리 도입과 관련성을 가지지 않았다.

이처럼 본 연구는 대규모 표본기업들의 스마트팩토리 도입 결정을 상세히 분석하여 인더스트리 4.0 시대에 대비하여 시의적절한 함의를 제시하고 있다. 스마트팩토리 도입과 관련한 경영학 관점의 연구 대부분이 소규모 설문조사를 바탕으로 기업이 인식하는, 스마트팩토리를 도입하고자 하는 의도를 분석했던 것과는 달리(김정래, 이상직, 2020; 이다솔 외, 2020), 본 연구는 기업이 내린 실제 도입 결정을 분석하였다. 또한, 이러한 결정이 단계성을 가짐을 인식하여 별개의 범주(도입계획 없음-도입계획 중-도입 중-도입완료)로 구분하여 분석하였다. 본 연구의 결과에 따르면 스마트팩토리를 도입완료한 기업이 도입계획이 없는 기업과는 다양한 기업특성에서 유의미한 차이를 보이는 반면, 도입계획 중이거나 도입 중인 기업은 기업규모를 제외한 기업특성에서 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이는 스마트팩토리 같은 조직혁신을 도입하는 혁신적인 기업들이 대체로 일찍 조직혁신에 착수하여 도입을 완료하는 것으로 잠재적으로 해석할 수 있다.

이러한 결과들을 바탕으로 본 연구는 학술적인 시사점 외에도 실무적인 시사점을 가진다. 본 연구는 스마트팩토리 같은 중대한 조직혁신의 도입에 있어 기업의 경영자들은 이를 정당화할 수 있는 요소들에 집중하여 도입 결정을 내릴 수 있다. 스마트팩토리 도입에는 많은 비용이 소요되지만 규모가 크고, 혁신이 중요하고, 글로벌화된 기업이라면 도입의 비용 대비 편익이 높을 수 있다. 또한, 위탁기업과 거래관계에 있는 기업의 경영자들은 위탁기업들로부터 스마트팩토리 도입에 관한 정보를 용이하게 습득하거나 도입을 권유받는 등 이들로부터 조직혁신에 참여하도록 영향을 받을 수 있다. 스마트팩토리 도입을 권장하는 정책결정자들은 더욱 집중된 정책을 펼칠 수 있게 되어 정책의 효율성을 제고할 수 있다. 중소기업 중에서도 규모가 크고, 혁신이 중요하고, 글로벌화되어 있고, 위탁기업과 거래관계에 있는 기업은 스마트팩토리 도입에 적극적일 수 있으나, 그렇지 않은 기업은 도입계획이 없을 수 있다. 이러한 기업특성들에 따라 기업들에 대한 정책은 다르게 전개되어야 할 필요가 있어 보인다.

본 연구는 이러한 기여점 외에도 한계점 또한 가지고 있다. 우선, 본 연구는 우리나라 중소기업의 스마트팩토리 도입 결정을 실증분석하고 있으므로 본 연구의 결과를 우리나라 대기업이나 해외기업에 일반화하기는 어렵다. 또한, 본 연구는 자료의 한계로 인해 기업의 스마트팩토리 도입 결정에 잠재적으로 영향을 줄 만한 다른 변수들을 모두 고려하지는 못했다. 예를 들면, 기업의 조직혁신은 기술혁신(technological innovation) 수준이나 다양한 혁신저해요인 및 혁신지원제도에도 영향을 받을 수 있다(이병헌, 박상문, 2020). 본 연구는 기술혁신 수준이 R&D집약도 변수에 부분적으로 반영되는 것으로 이해하였고, 중소기업에 대한 혁신저해요인 및 혁신지원제도가 동일산업 내에서는 비교적 유사할 것으로

가정하여 이를 산업 디미변수들로 통제하였다. 혹은 기업의 조직혁신은 CEO나 제품의 특성(Cucculelli, 2018), 혹은 조직문화(정다운, 전병준, 2019)를 반영할 수도 있다. 후속연구는 이러한 한계점을 보완하여 기업의 스마트팩토리 도입에 영향을 줄 수 있는 다양한 조직, 산업, 정책 관련 요인을 고려하여 다각도에서 더욱 풍부한 시사점을 도출해낼 수 있을 것이다.

References

- 관계부처 합동, 대통령 직속 4차산업혁명위원회 (2017), “혁신성장을 위한 사람 중심의 4차산업 대응계획 I-Korea 4.0”.
- 김상문, 유연우, (2020), “기업역량이 스마트 팩토리 수용의도 및 경영성과에 미치는 영향 -지역특성을 조절변수로-”, *Journal of Digital Convergence*, 18(9), 125-133.
- 김정래, 이상직, (2020), “스마트팩토리 기술수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, *Journal of Information Technology Applications & Management*, 27(1), 75-95.
- 김종석, 강진원, (2019), “제4차 산업혁명관련 기업혁신활동 촉진, 장애요인별 우선순위에 대한 탐색적 연구”, *아태비즈니스연구*, 10(3), 153-171.
- 대통령 직속 4차산업혁명위원회 (2018), “스마트공장으로 7.5만개 일자리 창출”, 보도자료.
- 박형욱 (2015), “스마트 팩토리와 연관된 생산제조기술 동향”, *정보와 통신*, 33(1), 24-29.
- 이규택 (2016), “스마트공장 기술 동향 및 R&D로드맵”, *The Magazine of the IEIE*, 43(6), 16-24.
- 이다술, 부제만, 정현식, (2020), “스마트 팩토리 도입에 영향을 미치는 요인 분석: 경영인 유형과 업력을 중심으로”, *산업경영시스템학회지*, 43(2), 110-119.
- 이병현, 박상문, (2020), “정부 기술개발 지원사업이 중소기업의 혁신활동에 미치는 영향”, *아태비즈니스연구*, 11(4), 177-188.
- 정다운, 전병준, (2019), “조직문화와 혁신행동 간의 관계에서 조직신뢰, 의사소통의 매개효과: 제조업을 중심으로”, *아태비즈니스연구*, 10(1), 39-54.
- 조가원, 조용래, 강희중, 김민재, 2018, “2018년 한국기업혁신조사: 제조업 부문”, 조사연구 2018-06-01, 과학기술 정책연구원.
- 중소벤처기업부 (2019), 『중소기업실태조사』 통계정보보고서.
- Alsharkas, Z. (2014), “Firm size, competition, financing and innovation”, *International Journal of Management and Economics*, 44, 51-73.
- Balasubramanian, N. and J. Lee (2008), “Firm age and innovation”, *Industrial and Corporate Change*, 17(5), 1019-1047.
- Ballot, G., F. Fakhfakh, F. Galia, and A. Salter (2015), “The fateful triangle: Complementarities in performance between product, process and organizational innovation in France and the UK”, *Research Policy*, 44(1), 217-232.
- Baumann, J. and A. S. Kritikos (2016), “The link between R&D, innovation and productivity: Are micro firms different?”, *Research Policy*, 45(6), 1263-1274.
- Bronzini, R. and P. Piselli (2016), “The impact of R&D subsidies on firm innovation”, *Research Policy*, 45(2), 442-457.
- Cagliano, R., F. Caniato and G. Spina (2006), “The linkage between supply chain integration and manufacturing improvement programmes”, *International Journal of Operations & Production Management*, 26(3), 282-299.
- Chen, W. and F. Kamal (2016), “The impact of information and communication technology adoption on multinational firm boundary decisions”, *Journal of International Business Studies*, 47(5), 563-576.
- Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1990), “Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation”, *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.

- Criscuolo, C., J. E. Haskel, and M. J. Slaughter (2010), "Global engagement and the innovation activities of firms", *International Journal of Industrial Organization*, 28(2), 191-202.
- Croson, R. and U. Gneezy (2009), "Gender differences in preferences", *Journal of Economic Literature*, 47(2), 448-474.
- Cucculelli, M. (2018), "Firm age and the probability of product innovation. Do CEO tenure and product tenure matter?", *Journal of Evolutionary Economics*, 28, 153-179.
- Dooley, L., B. Kenny and M. Cronin (2016), "Interorganizational innovation across geographic and cognitive boundaries: does firm size matter?", *R&D Management*, 46, 227-243.
- Duman, M. C. and B. Akdemir (2021), "A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance", *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615.
- Eckel, C. C. and P. J. Grossmann (2008), "Men, women and risk aversion: Experimental evidence", In C. R. Plott and V. L. Smith (Eds.), *Handbook of Experimental Economics Results* (p.1061-1073), Amsterdam: North-Holland.
- Ertac, S. and M. Y. Gurdal (2012), "Deciding to decide: Gender, leadership and risk-taking in groups", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 83, 24-30.
- Faccio, M., M.-T. Marchica and R. Mura (2016), "CEO gender, corporate risk-taking, and the efficiency of capital allocation", *Journal of Corporate Finance*, 39,193-209.
- Filippin, A. and P. Crosetto (2016), "A reconsideration of gender differences in risk attitude", *Management Science*, 62(11), 3138-3160.
- Ganter, A. and A. Hecker (2013), "Deciphering antecedents of organizational innovation", *Journal of Business Research*, 66(5), 575-584.
- Greene, W. H. (2012), "Econometric analysis (7th ed.)", Pearson Education.
- Hall, B. H. (2011), "Innovation and productivity", NBER working paper #17178.
- Hambrick, D. C. and P. A. Mason (1984), "Upper echelons: The organization as a reflection of its top managers", *Academy of Management Review*, 9, 193-206.
- Hannan, M. T. and J. Freeman (1984), "Structural inertia and organizational change", *American Sociological Review*, 49(2), 149-164.
- Hervas-Oliver, J.-L., F. Sempere-Ripoll, C. Boronat-Moll and R. Rojas-Alvarado (2018), "On the joint effect of technological and management innovations on performance: increasing or diminishing returns?", *Technology Analysis & Strategic Management*, 30(5), 569-581.
- Kafouros, M. I., P. J. Buckley, J. A. Sharp and C. Wang (2008), "The role of internationalization in explaining innovation performance", *Technovation*, 28(1-2), 63-74.
- Kamaruddin, N. K. and Z. M. Udin (2009), "Supply chain technology adoption in Malaysian automotive suppliers", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(3), 385-403.
- Kumar, N. and S.-C. Lee (2022), "Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review", *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121284.
- Lee, R., J.-H. Lee and T. C. Garrett (2019), "Synergy effects of innovation on firm performance", *Journal of Business Research*, 99, 507-515.
- Lee, N., H. Sameen and M. Cowling (2015), "Access to finance for innovative SMEs since the financial crisis", *Research Policy*, 44(2), 370-380.
- Leonard-Barton, D. (1992), "Core capabilities and core rigidities: A paradox in managing new product development", *Strategic Management Journal*, 13, 111-125.
- Longo, F., L. Nicoletti and A. Padovano (2017), "Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context", *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144-159.
- Martin, A. D., T. Nishikawa and M. A. Williams (2009), "CEO gender: Effects on valuation and risk", *Quarterly Journal of Finance and Accounting*, 48(3), 23-40.

- Mol, M. J. and J. Birkinshaw (2009), "The sources of management innovation: When firms introduce new management practices", *Journal of Business Research*, 62(12), 1269-1280.
- Moyano-Fuentes, J., M. Sacristán-Díaz and P. J. Martínez-Jurado (2012), "Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry", *International Journal of Operations & Production Management*, 32(9), 1075-1096.
- Nelson, R. R. and S. G. Winter (1982), "An evolutionary theory of economic change", Belknap.
- Neugebauer, R., S. Hippmann, M. Leis and M. Landherr (2016), "Industrie 4.0 - From the perspective of applied research", *Procedia CIRP*, 57, 2-7.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2005), "Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data", Oslo Manual, 3rd ed.
- Pakes, A. and Z. Griliches (1984), "Patents and R&D at the firm level: a first look", In Z. Griliches (Ed.), *R&D, Patents, and Productivity* (pp. 55–71), University of Chicago Press.
- Pippel, G. (2014), "R&D cooperation for non-technological innovations", *Economics of Innovation and New Technology*, 23(7), 611-630.
- Rüb, J. and H. Bahemia (2019), "A review of the literature on smart factory implementation", 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 1-9.
- Schmidt, T. (2010), "Absorptive capacity—One size fits all? a firm-level analysis of absorptive capacity for different kinds of knowledge", *Managerial and Decision Economics*, 31(1), 1-18.
- Schneckenberg, D. (2015), "Open innovation and knowledge networking in a multinational corporation", *Journal of Business Strategy*, 36(1), 14-24.
- Simao, L. and M. Franco (2018), "External knowledge sources as antecedents of organizational innovation in firm workplaces: A knowledge-based perspective", *Journal of Knowledge Management*, 22(2), 237-256.
- Sousa, M. J., R. Cruz, A. Rocha and M. Sousa (2019), "Innovation trends for smart factories: A literature review", In A. Rocha, H. Adeli, L. P. Reis, & S. Costanzo (Eds.), *New Knowledge in Information Systems and Technologies* (p. 689-698), Springer.
- Vaidya, S., P. Ambad, and S. Bhosle (2018), "Industry 4.0 – A glimpse", *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.
- Won, J.-Y. and M.-J. Park (2020), "Smart factory adoption in small and medium-sized enterprises: Empirical evidence of manufacturing industry in Korea", *Technological Forecasting and Social Change*, 157, 120117.