creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학 석사학위 논문

제조업의 통합적 프로세스 혁신을 향하여

– 주요 생산 물류 프로세스에 대한 스마트제조 정보화 기술의 수용과 활용에 영향을 미치는 요인에 대한 연구 –

Toward Integrative Process Innovation in Manufacturing

: An Investigation on the Factors Influencing the Adoption and Implementation of SMIT in Key Manufacturing Processes

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

협동과정 기술경영경제정책전공

김 하 율

제조업의 통합적 프로세스 혁신을 향하여

:주요 생산 물류 프로세스에 대한 스마트제조 정보화 기술의 수용과 활용에 영향을 미치는 요인에 대한 연구

Toward Integrative Process Innovation in Manufacturing

: An Investigation on the Factors Influencing the Adoption and Implementation of SMIT in Key Manufacturing Processes

지도교수 황준석

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2023 년 1 월

서울대학교 대학원

협동과정 기술경영경제정책전공

김 하 율

김하율의 공학석사학위 논문을 인준함

2023 년 1 월

위 원 장 구윤모 (인)

위 원 황준석 (인)

위 원 이대호 (인)

초 록

한국 정부는 2014 년 제조업에 ICT 를 융합하는 “제조업 혁신 3.0” 정책을 발표하며 스마트 팩토리 보급에의 첫 걸음을 떼었다. 그러나 스마트 팩토리를 공정혁신의 통합적 관점으로 접근할 때, 중소기업의 스마트 팩토리 정부지원사업 보급이 전체 생산 및 물류 공정, 또는 프로세스에서 정보통신 기술이 구축 및 통합되고, 스마트 시스템과 연결되며, 엔지니어링 지식이 후속 창출되는 질적인 목표를 달성하고 있는 지는 실증이 필요하다. 본 연구는 사회적 기술 시스템으로서의 스마트 생산, 제조혁신을 달성하기 위해서는 제품 제조에 영향을 미치는 전체 생산 및 물류 프로세스에서 정보기술이 통합적으로 수용되고 활용되어야 한다는 문제의식을 제기하며, 중소제조기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입 결정을 기술의 수용으로 보는 기존 연구 모델과 본 연구에서 추가로 제시하는 생산 및 물류 프로세스에의 통합적 정보화 기술 수용과 활용 모델의 결정요인을 비교 분석함으로써, 스마트 팩토리를 도입한 중소제조기업들이 주요 생산활동 프로세스에 통합적으로 정보기술을 도입하고 이것이 활용으로 이어지고 있는 지 중소기업 정보화 수준 데이터를 통해 실증한다. 더불어, 중소제조기업이 제한된 자원을 활용하여 통합적 기술수용과 활용의 방향으로 나아가기 위하여 주요 생산 프로세스에 통합적으로 기술이 수용되고 활용되는 데에 영향을 미치는 결정요인을 파악하여 향후 지원정책방향을 제시함을 목표로 한다.

주요어: 스마트 팩토리, 프로세스 혁신, 디지털 전환, 결정요인, TOE
학 번 : 2020-22948

목 차

초 록 iii
목 차 iv
표 목차 vii
그림 목차 viii
제1장 서론 1
제1절 연구의 배경 및 목적 1
1. 연구배경 1
2. 연구목적 4
제2절 연구의 방법 및 구성 6
1. 연구의 방법 6
2. 연구의 구성 8
제2장 이론적 고찰 11
제1절 스마트 팩토리의 이해 11
1. 스마트 팩토리의 개념 및 특징 11
2. 스마트 팩토리의 현황 17
3. 스마트팩토리와 중소기업 20
4. 스마트 팩토리 관련 연구동향 22
제2절 이론의 이해 및 선행연구 25
1. 스마트팩토리 도입 결정요인의 선행연구 25
2. 도입의도와 활용수준의 이해 36

3. 생산 및 물류 프로세스 구분과 신기술 도입 및 활용의 단계..... 37
제3절 프레임워크에 대한 이해와 선행연구..... 41
1. 기술-조직-환경 프레임워크의 이해..... 41
2. 기술 차원의 이해..... 45
3. 조직 차원의 이해..... 46
4. 환경 차원의 이해..... 48
제4절 스마트 팩토리 관점에서의 교육과 지식공유..... 49
제3장 연구모형과 가설설계..... 51
제1절 연구모형의 설계..... 51
제2절 연구가설..... 54
제4장 연구방법..... 60
제1절 연구 대상 및 데이터..... 60
제2절 분석 변수 및 측정 도구..... 61
제3절 분석방법 및 절차..... 65
제5장 연구결과..... 66
제1절 연구대상기업의 일반적 특성..... 66
제2절 주요변수의 기술통계..... 69
제3절 주요 변수 간 상관관계..... 72
1. 모형 1에 대한 주요 변수 간 상관관계..... 72
2. 모형 2에 대한 주요 변수 간 상관관계..... 73
3. 모형 3에 대한 주요 변수 간 상관관계..... 74
제4절 측정모형 분석..... 75
1. 모형 1에 대한 측정모형 분석..... 75

2. 모형 2에 대한 측정모형 분석 77
3. 모형 3에 대한 측정모형 분석 77
제5절 구조모형 분석 78
1. 모형 1에 대한 구조모형 분석 78
2. 모형 2에 대한 구조모형 분석 80
3. 모형 3에 대한 구조모형 분석 82
제6장 결론 84
제1절 결과요약 및 시사점 84
제2절 한계점 및 향후 연구 방향 88
참고문헌 89
ABSTRACT 106

표 목차

<표 1> 발견된 선행연구 (출판 연도별 구분) 29
<표 2> 연구에 사용된 생산 및 물류 관련 프로세스 38
<표 3> 기술 및 프로세스 혁신의 수용 단계 38
<표 4> Forward-Backward Analysis on Leading Papers 42
<표 5> 모형 2, 모형 3 종속변수의 측정도구 53
<표 6> 측정변수와 잠재변수 61
<표 7> 연구대상 기업의 일반적 특성 67
<표 8> 주요 변수에 대한 평균, 표준편차, 첨도, 왜도 69
<표 9> 모형 1에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과 72
<표 10> 모형 2에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과 73
<표 11> 모형 3에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과 74
<표 12> 모형 1에 대한 측정 모형 분석 75
<표 13> 모형 2에 대한 측정 모형 분석 77
<표 14> 모형 3에 대한 측정 모형 분석 77
<표 15> 모형 1에 대한 구조모형 분석 78
<표 16> 모형 1 각 측정변수의 경로계수 78
<표 17> 모형 2에 대한 구조모형 분석 80
<표 18> 모형 2 각 측정변수의 경로계수 81
<표 19> 모형 3에 대한 구조모형 분석 82
<표 20> 모형 3 각 측정변수의 경로계수 83

그림 목차

<그림 1> 연구의 구성 10
<그림 2> 1차 데이터 쿼리 적용결과 22
<그림 3> 스마트 팩토리 관련 연간 연구 출판물 수..... 23
<그림 4> 연구 수집 절차 1..... 27
<그림 5> 연구 수집 절차 2..... 28
<그림 6> 연구모형 1..... 51
<그림 7> 연구모형 2..... 51
<그림 8> 연구모형 3..... 52
<그림 9> Y1에 대한 경로분석 결과 요약..... 79
<그림 10> Y2에 대한 경로분석 결과 요약..... 81
<그림 11> Y3에 대한 경로분석 결과 요약..... 83

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구배경

정보통신기술, 디지털 기술의 발전은 서비스 부문의 혁명을 가져왔으며, 나아가 모든 산업의 지형을 바꾸고 있고, 이를 통해 등장한 인터넷과 모바일 기반의 IoT, 클라우드, 빅데이터 등의 정보화 기술은 디지털 전환에 큰 영향을 미치고 있다 (Won & Park, 2020a). 이에 따라 제조업체 또한 디지털 컴퓨팅의 발전으로 인해 산업자동화라는 강력한 프로세스에 직면했다 (Reis & Camargo, 2021). 이러한 변화는 제조업 부문에서의 혁신과 디지털 전환을 끊임없이 촉구해 왔으며 생산 운영프로세스에 정보화 기술이 확산되면서 Industry 4.0, 스마트 공장(스마트 팩토리: Smart Factory, 본 문헌에서는 스마트 팩토리로 통칭하도록 한다.) 등의 개념으로 발전해 왔다.

제조업은 전통적으로 세계 경제의 성장과 산업혁명에서 중추적인 역할을 이행하여 왔으나, 지난 반세기 동안 금융 및 지식기반 서비스산업이 핵심산업으로 부상하면서 전체 부가가치에서 제조업이 차지하는 비중은 지속적으로 감소하고 있으며, 이는 선진국에서 더욱 두드러지는 경향성을 보인다 (Won & Park, 2020a). 이에 제조업 부문의 혁신은 끊임없이 화두가 되어 왔으며 많은 국가에서 제조 구조의 혁신을 시도하고 있다 (Xu et al, 2018). 공장자동화, 유비쿼터스 공장과 같은 개념이 이전에도 존재하였으나, 2011년 독일 정부가 Industry 4.0을 위한 하이테크 전략 2020 실행 계획을 선언하면서 스마트 팩토리 개념이 정립되었고, 미국, 대만, 일본, 프랑스, 중국, 튀르키예, 인도, 한국 등이 대표적으로 이니셔티브를 이행하면서 활발히 연구하고 있다.

2010년 이후 한국도 서비스 중심 경제로 전환하면서 제조업은 계속해서 쇠

퇴하고 있다. 외부적으로는 전통적 제조 강국인 미국, 독일, 일본의 기술・품질・경쟁력 측면에서의 경쟁 압박과, 고속성장을 일궈온 중국, 인도 등 노동집약적 강점으로 값싼 노동력과 기술력을 축적해온 경제개발도상국 중심 후발주자들의 위협이 거세지고 있으며 (김현규, 2020), 내부적으로는 생산가능인구 감소, 노동인력에 대한 지속적인 노동임금 상승과 원자재 비용 상승 등의 국내 성장 환경의 한계적 요인 등의 문제를 앓고 있다는 대내외적인 압력이 이에 대한 원인으로 꼽힌다. 그럼에도 불구하고 한국은 국민 총생산에서 제조업이 차지하는 부가가치 비율이 약 27~28%로서 여전히 제조업이 부가가치 창출의 중요 원천이다 (통계청, 2019년: 27.5%, 2020년: 27.1%, 2021년: 27.9%)[1]. 한국은 지난 반세기 동안 유례없는 성장을 이룩한 나라이며, 그 기초를 제조업에 두고 있다. 따라서 디지털 전환을 통한 제조혁신은 국가적으로 중요한 과제로 인식되고 있으며, 한국 정부는 스마트 팩토리 보급 및 확산에 대한 정책을 마련하고 대기업에서 중소기업으로 지원을 확대해 나가고 있다.

한국은 2015년에 제조혁신추진단을 신설해 2025년까지 중소기업의 제조생산공정에 ICT 기술을 접목한 스마트 팩토리 3만개를 구축한다는 계획을 발표했다 (Won & Park, 2020a). 스마트 팩토리 운영 수준도 초기 단계에서 활성화 단계로 진입하고 있는 현황이며, 스마트 팩토리의 양적 성장과 정부 지원 정책의 활성화 측면에서 괄목할 만한 성과를 이루었다고 평가된다 (김수영, 2018). 반면, 기술 및 제조 역량 인프라와 자본이 부족한 중소기업들은 스마트 팩토리를 도입하고 운영하는 방안에 대한 정보가 부족하고, 수집된 데이터

[1] 통계청. (연도미상). 경제활동별 국내 총생산(OECD). https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA906

분석 및 활용에 대한 인력 및 기술이 부족하여 어려움을 겪고 있다 (김수영, 2018). 이에 따라 스마트 팩토리의 양적성장과 더불어 확장성과 지속가능성 확보가 시급한 사안으로 논의되고 있다.

전세계적으로 2010년 이후 스마트 팩토리와 Industry 4.0에 대한 연구가 폭발적으로 증가했으나, 스마트 팩토리에 대한 명확한 정의와 도입의 결정 요인 및 영향에 대한 연구는 여전히 부족한 상황이고, 특히 중소기업에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다 (Won & Park, 2020a). 대다수의 선행연구는 정책에 대한 비교 분석 또는 공학적 관점에서 접근하여 초기 스마트 팩토리 정착에 유의한 영향을 미쳤으나 (김현규, 2020), 활성화 단계에 진입하는 현재의 국면에서 경제적 성과와 운영 측면에서의 효율성을 높여 스마트 팩토리 구축 수준을 향상시키기 위해 사회과학적 프레임워크를 적용한 실증연구와 검토가 필요하다. 한국은 적극적인 정책 추진을 통해 양적 성과를 거둔 국가로, 한국 중소기업 사례를 통한 실증연구는 Industry 4.0과 스마트 팩토리 관점에서 중요한 의의를 가질 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 데이터에 기반한 경험적 연구를 통해 중소 제조업 부문의 정보화 기술을 활용한 기술혁신의 현황을 파악하고, 이에 영향을 미치는 결정요인을 스마트 팩토리 이니셔티브 수용과 공정혁신을 위한 프로세스 전반의 기술 도입, 그리고 활용의 세 측면에서 탐색하고자 한다. 기존연구는 스마트 팩토리 정부 이니셔티브의 도입 결정요인을 탐색하였으나 (Won & Park, 2020a), 본 연구는 프로세스 혁신 관점을 반영하여 실질적인 생산 및 물류 관련 프로세스의 정보화 기술(SMIT) 도입과 활용수준을 종속변수로 채택한 모델을 추가로 제시하여 이들에 영향을 미치는 요인과 스마트 팩토리 도입의 결정요인을 비교함으로써 이들이 시사하는 바를 탐색한다는 데에 의의가 있다.

2. 연구목적

본 연구는 같은 프레임워크와 독립변수를 채택하고 상이한 종속변수를 채택하는 세 가지 모델을 비교하여 결과를 제시한다. 첫 번째 모델에서는 중소 제조기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 영향을 미치는 요인과 그 영향을 파악한다. 두 번째 모델에서는 생산 및 물류 프로세스 전반에 걸친 정보화 기술의 통합적 도입에 영향을 미치는 요인과 영향을 파악하여 제시하였으며, 세 번째 모델에서는 중소 제조기업의 생산 및 물류 프로세스 전반에 걸친 정보화 기술의 통합적 활용에 영향을 미치는 요인과 영향을 파악하여 제시하였다. 이를 비교한 자료를 제시함으로써 실질적인 프로세스 혁신을 통해 스마트 팩토리 구축 수준의 질적 발전과 중소 제조기업의 대외 경쟁력을 높일 수 있도록 돕는 기초자료를 제공하고자 한다. 이에 따라 본 연구는 다음과 같이 세 가지 측면에서 연구목적을 정의한다.

첫째, 스마트 팩토리 관련 초기 연구는 제조업의 생산성 향상을 위해 1970년대 이후 공장지원시스템 발전의 역사적 흐름에서 공장에 적용되는 디지털 기술 보급과 연계한 스마트 팩토리 정책 도입 연구 또는 공학적 연구가 주를 이루었다. 그러나 본 연구는 중소 제조업 기업의 통합적 정보기술 수용 및 활용을 위한 결정요인을 탐색함을 그 목적으로 하여 기술적 역량을 강조하는 패러다임 전환, 공장 자동화 관점에서 벗어나 사회・기술적 관점에서 스마트 팩토리를 해석하며, 조직의 문화나 조직구성원의 수용능력, 교육과 환경적 요인을 조화시키는 데에 초점을 맞춰 스마트 팩토리에 대한 재인식과 올바른 방향성에 대해 재고하고자 한다.

둘째, 스마트 팩토리 관련 도입 요인 및 결정요인을 탐색하는 기존의 연구는 스마트 팩토리 정책 또는 이니셔티브 도입과 기술 수용을 동등한 의미로

해석하고 연구를 진행하였으나, 본 연구는 프로세스 혁신의 관점을 취하여 생산 및 물류 관련 공정에의 5개 부문에서의 통합적 정보화 기술 수용 및 활용을 제조혁신의 핵심으로 보았다. 이를 스마트 팩토리 정책 수용 모델과 비교하여 차이점을 제시함으로써 실증분석을 통한 스마트 팩토리 관련 연구의 확장성에 기여하고자 한다.

셋째, 한정된 자원을 가진 중소제조기업의 정보화 기술 도입의도에 영향을 미치는 요인, 그리고 조직 측면에서 이를 활성화할 수 있는 방안을 밝힘을 그 목적으로 하여 결정요인과 그 의미에 대해 제시하고자 한다. 이에 대한 명확한 이해는 스마트 팩토리와 그에 수반하는 정보화 기술을 도입했거나 도입을 고려하고 있는 중소기업이 보다 합리적인 결정을 내리는 데에 도움을 줄 수 있으며, 정책 당국과 학계가 중소기업의 역량과 실정에 적합한 전략적 정책 방향성과 이론적 모델을 제시하고 그 효과를 예측함에 있어 시사점을 제공할 것으로 기대된다.

본 연구의 핵심철학은 스마트 팩토리를 통한 중소제조기업의 디지털 전환과 기술혁신 시도가 단순한 기술도입 또는 단일 프로세스의 정보화에 그치는 것이 아니라, 실질적인 성과를 발생시키고, 지속가능한 제조혁신이 수반되기 위해서 전체 프로세스에 통합적으로 IT가 수용되며, 이것이 활용 수준까지 도달해야 한다는 문제의식을 기반으로 한다. 이것은 외부의 압력과 경영자의 의지만으로 이루어지지 않으며, 조직의 전체적인 관심과 조직 준비 및 시스템 운영역량 강화를 필요로 한다. 이러한 관점을 반영하여 조직차원 관측변수에 직원의 관심과 지식습득 노력을 포함하였으며, 잠재요인으로 시스템 운영역량 요인을 포함하였다.

제2절 연구의 방법 및 구성

1. 연구의 방법

본 연구의 목적을 달성하기 위해 선행연구를 토대로 연구모형과 가설을 설계하고 공개데이터 분석을 통한 실증연구를 실시하였다. 선행연구는 스마트 팩토리와 Industry 4.0을 다루는 국제 문헌의 경향성을 1차로 파악하여 본 분야의 연구가 2007년부터 지속적으로 증가하고 있음을 보였으며, 스마트 팩토리 도입 결정요인 관련 학술 연구자료 및 컨퍼런스 페이퍼를 체계적 문헌 검토의 방법을 취해 2차로 분류함으로써, 관련 학술 연구 21편을 도출하고, 이를 분석하여 제시하였다.

이후, 연구에 사용되는 프레임워크, 관측변수와 결정요인들 (최고경영자 의지 및 지원, 시스템 운영역량, 정부의 압박 및 산업경쟁 등)이 스마트 팩토리 도입의도에 미치는 영향을 파악하기 위해 체계적 문헌검토를 통해 취합된 선행연구의 최종 집합을 참고해 기존의 연구체계에서 제시한 프레임워크와 관측변수, 잠재요인을 토대로 본 연구목적과 상황에 맞도록 이론적 배경을 제시하여 보완하였으며, 채택된 변수를 토대로 연구모형과 가설을 설정하여 관찰과 분석 등의 방법으로 설정한 가설을 검증하는 방식을 따라 연구를 설계하였다.

설정된 가설을 검증하기 위해 전국 4000개 중소기업을 대상으로 한 2020 정보화 수준 조사 데이터가 활용되었으며, 이 중, 제조업만을 필터링 하여 1714개 데이터를 추출하고, 연구 모형에 맞게 배열하는 작업을 거쳤다.

실증분석을 위한 도구는 IBM SPSS Statistics 26.0 통계 패키지와 SPSS Amos 25를 활용하였다. 먼저, 연구 데이터의 기초적인 분석을 위해 IBM SPSS Statistics 26.0 통계 패키지를 활용하여 빈도분석과 기술통계 분석 결

과를 제시하여 표본기업의 특성을 검토하였고, 이후 각 잠재요인 간 타당성과 신뢰성을 확보하기 위해 신뢰도 분석을 실시하였으며, 잠재변인 간의 상관관계를 파악하기 위해 피어슨(Pearson) 상관관계분석을 실시하여 제시하였다. 이후, 연구모형에 대한 타당성과 신뢰성 분석을 기반으로 가설검증을 위해 SPSS Amos 25를 활용하여 모델의 적합도를 확인한 뒤, 확인적 요인분석과 경로분석을 실시하여 각 종속변수에 영향을 미치는 결정요인을 탐색하여 제시하고, 각 모형별로 도출된 결과를 비교하여 분석하였다.

2. 연구의 구성

연구방법을 토대로 본 연구는 6개의 장으로 구성되었다.

제1장 서론에서는 제조업 부문의 정보화를 기반으로 하는 제조혁신의 역사와 국내 및 해외 현황을 제시하여 연구주제의 배경을 설명하였으며, 국내 중소 제조기업들을 대상으로 하는 이니셔티브 도입을 통해 정보화 기술이 제조공정에 통합적으로 도입되고 활용됨으로써 중소 제조기업의 경쟁력을 강화해 나가야 한다는 근거를 제시한다. 이를 반영하여 제조 프로세스에의 통합적 기술도입과 활용의 결정요인을 파악하는 연구의 필요성을 제시하였으며, 그에 따른 연구목적과 방법, 구성을 제시하였다.

제2장 이론적고찰에서는 스마트 팩토리의 개념적 이해와 특징 및 국내외 스마트 팩토리 정책 현황을 제시하였으며, 중소기업 맥락의 이해를 덧붙였다. 이를 기반으로 스마트 팩토리의 전박적인 학술연구동향을 제시하였으며 이후 체계적인 문헌검토를 통해 본 논문과 연관된 연구의 동향을 제시하였다. 이후 제시된 연구의 동향을 참고하여 도입의도와 활용수준의 이해, 생산 및 물류 프로세스 구분과 신기술 도입의 단계, 제시된 TOE프레임워크의 세가지 차원(기술-조직-환경: Technology-Organization-Environment), 스마트 팩토리 관점에서의 교육과 지식경영 등 연구의 모형과 가설 설정의 토대가 된 이론에 대한 고찰이 수행되었다.

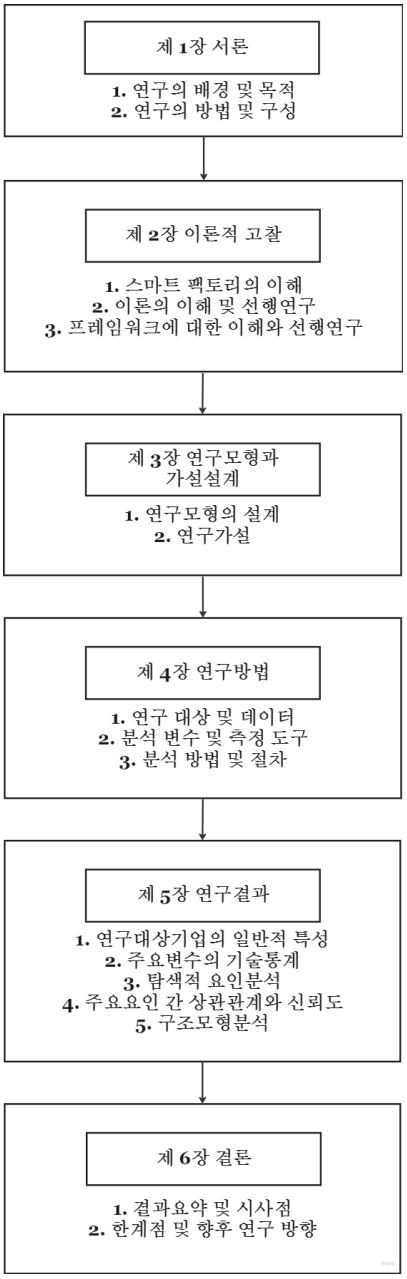
제3장 연구모형과 가설설계에서는 제2장 이론적 고찰에서 다루어진 프레임워크와 잠재요인 및 관측변수, 선행연구를 토대로 3가지의 연구모형을 설계하였다. 이 중 첫 번째 연구모형은 기존 선행문헌에서 연구된 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 대한 연구모형으로써, 연구자가 새롭게 제시하는 두 번째, 세 번째 연구모형과 그 결과를 비교하여, 기존연구와의 차이점을 제시하는 것

을 목표로 하였다. 다음 절에서는 본 연구의 중심 연구질문을 한 문장으로 제시하고, 이를 연구적으로 해결하기 위한 주가설 3항목, 세부가설 15항목을 도출하였다.

제4장 연구방법에서는 연구대상 및 활용된 데이터를 소개했다. 가설에서 활용한 독립변수와 종속변수 그리고 잠재요인 등 각 변수의 조작적 정의와 측정도구를 소개한 후, 이를 코드로 정리하여 기반 이론 출처와 함께 표로 제시하였다. 다음으로는 분석방법 및 연구절차를 기술하면서 방법론 채택의 이유와 사용된 프로그램을 명시하였다.

제5장 연구결과에서는 실증분석을 통한 연구 결과를 제시하였다. 먼저 분석대상으로 삼은 표본기업의 일반적 특성을 빈도분석과 기술통계 분석을 통해 분석하였고, 주요 연속형 변수의 왜도와 첨도를 파악하여 모형의 적절성을 해치는 변수가 있는 지 확인하였다. 이후에는 도출된 잠재요인에 대한 신뢰도와 상관관계를 분석한 결과를 제시하였다. 다음으로 모형 1, 2, 3의 측정모형 분석을 통해 연구모형의 적합도를 확인한 후, 확인적 요인분석과 경로분석을 통해 가설을 검증한 결과에 대해 정리하였다.

제6장 결론에서는 본 연구의 결과를 요약하고 가설에 대해 검정한 결과를 토대로 본 연구가 시사하는 바를 실무적 관점, 정책적 관점, 학술적 관점으로 나누어 정리하였다. 더불어 중소기업이 생산 및 물류 프로세스 전반에 정보기술을 성공적으로 구축하기 위하여 조직과 정책 차원에서 나아가야 할 방향성, 정부정책 재검토의 필요성 등을 제시하였다. 그리고 연구를 통해 발견된 문제점 및 한계점을 제시하고 향후 본 연구의 확장 및 보완 방향성, 그리고 후속 연구의 가능성 및 연구기회에 대해 서술하였다. 이상 전체 연구의 구성은 <그림 1>에 도표로 정리하였다.


제 1장 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 방법 및 구성
제 2장 이론적 고찰
1. 스마트 팩토리의 이해
2. 이론의 이해 및 선행연구
3. 프레임워크에 대한 이해와 선행연구
제 3장 연구모형과 가설설계
1. 연구모형의 설계
2. 연구가설
제 4장 연구방법
1. 연구 대상 및 데이터
2. 분석 변수 및 측정 도구
3. 분석 방법 및 절차
제 5장 연구결과
1. 연구대상기업의 일반적 특성
2. 주요변수의 기술통계
3. 탐색적 요인분석
4. 주요요인 간 상관관계와 신뢰도
5. 구조모형분석
제 6장 결론
1. 결과요약 및 시사점
2. 한계점 및 향후 연구 방향

<그림 1> 연구의 구성

제2장 이론적 고찰

제1절 스마트 팩토리의 이해

1. 스마트 팩토리의 개념 및 특징

1) 스마트 팩토리의 개념

“스마트 팩토리(Smart Factory)”라는 용어는 2011년 독일에서 Industry 4.0이라는 용어를 소개하면서 생산 기술의 중요성을 강조하고 기계 중심 제조에서 디지털 제조로의 전환을 생성하는 방법론을 정의하면서 시작되었다 (Oztemel & Gursev, 2020). 스마트 팩토리라는 용어는 산업 실무자와 학자 모두가 사용하지만 기술의 다양성과 통합적인 접근법으로 인해 국가별 다소 차이가 있어 일관된 정의가 없다는 의견이 지배적이고, 상호교환적으로 사용되는 다른 용어로는 유비쿼터스 공장(U-Factory), 사물공장 (Factory of Things), 실시간 공장 (Real-time Factory) 또는 지능형 공장 등이 있다 (Radziwon et al., 2014).

산업 및 학계 연구자들에 따르면, 스마트 팩토리를 바라보는 시각은 크게 3가지로 요약할 수 있는데, 1) 새로운 기술의 통합 및 확장 (Radziwon et al., 2014), 2) 패러다임의 변화 (Lucke et al., 2008a; Yoon et al., 2012; Zuehlke, 2010), 3) 그리고 프로세스 혁신 (Hirsch-Kreinsen, 2014; J. D. Lee & Seppelt, 2009)이 바로 그것이다. 첫째로, 새로운 기술의 통합 및 확장의 시각은 유비쿼터스 팩토리 (U-Factory)와 연관도가 높다. Yoon et al. 은 유비쿼터스 팩토리 개념을 스마트 팩토리의 동의어로 도입하여 제조업에 적용되는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 잠재력을 강조하고, 이를 통해

제품 설계, 제조 및 리사이클링에 기반한 개념 프레임워크를 개발했다 (Yoon et al., 2012). 이 시각에서는 정보 투명성, 자율 제어 및 지속 가능한 제조를 강조하며 스마트 팩토리를 완전히 새로운 개념이 아닌, 과거에 존재했던 공장 자동화의 확장에 대한 개념으로 접근한다 (Won & Park, 2020a). 즉, 관리가 자동화되고 생산 설비가 무인화되는 공장 자동화와 뿌리를 공유하고 있으나, 단순히 작업을 기계로 대체하는 것이 아니라, 단위공정을 유기적으로 연결하는 확장성에 그 차별점을 두어, 일반적인 기업운영과 제조를 통합하여 기업운영의 전반적인 최적화를 이룰 수 있도록 하는 자율적 생산이 이루어지는 공장을 스마트 팩토리로 정의한다.

패러다임 변화의 시각은 독일 카이저슬라우테른 (Kaiserslautern)에서 학술 (독일 인공지능 DFKI 연구센터 등)과 산업 (Simens, Bosch, BASF and Endress-Hauser 등) 파트너의 협력 이니셔티브 (Smart Factory KL, Technology Initiative)로 부상했다. 이 관점은 4차 산업혁명과 사물공장 (Factory of Things), 실시간 공장(Real-time Factory) 개념과 밀접한 관련성을 가진다. Lucke et al. 은 차세대 제조업 방향으로 스마트 공장을 제안하고 핵심 컴퓨팅 기술과 도구를 활용하여 다차원 제조로 접근해야 한다고 제안했으며 (Lucke et al., 2008b), 스마트 팩토리를 실시간 생산을 가능하게 하며 이를 동적으로 관리하여 생산 프로세스의 최적관리를 달성하는 제조환경으로 설명한다. Zuehlke는 모든 사물에 사물인터넷과 지능화 기술이 탑재될 것이라는 점에서 이들 기술 간의 연결과 활용으로 제조현장의 변화를 설명하기 위해 '사물공장 (Factory-of-Thing)'이라는 개념을 도입했는데, 전제조건으로 공장이 모듈형 구조를 가질 뿐만 아니라 각 장치가 자체 IP(인터넷 프로토콜) 주소를 가질 수

있는 무선 네트워크에 의해 상호 연결되어야 한다고 주장했다 (Zuehlke, 2010). 그는 현실적으로 기술 발전의 현 단계에서 유비쿼터스 컴퓨팅 비전은 아직 멀었으며, 기술이 우리 삶으로 더 가까이 다가와야 한다고 설명했다 (Zuehlke, 2010). 이러한 관점에서 공장자동화의 개념과는 궤를 달리하며, 스마트 팩토리를 4차 산업혁명의 핵심기술을 활용하며 이들이 모든 생산활동에 스스로 융복합적으로 적용되도록 해 제조현장에 4차 산업혁명에 기반한 패러다임 전환을 가져오는 수단이라고 정의한다.

마지막으로 언급되는 관점은 프로세스 혁신의 관점이다. Hirsch-Kreinsen은 제조혁신을 위한 새로운 차원 또는 사회적 기술 시스템으로서의 스마트 생산을 강조하며 이를 사회・기술적 관점으로 확장한다 (Hirsch-Kreinsen, 2014). 제품의 기획・설계・디자인・제조・유통・A/S의 전 과정이 포함되는 생산공정의 통합적인 변화가 스마트 팩토리의 핵심이라는 주장이다. 이는 지능형 공장과 밀접한 관련성을 가지는데, 정보화 기술 적용을 통해 수집된 데이터와 정보에 초점을 두기 때문이다. Lee와 Seppelt는 스마트 공장을 새로운 형태의 프로세스 혁신으로 인식하고 보다 은유적인 표현으로 '군집 자동화'의 개념을 도입했다 (2009). 앞서 언급한 두 관점 (1. 새로운 기술의 통합 및 확장, 2. 패러다임의 전환)은 다가오는 기술 발전에 매우 유망한 관점이며, 엔지니어와 연구자 모두 이러한 개념을 지속적으로 연구하고 있으나 기술적 관점만으로 스마트 팩토리의 비전을 현실로 옮기기까지는 해결해야 할 다차원적인 문제가 있다는 시각이 존재해 왔다. 이는 보다 일반적인 접근의 필요성을 부각하였으며 새로운 관점의 개발을 촉구해 온 것이다 (Radziwon et al., 2014). 이러한 문제의식에도 불구하고 위의 두 관점은 솔루션의 보다

일반적인 특성을 제공하는 대신 유비쿼터스나 IoT 등과 같은 사용된 기술에 대한 설명과 혁신성에 집중하는 경향을 보인다. 더불어 대부분 다른 이용 가능한 기술의 가능성을 무시하고 미래의 혁신적인 솔루션을 과소평가하며 조직 등의 다른 차원을 생략하기 때문에 제시된 이론에 상당한 한계가 있는 것으로 판단된다 (Radziwon et al., 2014). 따라서 프로세스 혁신의 관점은 스마트 팩토리 구현에 사용할 수 있는 기술을 검토하는 대신, 공장이 수행해야 할 기능에 초점을 맞춘다. 모든 정보가 ICT와 결합함으로써 공정의 효율성을 향상시키고 안정성을 제고하며 비용을 절감하고, 고객맞춤형 생산방식을 가능하게 하여 조직의 생산성 향상, 비용절감, 고객만족과 더불어 동시에 수익성을 증가시키는 기능적 맥락에 초점을 맞추는 것이다.

본 연구는 스마트 팩토리 기술 수용에 대해 기술적 관점에서 벗어나 제품 생산 및 물류 프로세스에서 정보화 기술이 통합적으로 수용되고 활용되도록 하는 결정요인을 관찰함을 목표로 한다. 따라서 스마트 팩토리를 제조 가치 체계 전반에 걸친 프로세스 혁신 단계의 일환으로서 정의하는 관점에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 다시 말해, 스마트 팩토리를 프로세스 혁신의 측면에서 정의하며, 제조 혁신을 위한 새로운 차원 또는 사회적 기술 시스템으로서의 스마트 생산으로 바라보고 단순히 자동화된 공장이 아닌 정보화 기술을 통합하여 자체적으로 데이터를 수집하고 활용하는 ‘지능형 공장’으로 본다.

본 연구는 초기 단계에서부터 활성화 단계에 이르고 있는 중소기업의 스마트 팩토리 도입에 미치는 결정요인과 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 영향을 미치는 결정요인을 비교함으로써, 궁극적으로 사람, 기계

및 프로세스가 정보화 기술과 결합하여 전체 생산 프로세스가 최적화되며 효율성이 증가하고, 생산 장치와 최종 제품 간의 상호 통신 시스템을 구축하여 산업 프로세스의 유연성과 성능을 새로운 차원으로 업그레이드하는 궁극적인 목표 (Xu et al., 2018)를 달성할 수 있도록 함의를 제공하고자 한다.

2) 스마트 팩토리의 특징

프로세스 혁신의 관점에서의 스마트 팩토리는 생산 현장의 상태를 원격으로 진단하고 미래의 상태를 예측하는 것은 물론, 제품 설계・생산・유통・물류・폐기에 이르기까지 공장 운영 전 과정에 정보화 기술이 통합되도록 개발되어야 한다 (Jung et al., 2021b). 프로세스 혁신은 주로 내부 생산 목표에 의해 추진되며, 여러 사회 및 환경 맥락을 고려하여 완전히 새롭거나 상당히 개선된 생산방법, 절차, 기술을 개발하고 구현하는 것으로 구성된다 (Chirumalla, 2021). 또한 정보 및 통신 기술의 사용을 기반으로 생산 공정을 통합하는 스마트 시스템, 기술 및 제품의 상호 연결된 네트워크 생성을 특징으로 한다 (Reis & Camargo, 2021).

이를 위해 기술적인 모델과 전체 공장의 프레임워크가 활발히 연구되었는데, 이들은 생산 및 전 과정에 정보화기술을 적용하여 센서와 사물인터넷(IoT), 사이버물리시스템(Cyber Physical System)등과 결합하고, 제조의 모든 단계가 디지털화되어 모든 공정이 서로 실시간 연동되는 생산체계를 갖추어야 한다고 밝혔으며 (Radziwon et al., 2014), 더불어 생산공정 내 생산 제조 장비를 포함한 구성 요소들에 대하여 수직적・수평적으로 통합하고 효율적인 운영을 위한 새로운 형태의 공장시스템의 특징을 지녀야 한다고 말한다 (정진화,

안동혁 2019). 일부 기반 정보화 기술에는 사물 인터넷(IoT), 인공지능(AI), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 기술, 블록체인, 증강 현실, 자동화, 고급 로봇 공학, 적층 제조, 시뮬레이션 및 시맨틱 기술을 포함할 수 있다 (Klingenberg et al., 2019). 이들을 기반으로 프로세스 실행에 중요한 모든 매개 변수는 수백 개의 센서에 의해 기록되며 AI 기술을 사용하여 데이터에서 개발된 예측 모델은 제조 프로세스, 재료 사용, 예측 유지 관리, 공급망 및 수명 주기 관리를 개선할 수 있는 최적화의 목표를 달성하도록 한다 (Chirumalla, 2021).

이와 같은 스마트 팩토리 구축 모델과 기술개발 차원에서의 연구결과들은 산업에서 프로세스 혁신을 위한 성공적인 디지털화의 잠재력이 유망해 보이도록 하지만 많은 연구에서 디지털 기술이 제공하는 기회를 포착하는 데 있어 기업의 조직 차원에서의 과제를 강조했다 (Sokolov et al., 2018). 특히, 디지털 전환은 회사 전체와 비즈니스 수행 방식에 영향을 미치며 (D. L. Rogers, 2016), 일반적으로 디지털화를 넘어 회사의 전략, 활동, 프로세스, 구조, 역량 및 문화에 영향을 미친다는 특성을 고려하여 스마트 팩토리가 운영관점으로 확대되고 해석되어야 한다는 시각이 제기되고 있다.

2. 스마트 팩토리의 현황

1) 스마트 팩토리 국내 현황

한국 중소기업은 과거부터 원료를 수입해 중간제품을 만드는 구조이며, 한국의 제조업은 특히 부품생산에서 높은 수준의 경쟁력을 보여 왔다 (Won & Park, 2020a). 한국 정부는 이러한 제조 부문의 특성을 고려하여 2014년 제조업에 IT를 융합하는 "제조업 혁신 3.0" 정책을 발표하고 스마트 팩토리 보급 사업 추진을 통해 2017년까지 5,003개 중소기업을 지원했으며 2022년까지 스마트 팩토리 2만개 보급을 추진하고 있다 (조혜지, 2017).

2.1.1.2에서 제시된 스마트 팩토리의 특징과 기술적 프레임워크를 충족하며 효과적으로 구현하기 위해서는 정보기술(IT)과 운영기술(OT)의 연계가 매우 중요하고, 실제 제조 환경의 전반적인 프로세스에서 수행되는 활동이 애플리케이션을 통해 계획 및 실행되어야 한다(Wollschlaeger et al., 2017). 즉, 제조 프로세스 혁신에 있어 IT 인프라의 신뢰성과 기술은 필수 요소인데, 한국은 세계 최고 수준의 광대역 보급률과 네트워크 인프라를 기반으로 한 정보화 수준을 갖추고 있기 때문에 (Won & Park, 2020a) 스마트 팩토리를 효과적으로 구현하기 위한 선결조건을 갖추고 있다.

그러나 한국 기업의 스마트 팩토리 확산에도 약점이 많은데, 정보보안 대응성 부족, 스마트팩토리 도입을 위한 플랫폼 및 표준화 부족, 스마트 팩토리에 대한 전문 관리자 및 경험 부족 등이 그것이다 (Won & Park, 2020a). 이러한 문제를 인식하고, 한국 스마트 팩토리 정책은 5대 필수 요건으로 디지털화, 지능화, 스마트 시스템과의 연결을 언급했을 뿐만 아니라 통합, 엔지니어링 지식의 창출을 함께 언급하고 있다. 즉, 스마트 팩토리 도입이 기술을 단순히 도입하는 것에 그치는 것이 아니라, 전체 생산 업무 프로세스에서 SMIT가 구

축 및 통합되고, 스마트 시스템과 연결되며, 활용되고, 엔지니어링 지식이 후속 창출되는 것을 목표로 해야 한다는 점을 시사한다.

2) 스마트 팩토리 해외 현황

독일에서 Industry 4.0과 스마트 팩토리라는 용어를 도입했지만, 대부분의 다른 국가들, 특히 주요 선진국들과 부상하는 제조업 강국들이 국가 발전을 위한 전략적 문제와 제조업의 경쟁력 강화를 위해 스마트 팩토리 구축을 적극 추진하고 있다 (Jang et al., 2018). 미국의 일부 대기업이 시작을 촉발했고, 운영 시스템과 정보 기술을 통합하는 것을 목표로 내세웠다 (Oztemel & Gursev, 2020). 대만은 2017-2020년 국가 개발 계획을 통해 아시아 실리콘 밸리 프로젝트 개발 및 스마트 기계 산업 업그레이드에 집중하고 있다. 이 계획의 초점은 새로운 하드웨어 솔루션의 개발과 특히 스마트 팩토리를 넘어 스마트 시티를 구축하기 위한 기업가 정신을 자극하는 것으로 보고되었다 (Oztemel & Gursev, 2020). 일본 기업들은 "IVI(Industrial Value Chain Initiative)"를 발표하며 공장을 연결하는 기술 표준을 만들고 일본의 산업 표준을 국제화하기 위한 노력을 결합하는 것을 국가목표로 제시하였다. 프랑스 정부는 2013년 기술 최전선을 지원하여 제품과 미래 부가가치를 창출하는 것을 목표로 하는 "New Industrial France" 이니셔티브를 시작했다. 중국은 국가를 혁신 "스펀지"에서 혁신 "리더십"으로 만드는 3단계 산업 전략을 수립했으며, 튀르키예는 디지털 혁신에 주목하고 이를 정부 의제로 삼아 핵심기술을 정의하고 모든 관련 부문의 조정을 통해 지능형 제조 시스템을 촉진 및 확산하기로 결정했다. 더불어 사이버물리시스템, 인공지능, 센서기술, 사물인터넷, 빅데이터, 사이버보안, 클라우드컴퓨팅 등이 우선되어야 한다고 밝혔다. 인도

정부는 Industry 4.0 기술을 활용하여 제조 부문의 혁신을 촉진하기 위해 "Make in India" 및 "Digital India" 프로그램을 도입했다 (Srivastava et al., 2022).

이와 같이 제조업에 정보화 기술을 적용하여 혁신을 확산시킨다는 국가적 이니셔티브가 세계 곳곳에서 수립되어 실행되고 있으며 대부분의 제조혁신 이니셔티브는 “Industry 4.0”과 “Smart Factory”를 핵심 키워드로 밝히고 있다. 2010년대 초중반에 수립된 정책 이니셔티브의 지원으로 관련 연구와 도입 사례가 증가하고 있으며 산업 차원에서의 활성화 단계에 돌입하고 있다 (2.1.4 참고). 이에 따라, 기술 차원뿐만 아니라 조직 차원과 환경 차원을 고려한 도입요인 연구도 세계에서 진행되고 있으며 이에 대한 논의는 제2장 2절에서 체계적 문헌 검토를 통해 정리한다.

3. 스마트팩토리와 중소기업

스마트 팩토리의 비전은 국제 학계와 산업계 모두에서 다양한 인식으로 수년 동안 학술 연구의 의제에 포함되었지만 (Oztemel & Gursev, 2020), 논의된 스마트 팩토리의 비전이 실현된 후에도 제조 중소기업이 이 솔루션의 구매 및 유지 보수 비용을 감당할 수 있을 지에 대한 의문이 여전히 미제로 남아 있으며 문헌에 존재하는 스마트 팩토리 비전의 중요한 단점 중 하나로 중소기업에 적용할 수 있는 개념이 부족하다는 지적이 있다 (Radziwon et al., 2014).

한국의 중소기업 또한 이러한 스마트 팩토리를 구현하는 데에 많은 어려움을 겪고 있다. 한국은 자산총액이 4억 4천만 달러 미만인 기업을 중소기업으로 정의하며, 전체 제조업의 97.9%가 중소기업이라는 특징을 가지고 있다 (Jung et al., 2021b). 정부차원에서 중소기업을 대상으로 스마트 팩토리의 보급 및 확산을 위해 다양한 지원정책을 확대 시행하고 있지만 중소기업은 예산이나 경험 부족 등 여러 가지 어려움으로 인해 스마트 팩토리 도입에 적극적이지 않은 실정이다 (임명성, 2020).

반면, 대기업의 경우 제조공정이 이미 첨단화되어 있고, 시장의 흐름에 맞게 최신 기술을 적용하고 있다 (임명성, 2020). 호주를 기반으로 수행된 최신 연구 또한 Industry 4.0 기술에 대해 대기업이 중소기업보다 정보화에 대한 준비가 잘 되어 있는 것으로 나타났으며, 예상되는 투자 사이에 상당한 차이가 있음을 확인하였다 (Hopkins, 2021). 이에 따라 최신 연구에서는 이러한 문제를 규명하고 '적절한 스마트 공장 ' 의 개념을 도입하여 중소기업이 처한 상황을 고려하여 비용과 규모, 사용되는 기술 측면에서 적절한 조치가 필요하고, 프로세스 간 상호 호환성, 상호운용성을 갖춘 스마트 팩토리를 구축

해야 한다는 논의를 도출하고 있다 (Jung et al., 2021a). 다시 말해서 스마트 팩토리 도입에 있어서 대기업과 중소기업의 양극화로 인한 산업불균형이 심한 것으로 판단된다. 더불어 국내 중소기업을 대상으로 한 중소기업 정보화 수준 조사결과(2021)에 따르면, 중소기업 제조업 중 스마트 공장을 도입했거나 2년 내 도입 계획 중인 기업은 도합 16.5%이며, 도입의사는 있으나 계획이 없거나, 계획도, 의사도 없는 기업은 72%이다. 도입제조업 중소기업의 대부분은 2015년 이후 (87.9%)에 스마트 팩토리를 도입하였으며, 평균 약 2018년에 도입하였다. 스마트 팩토리를 도입하지 않은 기업의 미도입 이유는 투자 대비 효과 불확실(21.8%), 초기 투자자금 마련(20.5%), 정확한 투입예산 산출의 어려움(13.0%), 스마트 공장에 대한 이해 부족(9.5%), 추진/운영 인력 확보 문제(9.0%), 업그레이드 및 유지보수 비용(7.3%), 도입 시스템의 적극적 활용에 대한 관심 부족(6.5%) 등으로 나타났다 (중소벤처기업부, 2020)[2]. 스마트 팩토리 구축에 대한 정부지원이 없다면 자발적으로 스마트 팩토리를 구축할 의향이 있느냐는 질문에 대해서는 긍정적인 응답(37.7%) 보다 부정적인 응답(62.3%)이 2배 가까이 높게 나타나 (김정래 & 이상직, 2020), 스마트 팩토리 정부지원사업의 양적 도입과 정보화 기술 도입을 통한 전체 프로세스의 질적인 혁신 사이에는 거리가 있을 것으로 예상되며, 이에 따라 도입 목적과 상황에 맞는 연구와 전략적 접근이 필요할 것으로 판단된다.

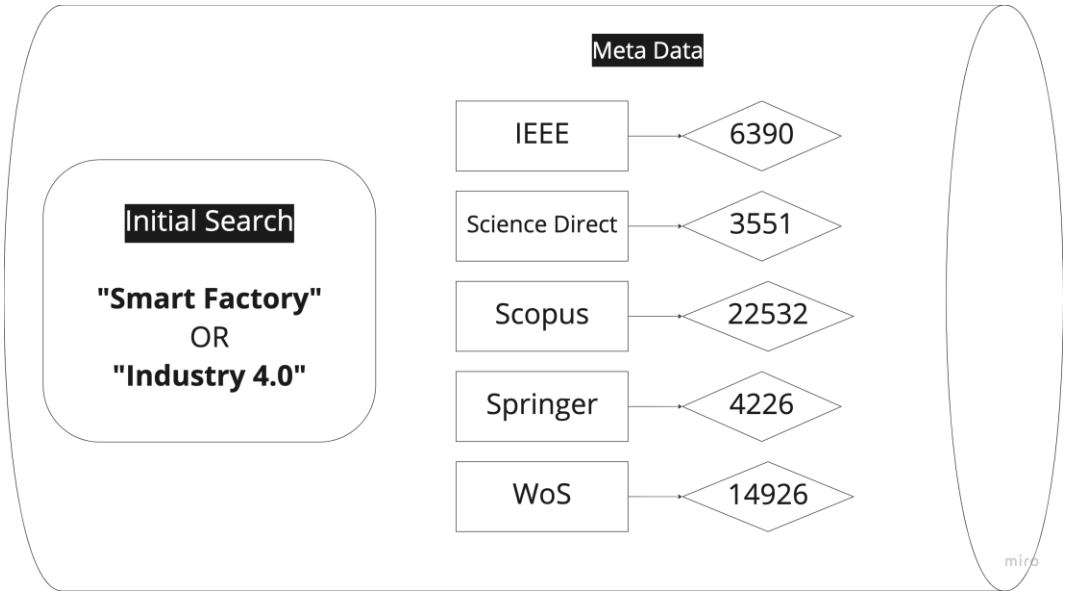
---

[2] 중소기업기술정보진흥원, (2021),

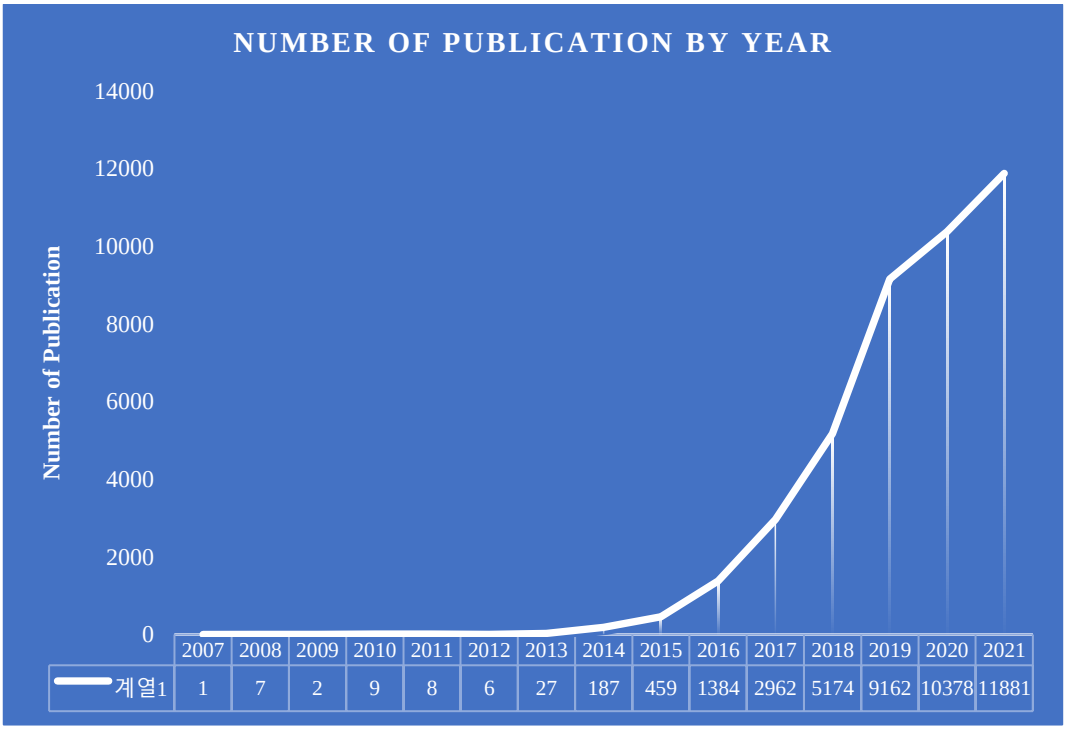
https://www.tipa.or.kr/s0103_board/index/search_category_id/1933, 검색일자 2022.12.17

4. 스마트 팩토리 관련 연구동향

신기술 도입 요인 관련 이론으로 관점을 좁히기에 앞서, 5개의 데이터베이스를 대상으로 (1. IEEE Xplore, 2. Science Direct, 3. Scopus, 4. Springer, 5. Web of Science) 연구제목, 저자가 규명한 키워드, 연구초록을 포함하는 Meta Data에 “smart factory” OR “industry 4.0” 쿼리를 적용하여 연구동향을 파악하였다. 그 결과는 <그림 2>에 제시되었다. 그 결과, 도합 51,625개의 연구가 발견되었으며 이 결과 데이터에 출판 연도를 식별하여 정리해 그래프로 나타낸 결과는 <그림 3>과 같다. 이를 통해 스마트 팩토리 관련 연구가 2000년대 중반부터 등장하여, 현시점에 이르기까지 학계의 관심과 연구가 지속적으로 증가하고 있다는 사실을 알 수 있다.



<그림 2> 1차 데이터 쿼리 적용결과



<그림 3> 스마트 팩토리 관련 연간 연구 출판물 수

2013년까지는 가상 물리 시스템 (CPS: Cyber Physical System), 사물인터넷 (IoT: Internet of Things) 등의 스마트 팩토리 구축을 위한 공학적 도구를 소개하는 기술 차원의 연구 (Dombrowski et al., 2013; Imtiaz & Jasperneite, 2013; Ziesing & Hochstein, 2013)들이 주를 이룬 반면, 2014년부터는 출판물 수가 기하급수적으로 성장하면서 다양한 관점의 연구들이 등장하였다. 예를 들어, 스마트 팩토리 구축 현황을 분석하고 운영성과와의 관계를 밝히는 연구 (Brettel et al., 2016; J. Lee et al., 2015; Zhong et al., 2017). 일부 공정에서 스마트 팩토리 추진 사례와 방법론을 제시하는 연구

(Jung et al., 2021a), 스마트 팩토리의 전략적 활용을 위한 개념적 다차원 모델에 대한 연구(Bongo et al., 2020; Boniotti et al., 2021), 스마트 팩토리 연관 기술의 도입 및 사용 의도에 대한 연구 (Jang et al., 2018), 스마트 팩토리 연관 정책의 도입 및 사용 의도에 대한 연구 (N. Sachdeva et al., 2017; Rajbhandari et al., 2022; S. L. Mak et al., 2020), 제조업의 IT 도입을 통한 지속가능성을 다룬 연구 (Yadav et al., 2020) 등 다양한 관점과 시각으로 확대되었다. 그럼에도 불구하고, 2020년 스마트 팩토리 분야를 SLR (Systematic Literature Review: 체계적 문헌 검토) 방식으로 정리한 논문은, 스마트 팩토리의 개념은 초점을 변경하여 접근할 수 있으므로 하나의 단일 연구 흐름으로 다룰 수 없다고 설명하며 대부분의 연구가 기계 및 et al. 내부 데이터의 통합을 다루는 운영 수준의 단일 사용 사례에 대해 논의하고 있기 때문에 관리 시스템으로의 통합, 특히 영향 정량화와 스마트 팩토리의 전체 인과관계를 설명하는 보다 일반적인 관점을 채택하는 연구가 부족하다는 사실을 밝혔다 (Osterrieder et al., 2020).

2.1.1, 2.1.3에서 밝힌 바와 같이 스마트 팩토리 구현에 관련된 과제는 기술 차원 이외에도 다양한 관점을 포함한다. 따라서 규제 정책 및 직원 교육과 같은 여러 차원의 문제를 포함하며, 스마트 팩토리를 효과적으로 도입하기 위해서는 이와 같은 장벽을 더욱 잘 알아야 한다 (Reis & Camargo, 2021). 상기 맥락에서 제조 혁신 신기술 도입에 영향을 미치는 요인을 식별하고 이론적 모델을 개발하는 것이 중요하다.

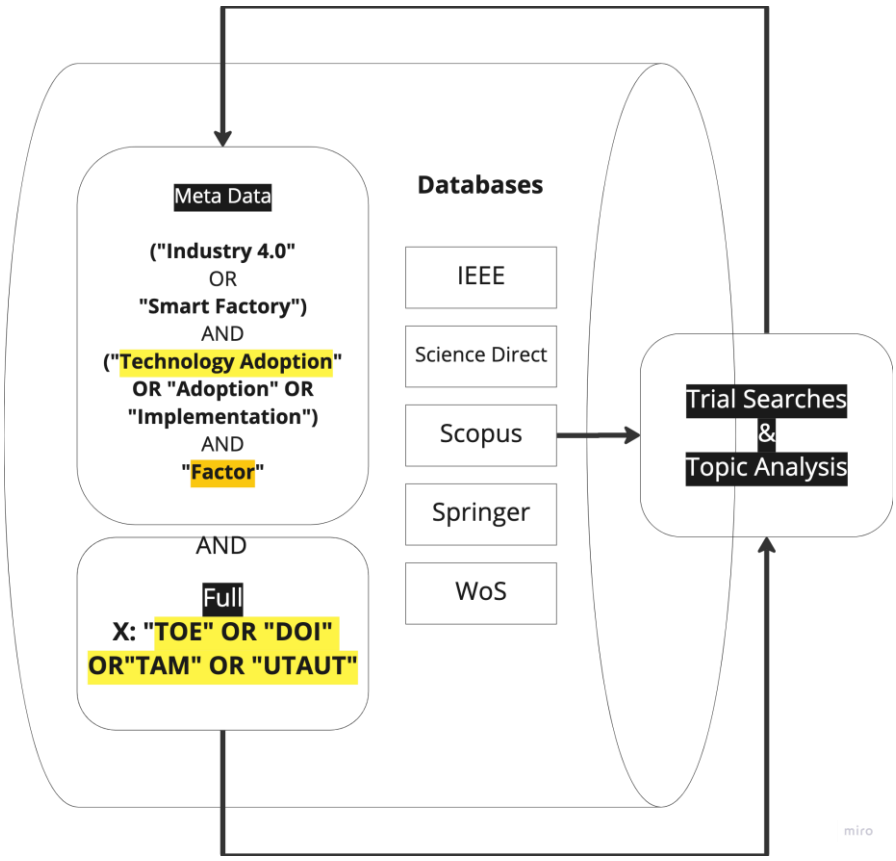
제2절 이론의 이해 및 선행연구

1. 스마트팩토리 도입 결정요인의 선행연구

2.1.1에서 정의된 프로세스 혁신의 관점에서 접근할 때, 스마트 팩토리를 관통하는 키워드와 철학은 ‘새로운 정보화 기술을 기반으로 하는 생산 프로세스의 혁신’으로 요약할 수 있다 (Won & Park, 2020a). 새로운 기술이 개발되면 능동적인 기술 수용과 활용을 위해 기술혁신에 영향을 미치는 추진요인과 수용의 각 과정을 살피게 된다. 기술 채택 모델은 이러한 관점에서 미래의 특정 기술 채택에 대한 사용자의 의사 결정 프로세스를 조사하기 위해 개발되었다 (Louho et al., 2006). 기술 채택과 혁신에 대한 연구는 70년대 이후 학계에서 매우 중요한 화두였으며, 심리, 관리, 운영, 마케팅 및 기술과 같은 다양한 분야와 관점에서 나타나, 다양한 요인들이 신기술 수용과 활용에 영향을 미치는 것으로 나타났다 (Srivastava et al., 2022).

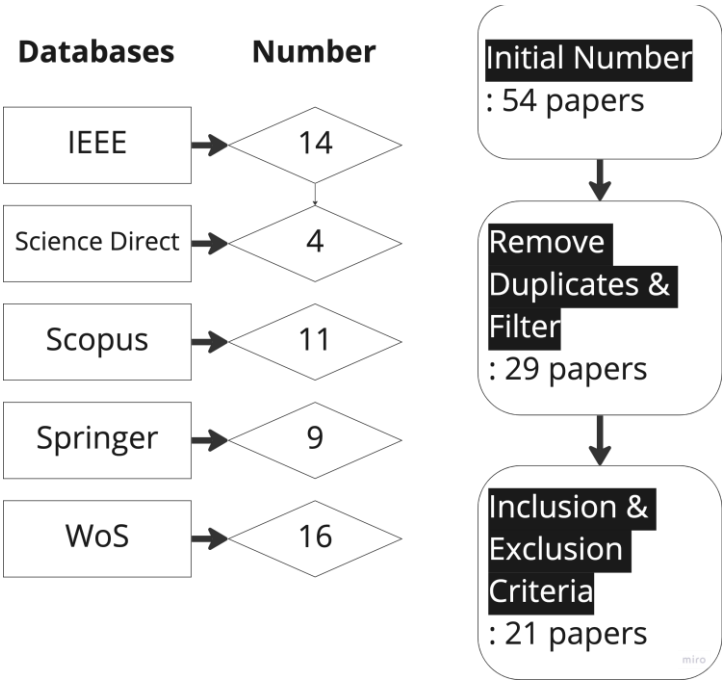
제조업체가 신기술을 성공적으로 도입하기 위한 투자는 지속적으로 이루어져야 하며 그것이 그들의 생존 여부를 결정할 수 있다 (Bosman et al., 2019; Buer et al., 2021). 새로운 산업 패러다임을 구현하는 데에는 선행 연구에서 제시하는 알려진 장벽들이 있으므로, 기업은 스마트 팩토리 기술을 채택하는 과정에서 몇 가지 과제에 직면할 것이 예상된다. 따라서 신기술을 구현하는 프로세스를 더 잘 이해할 수 있도록 이 개념과 관련된 이점과 장벽을 강조하는 것이 중요하다 (Reis & Camargo, 2021). 이를 식별하면 조직이 노력을 집중해야 하는 부분을 인식하고 경쟁력을 유지하기 위한 시스템 개선에 함의를 얻을 수 있기 때문이다. 2.1.4에서 밝힌 바와 같이 스마트 팩토리 관련 연구가 활발해지면서, 위와 같은 문제의식이 강조되어, 스마트 팩토리 도입에

영향을 미치는 결정요인에 대한 연구 또한 등장하였는데, 그에 대해 체계적인 배경을 제공하기 위하여 2.1.4에서 스마트 팩토리 관련 연구동향을 파악하기 위해 사용한 5개의 데이터 베이스에 <그림 4>에 제시된 절차를 거쳐 연관된 연구를 수집하였다. 해당 절차는 적합한 연구 묶음을 얻을 수 있을 때까지 여러 번 반복된 실험 검색을 통해 개선하여 제시되었다. 먼저 메타 데이터에 초기 검색쿼리였던 (“industry 4.0” OR “smart factory”)를 적용하고, 도입결정 연구로 한정하기 위하여 AND (“technology adoption” OR “adoption” OR “implementation”)를 추가하였으며, 결정요인을 밝히는 연구로 한정하기 위해 AND “factor”를 추가하였다. 마지막 단계에서는 기술 수용 및 도입의 결정요인을 조사하는 데 사용되는 일반적인 기존 이론 모델을 포함하였는데, 이는 이론적 배경을 가지고, 프레임워크 또는 모델을 제시하고 있음을 확인하기 위한 것으로, 전문검색 쿼리에 적용되었다. 확인된 기존 이론 모델은 혁신 확산이론 (Diffusion of Innovation: DOI) (Vvan den Berg & Van der Lingen, 2019), 기술수용모델(Technology Acceptance Model: TAM) (Gangwar et al., 2015), 통합기술수용이론 (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: UTAUT) (Williams et al., 2015) 및 기술-조직-환경 이론(Technology-Organization-Environment framework: TOE framework) (Gangwar et al., 2015)으로, 이를 반영해 전문에 AND (“TOE” OR “DOI” OR “TAM” OR “UTAUT”) 쿼리가 적용되었다.



<그림 4> 연구 수집 절차 1

위에 명시된 쿼리를 적용한 결과, 총 54개의 연구논문과 학회지가 수집되었으며, 중복되는 논문을 제거하고 학술논문과 컨퍼런스 페이퍼, 영어로 서술된 논문으로 한정한 결과 29개의 연구를 얻을 수 있었다. 이 중 단일 기술에 대한 공학 논문을 제하였으며 1) 스마트 팩토리 또는 Industry 4.0의 정의와 맥락을 취하고 2) 결과부에 스마트 팩토리 도입의 결정요인을 제시한 연구로 제한하여, 최종적으로 21개의 연관 연구를 발견하였으며 해당 절차는 <그림 5>에 명시되었다.



<그림 5> 연구 수집 절차 2

연구수집 결과, 전체 스마트팩토리 관련 연구 중, 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 결정요인에 대한 연구는 초기 단계로서 아직 활발히 이루어지지 않고 있음이 파악되었으며, 발견된 선행연구에 대한 출판 연도별 구분과 연구자, 연구목적 및 연구방법, 연구결과에 대한 요약은 아래 <표 1>에 제시하였다.

<표 1> 발견된 선행연구 (출판 연도별 구분)

연구자	연구목적 및 연구방법	연구결과
(N. Sachdeva et al., 2017, p 0)	유럽 제조업체들 사이에서 Industry 4.0 도입에 대한 지식과 이해를 개선하기 위해 DOI 및 조직적 확산 이론 (Organizational Diffusion of Innovation)을 전제로 모델을 설계하고 실험함	유럽제조회사에서 Industry 4.0 채택의 다양한 인에이블러 식별에 도움이 되는 프레임워크를 제안
(Jang et al., 2019)	TOE 프레임워크와 PLS-구조방정식을 사용하여 한국 중소기업의 스마트 팩토리 관점에서의 빅데이터 기술 도입의도를 연구함	스마트팩토리의 핵심으로 빅데이터 도입을 강조하고, 빅데이터 도입의도에 영향을 미치는 요인을 도출하여 제시하였으며, 인지된 기술적 이점이 유의한 영향을 미친다는 사실을 밝힘
(F. Arcidiacono et al., 2019)	자동차 부문에서 중소기업이 Industry 4.0 이니셔티브를 구현하는 데 도움이 되는 전략적 결정을 대형 부품 제조업체의 두 가지 사례 연구를 통해 밝힘	Industry 4.0 구현의 세 가지 핵심요소로 기술 공급업체와의 장기적인 파트너십 개발, 혁신에 대한 사전 예방적 접근방식, 기술 변화 과정에 대한 임직원의 초기 참여를 도출함
(Simoes et al., 2019)	반구조화 면접과 탐색적 질적연구를 사용하여 포르투갈 공급망 맥락에서 정보화 기술의 채택에 영향을 미치는 환경요인을 식별하고 분석함	환경적 요인이 자동차 공급망에서 정보화 기술의 채택을 촉진하는 데 특히 중요한 동인으로 지적됨. 더불어 표준 및 법률 준수, 시장 및 산업 압력, 공급망 파트너의 발전이 관련 요인으로 식별됨
(Bongo et al., 2020)	Industry 4.0 기술이 조직 프로세스에 성공적으로 통합될 수 있도록 하는 중요한 요소를 이해하고자 혁신 영역에서 주로 파생되는 중요한	필리핀의 국가적 맥락이 주요하게 고려되었으며, 조직 차원의 요인들이 중요하게 강조됨

	성공요인 (Critical Success Factor:CSF) 목록을 78개의 출판된 기사에서 추출함	
(Masood & Sonntag, 2020)	영국 271개 중소기업을 대상으로 TAM의 관점을 취하여 Industry 4.0 기술 수용에 영향을 미치는 요인을 구조방정식을 사용하여 도출함	기술도입의 인지된 이점, 기술도입의 인지된 과제, 유연성, 비용, 효율성, 품질, 경쟁우위가 주요 인에이블러로 식별되었으며, 재정 및 지식 제약이 주요 장벽으로 도출됨
(S. L. Mak et al., 2020)	중국 및 독일 맥락에서 TAM 및 DOI가 기술 도입에 어떤 영향을 미치는 지 검토함	중국과 독일 제조기업을 대상으로 하는 정보화 수준을 규명하고, 정부지원 정책의 방향성을 논의하였으며, 정보기술의 활용이 생산성에 영향을 미치는 방식을 다룸
(Won & Park, 2020b)	한국 중소기업의 스마트 팩토리 도입요인과 효과, 활용에 영향을 미치는 요인과 그 효과를 살피며, TOE 및 Iacovou et al. 모델 관점을 취하여 로지스틱 회귀로 영향효과를 분석함	인지된 기술의 이익과 중소기업 고유의 특성은 스마트 팩토리 도입에 유의미한 영향을 미치지 않았으며, 조직적 지원, 정보역량, 외부압력은 유의미한 영향을 미침을 밝힘. 반면, 기존의 정보화에 대한 재정적 투자와 노력은 저항을 불러일으킨다는 사실을 규명함
(Yadav et al., 2020)	체계적인 문헌검토, 대규모 설문, RBWN (Robust Bests Worst Method)를 사용하여 개발 도상국 국가, 특히 인도의 지속가능성 도입에 영향을 미치는 요인을 분석하는 프레임워크를 제시함	경험적 분석을 기반으로 프레임워크에 포함될 Industry 4.0 기술의 인에이블러를 확정하고, 인도 제조 사례 조직에서 실험함. 연구 결과는 관리적, 경제적, 환경적 인에이블러가 지속가능성 도입에 크게 기여하고 있음을 밝힘
(Jayashree et al., 2021)	말레이시아 정부의 Industry4ward 접근방식을 지원	최고 경영진의 약속, 공급망 통합 및 IT 인프라가 핵심 결정요인으로 도출

	하기 위하여 중소기업 199개의 응답을 기반으로 DCV(Dynamic Capability View)를 사용하여 TBL(Triple Bottom Line) 지속가능성을 달성하기 위한 Industry 4.0 도입에 영향을 미치는 요인을 탐색함	되었으며 이를 포함하는 프레임워크를 제안함
(M. N. Hassan Reza et al., 2021)	TOE, DOI, 및 조직의 동적 능력 관점을 취하여 Industry 4.0의 인에이블러 탐색을 위해 구조방정식 모델을 채택함	Industry 4.0의 인에이블러와 정보기술 채택이 회사의 성과에 유의한 영향을 미친다는 사실을 규명함
(Reis & Camargo, 2021)	체계적인 문헌검토를 통해 제조업에서 Industry 4.0 도입에 영향을 미칠 수 있는 이점, 장벽 및 조직적 요인을 식별함	10가지 장점, 9가지 장애 요소, 8가지 조직적 요소를 찾아 분석하고 개념적 프레임워크를 제안함
(S. Ahmad et al., 2021)	파키스탄의 42명의 선별된 전문가를 대상으로 TOE 관점과 DEMATEL 접근을 사용하여 섬유 및 의류 제조기업에 Business Intelligence (BI) 시스템을 도입하는 데에 영향을 미치는 요인을 식별함	사용자 특성, 대인 커뮤니케이션, 기술 성숙도, 기술의 호환성, 기존 시스템에 대한 만족도, 리더십의 헌신 및 지원, 지속 가능한 데이터 품질 및 무결성, 경쟁 압력, 시장 동향, 지속 가능성이 중요한 영향요인으로 식별됨
(W. M. S. K. Weerabahu et al., 2021)	DMSC (Digital Manufacturing Supply Chain)에 Industry 4.0 기술을 도입하는 데에 영향을 미치는 요인을 체계적 문헌 검토를 통해 밝힘	기술차원, 조직 차원, 법 차원, 지속가능성 차원에서의 인에이블러를 규명하고 프레임워크를 제안함
(Chung et al.,	한국 중소기업을 대상으로 4차 산	기술적 특성에 대한 인식이

2022)	업혁명 핵심기술의 기술적 특성에 대한 인식 부족을 살펴봄으로써 그 원인을 규명함	Industry4.0 핵심 기술의 수용 및 공급망 혁신 성과에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였으며 기술적 특징을 기술혁신, 공정통합, 기술융합으로 구분하였고, 스마트 기술의 공정통합 및 기술융합에 대한 인식이 의의가 있음을 밝힘
(Gastaldi et al., 2022)	세계 370개 이상의 기업이 참여한 3차 CINet 설문조사를 기반으로 구조적 양손잡이를 매개변수로 사용하고 구조방정식 모델링을 사용하여 스마트 기술의 채택과 BSC 성과 사이의 관계를 밝힘	BSC 성과가 좋은 제조업체가 더 나은 혁신 성과를 달성할 수 있는 유리한 위치에 있음을 실증하였으며, 기술혁신의 인지된 성과, 기업의 기존자원 이용능력, 기업의 탐색 능력, 기술에 대한 투자가 스마트 기술 도입에 유의한 영향요인으로 식별됨
(Jayashree et al., 2022)	말레이시아 314개 중소기업을 대상으로 TOE, DOI 관점을 취하고 PLS-구조방정식식을 사용하여 스마트 팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 규명함	정보화 자원, 경영진의 리더십, 팀워크, 외부지원, 기존 기술의 효과에 대한 인식이 유의한 영향요인으로 식별되었음
(Kinkel et al., 2022)	세계 655개 제조업체를 대상으로 TOE 관점을 취하여 AI 기술 도입에 영향을 미치는 요인을 회귀분석을 통해 식별함	연구결과, 조직차원의 요인이 중요함이 강조되었음
(Rajbhandari et al., 2022)	네팔의 스마트 팩토리 기술 도입의 산업적 준비도를 측정하기 위하여 3개의 산업단지에서 287개의 기업을 대상으로 설문을 진행하였으며 기술적 패러다임, TOE, I4.0 전환	숙련된 인력, 인적자원, 고객관계, 조직문화, 조직 차원의 전략, 경영진의 리더십, 거버넌스가 중요한 영향요인으로 식별되었음

	모델, TAM, I4.0 성숙모델의 관점을 취하여 스마트 팩토리 기술도입에 영향을 미치는 요인을 식별함	
(Senna et al., 2022)	포르투갈 제조 산업의 맥락에서 정보기술 도입 장벽을 식별하기 위해 MICMAC 분석과 TOE 관점을 결합하였고 해석 구조 모델링 (ISM) 방법론을 사용하여 도입 장벽과 기술도입 간의 상호 관계를 식별함	기술 표준화, 기성 솔루션의 부족과 관련된 장벽이 존재하며, 조직 차원의 장벽이 가장 높은 의존성과 가장 낮은 구동력을 가진다는 사실을 발견함. 따라서 표준화 보급, 인프라 개발 및 디지털 전략이 3가지 중요한 시사점으로 제공됨
(Srivastava et al., 2022)	TOE 프레임워크 관점을 취하여 인도의 134개의 기술 학습공장을 조사하였고, 회귀분석을 사용하여 기술 학습 공장에 Industry 4.0 기술을 도입하는 데에 영향을 미치는 요인을 탐색함	TOE 프레임워크를 사용하여 도출된 다수의 영향요인들 중 조직 차원의 영향요인이 중요한 역할을 하고 있음을 시사함

* 선행연구에 근거하여 연구자가 재정리함

연구동향을 파악한 결과, 스마트 팩토리 관련 기술을 도입하는 결정요인 연구는 2017년 근방에 등장한 최신 연구 주제임을 알 수 있다. 이론적 배경 측면에서는 TOE 프레임워크를 채택한 연구가 가장 많았으며 (Jang et al., 2019; Jayashree et al., 2022; Kinkel et al., 2022; M. N. Hassan Reza et al., 2021; Rajbhandari et al., 2022; S. Ahmad et al., 2021; Senna et al., 2022; Srivastava et al., 2022; Won & Park, 2020b), DOI 이론을 사용한 연구 (Jayashree et al., 2022; M. N. Hassan Reza et al., 2021; N. Sachdeva et al., 2017; S. L. Mak et al., 2020)와 TAM 관점을 사용한 연구 (Masood &

Sonntag, 2020; Rajbhandari et al., 2022; S. L. Mak et al., 2020)가 뒤를 이었다. TOE 프레임워크를 사용하는 경향성은 최신 연구일수록 확대되어, 해당 분야에서 주요한 연구 프레임워크로 자리잡고 있다는 사실을 알 수 있다.

방법론적으로는 표집된 샘플 데이터를 대상으로 회귀분석, 구조방정식 모델링 등을 사용한 실증연구가 주를 이루고 있으나 (Jang et al., 2018; Jayashree et al., 2022; Kinkel et al., 2022; M. N. Hassan Reza et al., 2021; Rajbhandari et al., 2022; Senna et al., 2022; Srivastava et al., 2022; Won & Park, 2020a), 선별된 소규모의 전문가를 대상으로 프레임워크를 적용한 연구 (S. Ahmad et al., 2021)도 발견된다. 한편, 스마트 팩토리 기술 도입 결정요인에 관한 연구는 상대적으로 초기 단계인 관계로, 특정 이론적 배경이나 프레임워크의 제시 없이, 데이터에 대한 탐색적 요인 분석을 통해 도입 인에이블러 식별에 도움이 되는 새로운 프레임워크를 제안한 연구나 (Gastaldi et al., 2022; N. Sachdeva et al., 2017; Yadav et al., 2020), 체계적 문헌 검토 (Bongo et al., 2020; Reis & Camargo, 2021; W. M. S. K. Weerabahu et al., 2021), 사례연구(F. Arcidiacono et al., 2019), 탐색적 질적연구 (Simoes et al., 2019)를 사용하여 결정요인모델을 제시하는 연구 또한 발견되었다.

이론적 배경을 기반으로 한 실증연구는 다양한 산업, 관점 및 국가 맥락에서 수행되었는데, 세계 기업 또는 대륙을 대상으로 한 연구들도 있으나 (Gastaldi et al., 2022; Kinkel et al., 2022; N. Sachdeva et al., 2017), 인도, 한국, 중국, 독일, 네팔, 필리핀, 포르투갈, 말레이시아, 영국, 파키스탄 등 단일 국가의 사례를 대상으로 한 연구가 더 많이 발견되었다. 이는 국가 단위로 스마트 팩토리 또는 Industry 4.0을 수행하는 관점, 정책, 그리고 방법 등이 다르기 때문인데, 이로 인해 같은 이론적 배경을 기반으로 하더라도, 국가적

맥락을 고려하여 관측요인이나 잠재요인을 설정함에 있어 차이가 있었다. 대다수 연구가 기술-조직-환경 측면을 모두 다루었으나, 일부 연구는 기술의 인지된 성과 또는 혁신성과 (Gastaldi et al., 2022), 환경차원 (Simoes et al., 2019) 등 프레임워크를 부분적으로 채택하여 실증하였으며 지속가능성 (W. M. S. K. Weerabahu et al., 2021; Yadav et al., 2020), 공급망 (Simoes et al., 2019), 산업단지 (Rajbhandari et al., 2022) 맥락에서 요인을 추가 도입하거나, 자동차 및 자동차 부품 제조기업 (F. Arcidiacono et al., 2019; Simoes et al., 2019), 섬유 및 의류 제조기업 (S. Ahmad et al., 2021), 기술학습공장(Srivastava et al., 2022) 등으로 산업 차원을 축소하여 관찰한 연구도 발견되었다.

주제 측면에서는 스마트 팩토리 맥락에서 이에 관련된 빅데이터, AI등의 단일 기술 도입에 영향을 미치는 요인을 식별한 연구 (Jang et al., 2018; Kinkel et al., 2022)와 스마트 팩토리를 패러다임 전환의 관점에서 정의하며 제조업 기업의 4차 산업혁명 기술 도입여부를 종속변수로 설정한 연구 (Gastaldi et al., 2022; N. Sachdeva et al., 2017; Senna et al., 2022; Simoes et al., 2019)도 있었으나, 스마트 팩토리 기술 도입을 제조업에서의 스마트 팩토리 또는 Industry 4.0 이니셔티브 수용의 동의어로 정의하고 이에 대한 결정요인을 탐색하는 연구가 주를 이루었다 (Bongo et al., 2020; Jayashree et al., 2022; M. N. Hassan Reza et al., 2021; Rajbhandari et al., 2022; S. L. Mak et al., 2020; Srivastava et al., 2022; W. M. S. K. Weerabahu et al., 2021; Won & Park, 2020a; Yadav et al., 2020). 그러나 발견된 모든 연구가 제조 관련 프로세스 전반에 정보화 기술이 수용되었는 지의 여부는 고려하지 않아 프로세스 혁신에 대한 다차원적인 고려가 부재하다는 연구적 격차를 확인할 수 있다.

2. 도입의도와 활용수준의 이해

기술 도입 모델은 미래의 특정 기술 채택에 대한 사용자의 의사 결정 프로세스를 조사하기 위해 개발되었다 (Louho et al., 2006). 의도란 개인의 의지 또는 주관적인 행동이나 행위를 하기 위한 상태이며, 도입의도는 어떤 제품이나 서비스, 기술의 도입 또는 사용에 있어서 가지는 주관적인 행동이나 행위를 하기 위한 상태를 의미한다 (Bagozzi, 1981). 도입의도는 사용자들이 기술을 사용함에 있어서 사용행동을 결정하는데 지속적으로 다루어져 온 변수이며 (Martins et al., 2014; Venkatesh et al., 2003), 새로운 정보시스템이나 기술 사용행동을 결정해야 하는 다양한 분야에서 활용되고 있다.

본 연구는 스마트 팩토리의 도입의도를 연구하고자 하는데, 첫 번째로는 이를 기업이나 조직 구성원이 스마트 팩토리 정부 이니셔티브를 도입하려는 의도로 설정하고 선행연구에서 다루어진 스마트 팩토리 도입의도 관련 변수를 참고하여 스마트 팩토리를 도입할 의사와 계획이 있는 지로 정의하였다. 다음으로는 제조 프로세스와 직결되는 생산 및 물류 프로세스의 정보화 기술 도입의도를 잠재요인으로 설정하고 이를 기업이나 조직 구성원이 본 연구에서 5가지로 분류한 생산 및 물류 프로세스에서 정보화 기술을 도입할 의사와 계획이 있는 지로 정의하였다.

한편, Jayashree et al.,은 말레이시아 중소기업 스마트 팩토리 구현에서 결정 요인의 역할과 실질적인 활용, 그 결과를 강조하면서, 기업 경영진과 정책 입안자가 지속 가능한 개발 목표를 달성하기 위해 활용변수가 포함되어야 함을 밝혔다 (2021). 따라서 본 연구에서는 생산 및 물류 프로세스에 정보화 기술을 도입한 기업의 정보화 기술 활용을 연구에 포함하였으며, 이를 기업이 해당 정보화 기술을 활용하는 수준으로 정의하였다.

3. 생산 및 물류 프로세스 구분과 신기술 도입 및 활용의 단계

스마트 팩토리의 도입에 대한 연구의 대부분은 검증된 요인이 스마트 팩토리 도입에 일반적인 기여를 할 수 있음을 인정한다. 그러나 이전 문헌에서는 스마트 팩토리 도입을 고려할 때, 일반적으로 제조 프로세스 집합을 고려하지 않고, 빅데이터, AI 등 식별 가능한 단일 기술의 도입이나, 스마트 팩토리 또는 Industry 4.0 등 연관 이니셔티브의 수용을 종속변수로 채택하고 있다 (2.2.1 참고). 역설적이게도 더 유연한 운영을 확보하고 제조 프로세스에 통합적으로 IT를 적용한다는 목표가 인더스트리 4.0 개념의 핵심이었지만 (Schuh et al., 2020), 기업이 이를 달성하기 위해 정보화 기술을 채택하는 방법을 고려한 경험적 연구는 거의 없었으며 이는 이론적 격차로 남아 있다. 이러한 맥락에서 제조업체가 스마트 팩토리 관련 기술을 제조 프로세스에 통합적으로 채택하여 기술 목표 조정을 보장하고 잘못된 구현으로 인한 효율성 부족을 방지하기 위해서는, 생산 전체 프로세스에 대한 보다 균형 잡힌 분석이 필요하다. 이러한 필요성을 반영해 최근 문헌은 공장의 사회적 측면을 강조하여 스마트 팩토리 기술을 기반으로 제조 프로세스가 더 잘 통합되고 발전해야 함을 보여주는데 (Marcon et al., 2021; Meindl et al., 2021), 이러한 문제의식은 연구의 변수가 조립이나 가공, 물류와 같은 제조활동 프로세스까지 확장 적용되어야 한다는 본 연구 주제 의식의 기반이 되었다. 이에 따라 본 연구에서는 정보화 기술 도입과 활용을 5개의 각기 다른 생산 및 물류 관련 프로세스에서 측정하였으며 이는 아래 <표2>에 제시되었다.

<표 2> 연구에 사용된 생산 및 물류 관련 프로세스

번호	생산 및 물류 관련 프로세스
1	생산 및 입고계획 프로세스
2	출하 계획 프로세스
3	공정 관리 프로세스
4	품질 관리 프로세스
5	창고 및 물류/운송 관리 프로세스

한편, 기술 및 프로세스 혁신에 대한 대부분의 수용 프로세스는 단계적 접근 방식을 취한다. 이 단계별 접근 방식은 사전 인식, 평가, 선택, 수용개발, 구현, 맞춤화를 포함하는 일련의 단계에서 (Won & Park, 2020a) 연구되었으며, 이에 대한 선행연구와 각각이 표방하는 수용 프로세스는 <표3>에 제시되었다. 이러한 단계는 때때로 채택 전, 채택 결정, 채택 후로 나뉘지만 보다 일반적으로 개시, 채택, 구현의 세 단계로 나뉜다 (E. M. Rogers, 1995; Zmud, 1982).

<표 3> 기술 및 프로세스 혁신의 수용 단계

기술 및 프로세스 혁신의 수용 단계	문헌
1) 평가	(Hage & Aiken, 1970)
2) 시작	
3) 구현 및 일상화	
1) 인식	(Klein & Sorra, 1996)
2) 선택	
3) 수용 및 개발	
4) 구현 및 일상화	
1) 지식인식	(Zaltman, 1979)

2) 태도형성	
3) 결정	
4) 초기 구현 및 지속적 구현	
1) 채택 전 (개시)	(Pierce & Delbecq,
2) 채택 결정 (채택)	1977; E. M. Rogers,
3) 채택 후 (구현)	1995; Zmud, 1982)

같은 맥락에서 스마트 팩토리의 도입 또한 단계적 프로세스를 따른다. 본 연구에서 스마트 팩토리 수용은 4단계로 구분된다: 첫째, 수용을 전혀 고려하지 않는 단계로서 도입 의사나 계획이 없는 경우를 말한다. 즉, 평가 및 선택, 태도 형성 등이 이루어지지 않은 개시 이전의 단계이다. 다음으로는 도입 의사는 있지만 계획이 없는 단계로서, 인식 및 선택, 평가, 태도형성이 이루어지는 개시 단계를 의미한다. 세 번째 단계는 2년 내 도입을 계획하고 있는 단계로서 시작, 결정, 수용 및 개발 등이 이루어지는 채택 결정의 단계이다. 마지막으로 이미 도입하여 활용하고 있는 단계로, 구현 및 일상화가 이루어지는 채택 후로 구분되었다.

이와 별개로, 생산·물류 업무별 정보시스템 구축은 5단계로 구분되었다. 생산·물류 업무는 1) 생산 및 입고 계획 프로세스, 2) 출하 계획 프로세스, 3) 공정 관리 프로세스, 4) 품질 관리 프로세스, 5) 창고 및 물류/운송 관리 프로세스로 구분되었으며 (<표 2> 참고), 각각의 수용프로세스는 5단계로 구분되었으며 아래의 순서를 따른다: 첫째, 미구축 및 도입계획이 없는 단계로, 평가 및 선택, 태도 형성 등이 이루어지지 않은 개시 이전의 단계와 개시 단계를 포함한다. 둘째로는 미구축 및 2년 내 도입계획이 있는 단계로, 시작, 결정, 수용 및 개발 등이 이루어지는 채택 결정의 단계이다. 세 번째 단계에서 다섯

번째 단계는 이미 도입하여 활용하고 있는 단계로 구현 및 일상화가 이루어지는 채택 후 단계이다.

모형 2에서는 프로세스 혁신의 관점을 취하며, 각 제조 프로세스에서의 정보화 기술 도입을 다루는데, 스마트 팩토리 맥락에서는 패키지화된 소프트웨어의 자체 설비로 보유하고 운영하는 온 프레미스(On-premise) 형태를 도입할 지, 서비스형 소프트웨어 (Software as a Service: SaaS)를 도입할 지 선택하게 된다. SaaS 도입의 경우, 지연 시간과 지속적 구현 및 확장에 문제가 될 수 있어 온 프레미스 버전이 권장되므로 (Padhi, 2018), 지속적 구현의 관점에서 SaaS 도입-자체 구축-자체 구축 및 SaaS 도입 순으로 도입 단계를 구분하였다.

마지막으로 모형 3에서는 각 생산 및 물류 관련 프로세스에서의 정보시스템 사내 업무 활용수준을 단계적 프로세스로 구분하여 사용하였다. 정보시스템의 활용수준은 응답 기업, 조직이 의사소통과 업무 공유 및 협업, 조직 운영에 정보시스템을 활용하는 수준으로 측정되는데 (Hu & Kapucu, 2016), 총 5단계로 층화하여 구분하였다. 먼저, 거의 활용을 하지 않는 단계, 다음으로 개인이 개별적으로 활용하는 단계, 부서내 업무공유 수준으로 활용하는 단계, 부서·부서간 업무공유 수준으로 활용하는 단계, 마지막으로 전사 차원에서 전략 수립 및 신사업 추진단계에서 활용하는 단계로 구분되었다.

제3절 프레임워크에 대한 이해와 선행연구

1. 기술-조직-환경 프레임워크의 이해

신기술과 서비스 즉 정보시스템 도입의도의 스마트 팩토리 맥락에서의 연구는 2.2.1에서 밝혀진 바와 같이 최근 기술요인, 조직요인, 환경요인 등을 주요 변수로 채택해 도입의도 간 관련성 연구를 확대하고 있다. 기술 및 혁신 수용에 대한 많은 연구는 TAM, UTAUT, TOE 및 DOI 모델을 기반으로 하지만, TOE 요인이 주요하게 사용되는 것은 스마트 팩토리 도입이 특정 기술・시스템의 수용보다는 다양한 기술, 정보, 주제 간의 연결 및 통합 변화에 초점을 맞추고 있기 때문인 것으로 파악된다. 조직 및 환경, 내부 및 외부 동인 등 변화를 촉진하는 것이 무엇이든, 혁신 수용은 관리 성과를 유지 및 확장하기 위한 조직 변화를 위한 것일 뿐만 아니라 조직이 변화된 상황에 적응하는 수단으로도 작용하므로 (Won & Park, 2020a) 이와 같은 측면에서, 개인의 기술수용과는 상이한 요인이 작용하기 때문이다. 본 연구에서는 조직차원에서의 스마트 팩토리 이니셔티브 및 정보화기술 수용의도를 밝히는 것이므로 (Tornatzky et al., 1990)에 의해 개발된 기술-조직-환경 (TOE: Technology-Organization-Environment)프레임워크를 이용하여 영향을 미치는 결정요인을 파악하고자 한다. 프로세스 혁신의 관점에서 스마트 팩토리는 제품의 기획 및 설계, 생산, 유통 및 판매 등 회사의 전체 생산 관련 프로세스를 정보통신기술로 통합함으로써 구현되기 때문이다.

TOE 프레임워크는 정보 기술 채택 연구에서 자주 사용되는데 (Iacovou et al., 1995; Lin and Lin, 2008), 혁신이 조직에서 진행되는 과정에서 영향을 미치는 요인을 넓게 조직상황 및 기술상황과 환경상황으로 분류하여 설명함으로

써 이론적 및 실증적 지원을 제공하기 때문이다(Oliveira and Martins, 2011).

2.2.1에 명시된 바와 같이, 스마트 팩토리 도입의도에 적용한 기술요인, 조직요인, 환경요인, 그리고 혁신요인 등은 연구자에 따라 중요성의 정도를 판단하여 변수로 채택해 인과관계를 검증하였다. 이는 “혁신 도입 결정은 적절한 맥락 내에서, 그리고 혁신의 특수성에 맞춰진 변수로 연구되어야 하기 (Chau & Tam, 1997)” 때문이다. 따라서 한국 중소기업을 대상으로 하는 본 연구의 맥락을 고려하여, 2.2.1에 제시된 논문 중 한국기업의 맥락을 포함한 연구(Chung et al., 2022; Jang et al., 2018; Won & Park, 2020a)를 주요하게 검토하여 Forward-Backward Analysis를 수행하며 요인을 도출하였고, 해당 연구의 연구자, 잠재적 영향 요인 및 프레임워크, 연구 맥락, 연구결과는 <표 4>에 정리되었다. 더불어 연구대상이 중소기업이라는 점에서 규모의 불경제 및 제한된 자율성, 집중화 및 낮은 형식주의 수준, 문화적 고립성 및 외부 환경에 대한 의존성, 변화에 대한 내부 저항 등의 중소기업의 한계를 고려하여 Iacovou et al. 모델의 하위속성을 추가로 채택해 활용하였다. Iacovou et al. 모델은 기술 기반 프로세스 변경 및 혁신에 대한 결정 요인의 연구 모델로 많은 중소기업의 연구 모델로 사용되어 (1995) 적합도가 높다고 판단되었기 때문이다.

<표 4> Forward-Backward Analysis on Leading Papers

연구자	잠재적 영향 요인 및 프레임워크	연구 맥락	연구결과
(Mittal et al., 2019)	혁신적인 교육, 훈련, 법률 및 시스템, 데이터	스마트 제조	잠재적 영향 요인들이 스마트 제조의 다양한 속성과 기술 요소에 상당한 영향을 미침

	공유 시스템		
(Arnold et al., 2018)	상대적 경쟁우위, 경영지원, 경쟁, 환경적 불확실성 TOE Framework	Industry 4.0 기존 정보기술의 수용	잠재적 영향요인이 Industry 4.0을 이끄는 결정인자임을 보임 혁신 수용은 관리 성과를 유지 및 확장하기 위한 조직 변화를 위한 것일 뿐만 아니라, 조직이 변화된 상황에 적응하는 수단으로도 작용함
(Jang et al., 2018)	비용, 보안, 상대적 경쟁우위, 복잡성, 호환성, 경영지원, 기술의 업무적합도, 경쟁압박, 기관지원 조절변수: 회사규모 TOE Framework	중소기업의 스마트 팩토리 맥락에서의 빅데이터 수용	잠재적 영향요인이 빅데이터 기술 수용에 영향을 미치는 인자임을 보였으며, 이것이 기업의 크기에 따라 조절효과를 가짐을 밝힘
(Ghobakhloo & Ching, 2019)	인지된 가치, 인지된 비용, 인지된 호환성, 정보처리 요구사항, IDT 지식역량, 전략적 로드맵, 환경부담, 경쟁압박 TOE Framework	중소기업의 핵심 스마트 제조 정보 디지털 기술 수용	13개 핵심 SMIDT를 규명하고, 잠재적 영향요인이 각 SMIDT 수용과 활용에 영향을 미치는 요인임을 밝힘
(Won & Park, 2020a)	인지된 혜택, 조직 준비도, 외부압박 조절변수: 매출, 영업이익, 기업규모	한국 중소기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 수용 및 기술활용	스마트팩토리 기술의 도입결정과 활용에 잠재요인이 영향을 미친다는 사실을 밝힘
(H. Kim,	경영자의 리더십,	스마트 팩토리	3개의 조직 변수를 사용하여

2020)	조직 학습, 인지된 전환비용	지속사용의도	사용용이성, 지각된 유용성과의 관계를 밝히고 이들이 지속사용의도에 어떤 영향을 미치는 지 밝힘
(이종근 & 길종구, 2021)	UTAUT & TOE 통합기술 수용요인, 도입성과, 최고경영자의 조절작용	스마트 팩토리 이니셔티브 수용	국내 스마트팩토리 연구에서는 TOE를 처음 도입하였으나, 최고경영자의 태도에 집중함
(S.-M. Kim & You, 2020)	기업역량, 지역특성 조절변수		대표의 역량과 직원의 역량을 함께 다룸, 연구모델의 적합도 판정 방식 및 대표 vs. 직원 관계가 유의

* 선행연구에 근거하여 연구자가 재정리함

2. 기술 차원의 이해

스마트 팩토리의 특성을 고려하여 기술이 직접적으로 생산에 미치는 인지된 이익, 기술 채택에 따른 인지된 간접적인 이익 등의 변수를 고려한다. 기술이 기업에 미치는 직접적인 이익 및 기대효과는 기업에서 Industry 4.0을 채택하여 운영 비용을 절감하고 강력한 산업 연결 및 내부 운영 효율성 향상 측면에서 경쟁업체보다 우위를 점할 수 있는 경우에 발생한다 (Srivastava et al., 2022). 기술 채택으로 인한 직접적인 이익은 이전 연구에서 중요한 요소이다. 예를 들어, Hassan et al.,은 인지된 기술의 이익이 전자 조달의 깊이에 영향을 미친다는 것을 발견한 반면 (2017), Tan et al.,은 그것이 ICT 사용에 영향을 미친다는 것을 확인했다 (2009). 마찬가지로 AlBar & Hoque는 기술의 직접적 이익이 기업의 신기술 채택 의도를 결정한다는 사실을 발견했다 (2019). Alkhalil et al.,은 지각된 기술의 이익과 기대효과가 인더스트리 4.0 채택에 영향을 미친다고 밝혔다 (2017).

스마트 팩토리로의 전환과 스마트 기술의 채택은 일반적으로 생산성 향상, 기술적 이점, 경쟁력 향상에 대한 기대에 의해 주도된다. 이러한 요소는 성공을 달성하는 데 중요하지만 지속 가능한 경쟁 우위에는 현재 자산을 활용하는 회사의 능력과 비즈니스 성과에 영향을 미치는 경영 프로세스 개선, 내외부 이해관계자 협업 증대와 같은 간접적인 이익 또한 영향을 미친다. Gastaldi et al., 은 비즈니스 성과가 제조 혁신 성과를 달성할 수 있는 유리한 위치를 제공하고 있음을 실증하였으므로 (2022), 이 연구에서는 조직 내부 및 외부로부터 기인하는 기술로 인한 전반적인 경영성과에 대한 간접적 이익과 기대효과 또한 잠재요인으로 투입하였다.

3. 조직 차원의 이해

조직 차원에는 최고 경영진의 정보화에 대한 관심, 정보화에 대한 의지, 정보화에 대한 적합한 지식 및 직원의 관심과 관련 지식 획득 노력으로 구성되는 조직적 지원의 잠재요인과, 더불어 하드웨어, 소프트웨어, 네트워크 차원의 시스템 운영역량이 포함되었다. 이 모든 것이 기술 채택에 영향을 미치는 요소이다.

신기술 도입과 관련한 최고경영진의 의지 및 지원, 리더십 요인의 중요성을 강조하는 많은 연구가 있었다. 정보시스템이 성공적으로 도입 및 구축되기 위해서는 초기 단계에서부터 최고경영자가 관심을 갖고 주도적으로 조직 구성원들의 의식변화를 유도해야 하며 교육과 홍보를 통해 시스템에 대한 올바른 인식을 심어 주어 거부감과 불안감을 최소화해야 하고, 스마트 팩토리를 구축하기 위해 조직구성원들이 달성해야 할 구체적이고 체계화된 비전을 수립하는 것은 물론 비전에 대한 공유와 장기적인 전략 및 실행계획 수립에 있어서 적극적인 역할이 요구된다 (Charalambous et al., 2015). Prause는 새로운 제조 기술에 대한 최고 경영진의 지원이 클수록 이러한 기술이 배치될 가능성이 더 높다고 주장하며 (2019), Shi and Yan은 RFID 채택에 대한 최고 경영진의 긍정적인 태도가 채택 여부에 유의한 영향을 미친다는 사실을 발견하였다 (2016). 이러한 연구들은 최고 경영진의 지원이 조직의 스마트 팩토리와 제조 프로세스에의 IT 채택에 필수적임을 나타낸다.

신기술 수용과 관련한 최고경영자의 의지 및 지원뿐만 아니라, 조직 구성원의 관심과 흡수 의지 또한 관측 변수로 포함되었다. 스마트 팩토리 도입 시 조직 구성원의 참여도 및 최고경영자의 의지가 함께 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과가 있었으며 (최영환 & 최상현, 2017), 이것은 기술을 구현하는

것이 실무수준에 있는 직원이기 때문에 새로운 기술의 습득과 직원의 관심, 습득의지 사이에는 긴밀한 관계가 있기 때문이다 (Piva et al., 2005). 조직차원의 흡수 능력은 혁신에 적응하는 능력에 영향을 미치고, 기술에 익숙해지려는 직원의 의지에 영향을 받는다 (Buchanan et al., 2013). 스마트 팩토리와 같은 신기술 및 시스템을 도입한다는 것은 조직 구성원들이 급속도로 발전하는 디지털 기술과 업무 환경에서의 개개인의 지식과 역량을 발휘해 시스템을 거부감없이 받아들이고 지속적으로 운영하고 조정할 준비가 되어 있어야 하므로 경쟁시장에서의 경쟁적 우위를 차지하기 위한 핵심적 요소로써 조직구성원의 정보화에 대한 관심과 지식습득 의지는 매우 중요하다.

한편, 자원 기반 관점(RBV)은 기업의 귀중하고 희귀하며 흉내낼 수 없는 자원이 경쟁 우위의 원천이라고 주장한다 (Barney, 1991; Melville et al., 2004). 기업 내부 자원에는 기업이 IT를 보다 효과적으로 채택하고 사용하는 데 도움이 되는 기술 및 전반적인 인프라가 포함된다. 특히, 스마트 팩토리와 같은 융복합 기술에는 하드웨어, 소프트웨어, 네트워크 삼요소의 자원으로 구분될 수 있으며, 이러한 자원의 가용성이 인더스트리 4.0 채택에 도움이 될 수 있다. 선행 연구 또한 기술 채택에서 위 세 가지 자원에 대한 시스템 운영역량의 중요성을 뒷받침했다 (Anckar & Walden, 2001; Heung, 2003; Khemthong & Roberts, 2006). 따라서 본 연구에서는 자원기반 관점에 근거하여 기술 채택에 영향을 미치는 잠재요인으로 시스템 운영역량을 포함하였다.

4. 환경 차원의 이해

조직의 혁신 성향은 종종 환경 내의 기회와 위협에 의해 형성된다 (Raymond, 2001). 환경 차원은 산업 내의 경쟁과 정부 정책을 포함하는 운영 컨텍스트를 나타낸다. 이전 연구는 환경적 요인이 자동차 공급망에서 시장 및 업계의 압력과 공급망의 다른 관계 계층의 압력이 정보화 기술의 채택을 촉진하는 데 중요한 동인임을 밝혔다 (Simoes et al., 2019).

산업경쟁 속에서 지속 가능한 경쟁 우위를 확보하는 데에 내부 자원의 활용뿐만 아니라, 외부 기회를 탐색하는 능력이 중요한 역할을 하기 때문에 연구개발 형태와 업무혁신 범위를 통한 혁신문화 정착 수준이 해당 차원에서 관측변수로 포함될 수 있다 (Gastaldi et al., 2022). 한편, 요구되는 기술수준이 높을수록, 수출을 통한 경쟁환경 노출범위가 넓을수록 산업경쟁의 영향을 많이 받으므로, 기업의 산업수준과 수출비중이 산업경쟁 맥락에서 환경 차원에 관측변수로 포함되었다.

정부의 지원 기대는 정부지원사업에 대해 인식하고 있는 정도와 지원을 받을 수 있다고 믿는 기대를 의미하고, 중소기업 맥락에서 스마트 팩토리 도입의도에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다. 정부의 지원은 기업의 매출뿐만 아니라 기타 경영부문에서도 긍정적인 효과를 나타낸다 (Almus & Czarnitzki, 2003). 이에 따라 제조혁신 관련 혁신인증의 개수, 공단 또는 산업단지 입주여부가 이에 영향을 미치는 것으로 확인되어 정부 압력 (또는 지원기대) 맥락에서 관측변수에 포함되었다. Osakwe et al.,은 나이지리아에 기반을 둔 소기업에서 기업 웹사이트의 채택 문제를 조사하였는데, 그들은 인지된 정부 지원이 중요한 결정 요인임을 발견했다. 따라서 한국 정부의 스마트 팩토리 사업에 대한 인지 수준이 환경차원에서의 마지막 관측 변수로 포함되었다.

제4절 스마트 팩토리 관점에서의 교육과 지식공유

교육 및 지속적인 전문성 개발은 스마트 팩토리 구현 프로세스에서 집중해야 하는 두 가지 가장 중요한 영역으로 받아들여진다 (Kagermann et al., 2013). 이것은 Ekren & Kumar (2020), Maisiri et al. (2019) 와 같은 기존 연구들이 스마트 팩토리 요구 사항을 충족하는 데 상당한 기술 요구 사항이 있음을 보여 주었기 때문이다. 즉, 스마트 팩토리 구현에 있어서 많은 제조기업이 당면하고 있는 주요한 과제 중 하나는 이것이 요구하는 까다로운 기술을 직원이 배워야 한다는 것이다 (Baena et al., 2017). 따라서 스마트 제조의 야망을 달성하려면 업계 기술 인력이 정보화 기술에 대한 지식을 보유해야 한다. Hernandez-de-Menendez et al.은 같은 맥락에서 미래 인력이 인더스트리 4.0을 관리하는 데 필요한 역량과 기술을 이해하는 것의 중요성을 강조한다 (2020). 이것이 제조기업 내 정보화 기술 교육의 중요성이 강조되고 있는 이유이며, 직원들은 혁신에 발맞추어 스마트 팩토리 시스템을 관리하고 처리할 수 있어야 한다. 즉, 스마트 팩토리를 도입하고 유지하려면 더 유능하고 숙련된 교육 인력과 시스템이 필요하다 (Srivastava et al., 2022).

조직능력의 본질은 지식 통합이라고 할 수 있는데 (Grant, 1996), 4차 산업혁명 환경에서는 관련지식을 향상시키고, 혁신프로세스에 참여하며, 문제해결능력 향상 및 기계와 상호작용하는 능력 등을 함양해야 한다는 몇 가지 필요성에 의해 종업원의 역량 개발이 중요하다 (Kagermann et al., 2016). 따라서 외부의 새로운 지식자원을 인식하고 활용하여 새로운 지식을 창출하고, 내재화 및 활용할 수 있는 능력이 필요하며 (Lane & Lubatkin, 1998), 기업의 경쟁력을 강화하기 위해서는 외부로부터 지식을 획득하고 이를 내재화할 수 있도록 변환하고 응용하여 활용할 수 있어야 한다 (Zahra & George, 2002).

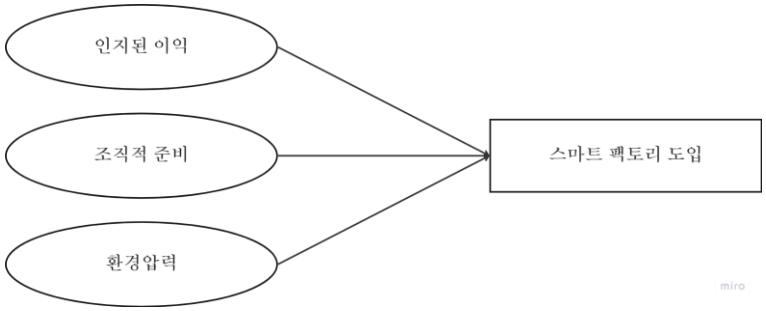
인더스트리 4.0에서 총체적 접근에 기초한 기술-조직-인간(TOP) 중심의 사회-기술적 체계를 주장한 Hallewell et al. (2017)은 신기술 설비와 시스템의 잠정적 사용자에 해당하는 조직원은 업무 활동과 작업현장에서의 실무적인 지식을 습득·공유하고 전문적인 자격을 갖추는 것이 중요하다고 언급하였으며 (권세인, 2019), 스마트 제조 관점에서의 인에이블러를 요약한 Mittal et al.의 연구에서는 이것이 혁신적인 교육, 훈련, 지식 공유 시스템이 스마트 제조의 다양한 속성과 기술 요소에 상당한 영향을 미친다는 것을 실증함으로써 (Mittal et al., 2019), 제조혁신에 교육과 지식공유 시스템이 핵심적인 역할을 한다는 사실을 밝혔다.

2.2.1에서 다루었듯이, 많은 연구들이 지식창출과 조직 차원의 지식습득 노력, 지식공유 및 경영의 중요성을 강조하고 있으나, 스마트 팩토리 맥락에서는 생산 및 제조 프로세스의 정보화에 대해서는 많은 지원이 있었던 반면, 지식공유와 교육 시스템에 대한 중요성은 상대적으로 덜 강조되었다. 본 연구에서는 통합적 기술 도입과 활용을 종속변수로 가지는 새로운 모델을 제시하였는데, 특히 인지된 이익과 조직원의 관심, 의지, 정보화 인프라의 운영역량 등의 잠재요인에 업무지식공유, 전사적 정보공유, 기업 간 정보공유, 경영자의 정보화에 대한 적합지식 수준, 직원의 정보화 지식 습득 노력 등의 관측 변수를 포함하여 이러한 관점을 반영하였다.

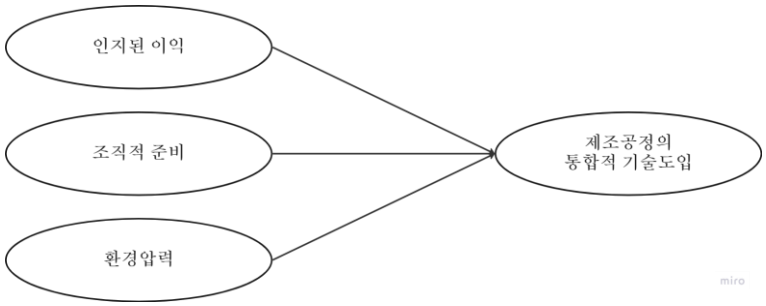
제3장 연구모형과 가설설계

제1절 연구모형의 설계

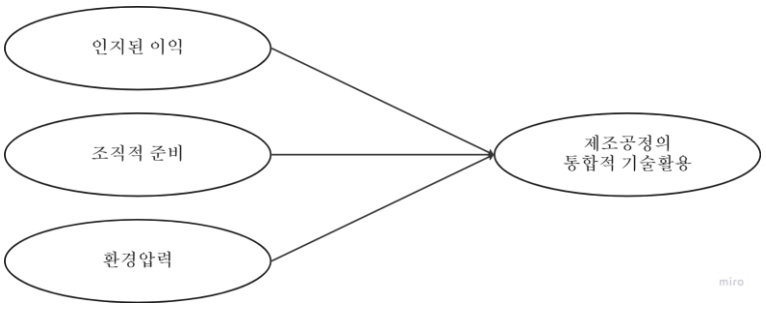
본 연구는 중소 제조기업의 스마트팩토리 이니셔티브 도입, 생산・물류 업무에 대한 통합적 정보시스템 구축과 활용에 영향을 미치는 요인 및 그 영향을 비교하여 규명하고자 한다. 연구의 목적을 달성하기 위하여 <그림 6> <그림 7> <그림 8>과 같이 3개의 연구모형이 설정되었다.



<그림 6> 연구모형 1



<그림 7> 연구모형 2



<그림 8> 연구모형 3

<그림 6>에 제시된 연구모형 1에서는 스마트팩토리의 신규 및 추가 도입 계획 또는 의사가 종속변수(Y1)로 채택되었으며, ① 도입 의사 및 계획 없음, ②도입 의사는 있으나 계획 없음, ③2년 내 도입 계획 중, ④ 도입활용 중의 4점 척도로 측정되었다.

<그림 7>에 제시된 연구모형 2에서는 생산・물류 업무에 대한 통합적 정보시스템 도입이 종속변수로 채택되었으며, <그림 8>에 제시된 연구모형 3에서는 생산・물류 업무에 대한 통합적 정보시스템 활용이 종속변수로 채택되었다. 위 두 모형에서 사용된 잠재요인에 대한 생산・물류 업무 관측변수는 <표 5>에 정리되었다. 통합적 기술도입 문항의 구성은 ① 미구축+도입계획 없음, ② 미구축+2년 내 도입예정, ③ SaaS도입, ④ 자체구축, ⑤ 자체구축 및 SaaS 도입의 5점 척도로 측정되었으며, 기술활용 문항의 구성은 ① 거의 활용 안함, ② 개인의 개별적 활용, ③ 부서내 업무공유 수준, ④부서-부서간 업무공유 수준, ⑤전략수립・신사업 추진단계 활용의 5점 척도로 측정되었다.

IT 혁신 수용 단계와 잠재적 요인 사이의 관계는 대부분 선형 인과 관계로 간주되나, 이전 단계에 영향을 미친 잠재적 요인이 이후 단계에 어떤 영향을

미치는 지 명확하게 설명하지 못하는 문제가 있다 (Waarts et al., 2002). 기존 스마트 팩토리 수용 문헌에서 실제 도입 결정과 활용 사이에는 상당한 차이가 있음이 알려져 (Won & Park, 2020a) 본 연구에서는 두 단계를 선형 관계가 아닌 독립적인 관계로 보고 분석하도록 한다.

<표 5> 모형 2, 모형 3 종속변수의 측정도구

잠재 변수	구분	측정 변수
통합적 기술도입 (Y2)	Y2-1	생산 및 입고계획 프로세스 정보시스템 구축
	Y2-2	출하 계획 프로세스 정보시스템 구축
	Y2-3	공정 관리 프로세스 정보시스템 구축
	Y2-4	품질 관리 프로세스 정보시스템 구축
	Y2-5	창고 및 물류/운송 관리 프로세스 정보시스템 구축
통합적 기술활용 (Y3)	Y3-1	생산 및 입고계획 프로세스 정보시스템 활용
	Y3-2	출하 계획 프로세스 정보시스템 활용
	Y3-3	공정 관리 프로세스 정보시스템 활용
	Y3-4	품질 관리 프로세스 정보시스템 활용
	Y3-5	창고 및 물류/운송 관리 프로세스 정보시스템 활용

독립변수는 선행 연구에서 제시한 잠재적 요인의 참조 모델과 요인분석을 기반으로 구분되었다. 요인과 영향을 파악하기 위해 이들 간의 상관관계를 분석하고 구조방정식을 적용한다. 스마트팩토리 도입의도의 종속변수와 통합적 정보시스템 구축과 활용의 구분에 대한 의의는 논리기능화에서 도출된 요인을 이용한 경로분석을 통해 확인할 수 있다.

제2절 연구가설

2.1.3에서 밝힌 바와 같이 스마트 팩토리 구축에 대한 정부지원이 부재할 때, 중소기업이 자발적으로 스마트 팩토리를 구축할 의향은 낮다. 따라서 스마트 팩토리 정부 이니셔티브의 양적 도입과 정보화 기술 도입을 통한 전체 프로세스의 질적인 혁신을 결정하는 결정요인에는 거리가 있을 것으로 예상된다. 따라서 제2장에서 다룬 이론적 배경과 3.1에서 설계된 연구모형을 기반으로 본 연구에서는 핵심 연구질문을 다음과 같이 설정한다.

"스마트 팩토리 이니셔티브 도입의도에 영향을 미치는 결정요인과 생산 및 물류 프로세스에 통합적으로 정보화 기술이 도입되고 활용되도록 하는 결정요인은 상이할 것이다."

스마트 팩토리는 세분화되고 독립적인 사업부의 정보화와 달리 융합·복잡, 정보 집약적인 다양한 시스템 간의 연결을 기반으로 하기 때문에 기존 혁신 수용 연구에서 나타나는 결정 요인을 충분히 고려해야 한다. 특히 기업 측면에서 기존 연구의 결정요인은 도입동기, 기대효과, IT 인프라 준비도, 재무적 준비도, CEO의 정보화 의지, 종속위험 등 다양한 내·외부적 요인을 포함한다 (Won & Park, 2020a). Iacovou et al. 은 이러한 요소를 그의 모델에서 주요 변수로 언급했으며, 이는 기술의 인식된 이익, 조직 준비 상태 및 외부 압력의 세 가지 요소로 요약할 수 있다 (Iacovou et al., 1995). 따라서 위 연구질문은 TOE 관점과 Iacovou et al. 모델을 취하여 다음과 같은 하위 연구가설을 통해 증명하도록 한다.

첫째, 많은 연구에서 기술의 잠재적 이점에 대한 인지된 이익 및 정보기술 수용과 관련하여 높은 수준의 중요성을 보여주었다(Ghobakhloo & Ching, 2019; Jang et al., 2018; Masood & Sonntag, 2020; Won & Park, 2020a). 인지된 이익은 두 가지로 나눌 수 있다 (Iacovou et al., 1995). 하나는 비용 절감 및 매출 증대, 생산량 증대와 같은 제조 성과와 동일시되는 직접적인 이익이다. 이에 따라 제조 생산관리에 스마트 공장이 미치는 기술의 직접적인 파급영향 및 신기술의 직접적인 기대효과 (Jayashree et al., 2022; Rajbhandari et al., 2022; Yadav et al., 2020)가 연구모형에 포함되었는데 (Direct Benefit: DB), 생산량 증대(DB1), 생산원가절감(DB2), 불량률 감소(DB3)가 이에 속한다. 다른 하나는 사업 성과에 영향을 미치는 비즈니스 프로세스 개선, 내・외부 이해관계자 협업 증대와 같은 간접적인 이익 (Indirect Benefit: IB)으로 (Srivastava et al., 2022; Won & Park, 2020a; Yadav et al., 2020), 프로세스 수행노력 단축 (IB1), 프로세스 정확성 향상(IB2), 업무지식공유(IB3), 의사결정 신속화 (IB4), 전사적 정보공유(IB5), 기업간 정보공유(IB6)와 같은 조직 내부 및 외부의 전반적인 프로세스 혁신에 대한 인지된 기여도가 포함되었다. 기존 정보시스템의 사전 경험을 통해 인지된 직・간접적 이익이 스마트 팩토리의 도입의도와 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다고 가정하였다 (인지된 이익: Perceived Benefit). 이에 따른 연구가설과 세부 가설은 다음과 같다.

H1: 인지된 이익은 중소기업의 스마트 팩토리 도입 및 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-1-1: 제조 프로세스에서의 신기술의 인지된 직접적인 이익은 중소기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-1-2: 프로세스 혁신을 통해 성공적인 경험을 거둔 간접적인 이익은 중소기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-2-1: 제조 프로세스에서의 신기술의 인지된 직접적인 이익은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-2-2: 프로세스 혁신을 통해 성공적인 경험을 거둔 간접적인 이익은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-3-1: 제조 프로세스에서의 신기술의 인지된 직접적인 이익은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

H1-3-2: 프로세스 혁신을 통해 성공적인 경험을 거둔 간접적인 이익은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

둘째, Iacovou et al. 은 조직 준비를 크게 기업의 경영지원 및 기술자원 측면으로 나누었는데, 그 이유는 중소 기업의 자원이 매우 제한되어 있기 때문이다. 중소기업의 기술수용에 관한 연구에서도 경영지원, 기술경쟁력 및 준비태세 등의 요인으로 구분하여 분석하였는데, 조직적 지원 차원에서

구성원의 관심은 조직 구성원의 수용 정도를 나타내므로 (Holland & Light, 1999), 조직적 지원 (Organizational Support: OS) 요인에는 정보화에 대한 경영진의 관심과 지원의지, 조직원의 지식 등이 포괄적으로 포함되었다. 관측변수로는 최고경영자 및 임원과 직원 맥락이 모두 고려되어, 최고경영자 및 임원의 정보화에 대한 관심 (OS1), 지원의지(OS2), 정보화 투자계획 및 전략수립 추진(OS3), 자사에 적합한 정보화 솔루션에 대한 지식(OS4), 직원의 정보화에 대한 관심(OS5), 직원의 정보화 활용지식 습득노력(OS6)이 포함된다.

기술자원 측면에서는 기업이 IT를 보다 효과적으로 채택하고 사용하는 데 도움이 되는 기술 인프라가 포함된다. 기존 연구에 따르면 자원의 가용성이 인더스트리 4.0 채택에 도움이 될 수 있으며 선행 연구들은 기술 채택에서 시스템 운영역량 (Operational Capability: OC)의 중요성을 뒷받침했다 (Anckar & Walden, 2001; Heung, 2003; Khemthong & Roberts, 2006). 여기에서는 하드웨어 운영수준(OC1), 소프트웨어 운영수준(OC2), 네트워크 운영수준(OC3)으로 나누어 측정되었다. 조직적 지원과 정보화 역량은 모두 스마트 팩토리의 도입의도와 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다고 가정하였으며 (조직적 준비: Organizational Readiness), 이에 따른 연구가설과 세부 가설은 다음과 같다.

H2: 조직적 준비는 중소기업의 스마트 팩토리 도입 및 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

H2-1-1: 최고경영자와 직원의 조직적 지원은 중소기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 긍정적인 영향을 미친다.

H2-1-2: 시스템 운영역량은 중소기업의 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 긍정적인 영향을 미친다.
H2-2-1: 최고경영자와 직원의 조직적 지원은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용에 긍정적인 영향을 미친다.
H2-2-2: 시스템 운영역량은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용에 긍정적인 영향을 미친다.
H2-3-1: 최고경영자와 직원의 조직적 지원은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용에 긍정적인 영향을 미친다.
H2-3-2: 시스템 운영역량은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

셋째, 외부 압력은 가치 사슬과 경쟁 관계에서 받는 비즈니스 압력과 산업 협회 및 정부 기관과 같은 외부 조직에서 오는 정책 압력 및 지원(Environmental Pressure: EP)을 고려할 수 있다 (Cragg & King, 1993; Iacovou et al., 1995). 여기에는 정부혁신인증의 개수(EP1), 연구개발 형태(EP2), 주 판매처의 규모(EP3), 산업수준(EP4), 공단입주(EP5), 수출비중(EP6), 업무혁신범위(EP7), 지원사업인지(EP8) 요인이 포함된다. 기업 환경과 정부의 정책 압력은 스마트 팩토리의 도입의도와 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다고 가정하였으며 이에 따른 연구가설과 세부가설은 다음과 같다.

H3: 산업경쟁과 정부의 정책 압력과 같은 환경압력은 중소기업의 스마트 팩토리 도입 및 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

H3-1: 산업경쟁과 정부의 정책 압력과 같은 환경압력은 중소기업의 스마트 팩토리 도입에 긍정적인 영향을 미친다.

H3-2: 산업경쟁과 정부의 정책 압력과 같은 환경압력은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용에 긍정적인 영향을 미친다.

H3-3: 산업경쟁과 정부의 정책 압력과 같은 환경압력은 중소기업의 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용에 긍정적인 영향을 미친다.

제4장 연구방법

제1절 연구 대상 및 데이터

본 연구는 2020년 중소기업기술정보진흥원의 중소기업 정보화 수준 조사를 활용하였다. 중소기업기술정보진흥원은 스마트팩토리 지원사업 등의 정부지원사업을 통해 중소기업의 기술경쟁력을 강화하는 것을 목적으로 설립되어, 2002년부터 국내 중소기업의 정보화 수준을 종합적으로 분석하여 공개하고 있다. 중소기업 정보화 수준 조사는 중소기업의 정보화를 다양한 각도에서 조명하고 각 항목의 현황을 파악하여 국내 중소기업의 기술력과 경쟁력, 성과를 강화하고자 하며, 이를 통해 국민경제 발전에 기여하고자 하는 노력의 일환으로써 매년 시행되고 있다. 이는 2004년부터 통계청의 일반통계 승인(제398001호)을 획득하여 조사과정 및 결과의 객관성과 전문성을 인정받고 있으며 이에 따라 중소기업의 정보화 수준을 정기적으로 평가하고, 경쟁력 강화를 위한 정보화 전략을 수립하고, 정부의 정책방향을 제시하고, 기업투자 및 학술연구의 기반을 제공하는 도구로 사용되고 있다. 본 연구에 사용된 조사데이터는 2020년 12월 1일부터 2021년 1월 18일까지(6주) 전국 7개 매출액 규모별 및 12개 업종별로 층화된 4,000개 중소기업을 대상으로 실시되었으며, 그 중 1714개 제조 중소기업의 표본이 본 연구의 분석 데이터로 사용되었다. 이번 설문조사에서는 기업의 대표자 또는 정보화 담당자를 선정하여 이메일이나 전화를 통한 보완적인 설문조사와 함께 면대면 인터뷰가 진행되었고, 표본선정은 대표성을 가진 표본 추출을 위해 멱배분(power allocation) 방식을 사용하여 최적 표본을 할당하고 계통추출법으로 조사대상 업체를 추출하였다.

제2절 분석 변수 및 측정 도구

측정변수는 Iacovou et al., 1995 연구모형에서 제시한 1) 인지된 이익, 2) 조직적 준비, 3) 환경압력의 3가지 주요 요인과 기술혁신 수용과 스마트 공장에 대한 선행연구를 기반으로 설정되었으며, 6개의 하위잠재요인을 도출하여 분석에 사용하였다. 분석을 위한 측정 변수와 잠재변수, 측정도구와 조작적 정의는 <표 6>에 정리되었다.

<표 6> 측정변수와 잠재변수

변수 대분류	소분류	코드	조작적 정의	측정도구	출처
종속변수					
스마트팩토리 도입		Y1	스카트팩토리의 신규 및 추가 도입 의사	①도입 의사 및 계획 없음 ②도입 의사는 있으나 계획 없음 ③2년 내 도입 계획 중 ④도입활용 중 의 4점 척도	(Bongo et al., 2020; M. N. Hassan Reza et al., 2021; Pierce & Delbecq, 1977; Rajbhandari et al., 2022; E. M. Rogers, 1995; S. L. Mak et al., 2020; Srivastava et al., 2022; Yadav et al., 2020)
통합적 기술도입		Y2	스마트팩토리 공정 전체에서 SMIT가 통합 수용/채택된	①미구축+도입계획 없음 ②미구축+2년 내 도입예정 ③SaaS도입 ④자체구축	(Gastaldi et al., 2022; Klein & Sorra, 1996; N. Sachdeva et al., 2017; Padhi, 2018; Senna et al.,

				비율	⑤자체구축 및 SaaS 도입 의 5점 척도	2022; Simoes et al., 2019)
통합적 기술활용			Y3	SMIT의 사내업무 활용수준	①거의 활용안함, ② 개인의 개별적 활용 ③부서내 업무공유 수준 ④부서-부서간 업무공유 수준 ⑤ 전략수립/신사업 추진단계 활용 의 5점 척도	(Hu & Kapucu, 2016; Jayashree et al., 2021)
독립변수						
인지된 이익	직접적 이익	생산량증대 생산원가절감 불량률감소	DB1 DB2 DB3	제조 생산관리에 스마트공장이 미친 영향 (기대효과 포함)	①전혀 무관함 ②다소 영향이 있음 ③매우 영향이 큼의 3점 척도	(Jayashree et al., 2022; Rajbhandari et al., 2022; Yadav et al., 2020)
	간접적 이익	프로세스수행노력 단축 프로세스 정확성 향상 업무지식공유 의사결정신속화 전사적 정보공유 기업 간 정보공유	IB1 IB2 IB3 IB4 IB5 IB6	정보시스템의 업무 효율성, 효과성에 기여한 정도	①매우 낮음 ②낮음 ③보통 ④높음 ⑤매우 높음의 5점 척도	(Srivastava et al., 2022; Won & Park, 2020a; Yadav et al., 2020)
조직적 준비	조직적 지원	경영자 정보화 관심 경영자 정보화 지원 의지	OS1 OS2	최고경영자 및 임원, 직원의 전반적	①매우 낮음 ②낮음 ③보통 ④높음 ⑤매우 높음의 5점 척도	(Jang et al., 2019; Jayashree et al., 2021; Srivastava et al., 2022; Yadav

		경영자 정보화 투자계획 추진 경영자 정보화 적합지식 직원 정보화 관심 직원 정보화 지식 습득 노력	OS3 OS4 OS5 OS6	정보화 관심도 (정보화 인프라, 스마트팩토리, 추진의지, 회사 IT부문에 대한 관심도)		et al., 2020)
	시스템 운영역량	하드웨어 운영수준 소프트웨어 운영수준 네트워크 운영수준	OC1 OC2 OC3	정보시스템의 사후관리 및 유지보수 수준	①매우 잘 안됨 ②잘 안됨 ③보통 ④잘됨 ⑤매우 잘됨의 5점 척도	(Anckar & Walden, 2001; Heung, 2003; Jayashree et al., 2021; Khemthong & Roberts, 2006; Srivastava et al., 2022; Yadav et al., 2020)
환경 압력	산업 경쟁과 정부의 정책 압력	혁신인증 개수	EP1	MS, 이노비즈, 메인비즈, 벤처 기업 등 정부 혁신인증의 개수	실제 값	(Cragg & King, 1993; Iacovou et al., 1995; Jang et al., 2019; Rajbhandari et al., 2022; Srivastava et al., 2022)
		연구개발형태	EP2	연구개발이 이루어지고 있는 형태	①연구개발 없음 ②아웃소싱 ③계열사/관계회사 ④연구개발조직 ⑤사내부설 연구소의 5점 척도	

주판매처의 규모	EP3		개인, 중소기업, 중견기업, 대기업
산업수준	EP4	업종코드 기반의 산업기술 수준	①저위기술 ② 중저위기술 ③ 중고위기술 ④ 고위기술의 4점 척도
공단입주	EP5	공단입주 여부	①입주없음 ②일부 입주 중 ③전체 입주 중의 3점 척도
수출비중	EP6		실제값
업무혁신범위	EP7	정보화를 위한 업무 방식 변화 및 관련 제도 규정 정비가 이루어지는 형태	①별도의 체계 없음 ② 일부업무 일시적 혁신 ③부서별 정기적 전개 ④전사차원 ⑤혁신문화 정착
지원사업인지	EP8	정부 스마트 팩토리 사업 인지 수준	①전혀모름 ②들어본 적 있음 ③잘 알고 있음의 3점 척도

제3절 분석방법 및 절차

설정된 연구질문에 대한 답을 도출하고 가설을 검증하기 위한 분석 방법 및 절차는 다음과 같다. 연구분석을 위해서 IMB SPSS 26.0과 Amos 25.0 프로그램을 이용하였다. 본 연구에서는 구조방정식 모형을 채택하였는데, 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 각 관측변수의 측정도구가 여러 문항의 리커트 척도(Likert Scale)로 구성되어 있으므로, 각각의 문항에 대한 측정오차를 고려하고 추정 값에 대하여 신뢰할 수 있으며 정확한 분석을 진행할 수 있도록 한다. 둘째, 본 연구에서 설정하는 가설을 검증하는 데에 있어, 여러 단계를 통해 간접적으로 결과를 도출하기 보다는 직접적인 모형을 통해 오류를 줄이고자 함이다. 마지막으로 3개의 연구모형의 결과를 비교함에 있어, 다수의 독립변수와 종속변수를 채택한 본 연구의 특성 상, 복잡한 연구모형에 따른 결과를 비교적 효율적으로 제시할 수 있는 방법론으로써 구조방정식을 채택하였다.

이에 따라 연구는 다음과 같은 절차로 진행되었다. 첫째, 연구모형에 포함될 주요 변수의 이상치, 결측치 그리고 자료의 정규성 검토 및 연구 대상자의 인구사회학적 특성을 파악하기 위하여 빈도분석 및 기술통계 분석을 실시하였다. 다음으로 SPSS 26.0 통계 패키지를 이용해서 잠재요인의 신뢰도분석, 상관관계분석을 실시하였다. 마지막으로 구조방정식모형(Structure Equation Model: SEM)을 SPSS Amos 25를 통해 구현하여 측정모형 분석 및 다수의 독립변수와 종속변수 간의 확인적 요인분석을 실행하여 연구모형의 적합도를 확인하였고, 독립변수와 종속변수의 인과성과 그 영향의 크기를 경로분석을 통해 파악하였다.

제5장 연구결과

제1절 연구대상기업의 일반적 특성

수집한 자료의 특성과 연구대상기업의 일반적 특성을 파악하기 위하여 빈도분석을 수행하였다. 빈도분석은 원시 자료의 분포를 파악하고, 변수들의 대략적인 특성을 파악하는 것을 목적으로 하며, 본 연구에서는 응답기업의 일반적 특성을 관찰하여 모집단의 유사 정도를 확인하고, 분포를 확인하여 데이터의 적절성을 검증하였다.

본 연구의 대상은 1714개의 중소 제조업 기업으로 해당 표본의 일반적 특성은 <표 7>과 같다. 기업규모는 20인 이하 522(30.5%), 20인초과 40인이하 383(22.3%), 40인초과 60인이하 231(13.5%), 60인초과 80인이하 133(7.8%), 80인초과 445(26%)로 20인 이하 기업의 비율이 가장 높게 구성되었으나, 대체적으로 고른 분포로 구성되었다. 매출규모는 20억원 이하 154(9%), 20~50억원 이하 226(13.2%), 50~80억원 이하189(11%), 80~120억원 이하 175(10.2%), 120~200억원 이하 234(13.7%), 200~500억원 이하 397(23.2%) 500억원 초과 339(19.8%)로, 200억 초과 500억원 이하 규모의 기업이 비율이 가장 높게 구성되었고 20억원 이하 규모의 기업의 비율이 가장 낮게 구성되었다. 산업수준은 저위기술 557(32.5%), 중저위기술 453(26.4%), 중고위기술 367(21.4%), 고위기술 337(19.7%)으로 저위기술 산업의 비율이 가장 높게 나타났으나, 대체적으로 고른 분포를 보였다. 스마트공장도입의사는 도입의사 및 계획 없음 1099(64.1%), 도입 활용 중 254(14.8%), 도입 의사는 있으나 계획 없음 212(12.4%), 2년 내 도입 계획

중 149(8.7%) 순으로 나타나, 도입의사가 없는 기업이 약 65%, 도입의사가 있는 기업이 약 35% 차지하는 비율로 집계된 반면 스마트 팩토리 정부지원 사업인지 수준의 경우, 잘 알고 있다 595(34.7%), 들어 본 적 있다 577(33.7%), 전혀 모른다 542 (31.6%)으로 나타났다. 공단입주는 입주 없음 906(52.9%), 전체 입주 중 724(42.2%), 일부 입주 중 84(4.9%)으로 구성되어 공단입주 기업과 공단 미입주 기업이 유사한 비율로 구성되었다.

<표 7> 연구대상 기업의 일반적 특성

(n=1714)

구분		빈도	백분율 (%)
기업규모	20인 이하	522	30.455
	20인초과 40인이하	383	22.345
	40인초과 60인이하	231	13.477
	60인초과 80인이하	133	7.760
	80인초과	445	25.963
매출규모	20억원 이하	154	8.985
	20~50억원 이하	226	13.186
	50~80억원 이하	189	11.027
	80~120억원 이하	175	10.210
	120~200억원 이하	234	13.652
	200~500억원 이하	397	23.162
	500억원 초과	339	19.778
산업수준*	저위기술	557	32.497
	중저위기술	453	26.429
	중고위기술	367	21.412

	고위기술	337	19.662
스마트팩토리 도입의사	도입의사 및 계획 없음	1099	64.119
	도입 의사는 있으나 계획 없음	212	12.369
	2년 내 도입 계획 중	149	8.693
	도입 활용 중	254	14.819
사업인지	전혀 모른다	542	31.622
	들어 본 적 있다	577	33.664
	잘 알고 있다	595	34.714
공단입주	입주없음	906	52.859
	일부 입주 중	84	4.901
	전체 입주 중	724	42.240
	전체	1714	100

산업수준*: 한국은행 경제통계 시스템 기준 사용, ① 고위기술산업군: 전기 및 전자기기 제조업, 정밀기기 제조업 ② 중고위기술산업군 : 화학제품 제조업, 기계 및 장비 제조업, 운송장비 제조업 ③ 중저위기술산업군 : 석탄 및 석유제품 제조업, 비금속광물제품 제조업, 1차 금속제품 제조업, 금속제품 제조업 ④ 저위기술산업군 : 음식료품 및 담배 제조업, 섬유 및 가죽제품 제조업, 목재, 종이, 인쇄 및 복제업, 기타제조업

제2절 주요변수의 기술통계

이번 절에서는 주요 연속형 변수에 대해 데이터의 분포를 파악하여 현상을 요약한다. 이는 데이터의 대푯값을 파악하고 해석함을 목적으로 한다. 특히 이 연구에서는 구조방정식 모델을 사용하므로 왜도와 첨도를 함께 계산하였으며, 이를 통해 모델의 적절성을 헤치는 변수가 있는 지 확인한다.

본 연구의 모형은 중소 제조업 기업의 생산·물류 프로세스의 통합적 기술도입(Y2), 통합적 기술활용(Y3), 직접적 이익(DB), 간접적 이익(IB), 조직적 지원(OS), 시스템운영역량(OC), 산업경쟁과 정부의 정책압력(EP)의 8개의 주요 잠재요인과 스마트팩토리 도입(Y1)의 관측변수로 구성되어 있다. 구조방정식 모형에 투입할 주요 변수의 평균, 표준편차, 왜도, 첨도를 알아보기 위해 기술통계분석을 실시하였다. 자료의 정상성을 측정하기 위하여 West, Finch, and Curran의 연구가 제시한 기준을 도입하였다 (1995). 그들에 따르면 왜도가 절댓값 3보다 작고 첨도가 절댓값 8보다 작으면 정규분포의 기준을 만족한다고 보았다 (West et al., 1995). 적용된 변수들은 모두 왜도가 2보다 작고 첨도가 8보다 작아서 정규분포의 가정을 충족시켰다고 볼 수 있다.

<표 8> 주요 변수에 대한 평균, 표준편차, 첨도, 왜도

잠재변수	측정변수	최소값	최대값	평균	표준편차	왜도	첨도
	Y1	1	4	1.74	1.12	1.15	−0.29
Y2	Y2_1	1	5	2.27	1.33	0.41	−1.37
	Y2_2	1	5	2.08	1.31	0.69	−1.09
	Y2_3	1	5	1.97	1.3	0.83	−0.9
	Y2_4	1	5	1.93	1.27	0.91	−0.73

	Y2_5	1	5	2.1	1.32	0.67	−1.1
Y3	Y3_1	1	5	2.18	1.39	0.43	−1.65
	Y3_2	1	5	1.98	1.33	0.73	−1.28
	Y3_3	1	5	1.82	1.2	0.93	−0.81
	Y3_4	1	5	1.76	1.16	1.02	−0.61
	Y3_5	1	5	1.96	1.29	0.73	−1.23
DB	DB1	1	3	2.34	0.63	−0.41	−0.68
	DB2	1	3	2.32	0.68	−0.5	−0.8
	DB3	1	3	2.23	0.76	−0.41	−1.16
	DB4	1	3	1.8	0.78	0.36	−1.26
	DB5	1	3	2.03	0.68	−0.04	−0.86
	DB6	1	3	1.82	0.71	0.27	−1.01
IB	IB1	1	5	3.32	0.68	0.02	0.03
	IB2	1	5	3.35	0.74	0.03	−0.12
	IB3	1	5	3.19	0.76	0	0.11
	IB4	1	5	3.21	0.76	−0.05	−0.04
	IB5	1	5	3.51	0.78	−0.63	0.69
	IB6	1	5	2.57	0.73	0.11	0.29
OS	OS1	1	5	4.28	0.85	−1.31	1.48
	OS2	1	5	4.15	0.93	−1.33	1.61
	OS3	1	5	4.08	0.98	−1.36	1.62
	OS4	1	5	4.04	0.97	−1.41	1.9
	OS5	1	5	4.14	0.86	−1.46	2.76
	OS6	1	5	3.94	0.98	−1.1	0.72
OC	OC1	1	5	3.72	0.76	−0.12	−0.23
	OC2	1	5	3.72	0.84	−0.14	−0.46
	OC3	1	5	3.72	0.84	−0.11	−0.44

EP	EP1	2	8	6.36	1.26	−1.12	1.49
	EP2	2	8	5.54	1.05	0.14	−0.28
	EP3	1	5	3.1	1.85	−0.18	−1.85
	EP4	1	5	3.86	1.17	−0.7	−0.3
	EP5	1	4	2.28	1.12	0.28	−1.29
	EP6	1	3	1.89	0.97	0.21	−1.9
	EP7	1	6	1.56	1.14	2.24	4.34
	EP8	1	5	2.73	1.12	0.28	−0.45
	EP9	1	3	2.03	0.81	−0.06	−1.49

제3절 주요 변수 간 상관관계

1. 모형 1에 대한 주요 변수 간 상관관계

<표 9>와 같이 모형 1에 대한 주요 변수 간 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과 모든 잠재변수 간 상관관계가 p <.01로 유의한 상관관계를 보이고 있다. 더불어, 모든 잠재요인들 간의 상관관계는 유의한 정(+)의 관계로 나타나(p <.05), 본 연구의 가설적 방향과 일치하는 것으로 파악되었다. 더불어, 각 잠재변수의 신뢰도를 의미하는 Cronbach's alpha 값은 모두 0.6 이상으로 나타나 사용된 잠재요인이 모두 적합한 것으로 파악되었다.

<표 9> 모형 1에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과

	DB	IB	OS	OC	EP	Y1	Cronbach's alpha
DB	1						.829
IB	0.122**	1					.719
OS	0.188**	0.568**	1				.859
OC	0.430**	0.369**	0.432**	1			.762
EP	0.253**	0.389**	0.469**	0.316**	1		.868
Y1	0.267**	0.251**	0.295**	0.135**	0.335**	1	.626

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

다음으로는 각 잠재요인의 판별타당도를 파악하였다. 잠재요인의 판별타당도는 다른 잠재요인과의 상관계수의 제곱값으로 계산하며, 이 계산값이 통상 0.4 이하일 경우 판별타당도가 확보된다고 판단한다. 분석결과 모두 0.4보다 낮게 나타나 판별 타당도에 이상이 없는 것으로 확인되었다.

2. 모형 2에 대한 주요 변수 간 상관관계

<표 10>과 같이 모형 2에 대한 주요 변수 간 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과 모든 잠재변수 간 상관관계가 p <.01로 유의한 상관관계를 보이고 있다. 더불어, 모든 잠재요인들 간에 상관관계는 유의한 정(+)의 관계로 나타나(p <.05), 본 연구의 가설적 방향과 일치하는 것으로 파악되었으며, 각 잠재변수의 신뢰도를 의미하는 Cronbach's alpha 값은 모두 0.6 이상으로 나타나 잠재변수가 모두 적합한 것으로 파악되었다. 다음으로는 각 잠재요인의 판별타당도를 파악하였고, 판별타당도의 계산 값이 모두 0.4보다 낮게 나타나 판별 타당도에 이상이 없는 것으로 확인되어 모든 잠재요인이 연구에 사용되었다.

<표 10> 모형 2에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과

	DB	IB	OS	OC	EP	Y2	Cronbach's alpha
DB	1						.719
IB	0.120**	1					.859
OS	0.188**	0.567**	1				.762
OC	0.431**	0.368**	0.432**	1			.868
EP	0.251**	0.384**	0.469**	0.316**	1		.626
Y2	0.163**	0.550**	0.481**	0.297**	0.338**	1	.939

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

3. 모형 3에 대한 주요 변수 간 상관관계

<표 11>과 같이 모형 3에 대한 주요 변수 간 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과 모든 잠재변수 간 상관관계가 p <.01로 유의한 상관관계를 보이고 있다. 더불어, 모든 잠재요인들 간에 상관관계는 유의한 정(+)의 관계로 나타나(p <.05), 본 연구의 가설적 방향과 일치하는 것으로 파악되었으며, 각 잠재변수의 신뢰도를 의미하는 Cronbach's alpha 값은 모두 0.6 이상으로 나타나 잠재변수는 모두 적합한 것으로 파악되었다. 다음으로는 각 잠재요인의 판별타당도를 파악하였고, 판별타당도의 계산 값이 모두 0.4보다 낮게 나타나 판별 타당도에 이상이 없는 것으로 확인되어 모든 잠재요인이 연구에 사용되었다.

<표 11> 모형 3에 대한 주요 변수들 간의 상관관계분석결과

	DB	IB	OS	OC	EP	Y3	Cronbach's alpha
DB	1						.719
IB	0.120**	1					.859
OS	0.189**	0.567**	1				.762
OC	0.431**	0.368**	0.432**	1			.868
EP	0.251**	0.383**	0.468**	0.316**	1		.626
Y3	0.151**	0.572**	0.477**	0.306**	0.316**	1	.939

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

제4절 측정모형 분석

1. 모형 1에 대한 측정모형 분석

구조방정식 분석에서는 구조모형의 분석을 통해 변수 간의 영향력을 살펴보기 전에 연구모형에 포함된 개념들이 적절하게 추정되고 있는 지에 대한 평가가 선행되어야 한다. 이에 따라, 구조모형에 투입되는 잠재요인을 고려한 확인적요인분석 (CFA: Confirmatory Factor Analysis)을 실시하였다. 이는 측정모형이 구조모형을 구성하기에 적합한지를 검토하기 위함이다. 각 요인분석의 최적 상태는 다음과 같은 적합도 지수를 통해서 평가하기로 하였다. GFI(Goodness-of-Fit Index: 0.80이상이 바람직함), AGFI(Adjusted Goodness-of-Fit Index: 0.90이상이 바람직함), NFI(Normed Fit Index: 0.80 이상이 바람직함) TLI(Trucker-Lewis Index: 0.90이상이 바람직함), CFI(Comparative Fit Index: 0.90이상이 바람직함), RMR(Root Mean Squared Residual: 0.05보다 작아야 바람직함), RMSEA(Root Mean Square of Error Approximation: 0.08미만이 바람직함), χ^2(CMIN)에 대한 p값(0.05 이상이 바람직함) 등을 이용하였다.

<표 12> 모형 1에 대한 측정 모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y1	706.583	238	0.000***	0.966	0.957	0.939	0.952	0.959	0.045	0.034

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

측정모형의 적합도는 χ^2=706.583 (df=238, p = 0.000)으로 나타나 p값이 0.05미만으로 나타났지만, χ^2통계량은 사례 수에 민감하여 표본의 크기가 클

수록(n>200인 경우) 연구모형이 기각되기 쉽고, 모형과 자료의 불일치를 과도하게 추정하는 특성이 있다. χ^2검정의 표본의 크기가 400을 초과할 경우, 거의 대부분 통계적으로 유의한 것으로 나타나기 때문에, 표본의 크기가 1714로 상당히 큰 본 연구의 특성에 따라, 표본 크기에 의한 영향력을 최소화하기 위한 대안으로 GFI, AGFI, NFI, TLI, CFI, RMR, RMSEA의 모형적합도 지수를 종합적으로 고려하였다. 해당 지수를 모두 살펴본 결과, GFI는 0.966, AGFI 0.957, NFI 0.939, TLI 0.952, CFI 0.959, RMR 0.045, RMSEA 0.034로서 모형의 적합도 수준은 매우 양호한 수준으로 파악되었다. 측정모형에 대한 분석 결과는 <표 12>와 같다.

2. 모형 2에 대한 측정모형 분석

5.4.1에 기술된 기준에 따라, Y2에 대한 측정모형을 분석하여 평가한 결과, χ^2=1239.669 (df=335, p= 0.000)로 p값이 0.05보다 작아 통계적으로 유의하게 나타났지만, GFI는 0.948, AGFI 0.937, NFI 0.938, TLI 0.948, CFI 0.954, RMR 0.054, RMSEA 0.040로서 모형의 적합수준은 매우 양호한 수준으로 파악되었으며, 그 결과는 <표 13>과 같다.

<표 13> 모형 2에 대한 측정 모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y2	1239.669	335	0.000***	0.948	0.937	0.938	0.948	0.954	0.054	0.040

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

3. 모형 3에 대한 측정모형 분석

5.4.1에 기술된 기준에 따라, Y3에 대한 측정모형 분석하여 평가한 결과, χ^2=1298.521(df=335, p= 0.000)로 p값이 0.05보다 작아 통계적으로 유의하게 나타났지만, GFI는 0.945, AGFI 0.933, NFI 0.933, TLI 0.942, CFI 0.949, RMR 0.054, RMSEA 0.041로서 모형의 적합수준은 매우 양호한 수준으로 파악되었으며, 그 결과는 <표 14>와 같다.

<표 14> 모형 3에 대한 측정 모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y3	1298.521	335	0.000***	0.945	0.933	0.933	0.942	0.949	0.054	0.041

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

제5절 구조모형 분석

1. 모형 1에 대한 구조모형 분석

모형 1에 대해 구조모형을 분석하고 경로 분석을 실시하였다. 결과에 대한 모형적합도는 5.4.1에 기술된 기준에 따라 평가되었으며, 그 결과는 <표 15>와 같다. χ^2=706.583 (df=238, p = 0.000), GFI는 0.966, AGFI 0.957, NFI 0.939, TLI 0.952, CFI 0.959, RMR 0.045, RMSEA 0.034로서 모형의 적합 수준은 매우 양호한 수준으로 파악되어 필요한 요구적합도를 충족시켰다.

<표 15> 모형 1에 대한 구조모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y1	706.583	238	0.000***	0.966	0.957	0.939	0.952	0.959	0.045	0.034

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

<표 16> 모형 1 각 측정변수의 경로계수

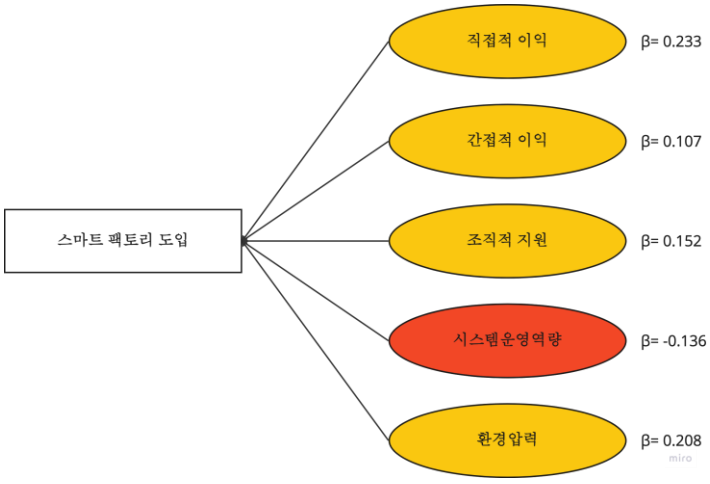
측정변수	표준화계수	비표준화계수	S.E.	t-value
DB → Y1	0.233	0.644	0.09	7.17***
IB → Y1	0.107	0.242	0.076	3.196**
OS → Y1	0.152	0.295	0.076	3.89***
OC → Y1	−0.136	−0.256	0.061	−4.232***
EP → Y1	0.208	0.195	0.038	5.066***

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

경로계수는 <표 16>과 같다. 경로계수 분석 결과, 모든 잠재요인이 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기술의 직접적 이익이 스마트

팩토리 도입에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.233, t-value 7.17, 간접적 이익이 스마트팩토리 도입에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.107, t-value 3.196이며, 조직적지원이 스마트팩토리 도입에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.152, t-value 3.89, 산업 경쟁과 정부의정책 압력이 스마트팩토리 도입에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.208, t-value 5.066으로서, 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 파악되었다(p <0.05).

한편, 시스템운영역량이 스마트팩토리 도입에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) -0.136, t-value -4.232로서 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것으로 파악되었다(p <0.05). 따라서 가설 1-1-1, 1-1-2, 2-1-1, 3-1은 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미쳐 지지된 한편, 가설 2-1-2는 통계적으로는 유의하였으나, 부(-)의 영향을 미쳐 가설과 반대의 결과를 보였다. 스마트 팩토리 도입에는 직접적 이익, 환경압력, 조직적 지원, 시스템 운영역량, 간접적 이익 순으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이 결과는 <그림 9>에 요약되었다.



<그림 9> Y1에 대한 경로분석 결과 요약

2. 모형 2에 대한 구조모형 분석

모형 2에 대해 구조모형을 분석하고 경로 분석을 실시하였다. 결과에 대한 모형적합도는 5.4.1에 기술된 기준에 따라 평가되었으며, <표 17>에 정리되었다. 분석결과, Y2에 대해서는 χ^2=1239.669 (df=335, p = 0.000), GFI는 0.948, AGFI 0.937, NFI 0.938, TLI 0.948, CFI 0.954, RMR 0.054, RMSEA 0.040으로 모형의 적합수준은 매우 양호한 수준으로 파악돼 경로분석에 사용되었다.

<표 17> 모형 2에 대한 구조모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y2	1239.669	335	0.000***	0.948	0.937	0.938	0.948	0.954	0.054	0.040

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

모형 2의 경로계수는 <표 18>과 같다. 기술의 직접적 이익이 통합 기술수용에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.051, t-value 1.764로 기술의 직접적 이익은 통합 기술수용에 유의하지 않은 정(+)의 영향을 미쳤고(p>0.05), 시스템 운영역량은 표준화계수(β) 0.019, t-value 0.637로 스마트 팩토리 도입과 달리 정(+)의 영향을 미쳤으나 유의하지 않았다 (p >0.05).

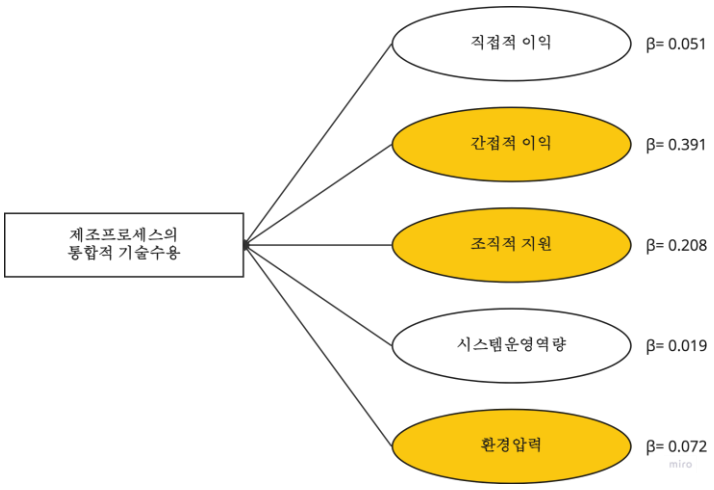
한편, 간접적 이익이 통합기술 수용에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.391, t-value 12.065, 조직적지원은 표준화계수(β) 0.208, t-value 5.782로 나타나 통합 기술수용에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 판단되었으며(p<0.05), 환경압력은 표준화계수(β) 0.072, t-value 1.982로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으나(p <0.05) 그 효과수준이 모형 1에 비해 미약한 것으로 나타났다.

<표 18> 모형 2 각 측정변수의 경로계수

측정변수	표준화계수	비표준화계수	S.E.	t-value
DB → Y2	0.051	0.137	0.078	1.764
IB → Y2	0.391	0.868	0.072	12.065***
OS → Y2	0.208	0.397	0.069	5.782***
OC → Y2	0.019	0.035	0.054	0.637
EP → Y2	0.072	0.068	0.034	1.982*

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

따라서 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용의 측면에서 가설 1-2-1, 2-2-2는 통계적으로 유의하지 않아 기각되었으며, 가설 1-2-2, 2-2-1, 3-2는 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미쳐 지지되었다. 효과의 강도 측면에서 간접적 이익과 조직적 지원 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 환경압력의 효과는 모형 1 경로계수와 비교했을 때 상대적으로 미약하였고 이 결과는 <그림 10>에 요약되었다.



<그림 10> Y2에 대한 경로분석 결과 요약

3. 모형 3에 대한 구조모형 분석

모형 3에 대해 구조모형을 분석하고 경로 분석을 실시하였다. 결과에 대한 모형적합도는 <표 19>와 같다. 분석결과, Y2에 대해서는 χ^2 =1298.521 (df=335, p = 0.000), GFI는 0.945, AGFI 0.933, NFI 0.933, TLI 0.942, CFI 0.949, RMR 0.054, RMSEA 0.041로서 모형의 적합수준은 매우 양호한 수준으로 파악되어 경로분석에 사용되었다.

<표 19> 모형 3에 대한 구조모형 분석

	χ^2	df	pvalue	GFI	AGFI	NFI	TLI(NNFI)	CFI	RMR	RMSEA
Y3	1298.521	335	0.000***	0.945	0.933	0.933	0.942	0.949	0.054	0.041

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

모형 3의 경로계수는 <표 20>과 같다. 기술의 직접적 이익이 통합 기술활용에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.038, t-value 1.302로 유의하지 않은 정(+)의 영향을 미쳤으며(p>0.05), 시스템 운영역량은 표준화계수(β) 0.036, t-value 1.226으로 정(+)의 영향을 미쳤으나 유의하지 않았다 (p >0.05). 환경압력은 표준화계수(β) 0.04, t-value 1.124로 통합 기술수용과 달리 유의하지 않은 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(p >0.05).

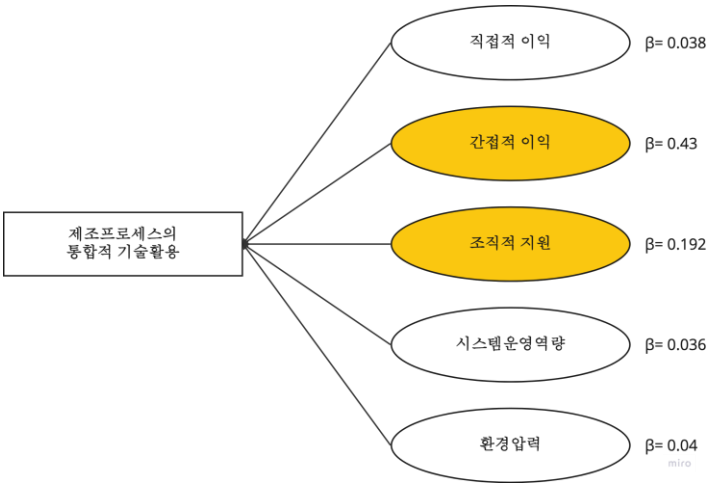
한편, 간접적 이익이 통합기술 활용에 미치는 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.43, t-value 13.09이며, 조직적 지원의 영향의 경로는 표준화계수(β) 0.192, t-value 5.344로 나타나 유의한 정(+)의 영향을 미쳤다(p <0.05).

<표 20> 모형 3 각 측정변수의 경로계수

측정변수	표준화계수	비표준화계수	S.E.	t-value
DB → Y3	0.038	0.103	0.079	1.302
IB → Y3	0.43	0.971	0.074	13.09***
OS → Y3	0.192	0.373	0.07	5.344***
OC → Y3	0.036	0.068	0.055	1.226
EP → Y3	0.04	0.039	0.035	1.124

* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001

따라서 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 활용의 측면에서 가설 1-3-1, 2-3-2, 3-3은 통계적으로 유의하지 않아 기각되었으며, 가설 1-3-2, 2-3-1은 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미쳐 지지되었다. 효과의 강도 측면에서 간접적 이익과 조직적 지원 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 모형 2와 비교했을 때, 간접적 이익이 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 결과는 <그림 11>에 요약되었다.



<그림 11> Y3에 대한 경로분석 결과 요약

제6장 결론

제1절 결과요약 및 시사점

본 연구는 같은 프레임워크와 독립변수를 채택하고 상이한 종속변수를 채택하는 두 가지 모델을 비교하여 결과를 제시하는 구성을 따랐다. 첫 번째 모델에서는 중소 제조기업의 스마트 팩토리 도입의도에 영향을 미치는 요인과 영향을 파악하였으며, 생산량 증대, 원가절감, 불량률 감소를 포함하는 직접적 이익, 공정수행노력단축, 공정 정확성 향상, 업무지식공유 및 기업 내외 정보공유를 포함하는 간접적 이익, 최고경영자와 직원의 조직적 지원, 산업경쟁과 정부의 정책 압력과 같은 환경이 스마트 팩토리 이니셔티브 도입에 중요한 결정요인임을 가설 검증을 통해 실증하였으며, 시스템 운영역량은 가설의 방향과 달리 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 두 번째 모델에서는 생산 및 물류 프로세스 전반에 걸친 정보기술의 통합적 도입에 영향을 미치는 요인과 영향을 각각 파악하여 제시하였으며, 간접적 이익, 최고경영자와 직원의 조직적 지원이 생산 및 물류 업무에 대한 통합적 정보화 기술 수용과 활용에 중요한 결정요인임을 실증하였고, 모형 1에 비해 환경압력 요인이 가지는 영향력이 미미함을 실증하였다. 세 번째 모델에서는 생산 및 물류 프로세스 전반에 걸친 정보기술의 통합적 활용에 영향을 미치는 요인과 영향을 각각 파악하여 제시하였으며, 모형 2와 달리 간접적 이익이 미치는 영향이 크고, 환경압력은 통계적으로 유의하지 않은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 스마트 팩토리 이니셔티브를 통한 기술도입의도에 영향을 미치는 결정요인과 실질적으로 생산 및 물류 프로세스에 통합적으로 정보화 기술이 도입되고 활

용되도록 하는 결정요인은 상이할 것이라는 연구 질문을 토대로 하였으며 결과부에서 이를 실증함으로써 시사점을 도출하였다.

첫째로, 산업 현장관리에 대한 시사점을 제시할 수 있다. 스마트 팩토리 이니셔티브를 통한 기술 수용에는 모든 잠재요인이 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으나, 정책 압력과 산업 경쟁과 같은 환경적 요인과 기술이 주는 직접적 이익이 주요한 결정요인으로 작용한 반면, 생산 및 물류 프로세스에 대한 통합적 정보화 기술 수용에는 기업의 대내외적인 프로세스 혁신에 영향을 미치는 간접적 이익과 조직적 지원이 중요한 영향요인이었고, 기술의 직접적이익과 시스템 운영역량, 환경압력은 미미하거나 통계적으로 유의하지 않은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 스마트 팩토리 이니셔티브가 확산되며 충분한 환경적 요인으로 작용하고 있고, 기술이 직접적인 이익을 창출한다는 컨센서스가 충분히 공유되고 있으나, 내부 자원이 부족한 중소기업이 통합적인 정보화 기술 도입 및 활용을 결정하기 위해서는 기업이 도입하는 기술이 프로세스 수행노력 단축, 프로세스 정확성 향상, 업무지식공유, 의사결정신속화, 전사적 정보공유, 기업 간 정보공유에 기여한다는 인식 등 간접적인 이익 창출에 대한 인식 또한 중요하다는 시사점을 제공한다. 즉, 스마트 팩토리 이니셔티브에서 명시하는 단일 기술의 도입이나 단일 공정의 개선보다는 중소기업의 재무적 목표와 구성인원 및 혁신 수준 단계를 고려하여 도입하는 기술 측면에서 적절한 전략과 조치가 필요하다고 해석할 수 있다. 이는 '적절한 스마트공장' 의 개념을 도입하여 중소기업이 처한 상황을 고려하여 프로세스 간 상호 호환성, 상호 운용성을 갖춘 스마트 팩토리를 구축해야 한다는 최신 엔지니어링 연구의 맥락과 일치한다 (Jung et al., 2021b). 더불어, 시스템 운영역량이 늘어날 수록 스마트 팩토리 도입 의향이 상당히 줄어든 점에도 주목해

야 한다. 이것은 중소기업이 한정된 자원을 하드웨어, 소프트웨어, 네트워크 운영역량에 분배할 때, 오히려 신기술 도입의도는 떨어지는 것으로 고려할 수 있다. 또한 이니셔티브를 도입하더라도, 상대적으로 자체적인 운영역량이 덜 필요한 SaaS를 선택한다는 의미로도 확장할 수 있는데, 이는 온 프레미스(자체구축) 방식에 비해 프로세스 간 상호 호환성, 상호 운용성을 저해하며 추가적인 신기술 수용 및 활용과 지속가능성을 저해한다. 본 연구에서도 통계적으로 유의하지는 않았으나, 정보화 기술 통합 수용 및 활용의 관점에서는 시스템 운영역량이 긍정적인 영향을 미쳤다. 따라서 실질적 프로세스 혁신을 위하여, 운영역량 강화와 신기술 수용을 함께 고려하는 인식전환이 필요하다.

정책입안자들에게 시사하는 바도 매우 중요하다. 2022년까지 스마트 팩토리 3.0 정책은 양적확대를 목표로 설정되었으며, 이에 따라 지원대상을 선정하였다. 본 연구에서 입증된 바와 같이, 공단 입주, 제조혁신 관련 정부인증, 지원사업 인지 범위 확대 등 편리하게 접근할 수 있는 지표를 사용하는 기업이 늘어나는 것이 당초 의도한 프로세스 혁신으로 이어지기는 어려울 수 있다. 더불어, 연구가 자체적으로 이루어지는 환경이나 주 판매처의 규모에 따른 안정성, 수출 규모, 혁신제도 및 문화 등도 재무적 안정성이 상대적으로 낮은 중소기업에게는 프로세스 혁신의 유인으로 작용하기 어렵다. 따라서 양적 확대보다는 선행 정보화를 통해 중소기업이 실질적인 성과를 거둘 수 있도록 중소기업의 현황과 환경에 맞는 기술이 통합적으로, 단계적으로 보급되어야 하며, 질적 성과를 얻을 수 있도록 지원해야 한다. 이러한 질적 성과는 정보시스템 활용의 성공 경험이 축적되고 관련 산업계로 확산될 때 가능할 것이다. 더불어, 조직적 지원은 이니셔티브를 통한 기술도입과 통합적 기술 수용 및 활용에 모두 중요한

결정요인이므로 경영진과 직원 모두 정보화 시스템에 대한 관심과 의지, 지식 습득 노력 등을 유지할 수 있도록 교육 및 컨설팅을 지원해야 한다. 특히, 조직 차원의 지원이 활성화되도록 최근 산업 및 학계에서 인기를 얻고 있는 학습 공장 설립, 테스트베드 팩토리 설립 등을 고려할 수 있다. 이러한 정책적 고려는 프로세스 혁신을 통해 스마트 팩토리 구축 수준의 질적 발전과 중소 제조기업의 대외 경쟁력을 높일 수 있도록 도울 것이다.

학문적 관점에서 스마트 팩토리 관련 초기 연구는 공장에 적용되는 디지털 기술 보급과 연계한 스마트 팩토리 정책 도입 연구 또는 공학적 연구가 주를 이루었고, 최근 등장한 도입요인 연구는 프로세스 혁신 관점보다는 정책 효과에 더 집중하였다. 그러나 본 연구는 중소 제조업 기업의 통합적 정보기술 수용 및 활용을 위한 결정요인을 탐색함을 그 목적으로 하여 기술적 역량을 강조하는 패러다임 전환, 공장 자동화 관점에서 벗어나 사회・기술적 관점에서 제조혁신 정보화 기술의 도입요인을 실증하였으며, 스마트 팩토리에 대한 재인식과 올바른 연구 방향성에 대해 재고하고 스마트 팩토리 관련 연구의 확장성에 기여하고자 하였다는 점에서 학문적 시사점을 가진다.

제2절 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구는 스마트 팩토리에 대한 실증연구로서 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 연구에서 채택한 프레임워크와 모델은 다양한 상황에서 전개되는 맥락의 핵심 변수를 명확하게 기술하지 못할 수 있다. 특히, 제조기업의 공정은 핵심 생산품과 산업에 따라 세분화되거나 통합될 수 있으므로 향후 연구에서는 각 산업과 제품군에 대한 면밀한 이해와 함께, 본 연구에서 제시된 5단계의 프로세스를 개선 및 확장하여 적용할 수 있을 것이다.

더불어, 스마트 팩토리 도입 결정요인 연구는 최근 등장한 연구 주제로서, 아직 시스템, 정책, 통합 현상에 대한 명확한 이론적 모델이 정립되지 않았다. 따라서 단일 프레임워크만으로 분석하기 보다는 다양한 기술혁신의 이론적 모델을 적용하거나, 디지털 전환에 대한 보다 체계적인 문헌분석을 통하여 설명력이 더 높은 모델을 개발하고 제시할 수 있을 것이다.

다음으로, 본 연구는 2020년을 기준으로 하는 정보화 수준 조사에 기반한 횡단연구(Cross-sectional Study)로서의 한계점을 가진다. 국내 중소기업들은 평균 2018년에 스마트 팩토리를 도입했으며 2014년부터 시행된 스마트 팩토리 3.0 이니셔티브의 영향을 받았다. 따라서 시계열적 변화와 경향성을 고려한 추가 검증이 이루어져야 한다.

넷째로, 중소기업을 대상으로 하는 연구는 일반적으로 매출, 영업이익, 회사규모, 사업기간 등 기업 특성의 영향을 크게 받으므로 이를 통제해야 하며, 정보시스템은 기술복잡도 및 산업수준의 영향을 받아 이를 고려한 동시 분석 접근이 필요하다. Meta-analysis, Texonomy 등을 활용하여 산업별, 공정별, 제품별로 프로세스 혁신 맥락에서 중소기업에 적합한 잠재기술을 도출하는 방식도 고려할 수 있다.

참고문헌

권세인. (2019). 스마트팩토리 도입의 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증 연구-국내 중소제조기업을 중심으로. 단국대학교 대학원 박사학위 논문.

김수영. (2018). 4 차산업혁명시대 스마트팩토리운영관리 (FOM) 시스템의 도입성과에 대한 사례분석. 전산회계연구, *16*(1), 43-62.

김정래 & 이상직. (2020). 스마트팩토리 기술수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. *Journal of Information Technology Applications & Management*, *27*(1), 75-95.

김현규. (2020). 스마트팩토리 실행전략이 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구. 대한경영학회지, *33*(8), 1475-1492.

이종근 & 길종구. (2021). 통합기술수용이론(UTAUT)이 스마트 팩토리 도입의도와 경영성과에 미치는 영향에 관한 실증연구: 최고경영자 태도의 조절효과. 경영컨설팅연구, *21*(3), 61-84.

임명성. (2020). 4 차산업혁명 시대에 중소기업의 스마트 팩토리의 성공적 구현을 위한 준비도 (Readiness) 에 관한 연구. *e-비즈니스연구*, *21*(5), 177-194.

정진화 & 안동혁. (2019). 점진적 스마트 팩토리 환경 구축을 위한 CNC 절단 장비 기반 원격 제어 시스템 개발. 정보처리학회논문지/컴퓨터 및 통신 시스템 제, *8*(12), 12.

조혜지. (2017). ICT 로 제조혁신, 스마트팩토리. *ICT Spot Issue, 정보통신기술진흥센터, S17-11.*

최영환 & 최상현. (2017). 스마트공장 시스템 구축이 중소기업 경쟁력에

미치는 요인에 관한 연구. *Information Systems Review*, *19*(2), 95-113.

AlBar, A. M., & Hoque, M. R. (2019). Factors affecting cloud ERP adoption in Saudi Arabia: An empirical study. *Information Development*, *35*(1), 150-164.

Alkhalil, A., Sahandi, R., & John, D. (2017). An exploration of the determinants for decision to migrate existing resources to cloud computing using an integrated TOE-DOI model. *Journal of Cloud Computing*, *6*(1), 1-20.

Almus, M., & Czarnitzki, D. (2003). The effects of public R&D subsidies on firms' innovation activities: The case of Eastern Germany. *Journal of Business & Economic Statistics*, *21*(2), 226-236.

Anckar, B., & Walden, P. (2001). Introducing web technology in a small peripheral hospitality organization. *International journal of contemporary hospitality management*.

Arnold, C., Veile, J., & Voigt, K.-I. (2018). What drives industry 4.0 adoption? An examination of technological, organizational, and environmental determinants. *Proceedings of 27th Annual Conference of the International Association for Management of Technology, Birmingham, United Kingdom, April*, 22-26.

Baena, F., Guarin, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning factory: The path to industry 4.0. *Procedia manufacturing*, *9*, 73-80.

Bagozzi, R. P. (1981). Attitudes, intentions, and behavior: A test of some key hypotheses. *Journal of personality and social psychology*, *41*(4),

607.

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, *17*(1), 99-120.

Bongo, M., Abellana, D. P., Caballes, S. A., Ancheta, R., Himang, C., Obiso, J.-J., Ocampo, L., & Deocaris, C. (2020). Critical success factors in implementing Industry 4.0 from an organisational point of view: A literature analysis. *International Journal of Advanced Operations Management*, *12*(3), 273-301. Scopus. https://doi.org/10.1504/IJAOM.2020.109804

Boniotti, G., Cocca, P., Marciano, F., Marini, A., Stefana, E., & Vernuccio, F. (2021). A Conceptual Reference Model for Smart Factory Production Data. In A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. von Cieminski, & D. Romero (편집자), *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems* (Vol 633, pp 110-118). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85910-7_12

Bosman, L., Hartman, N., & Sutherland, J. (2019). How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Brettel, M., Klein, M., & Friederichsen, N. (2016). The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. *Procedia Cirp*, *41*, 105-110.

Buchanan, T., Sainter, P., & Saunders, G. (2013). Factors affecting

faculty use of learning technologies: Implications for models of technology adoption. *Journal of Computing in Higher education*, *25*(1), 1-11.

Buer, S.-V., Semini, M., Strandhagen, J. O., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, *59*(7), 1976-1992.

Charalambous, G., Fletcher, S., & Webb, P. (2015). Identifying the key organisational human factors for introducing human-robot collaboration in industry: An exploratory study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *81*(9), 2143-2155.

Chau, P. Y., & Tam, K. Y. (1997). Factors affecting the adoption of open systems: An exploratory study. *MIS quarterly*, 1-24.

Chirumalla, K. (2021). Building digitally-enabled process innovation in the process industries: A dynamic capabilities approach. *Technovation*, *105*, 102256. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102256

Chung, J.-E., Oh, S.-G., & Moon, H.-C. (2022). What drives SMEs to adopt smart technologies in Korea? Focusing on technological factors. *Technology in Society*, *71*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102109

Cragg, P. B., & King, M. (1993). Spreadsheet modelling abuse: An opportunity for OR? *Journal of the Operational Research Society*, *44*(8), 743-752.

Dombrowski, U., Wagner, T., & Riechel, C. (2013). *Concpt for a Cyber*

Physical Assembly System. 293–296. Scopus. https://doi.org/10.1109/ISAM.2013.6643461

Ekren, B. Y., & Kumar, V. (2020). Engineering education towards industry 4.0. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering & Operations Management, Dubai, UAE*, 10–12.

F. Arcidiacono, A. Ancarani, C. D. Mauro, & F. Schupp. (2019). Where the Rubber Meets the Road. Industry 4.0 Among SMEs in the Automotive Sector. *IEEE Engineering Management Review*, *47*(4), 86–93. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2932965

Gangwar, H., Date, H., & Ramaswamy, R. (2015). Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM–TOE model. *Journal of enterprise information management*.

Gastaldi, L., Lessanibahri, S., Tedaldi, G., & Miragliotta, G. (2022). Companies' adoption of Smart Technologies to achieve structural ambidexterity: An analysis with SEM. *Technological Forecasting and Social Change*, *174*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121187

Ghobakhloo, M., & Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*, *16*, 100107.

Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge–based theory of the firm. *Strategic management journal*, *17*(S2), 109–122.

Hage, J., & Aiken, M. T. (1970). *Social change in complex organizations*

(Vol 41). Random House Trade.

Hassan, H., Tretiakov, A., & Whiddett, D. (2017). Factors affecting the breadth and depth of e-procurement use in small and medium enterprises. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, *27*(4), 304-324.

Hernandez-de-Menendez, M., Escobar Díaz, C. A., & Morales-Menendez, R. (2020). Engineering education for smart 4.0 technology: A review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *14*(3), 789-803.

Heung, V. C. (2003). Barriers to implementing E-commerce in the travel industry: A practical perspective. *International journal of Hospitality management*, *22*(1), 111-118.

Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Smart production systems. A new type of industrial process innovation. *DRUID society conference*, 16-18.

Holland, C. R., & Light, B. (1999). A critical success factors model for ERP implementation. *IEEE software*, *16*(3), 30-36.

Hopkins, J. L. (2021). An investigation into emerging industry 4.0 technologies as drivers of supply chain innovation in Australia. *Computers in Industry*, *125*, 103323. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103323

Hu, Q., & Kapucu, N. (2016). Information communication technology utilization for effective emergency management networks. *Public Management Review*, *18*(3), 323-348.

Iacovou, C. L., Benbasat, I., & Dexter, A. S. (1995). Electronic data

interchange and small organizations: Adoption and impact of technology. *MIS quarterly*, 465-485.

Imtiaz, J., & Jasperneite, J. (2013). *Scalability of OPC-UA down to the chip level enables "internet of Things"*. 500-505. Scopus. https://doi.org/10.1109/INDIN.2013.6622935

Jang, W.-J., Kim, S.-S., Jung, S.-W., & Gim, G.-Y. (2018). A study on the factors affecting intention to introduce Big data from smart factory perspective. *3rd IEEE/ACIS International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science Engineering*, 129-156.

Jang, W.-J., Kim, S.-S., Jung, S.-W., & Gim, G.-Y. (2019). A Study on the Factors Affecting Intention to Introduce Big Data from Smart Factory Perspective. In R. Lee (편집자), *Big Data, Cloud Computing, Data Science & Engineering* (pp 129-156). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96803-2_11

Jayashree, S., Reza, M. N. H., Malarvizhi, C. A. N., Gunasekaran, A., & Rauf, M. A. (2022). Testing an adoption model for Industry 4.0 and sustainability: A Malaysian scenario. *Sustainable Production and Consumption*, *31*, 313-330. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.02.015

Jayashree, S., Reza, M. N. H., Malarvizhi, C. A. N., & Mohiuddin, M. (2021). Industry 4.0 implementation and Triple Bottom Line sustainability: An empirical study on small and medium manufacturing firms. *Heliyon*, *7*(8), e07753. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07753

Jung, W.-K., Kim, D.-R., Lee, H., Lee, T.-H., Yang, I., Youn, B. D.,

Zontar, D., Brockmann, M., Brecher, C., & Ahn, S.-H. (2021a). Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *22*(1), 201-215. https://doi.org/10.1007/s12541-020-00445-2

Jung, W.-K., Kim, D.-R., Lee, H., Lee, T.-H., Yang, I., Youn, B. D., Zontar, D., Brockmann, M., Brecher, C., & Ahn, S.-H. (2021b). Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *22*(1), 201-215. https://doi.org/10.1007/s12541-020-00445-2

Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G., & Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for cooperating with international partners*. Herbert Utz Verlag.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final report of the Industrie*, *4*(0), 82.

Khemthong, S., & Roberts, L. M. (2006). Adoption of Internet and Web Technology for Hotel Marketing. *Journal of Law and Governance*, *1*(2).

Kim, H. (2020). A Study on the Factors Influencing on the Intention to Continuously Use a Smart Factory. *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, *25*(2), 73-85.

Kim, S.-M., & You, Y.-Y. (2020). The Effect of Corporate Competency

on Smart Factory Acceptance Intention and Management Performance－moderating effect of regional characteristics. *Journal of Digital Convergence*, *18*(9), 125-133.

Kinkel, S., Baumgartner, M., & Cherubini, E. (2022). Prerequisites for the adoption of AI technologies in manufacturing – Evidence from a worldwide sample of manufacturing companies. *Technovation*, *110*, 102375. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102375

Klein, K. J., & Sorra, J. S. (1996). The challenge of innovation implementation. *Academy of management review*, *21*(4), 1055-1080.

Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & Antunes Jr, J. A. V. (2019). Industry 4.0 as a data－driven paradigm: A systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Lane, P. J., & Lubatkin, M. (1998). Relative absorptive capacity and interorganizational learning. *Strategic management journal*, *19*(5), 461-477.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.－A. (2015). A cyber－physical systems architecture for industry 4.0－based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, *3*, 18-23.

Lee, J. D., & Seppelt, B. D. (2009). Human factors in automation design. In *Springer handbook of automation* (pp 417-436). Springer.

Louho, R., Kallioja, M., & Oittinen, P. (2006). Factors affecting the use of hybrid media applications. *Graphic arts in Finland*, *35*(3), 11-21.

Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008a). Smart

factory—a step towards the next generation of manufacturing. In *Manufacturing systems and technologies for the new frontier* (pp 115–118). Springer.

Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008b). Smart factory—a step towards the next generation of manufacturing. In *Manufacturing systems and technologies for the new frontier* (pp 115–118). Springer.

M. N. Hassan Reza, C. Agamudai Nambi Malarvizhi, S. Jayashree, & M. Mohiuddin. (2021). Industry 4.0–Technological Revolution and Sustainable Firm Performance. *2021 Emerging Trends in Industry 4.0 (ETI 4.0)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ETI4.051663.2021.9619363

Maisiri, W., Darwish, H., & Van Dyk, L. (2019). An investigation of industry 4.0 skills requirements. *South African Journal of Industrial Engineering*, *30*(3), 90–105.

Marcon, É., Soliman, M., Gerstlberger, W., & Frank, A. G. (2021). Sociotechnical factors and Industry 4.0: An integrative perspective for the adoption of smart manufacturing technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Martins, C., Oliveira, T., & Popovič, A. (2014). Understanding the Internet banking adoption: A unified theory of acceptance and use of technology and perceived risk application. *International journal of information management*, *34*(1), 1–13.

Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges

and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, *121*, 103261. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261

Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J., & Frank, A. G. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, *168*, 120784.

Melville, N., Kraemer, K., & Gurbaxani, V. (2004). Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value. *MIS quarterly*, 283-322.

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *233*(5), 1342-1361.

N. Sachdeva, R. K. Obheroi, A. Srivastava, & S. K. Nehal. (2017). Diffusion of industry 4.0 in manufacturing sector—An innovative framework. *2017 International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions) (ICTUS)*, 1-5. https://doi.org/10.1109/ICTUS.2017.8286025

Osakwe, C. N., Chovancová, M., & Agu, M. (2016). Can micro-enterprises leverage on the adoption of corporate websites to bolster their brand visibility? Examining salient adoption issues in Nigeria. *Information Development*, *32*(4), 904-919.

Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review.

International Journal of Production Economics, *221*, 107476. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011

Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *31*(1), 127–182. Scopus. https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8

Padhi, N. (2018). *Selecting a Manufacturing Execution System for a Smart Factory*.

Pierce, J. L., & Delbecq, A. L. (1977). *Organizational structure, individual attributes and innovation, journal of management information system, 2, 1*. January.

Piva, M., Santarelli, E., & Vivarelli, M. (2005). The skill bias effect of technological and organisational change: Evidence and policy implications. *Research Policy*, *34*(2), 141–157.

Prause, M. (2019). Challenges of industry 4.0 technology adoption for SMEs: The case of Japan. *Sustainability*, *11*(20), 5807.

Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, *69*, 1184–1190. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108

Rajbhandari, S., Devkota, N., Khanal, G., Mahato, S., & Paudel, U. R. (2022). Assessing the industrial readiness for adoption of industry 4.0 in Nepal: A structural equation model analysis. *Heliyon*, *8*(2), e08919. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08919

Raymond, L. (2001). Determinants of web site implementation in small businesses. *Internet Research*.

Reis, F. B. D., & Camargo, A. S., Jr. (2021). Industry 4.0 in Manufacturing: Benefits, Barriers and Organizational Factors that Influence its Adoption. *International Journal of Innovation and Technology Management*, *18*(8). Scopus. https://doi.org/10.1142/S0219877021500437

Rogers, D. L. (2016). *The digital transformation playbook: Rethink your business for the digital age*. Columbia University Press.

Rogers, E. M. (1995). Diffusion of Innovations: Modifications of a model for telecommunications. In *Die diffusion von innovationen in der telekommunikation* (pp 25–38). Springer.

S. Ahmad, S. Miskon, R. Alabdan, & I. Tlili. (2021). Statistical Assessment of Business Intelligence System Adoption Model for Sustainable Textile and Apparel Industry. *IEEE Access*, *9*, 106560–106574. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100410

S. L. Mak, C. H. Li, W. F. Tang, M. Y. Wu, & C. W. Lai. (2020). Adoption of Information Technology in Modern Manufacturing Operation. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 329–333. https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309817

Schuh, G., Riesener, M., Prote, J.-P., Dölle, C., Molitor, M., Schloesser, S., Liu, Y., & Tittel, J. (2020). Industrie 4.0: Agile Entwicklung und

Produktion im Internet of Production. In *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft* (pp 467–488). Springer.

Senna, P. P., Ferreira, L. M. D. F., Barros, A. C., Bonnín Roca, J., & Magalhães, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, *171*, 108428. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108428

Shi, P., & Yan, B. (2016). Factors affecting RFID adoption in the agricultural product distribution industry: Empirical evidence from China. *SpringerPlus*, *5*(1), 1–11.

Simoes, A., Oliveira, L., Rodrigues, J. C., Simas, O., Dalmarco, G., & Barros, A. C. (2019). Environmental Factors Influencing the Adoption of Digitalization Technologies in Automotive Supply Chains. *Proc. – IEEE Int. Conf. Eng., Technol. Innov., ICE/ITMC*. Scopus. https://doi.org/10.1109/ICE.2019.8792639

Sokolov, V., Krol, O., & Stepanova, O. (2018). Automatic control system for electrohydraulic drive of production equipment. *2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, 1–6.

Srivastava, D. K., Kumar, V., Ekren, B. Y., Upadhyay, A., Tyagi, M., & Kumari, A. (2022). Adopting Industry 4.0 by leveraging organisational factors. *Technological Forecasting and Social Change*, *176*, 121439. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121439

Tan, K. S., Chong, S. C., Lin, B., & Eze, U. C. (2009). Internet-based ICT adoption: Evidence from Malaysian SMEs. *Industrial Management &*

Data Systems.

Tornatzky, L. G., Fleischer, M., & Chakrabarti, A. K. (1990). *Processes of technological innovation*. Lexington books.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.

Vvan den Berg, J., & Van der Lingen, E. (2019). An empirical study of the factors affecting the adoption of mobile enterprise applications. *South African Journal of Industrial Engineering*, *30*(1), 124-146.

W. M. S. K. Weerabahu, P. Samaranayake, D. Nakandala, & H. Hurriyet. (2021). Enabling Factors of Digital Manufacturing Supply Chains: A Systematic Literature Review. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 118-123. https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672941

Waarts, E., van Everdingen, Y. M., & Van Hillegersberg, J. (2002). The dynamics of factors affecting the adoption of innovations. *Journal of Product Innovation Management: AN INTERNATIONAL PUBLICATION OF THE PRODUCT DEVELOPMENT & MANAGEMENT ASSOCIATION*, *19*(6), 412-423.

West, S. G., Finch, J. F., & Curran, P. J. (1995). *Structural equation models with nonnormal variables: Problems and remedies.*

Williams, M. D., Rana, N. P., & Dwivedi, Y. K. (2015). The unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): A literature review.

Journal of enterprise information management.

Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017). The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE industrial electronics magazine*, *11*(1), 17-27.

Won, J. Y., & Park, M. J. (2020a). Smart factory adoption in small and medium-sized enterprises: Empirical evidence of manufacturing industry in Korea. *Technological forecasting and social change*, *157*, 120117.

Won, J. Y., & Park, M. J. (2020b). Smart factory adoption in small and medium-sized enterprises: Empirical evidence of manufacturing industry in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, *157*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120117

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International journal of production research*, *56*(8), 2941-2962.

Yadav, G., Kumar, A., Luthra, S., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Batista, L. (2020). A framework to achieve sustainability in manufacturing organisations of developing economies using industry 4.0 technologies' enablers. *Computers in Industry*, *122*, 103280. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103280

Yoon, J.-S., Shin, S.-J., & Suh, S.-H. (2012). A conceptual framework for the ubiquitous factory. *International Journal of Production Research*, *50*(8), 2174-2189.

Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of management review*, *27*(2), 185-203.

Zaltman, G. (1979). Knowledge utilization as planned social change. *Knowledge*, *1*(1), 82-105.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. *Engineering*, *3*(5), 616-630.

Ziesing, D., & Hochstein, N. (2013). Engineering tools as a basis for industry 4.0. *ThyssenKrupp techforum*, *1*, 72-77. Scopus.

Zmud, R. W. (1982). Diffusion of modern software practices: Influence of centralization and formalization. *Management science*, *28*(12), 1421-1431.

Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual reviews in control*, *34*(1), 129-138.

통계청. (연도미상). 경제활동별 국내 총생산(OECD). https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA906

중소기업기술정보진흥원, (2021), https://www.tipa.or.kr/s0103_board/index/search_category_id/1933, 검색일자 2022.12.17

Abstract

In 2014, the Korean government unveiled a "manufacturing innovation 3.0" policy that incorporates ICT into the manufacturing sector as its first step toward the growth of smart factories. To demonstrate that SMEs' distribution of government-funded smart factory projects achieves the qualitative goals of ICT construction and integration, smart system connection, and engineering knowledge subsequently generated in the entire production and logistics process or process, smart factories must be viewed from an integrated perspective of process innovation. This study acknowledges the necessity of integrating and utilizing information technology throughout the entire production and logistics process in order to achieve smart production and manufacturing innovation as a social technology system. Additionally, the objective is to identify the factors that influence the integrated adoption and utilization of technologies in significant production processes and provide future support policy directions so that SMEs can make the most of their limited resources to advance toward this desired outcome.

Keywords: Smart factory, Process innovation, Digital transformation, Factor analysis, TOE framework

Student Number: 2020-22948