

스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 - 고객사와 공급사 간 비교를 중심으로 -

고 경 석*
허 재 준**
오 재 인***

ICT 기반의 제4차산업혁명이 도래함에 따라 제조업과 ICT 간의 융합이 새로운 경쟁력으로 부각되고 있다. 전통적인 제조 강국들은 정부와 민간 협력을 기반으로 하여 스마트팩토리 구축을 통해 제조 경쟁력을 확보하는데 사활을 걸고 있다. 따라서 본 연구에서는 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 문헌고찰을 통해 발굴하고, 델파이 스타디를 통해 수정 및 보완하여 연구모형을 개발하고 실증 분석하였다. 연구모형은 TOE와 DOI 모델을 결합하여 기술, 혁신, 조직, 환경 등의 주기준과 18개의 하부기준으로 구성되었다. 이를 실증분석하기 위해서 국내 스마트팩토리 고객사 및 공급사의 전문가를 대상으로 AHP의사결정기법을 이용하였다.

실증분석 결과, 각 집단의 특성에 따라 요인의 상대적 중요도는 다르게 나타났으며, 의사결정에 영향을 주는 요인이 집단 간 상반되는 것을 식별하였다. 결국 각 집단의 특성에 따라 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 핵심 요인들이 다를 수 있고, 스마트팩토리 도입을 결정하고 실행하는 과정에 기업의 전략적 가치를 부여하고 있다는 것을 시사하고 있다. 본 연구를 통해 도출된 AHP 분석 모델은 요인별 가중치를 기업의 상황에 맞게 검토하여 활용함으로써 실무에서 진행되는 스마트팩토리에 대한 도입검토, 투자심의, 제안평가 등의 이행과정에서 의사결정을 위한 평가 자료로 제공될 수 있을 것이다.

주제어: 스마트팩토리, 제4차산업혁명, 사이버물리시스템, AHP

1. 서론

한국의 글로벌 제조업 경쟁력지수가 2010년 3위에서 지속 떨어져 2020년에는 6위로 하락할 것으로 전망됨에 따라 국내 경제의 근간인 제조업의 경제 기여도 하락, 실업률 증가 등 다양한 문제가 발생하였다(전수남, 2019; 허문구, 2018; 조혜지, 2017).

ICT 기반의 제4차산업혁명이 도래함에 따라 제조업과 ICT 융합이 새로운 경쟁력으로 부각되고 있어

전통적인 제조 강국들은 정부와 민간 협력을 기반으로 하여 스마트팩토리 구축을 통해 자국의 제조 경쟁력을 확보하는데 사활을 걸고 있다(이다솔 등, 2020; 김현규, 2019; 오주환, 2019). 이렇듯 글로벌 주요 국가들이 스마트팩토리 구축에 사활을 걸고 움직이는 가운데, 최근 코로나19 사태가 전 세계를 강타하고 이로 인한 제조업체의 경영난이 가중되면서 그 중요성과 시급성이 더욱 커지고 있다(조기원, 2020; 김주완, 2020; 석남준, 2020).

이에 우리 정부는 2014년부터 중소기업의 스마트

논문접수일: 2021. 02. 14.

1차 수정본 접수일: 2021. 05. 30.

게재확정일: 2021. 06. 07.

* 다이이웨어(주) 대표이사(hdkoks21@gmail.com), 제1저자

** (주)피엔티파트너스 대표이사(jayhuh@gmail.com)

*** 단국대학교 경영학부 교수(jioh@dankook.ac.kr), 교신저자

팩토리 구축사업을 시행하여 지난해 말 스마트팩토리 1만2,660개를 보급했으며, 전담 조직인 스마트제조혁신기획단을 통해 2022년까지 스마트팩토리 3만개 보급을 목표로 하고 있다(Won and Park, 2020; 성현희, 2020; 이덕주, 2020; 김봉기, 2020).

그러나 국내 스마트팩토리 도입 기업의 약 70%가 기초단계에 머물러 있는 수준으로 생산 지능화는 고사하고 자동화도 어려운 현실로 스마트제조시스템이 기업의 영업이익 증대로는 이어지지 못하는 실정이다(박양신, 지민웅, 2020; 김명희, 2019). 예컨대 스마트팩토리 미도입 기업에서는 어떻게 시작해야 할지 몰라 막막하다는 어려움을 호소하고 있는 반면에, 기도입한 중소기업을 중심으로 유지보수 미흡 등 사후관리 문제가 꾸준히 제기되고 있다(김경록, 2020; 김명희, 2019; 윤상언, 2019).

이는 스마트팩토리에 대한 관심과 기대는 크나, 정작 스마트팩토리에 대한 인식이 부족하고, 도입 과정이 체계적이지 못해서 발생하는 시행착오로 인해 기대성과를 달성하지 못하고 있기 때문이다(이다솔 등, 2020; 김한주 등, 2019; 진성욱, 서영욱, 2019).

이러한 사회적 관심과 사안의 중요성에도 불구하고 어떻게 스마트팩토리를 도입해야 하는지, 기존 공장을 스마트팩토리로 전환하기 위한 고려사항은 무엇인지 등 도입 요인에 관한 연구가 미흡한 실정으로 스마트팩토리를 구축하려는 기업에 실질적인 도움이 되는 관련 연구와 체계적인 분석이 필요하다(Won and Park, 2020; 오승철, 안영효, 2019; 김현규, 2019; 이원준, 2018; Lin et al., 2018).

따라서 본 연구의 목적은 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 문헌고찰을 통해 발굴하고, 델파이 스터디를 통해 수정 및 보완하여 연구모형을 개발하고 이를 실증 분석하는 것이다.

II. 이론적 고찰

2.1 스마트팩토리 개요

2011년부터 독일은 자국 전체의 산업과 제조업의 활성화를 위한 정책 전략 중 하나로 제4차산업혁명이라는 용어를 처음 사용하였다. 이후 제4차산업혁명은 다보스포럼을 통해 전 세계 정치, 경제, 사회, 문화 등 각 분야에 본격 소개되었으며 세계경제포럼(WEF)은 제4차산업혁명이 도래하였다고 발표하였다. 이를 계기로 미국의 Industrial Internet, 유럽 연합의 Factories of the Future, 영국의 Future of Manufacturing 등 주요국에서는 제4차산업혁명의 개념을 적용한 각기 다른 명칭을 사용하고 있다(Büchi et al., 2020; Wang et al., 2016; Kagermann et al., 2013).

스마트팩토리와 관련한 개념적 정의 또는 용어의 사용에 대해서는 학계와 산업계에 걸쳐 합의된 의견이 있는 것은 아니다. 스마트팩토리는 Fourth Industrial Revolution, Digital Factory, Digital Manufacturing, Interconnected Factory, Integrated Industry, Production 4.0, Human-Machine Cooperation 등으로 표현되기도 한다(Chiarello et al., 2018; Büchi et al., 2020). 포괄적 관점에서 제4차산업혁명의 제조 관련 영역을 공통적으로 지칭하며 디지털 기술을 기반으로 새로운 가치를 창출하는 제조업 분야의 4차 산업혁명을 보다 세부적으로 스마트팩토리로 정의한다(Won and Park, 2020; Büchi et al., 2020; Wang et al., 2016). 스마트팩토리는 산업 패러다임의 변화(Lucke et al., 2008; Yoon et al., 2012; Zuehlke, 2010), 프로세스 혁신(Hirsch-Kreinsen, 2014; Lee and Seppelt, 2009) 및 신기술의 통합 및 확장(Radziwon et al., 2014) 등의 관점에서 다양한

용어로 해석된다. 인공 지능 및 자동화의 발전과 함께 사물 인터넷에 연결된 새로운 디지털 기술의 개발은 제조 혁신의 새로운 물결을 가능하게 한다. 즉 스마트팩토리는 사용자 및 다른 기계와 통신하는 산업 장비, 자동화된 프로세스 및 메커니즘을 활용하여 공장과 시장 간의 실시간 소통을 촉진하여 동적 적응을 지원하고 효율성을 극대화한다(Sjödin et al., 2018).

이를 구현하기 위한 조건으로 Wang et al.(2016) 등의 연구에서는 수평적 통합, 수직적 통합, End-To-End Engineering 통합을 구현 특성으로 제시했다. (1)수평적 통합(Horizontal Integration): 기업 간 협업을 촉진하기 위한 가치 네트워크의 통합을 말하며 이를 통해 관련 기업은 효율적인 생태계를 형성할 수 있고 새로운 가치 네트워크와 비즈니스 모델이 등장할 수 있다. (2)수직적 통합(Vertical Integration): 유연하고 재구성 가능한 제조시스템을 생성하기 위한 공장 내 계층적 하위 시스템의 수직적 통합을 의미하며 액추에이터(Actuator) 및 센서 신호에서부터 ERP(Enterprise Resource Planning) 수준까지 수직 통합하는 것이 필수적이다. (3)End-To-End Engineering 통합: 제품 맞춤화를 지원하기 위해 전체 Value Chain에 걸친 공학적인 통합으로써 고객 요구사항 표현, 제품 설계 및 개발, 생산계획, 생산기술, 생산, 서비스, 유지보수 및 재활용과 같은 일련의 제품 중심의 가치 창출 프로세스 활동이 포함된다.

우리 정부는 2014년 제조업에 ICT를 융합하는 “제조업 혁신 3.0” 정책을 발표하고 스마트팩토리 보급 사업 추진을 통해 2017년까지 5,003개 중소기업을 지원했으며 2022년까지 스마트팩토리 2만개 보급을 추진하고 있다(전수남, 2019; 조혜지, 2017). 이를 실행하기 위해 스마트팩토리의 적용 범위와 구현단계 및 수준 등 갖춰야 할 기본 조건을 명시하고 있다. 스마트팩토리는 제품 기획·개발부터 양산까

지, 주문에서부터 완제품 출하까지 제조 관련 모든 과정을 말하며, 응용시스템뿐만 아니라 현장 자동화와 제어 자동화 영역까지 공장 운영의 전 부분을 포함한다(스마트제조혁신추진단, 2020). 아울러 스마트팩토리의 ICT 기술의 활용 정도 및 역량 등에 따라 기업 제조혁신 역량 수준을 구분하고 있으며, 스마트팩토리의 5대 필수 요건으로 (1)4M+1E의 디지털화, (2)지능화, (3)통합, (4)엔지니어링 지식의 창출, (5)스마트시스템과의 연결 등을 제시하고 있다.

스마트팩토리의 도입은 고객 맞춤형 생산방식이 가능하여 고객 만족과 동시에 공정 효율성 향상, 제품 품질, 지속 가능성, 안전 및 비용 절감 등을 통해 이익 증대, 매출 확대, 신규 시장 확보 등 회사의 수익성을 증가시킨다(Kagermann et al., 2013; Sjödin et al., 2018; 김현규, 2019; 오승철, 안영효, 2019). 국내의 경우, 스마트팩토리 도입 기업의 실질적인 성과를 조사한 한국산업통상자원부에 따르면 2016년까지 스마트팩토리 보급·확산 사업으로 인해 생산성 23% 향상, 불량률 46% 감소, 납기 기간 34.6% 감소 등의 성과가 나타났다(조혜지, 2017).

2.2 스마트팩토리 도입에 관한 선행연구

Won and Park(2020)은 제조 중소기업을 위한 스마트팩토리 도입 시의 결정요인을 탐색하기 위해 한국의 중소기업을 대상으로 도입 의사결정 및 시행 단계에 미치는 영향을 실증 분석하였다. 이를 위해 중소기업이 갖는 경영 특성을 고려한 Iacovou Model을 채택하여 인지된 이익(BSC Performance, Process Effectiveness), 조직의 준비성(Organizational Support, Information Capability, IT Financial Resource), 외부 압력(Business Environment, Government Policy)을 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인으로 도출하고 스마트팩토리 도입 결정(의도)과 실행(구현)이라는 두 가지 측면에서 영향을

분석하였다. 연구 결과, 스마트팩토리 도입 결정과 실행 간에 영향을 미치는 요인이 극적으로 다른 것으로 나타났다. 즉 조직지원(Organizational Support), 정보역량(Information Capabilities), IT인력규모(IT Staff Size), 정부인증(Government Certification) 및 기업규모(Firm Size)는 스마트팩토리 도입 결정에 큰 영향을 미치지만 스마트팩토리의 구현에는 의미 있는 영향을 미치지 않는다. 반면에 인지된 이익에 대한 성능 기대치(Performance Expectation), IT투자비용(IT Investment), 기업 매출(Revenue) 및 이익(Profit)은 스마트팩토리 도입 결정에는 영향을 주지 않지만 스마트팩토리의 구현에는 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Lin et al.(2018)은 중국 내 자동차 공장을 대상으로 제4차산업혁명에 대한 전략적 대응 연구에서 스마트제조기술을 성공적으로 구현하기 위한 요인을 구명하였다. 특히 혁신 성향의 신기술 도입 과정의 특성을 파악하기 위해서 TOE(Technology-Organization-Environment) 프레임워크를 채택하였으며 IT성숙도(IT Maturity), 기술인센티브(Technological Incentives), 인지된 이익(Perceived Benefits), 기업규모 및 특성(Company Size and Nature), 외부압력(External Pressure), 정부정책(Government Policies)을 요인으로 도출하여 신기술과 활용도 간의 인과관계를 분석하였다. 연구 결과, 기업의 규모와 회사의 특성은 선진제조기술의 사용을 증가시키지 않는다. 반면, 그 외 요인들은 조사 대상기업의 기술 채택에 긍정적인 영향을 미친다. 기술의 채택과 기업의 특성(크기, 법인출자구조 등) 간 관계는 유의하지 않으며 IT성숙도, 기술인센티브의 영향이 크게 작용하는 것으로 나타났다.

TOE 프레임워크를 기반으로 제4차산업혁명의 도입 요인을 연구한 Arnold et al.(2018)은 기술(Relative Advantage, Perceived Challenges, Compatibility), 조직(Firm Size, Top Management

Support, Absorptive Capacity), 환경(Competition, Environmental Uncertainty, Perceived Outside Support)의 관점에서 혁신적인 정보기술의 수용을 분석하였다. 독일 제조업체를 대상으로 한 실증분석 결과에 따르면 상대적 이점, 최고경영진의 지원, 산업 내 높은 경쟁 수준이 제4차산업혁명의 채택에 긍정적인 영향을 미치는 반면, 불확실한 외부 환경은 채택에 부정적인 영향을 미치는 유일한 요인으로 나타났다. 더불어 인지된 도전, 회사 규모, 흡수 능력 등과 같은 요인은 중요한 영향이 없으며 특히 중소기업과 대기업 간의 차이가 없는 것으로 분석된 점은 추가적인 연구가 필요한 것으로 보았다.

2.3 혁신확산이론

Rogers의 혁신확산이론(Innovation Diffusion Theory: IDT)은 사회 체계 구성원들 사이에서 혁신의 채택에 중점을 둔다. 혁신확산이론에서 혁신이란 잠재적 수용자 집단에게 있어서 새로운 무엇인가로 인지되는 아이디어, 기술, 사물, 개념으로 정의되며, 확산이란 이러한 혁신이 사회 시스템의 구성원에게 시간이 지남에 따라 특정 채널을 통하여 전파되는 프로세스(Diffusion of Innovations: DOI)를 의미한다(Rogers, 1983; Rogers, 1995; Rogers, 2003).

혁신확산이론은 정보 기술에 대한 확산을 이해하는 것과 혁신적인 기술을 채택하는 이유를 파악하기 위해서 도움이 될 수 있으며(Rogers, 1983) 혁신확산이론을 적용한 대부분의 연구는 혁신 특성에 대한 인식이 고객의 채택에 어떤 영향을 미치는지에 중점을 두었다(Yoo et al., 2018). 혁신의 확산은 개인 또는 조직에 있어 혁신에 대한 구체적인 의사소통을 통하여 시간이 지남에 따라 혁신의 수용 및 수용자의 확대를 의미하며 이러한 혁신확산이론은 정보 기술의 사용자 채택 예측을 목적으로 하는 경영정보시

스텝(Management Information System: MIS) 분야에서 다양한 연구가 이뤄지고 있다(장성희, 2010).

2.4 TOE프레임워크

Tornatzky and Fleischer(1990)는 TOE 프레임워크를 통해서 특정 조직이 기술적 혁신 의사결정을 하는 과정에 영향을 주는 요인에 대해 기술적, 조직적, 환경적 상황의 세 가지 관점에서 설명하고 있다. TOE 프레임워크는 조직의 IT 혁신 채택에 영향을 미치는 결정요인을 설명하는데 사용되는 탁월한 접근 방법이다(Oliveira and Martins, 2011).

구체적으로 TOE 프레임워크의 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 기업 수준에서 기술혁신과 도입을 이해하는데 있어서 유용한 이론적 관점을 제시해 줄 수 있는 잘 짜인 포괄적인 프레임워크이다(Pudjianto et al., 2011). 둘째, 각 기술, 조직, 환경적 특성 요인은 연구의 특성에 따라 각기 적합한 요인들로 구성할 수 있다. 셋째, IT기술의 수용 및 확산과 관련한 연구 프레임워크로 매우 유용하고, 일관된 설명을 제공하여 일반화될 가능성을 보여준다(한석희, 이윤철, 2008).

2.5 혁신확산이론과 TOE 프레임워크의 결합

Chau and Tam(1997)은 기존의 혁신확산이론에서 설명이 다소 미흡했던 산업의 특정한 기술적 조직적 상황을 강화하고자 DOI 모델과 TOE프레임워크를 결합한 연구모형을 제시했다. 기술-조직-환경 관점에서 바라보는 TOE의 각 차원은 Rogers(1995)에 의해 분류된 혁신 요인들과 밀접한 연관성을 가지고 있어 TOE 프레임워크에 DOI 모델을 서로 접목하여 사용하게 되면 조직의 혁신성을 잘 파악할 수 있다(Hsu et al., 2006). 그 후 TOE 프레임워크와 DOI 모델을 결합한 연구모형은 혁신 성향의 기

술도입과 관련된 연구에서 널리 적용되고 있다(예를 들면 Ghobakhloo and Ching, 2019; Martins et al., 2016; Zhu et al., 2006).

Ehie and Chilton(2019)은 제4차산업혁명과 관련된 연구에서 두 모델 간의 유사점을 분석하였는데, 효과적인 IT 채택으로 이어지는 혁신의 원동력으로써 회사의 내부 및 외부적인 상황뿐만 아니라 개인의 특성이 공통적으로 강조된다고 밝혔다. 본 연구에서도 스마트팩토리 도입에 영향을 주는 요인을 기업이 갖는 특성에 따라 분석하기 위해 TOE 프레임워크와 DOI를 결합한 모델을 채택하였다.

III. 연구 설계

3.1 연구방법론

본 연구에서는 이론적으로뿐만 아니라 실무적으로도 적합한 요인들을 도출하기 위해, 관련 문헌고찰 뿐 아니라 현업 전문가를 대상으로 델파이기법(Delphi Method)을 활용하였다. 아울러 도출된 각 요인 간의 상대적 우선순위를 분석하기 위해서, 계층분석기법(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하였다.

델파이기법은 미국의 랜드연구소(Rand Corporation)의 Norman Dalkey와 Olaf Helmer에 의해 최초 개발되었다(Dalkey et al., 1970). 델파이기법은 일반 설문조사와 다르게 다수로 구성된 전문가들의 의견을 수집하고 타 전문가의 의견과 함께 본인에게 결과를 피드백하는 과정을 반복하면서 개개인이 알고 있는 지식의 한계를 보완하여 체계적이고 현실에 가까운 의견을 수렴할 수 있다는 장점이 있어, 사회과학 분야에서 성공 요인 혹은 핵심 영향요인을 추출하는 방법으로 사용된다(손승희, 2016).

델파이기법을 통한 연구에서 원하는 목적을 달성하기 위해 가장 중요한 점은 전문가의 선정과 라운드 횟수를 결정하는 것이다(노승용, 2006). 델파이 기법은 전문가의 주관적이고 직관적인 판단에 의존하여 합리적인 결과를 도출하는 것이 그 목적이므로 전문가의 선정이 매우 중요하며 조사 대상자는 해당 분야에 종사하는 전문가를 선정하는 것이 적합하고 참여자의 대표성, 적절성, 전문적 지식 능력, 참여의 성실성, 참가자의 수 등을 신중히 고려해야 한다(허재준, 2018). 델파이 조사에서 몇 명의 패널이 적정한지에 대해서 명확한 기준이 없으나 전문가의 수가 15명 정도면 중위수의 차이가 거의 없으며(이성웅, 1987), 각 라운드에서 제시된 견해를 다시 수정하고 새로운 제안이 추가되는 델파이조사의 라운드 횟수는 2회에서 5회까지가 적정하다(Critcher and Gladstone, 1998).

Thomas L. Saaty에 의해 개발된 AHP기법은 의사결정 문제를 계층적으로 표현하고, 의사결정자의 판단에 기초하여 대안들에 대한 우선순위를 부여하는 다기준 의사결정 모형(Multi-Criteria Decision Model: MCDM)으로써 전문가들의 평가를 종합하여 대안의 우선순위를 정한다(Saaty, 1980). 복잡한 문제를 계층화하여 주요인과 하부요인들로 분해하고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교를 통해 중요도를 도출하는 AHP기법은, 인간의 사고 체계와 유사한 접근 방법으로써 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있는 점과 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비율척도화하여, 정량적인 형태의 결과를 얻을 수 있다는 점에서 다양한 의사결정 문제 상황에서 사용이 되고 있다(박현, 2000; Saaty, 1980). AHP기법의 제약사항으로는 일관성 지수(Consistency Index: CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)이 반드시 포함되어야 한다. 만일 CR이 0.1 보다 작으면 일반적으로 조사는 유효한 것으로 간주한다(Saaty, 2008).

Zahedi(1986)는 AHP모형 설계를 위해 계층화, 쌍대비교, 가중치 산출, 대안 평가 순의 AHP기법의 4단계 적용 절차를 제안하였다. 이 방법은 먼저 계층화 단계에서는 의사결정 문제를 상호 관련된 계층으로 분류하며, 두 번째 쌍대비교 단계에서는 의사결정 요소 간의 쌍대비교를 위한 판단자료를 수집한다. 이어서 가중치 산출 단계에서는 고유벡터를 적용하여 의사결정 요소들의 상대적 가중치를 추정하고 최종적으로 평가대상이 되는 다양한 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위해서 상대적 가중치를 종합화한다.

AHP모형에서 계층의 수가 많아 계층구조가 깊어지면 계산상의 복잡성이 유발되므로 통상 3~7 레벨로 구성해야 한다(Vargas, 1990). 아울러 쌍대비교는 9점 척도에 의한 방법이 의사결정에 있어 가장 우수하다고 밝혀졌으며 가중치 산출을 위한 다양한 방식 중에서 고유벡터법(Eigenvectors)이 적합하다고 제시되었다(Saaty, 1990). 한편 집단 간 비교의 신뢰성을 높이기 위해서 비모수적 통계기법을 활용하는 방안이 검토되기도 한다(박민규 등, 2020).

3.2 요인의 선정

본 연구의 타당성과 신뢰성을 확보하기 위해 선행 연구를 통해 요인을 추출하고, 현장의 실무적 경험을 요인에 반영하기 위해 관련 분야 전문가를 대상으로 델파이 스터디를 진행하였다. 델파이 스터디를 통해 얻은 유의미한 결과는 추가적인 문헌고찰을 통해 타당성 검증 후 최종 요인으로 반영하였다. 요인의 도출을 위한 세부적인 절차는 아래와 같다. 첫째, 문헌고찰을 통하여 스마트팩토리 도입에 영향을 미칠 것으로 판단되는 독립변수 및 조작적 정의를 조사하여 후보 변수를 도출하였다. 둘째, 스마트팩토리 와 관련된 실무에 종사하고 있는 경력 15년 이상의 전문가를 대상으로 델파이 분석을 2회 시행하였다.

델파이 1라운드에서는 총 10명을 대상으로 각 후보 변수에 대한 적정성을 5점 척도로 평가하였고 후속 라운드에서는 4명의 고객사 및 공급사 소속의 스마트팩토리 구축 전문가를 재선정하여 후보 변수에 대한 적정성 및 변수의 추가, 삭제, 분할, 통합하는 방안을 검토하였다. 셋째, 실무 전문가들이 제시한 의견을 수렴하여 수정 및 보완된 후보 변수를 문헌고찰을 통해 검증함으로써 최종 18개의 요인을 확정하였다.

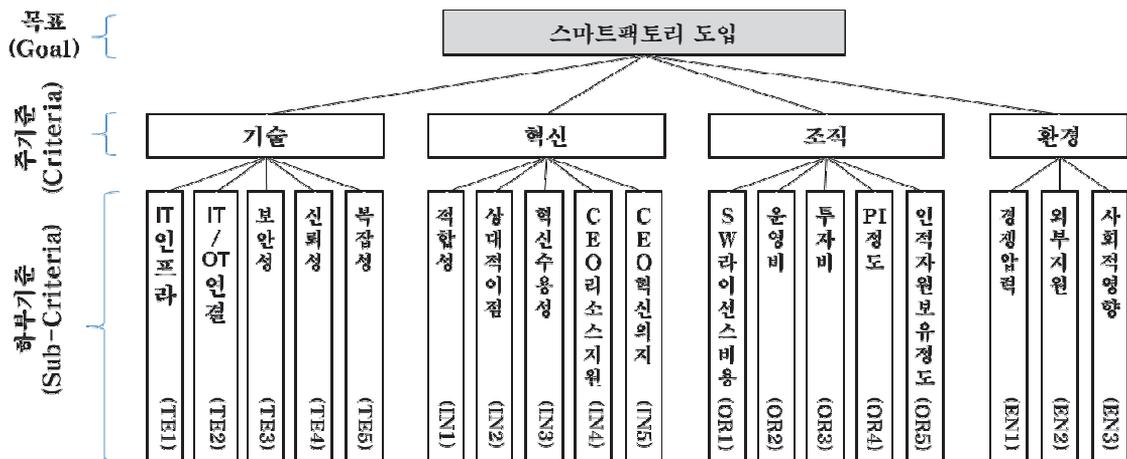
최종 도출된 18개의 요인은 선행연구에서 적용된 변수들과 큰 차이는 없었으나 IT인프라, IT/OT연결, PI정도 등은 제조 현장의 특성을 반영하기 위해서 델파이 스터디에 참여한 전문가들이 채택한 요인으로써 스마트팩토리 도입과 밀접한 관련성을 갖는 것으로 판단하였다.

3.3 연구모형

본 연구에서는 TOE 프레임워크와 DOI 모델을 결합하여 AHP 적용을 위한 계층적 분석 모형을 개

발하였다. 연구모형은 ‘스마트팩토리 도입’을 AHP 모형의 목표(Goal)로 설정하고, 주기준으로는 TOE 프레임워크의 기술(Technology), 조직(Organization), 환경(Environment) 요인과 DOI 모델의 혁신(Innovation) 요인으로 구성하였다.

각 주기준에 대한 하부기준으로는 주기준 기술 영역에 대해서는 IT인프라(TE1), IT/OT연결(TE2), 보안성(TE3), 신뢰성(TE4), 복잡성(TE5) 등 5개 요인을 선정하였다. 주기준 혁신 영역은 적합성(IN1), 상대적이점(IN2), 혁신수용성(IN3), CEO리소스 지원(IN4), CEO혁신의지(IN5) 등 5개 요인을 하부기준으로 채택하였다. 주기준 조직 영역에 대해서는 SW라이선스비용(OR1), 운영비(OR2), 투자비(OR3), PI정도(OR4), 인적자원보유정도(OR5) 등 5개 요인을 선정하였으며, 주기준 환경 영역에 대해서는 경쟁압력(EN1), 외부지원(EN2), 사회적영향(EN3) 등 3개 요인을 정의함으로써 총 18개의 하부기준이 구성되었다. 본 연구의 목적에 따라 개발된 연구모형은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구모형

〈표 1〉 요인의 조작적 정의

주기준	하부기준	조작적 정의	참고문헌
조직	SW라이선스비용	시스템 도입 초기 및 운영과정에서 발생하는 SW 라이선스 비용(OS, DB, 기타 솔루션 등)	Won and Park(2020), Ghobakhloo and Ching(2019), Lai et al.(2014), Hsu and Lin(2015), Yoon et al.(2020), Zhu et al.(2006), Brous et al.(2019), Kamble et al.(2018), Alam et al.(2016)
	운영비	스마트팩토리의 도입 이후 시스템 유지/운영에 필요한 운영비 금액	
	투자비	스마트팩토리 신규 도입 시 소요되는 총 투자비 금액	
	PI정도	사내의 전체가치사슬을 유기적으로 연결하기 위한 전사 차원의 프로세스 정비 및 통합, 조직 재편 및 인력 배치 등 프로세스 혁신을 시행한 정도	Sjödin et al.(2018), Mittal et al.(2018), Jabbour et al.(2018), Ghobakhloo and Ching(2019), Brous et al.(2019), Kamble et al.(2018)
	인적자원보유정도	스마트팩토리 도입 및 운영을 위해 산업에 대한 전문 지식과 IT 전문성을 갖춘 인력을 확보하고 유지하는 정도	Sjödin et al.(2018), Mittal et al.(2018), Gowan and Mathieu(1996), Ghobakhloo and Ching(2019), Yoon et al.(2020), Lian et al.(2014)
환경	경쟁압력	동일 산업군 내의 경쟁업체로부터 영향을 받는 정도	Won and Park(2020), Ghobakhloo and Ching(2019), Oliveira et al.(2019), Hsu and Lin(2015), Aboelmaged and Hashem(2018), Bhatiasevi and Naglis(2018)
	외부지원	정부, 공급망 상의 유관 기업 및 업계 선도기업의 지원	Lai et al.(2014), Ghobakhloo and Tang(2015), Bhatiasevi and Naglis(2018), Lin et al.(2018), Alam et al.(2016), Shi and Yan(2016)
	사회적영향	정부규제, 고객/협력 업체 등의 혁신에 따른 산업계에 대한 변화요구, 인구구조 및 노동환경의 변화(노동인구 감소, 제조업 기피 등) 정도	Venkatesh et al.(2003), Hossain et al.(2019), Ahmed and Kassem(2018), Fan et al.(2018)
기술	IT인프라	스마트팩토리를 적용하는데 필요한 N/W, H/W 보유 및 ERP, MES 등 응용시스템 구현 정도	Mittal et al.(2018), Ehie and Chilton(2019), Brous et al.(2019), Kamble et al.(2018), Alam et al.(2016)
	IT/OT연결	산업용 설비 또는 단위공정 운영을 위한 OT 구현(ICS/SCADA/DCS 등), 각 OT 간의 연동 및 전사적자원관리시스템(ERP/MES 등)과의 I/F 정도	Napoleone et al.(2020), Mittal et al.(2018), Ly et al.(2018), Belton et al.(2019), Ehie and Chilton(2019)
	보안성	외부로부터의 정보보안 리스크로 인해 생산차질, 산업 재해발생, 정보유출 등 시스템의 기밀성과 무결성, 가용성이 위협받는 정도	Ly et al.(2018), Belton et al.(2019), Alguliyev et al.(2018), Brous et al.(2019), Kamble et al.(2018)
	신뢰성	관련자들이 스마트팩토리 요소기술을 믿고 의지하는 정도로써 설비/공정 운전상의 일관성, 효율성, 안전성 및 무결성 유지 여부	Sung(2018), Fan et al.(2018), Zhang et al.(2019), Alguliyev et al.(2018), Brous et al.(2019)
	복잡성	스마트팩토리 도입에 필요한 기술이 기존의 공장 운영에 필요한 기술에 비해 상대적으로 이해하거나 사용하기 어렵다고 인지되는 정도	Sjödin et al.(2018), Lai et al.(2014), Aboelmaged and Hashem(2018), Martins et al.(2016), Shi and Yan(2016), Rogers(1995)
혁신	적합성	스마트팩토리 기술이 자신의 업무와 품질에 부합되고 조직의 목표에 적합하다고 인지되는 정도	Ghobakhloo and Ching(2019), Bhatiasevi and Naglis(2018), Zhu et al.(2006), Kamble et al.(2018), Rogers(2003)
	상대적이점	스마트팩토리 도입을 통해 새로운 이익을 창출하거나 비용을 절감하는 정도	Hsu and Lin(2015), Ahmed and Kassem(2018), Yoon et al.(2020), Zhu et al.(2006), Martins et al.(2016), Alam et al.(2016), Rogers(2003)
	혁신수용성	혁신적인 신기술을 수용하려는 구성원들의 의지(구성원들의 변화에 대한 저항)	Jabbour et al.(2018), Hossain et al.(2019), Zeng and Cleon(2018), Bao(2009), Aboelmaged and Hashem(2018)
	CEO리소스지원	스마트팩토리 도입에 필요한 자원 및 권한위임 등의 노력을 제공하는 정도	Gowan and Mathieu(1996), Jabbour et al.(2018), Ghobakhloo and Tang(2015), Oliveira et al.(2019), Bhatiasevi and Naglis(2018), Martins et al.(2016), Lian et al.(2014)
	CEO혁신의지	스마트팩토리 도입을 통해 경영혁신을 추진하려고 하는 CEO의 의지	Mittal et al.(2018), Ilin et al.(2017), Yoon et al.(2020), Lian et al.(2014), Alam et al.(2016)

3.4 연구방법

3.4.1 요인의 조작적 정의

선행연구로부터 도출된 변수를 주기준과 하부기준 요인으로 계층화하여 연구모형을 개발하고, 각 요인을 본 연구의 목적에 맞게 <표 1>과 같이 수정하여 조작적 정의를 설정하였다.

3.4.2 조사대상

AHP분석기법은 객관적인 판단과 평가의 일관성을 확보하기 위해 전문가 집단을 대상으로 조사를 진행하는데, 본 연구에서는 기업의 스마트팩토리 관련 실무 전문가를 조사대상으로 하였다. 스마트팩토리의 도입은 크게 전문분야에 대한 도메인지식을 활용, 직접적인 제조 활동을 통해 제품을 생산하는 고객사의 입장과 첨단 IT기술을 적용하여 선진화된 제조시스템을 구현하는 공급사의 입장으로 나누어 볼 수 있다.

즉 스마트팩토리 도입에 참여하게 되는 기업의 역할 관점에서 고객사와 공급사로 나누어 양측 전문가들의 분명한 시각을 파악하고자 한다. 따라서 AHP 조사를 위한 피설문자는 델파이 스터디에 참여한 전문가 집단을 포함하여 제조 및 IT서비스업체에서 스마트팩토리 구축 업무를 수행하는 총 11개 기업체 소속의 실무 전문가로 구성되었다.

3.4.3 조사절차 및 방법

본 연구를 위해 제조 현장의 실무 전문가들로 피설문자 그룹을 구성하고, 개별 면담 조사를 하였다. 면담 조사는 연구의 목적, 설문 방식, AHP모형에 대한 설명과 사전 토의를 거친 후 쌍대비교 설문의 순으로 진행하였다. AHP 설문지는 일반적으로 사

용되고 있는 9점 척도를 적용하여 개발하였으며 신뢰성과 일관성 유지를 위해 피설문자에게 최근 3개년 내 스마트팩토리 도입(도입검토, 도입제안, 기술검토, 투자심의, 제안평가, 업체선정, 구축, 운영 등)에 가장 적극적으로 참여한 프로젝트를 염두에 두고 설문에 응하도록 요청하였다.

별도 개발된 AHP 분석 설문지를 도구로 활용하여 피설문자들과의 일대일 면담 조사 방식에 의해서 AHP 설문을 진행한 후, 수집된 데이터에 대해서 일관성 비율을 산출함으로써 데이터 신뢰성 검정을 수행하였고, 가중치 산출과 우선순위 산정을 통해 상대적 중요도를 결정하였다. 분석용 도구로는 요인별 가중치 산출을 위해서는 AHP 분석용 소프트웨어인 Expert Choice 11.5를 이용하고, 집단 간 차이 분석 과정에서는 통계 패키지인 SPSS 21을 활용하여 정규성 검정과 비모수 검정을 수행하였다.

IV. 실증 분석

4.1 데이터 신뢰성 검증

전문가 심층 면담을 통해 총 24명의 설문 데이터를 수집하였다. 통상 의사결정기법으로써 AHP의 적정 표본 수는 이해관계자가 의사결정에 참여하는 경우에는 문제가 되지 않지만, 불특정 이해관계자들을 대상으로 할 경우에는 어느 정도의 규모가 타당한지에 대해서는 논란이 있을 수 있다(이곤수, 김병규, 2010). AHP 조사의 적정 표본 수를 제시하고 있는 선행연구는 찾기 어려우며 이에 대한 기준 역시 확립되어 있지 않으나, 이창효(2000)는 실무 지식과 전문적 경험이 있는 집단을 AHP 조사대상으로 선발한 경우 그 집단의 특성이 동질적일 때 그 규모는 10명에서 15명이면 충분하다는 견해를 보이고 있다.

본 연구는 조사 대상자 설계 과정에서 스마트팩토리 도입 시의 수행 역할에 따라 고객사, 공급사 등 2개의 집단으로 구성되었으며, 고객사, 공급사 집단별 각 12명씩 균등하게 설문결과가 수집되었다. 전문가 심층 면담에 참여한 피설문자의 실무경력은 평균 19.2년이며, 총 11개의 제조업체 및 IT서비스 제공업체에서 스마트팩토리 구축 및 운영 관련 업무에 종사하고 있어 본 조사에서 요구하는 전문성을 갖춘 것으로 나타났다.

본 연구에서는 선행연구에서 제시된 보편적 방법으로 일관성 비율(CR)을 산출하여 데이터 신뢰성을 검증하였다. 수집된 데이터의 CR 값이 0.1 미만의 값을 가질 때 일관성이 있는 것으로 판단할 수 있다. 일관성 비율 산출 결과, 피설문자 총 24명의 CR 최

대값은 주기준 0.099, 하부기준 0.0996으로 집계되었다. 따라서 수집된 데이터는 CR값을 근거로 하여 신뢰할 수 있는 수준으로 판단하였다.

4.2 요인의 상대적 중요도 분석

4.2.1 전체 평균

조사대상 전체 집단의 요인별 가중치 및 우선순위 산출 결과는 <표 2>와 같다. 주기준의 가중치는 혁신(0.409) > 조직(0.244) > 환경(0.205) > 기술(0.142) 등의 순으로 집계되었다. 한편 전역 가중치에 의한 하부기준의 우선순위는 CEO혁신의지(0.127) > 투자비(0.092) > 사회적영향(0.090) 등

<표 2> 요인별 가중치 산출 결과: 전체

주기준			하부기준				
요인명	가중치	우선순위	요인명	지역		전역	
				가중치	우선순위	가중치	우선순위
기술	0.142	4	(TE1) IT인프라	0.280	1	0.040	12
			(TE2) IT/OT연결	0.242	3	0.034	15
			(TE3) 보안성	0.140	4	0.020	16
			(TE4) 신뢰성	0.271	2	0.038	13
			(TE5) 복잡성	0.068	5	0.010	18
혁신	0.409	1	(IN1) 적합성	0.190	3	0.078	5
			(IN2) 상대적이점	0.217	2	0.089	4
			(IN3) 혁신수용성	0.116	5	0.047	10
			(IN4) CEO리소스지원	0.167	4	0.068	6
			(IN5) CEO혁신의지	0.310	1	0.127	1
조직	0.244	2	(OR1) SW라이선스비용	0.065	5	0.016	17
			(OR2) 운영비	0.155	4	0.038	14
			(OR3) 투자비	0.379	1	0.092	2
			(OR4) PI정도	0.192	3	0.047	11
			(OR5) 인적자원보유정도	0.209	2	0.051	9
환경	0.205	3	(EN1) 경쟁압력	0.299	2	0.061	7
			(EN2) 외부지원	0.264	3	0.054	8
			(EN3) 사회적영향	0.437	1	0.090	3

의 순으로 높게 나타났으며, 반면에 복잡성(0.010), SW라이선스비용(0.016), 보안성(0.020) 등이 낮게 형성되었다.

주기준 혁신 요인의 가중치 및 우선순위가 압도적으로 높게 나타난 것은 스마트팩토리의 도입을 단순 시스템 구축이 아닌 제조혁신의 차원으로 인지하고 있는 것으로 해석된다. 스마트팩토리는 일터 혁신의 차원에서 진행되어야 한다는 점이 학계와 산업계에서 더욱 강조되고 있다(Sjödín et al., 2018; Jabbour et al., 2018; 이진우 등, 2020).

하부기준 중 가중치가 높게 나타난 요인으로, CEO혁신의지는 문헌고찰을 통해서도 확인되었듯이 혁신 차원에서의 정보시스템 도입에 있어서 최고경영자의 의지와 리더십이 가장 큰 동인임이 본 연구에서도 입증되었다(Lian et al., 2014; Ilin et al., 2017; Mittal et al., 2018). 투자비의 경우, 스마트팩토리의 특성상 도입 초기에 대규모 구축 비용이 수반되므로 기업들이 투자재원 마련과 ROI(Return on Investment)에 큰 부담을 갖는 것으로 해석되며 최근의 기업 투자활동 위축 기조에서도 영향을 받는 것으로 보인다(윤상준, 2019). 사회적 영향의 경우, 젊은 세대의 제조업 및 지방 기피 현상으로 인해 인력수급 및 기술 전수 등의 어려움이 커지고 있다(이종화, 2020). 아울러 정부 차원에서 주도하는 스마트팩토리 지원사업에 대한 기대감과 최근의 코로나19 여파에 따른 환경적인 리스크가 반영된 것으로 해석된다. 상대적으로 적은 예상되는 이익을 인지했을 경우 스마트팩토리를 도입하려는 의지가 가장 높게 나타난다는 것을 알 수 있으며(Lin et al., 2018), ROI를 중시하는 보편적인 기업 문화에서도 기인한다고 볼 수 있다.

가중치가 낮게 나타난 요인으로는, 복잡성이 가장 낮게 나타났다. 스마트팩토리는 공장자동화를 기술적 기반으로 하고 있다. 시퀀스제어와 피드백제어 기술을 활용한 공장자동화가 이미 활성화되어 스마트

팩토리 관련 기술에 대한 현업의 이해도가 높다고 해석된다. SW라이선스비용의 경우, 기업에서는 신규 투자 시점에서뿐만 아니라 시스템 구축 이후 운영과정에서도 부담이 큰 비용 요소로써 SW라이선스비용을 최소화하려는 노력을 해왔다. 최근 IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS(Platform as a Service), SaaS(Software as a Service) 등 클라우드 서비스로의 전환이 늘어나는 추세이고, 3차 유지보수서비스에 대한 업계의 관심이 커짐에 따라 상대적인 중요도가 낮아졌다고 볼 수 있다(장형태, 김신영, 2020; 김지선, 2019). 보안성의 경우, 정보보안 리스크 발생 시 생산 차질 및 산업재해 등 공장 운영에 치명적이다. 따라서 이를 방지하기 위해 공장자동화 영역은 폐쇄형 네트워크로 구현되어 현업에서 느끼는 상대적 중요도가 낮다고 해석된다(신찬욱, 2020). 향후 IoT의 확산과 IT/OT 간의 연결이 더욱 확대되어 정보보안의 중요성이 커지는 만큼, 이에 대한 대책을 강구할 필요가 있다.

4.2.2 고객사

고객사 집단에 대한 요인별 가중치 및 우선순위 산출 결과는 <표 3>과 같다. 주기준의 가중치는 혁신(0.357) > 환경(0.278) > 조직(0.236) > 기술(0.129) 등의 순으로 집계되었다. 한편 전역 가중치에 의한 하부기준의 우선순위는 사회적영향(0.151) > CEO혁신의지(0.137) > 투자비(0.079) 등의 순으로 높게 나타났으며, 반면에 복잡성(0.010), 보안성(0.013), SW라이선스비용(0.017) 등이 낮게 형성되었다.

고객사 집단의 요인별 가중치 및 우선순위는 전체 평균과 유사한 양상을 보였으나 사회적영향, 경쟁압력 등 일부 하부기준 요인에서는 다소 차이를 나타내고 있다.

사회적영향은 전체 18개 요인 중 고객사에서 가장

〈표 3〉 요인별 가중치 산출 결과 : 고객사

주기준			하부기준				
요인명	가중치	우선순위	요인명	지역		전역	
				가중치	우선순위	가중치	우선순위
기술	0.129	4	(TE1) IT인프라	0.304	2	0.039	12
			(TE2) IT/OT연결	0.211	3	0.027	15
			(TE3) 보안성	0.102	4	0.013	17
			(TE4) 신뢰성	0.305	1	0.039	11
			(TE5) 복잡성	0.078	5	0.010	18
혁신	0.357	1	(IN1) 적합성	0.170	3	0.061	7
			(IN2) 상대적이점	0.165	4	0.059	8
			(IN3) 혁신수용성	0.100	5	0.036	13
			(IN4) CEO리소스지원	0.181	2	0.065	5
			(IN5) CEO혁신의지	0.384	1	0.137	2
조직	0.236	3	(OR1) SW라이선스비용	0.073	5	0.017	16
			(OR2) 운영비	0.120	4	0.028	14
			(OR3) 투자비	0.336	1	0.079	3
			(OR4) PI정도	0.200	3	0.047	10
			(OR5) 인적자원보유정도	0.271	2	0.064	6
환경	0.278	2	(EN1) 경쟁압력	0.272	2	0.075	4
			(EN2) 외부지원	0.183	3	0.051	9
			(EN3) 사회적영향	0.546	1	0.151	1

중요하게 보는 영향요인으로 나타났다. 전체 평균에서의 전역 가중치(0.090)보다 고객사의 전역 가중치(0.151)가 현저히 높은 것을 보더라도 상대적 중요도가 큰 것을 알 수 있다. 이는 인력수급, 인력육성, 공장 가동 및 기술확보 등 실질적인 제조 활동을 수행하는 고객사 측이 외부로부터의 영향에 더욱 민감하다고 해석된다. 경쟁압력 또한 고객사의 주요 영향요인으로 파악되었다. 전체 평균에서의 전역 가중치(0.061)보다 고객사의 전역 가중치(0.075)가 현저히 큰 것을 알 수 있다. 경쟁압력은 산업 내부 또는 대체 산업으로부터 감지되는 위협으로써 신기술 채택에 영향을 미치는 중요한 환경 요인이 된다. 경쟁이 날로 치열해지는 시장에서 기업들은 우위를 지키고 고객의 요청에 대응하기 위해서 첨단 기술을

도입하게 된다(Ilin et al., 2017; Lin et al., 2018; Ghobakhloo and Ching, 2019; Oliveira et al., 2019; Won and Park, 2020). 장기 저성장과 제조업 침체로 인한 우려가 커지고 있는 상황에서 생산 현장의 체질 개선 및 경쟁력 제고의 필요성이 요구되고 있다. 이에 정부 주도하에 2019년까지 1만2660 개의 스마트팩토리가 구축되었고 2022년까지 3만 개의 스마트팩토리 구축을 목표로 제조혁신 프로젝트가 진행되고 있다. 따라서 경쟁사의 스마트팩토리 도입 여부가 고객사의 중요 관심 사항이 되며 이는 곧 경쟁압력이 높게 나타난 원인으로 해석된다.

고객사 집단에서 가중치 및 우선순위가 낮게 형성된 복잡성, 보안성, SW라이선스비용 등의 3개 항목

은 전체 평균에서도 가중치와 우선순위가 가장 낮았다. 특히 고객사 집단에서 우선순위(18위)가 최하로 나온 복잡성은 전체 평균에서의 우선순위도 최하위로 나타났다.

4.2.3 공급사

공급사에 대한 요인별 가중치 및 우선순위 산출 결과는 <표 4>와 같다. 주기준의 가중치는 혁신(0.455) > 조직(0.246) > 기술(0.152) > 환경(0.147) 등의 순으로 집계되었다. 한편 전역 가중치에 의한 하부기준의 우선순위는 상대적이점(0.126) > CEO혁신의지(0.109) > 투자비(0.102) 등의 순으로 높게 나타났다으며, 반면에 복잡성(0.009), SW라이선스비용

(0.014), 보안성(0.028) 등이 낮게 형성되었다.

공급사 집단의 요인별 가중치 및 우선순위는 상대적이점, 적합성 등 일부 하부기준 요인에서 전체 평균과 다소 차이를 나타내고 있다. 상대적이점은 전체 18개 요인 중 공급사에서 가장 중요하게 보는 영향요인으로 나타났다. 전체 평균에서의 전역 가중치(0.089)보다 공급사의 전역 가중치(0.126)가 현저히 높은 것을 보더라도 상대적 중요도가 크다는 것을 알 수 있다. 상대적이점은 새로운 기술이 갖는 정성적 및 정량적인 기대효과를 말하는데 공급사 입장에서는 새로운 기술로써 수익을 창출하고 구축 경험을 쌓으려는 의지가 크다. 따라서 상대적이점은 고객사를 상대로 한 신규 사업 제안 시 중요 설득 포인트가 된다. 적합성 또한 공급사의 주요 영향요인으로

<표 4> 요인별 가중치 산출 결과 : 공급사

주기준			하부기준				
요인명	가중치	우선순위	요인명	지역		전역	
				가중치	우선순위	가중치	우선순위
기술	0.152	3	(TE1) IT인프라	0.251	2	0.038	14
			(TE2) IT/OT연결	0.271	1	0.041	12
			(TE3) 보안성	0.187	4	0.028	16
			(TE4) 신뢰성	0.234	3	0.035	15
			(TE5) 복잡성	0.057	5	0.009	18
혁신	0.455	1	(IN1) 적합성	0.205	3	0.093	4
			(IN2) 상대적이점	0.277	1	0.126	1
			(IN3) 혁신수용성	0.130	5	0.059	6
			(IN4) CEO리소스지원	0.148	4	0.067	5
			(IN5) CEO혁신의지	0.240	2	0.109	2
조직	0.246	2	(OR1) SW라이선스비용	0.057	5	0.014	17
			(OR2) 운영비	0.194	2	0.048	9
			(OR3) 투자비	0.413	1	0.102	3
			(OR4) PI정도	0.179	3	0.044	11
			(OR5) 인적자원보유정도	0.157	4	0.039	13
환경	0.147	4	(EN1) 경쟁압력	0.310	3	0.046	10
			(EN2) 외부지원	0.360	1	0.053	7
			(EN3) 사회적영향	0.331	2	0.049	8

파악되었다. 전체 평균에서의 전역 가중치(0.078) 보다 공급사의 전역 가중치(0.093)가 현저히 큰 것을 알 수 있다. 적합성의 경우, 새로운 기술이 혁신적이며 고객사의 요구사항에 부합하는 정도가 납기와 품질로 이어지며 이는 곧 공급사의 기술력으로 평가받게 된다. 이러한 공급사 즉 프로젝트 수행 업체가 갖는 특성이 반영되었다고 해석된다.

공급사 집단에서 가중치 및 우선순위가 낮게 형성된 복잡성, SW라이선스비용, 보안성 등의 3개 항목은 전체 평균에서도 가중치와 우선순위가 가장 낮았다. 특히 공급사 집단에서 우선순위(18위)가 최하로 나온 복잡성은 전체 평균에서의 우선순위도 최하위로 나타났다.

4.2.4 집단 간 차이 분석

고객사 대 공급사 간의 주기준 가중치를 기준으로 한 절대값 차이는 환경(0.131) > 혁신(0.098) > 기술(0.023) > 조직(0.010) 등의 순으로 나타났다. 주기준의 우선순위에 따른 집단 간 비교에서는 환경요인이 가장 큰 차이를 보였다. 두 집단 간의 통계적 차이 분석을 위해 Mann-Whitney의 U Test를 적용하여 2표본 비모수검정을 시행하였다. 주기준에 대한 가중치 및 우선순위 결과는 <표 5>와 같다.

하부기준에 대한 가중치 및 우선순위를 비교한 결과는 <표 6>과 같다. 하부기준의 가중치를 기준으로 한 집단 간 비교에서는 사회적영향(0.102)이 가장

큰 차이를 보였고 다음으로 상대적이점(0.067), 적합성(0.032) 등의 순이었다. 하부기준의 우선순위에 따른 집단 간 비교에서는 사회적영향, 상대적이점, 인적자원보유정도, 혁신수용성 등이 차이를 보였다.

고객사의 경우 사회적영향, 경쟁압력 등 기업 외부로부터의 영향요인이 상위에 포함되어있다. 반면에 공급사의 경우, 상대적이점, CEO혁신의지, 투자비, 적합성, 혁신수용성 등 기업 내부에서 발생하는 영향요인을 중요하게 보았다.

한편 집단 간의 통계적 차이를 확인하기 위한 비모수 검정 결과, 사회적영향 요인에서 p-value

0.05 미만의 유의한 차이가 나타났다. 사회적영향의 경우, 고객사 측이 극단적으로 높은 것으로 나타났다. 젊은 세대의 제조업 및 지방 기피 현상으로 인해 인재 확보 및 기술 전수 등 운영상 어려움이 커지고 있어서 고객사 측의 우려가 크다(조혜지, 2017; 이종화, 2020; 석남준, 2020). 또한 재택근무가 어려운 제조업의 특성상 최근의 코로나19 팬데믹 사태로 인한 조업 중단 위험성이 상존함에 따라 직접적인 생산활동을 수행하는 고객사가 경영환경의 변화에 더욱 민감하다고 볼 수 있다.

그밖에 가중치 차이가 두드러지는 항목으로 경쟁압력의 경우, 국내 제조업 경쟁력지수가 지속 하락하고 최근 제조업체의 경영난이 가중됨으로 인해 고객사가 더욱 위기의식을 갖게 되었으며 경쟁사의 경영혁신 및 신기술 도입 여부가 중요 관심 사항이 된다고 볼 수 있다. 상대적이점의 경우, 공급사 측이 월

<표 5> 주기준 가중치 : 고객사 대 공급사

주기준	고객사		공급사		가중치차이 (절대값)	비모수검정 (p-value)
	가중치	우선순위	가중치	우선순위		
기술	0.129	4	0.152	3	0.023	0.755
혁신	0.357	1	0.455	1	0.098	0.630
조직	0.236	3	0.246	2	0.010	0.630
환경	0.278	2	0.147	4	0.131	0.198

〈표 6〉 하부기준 가중치 : 고객사 대 공급사

하부기준	고객사		공급사		가중치차이 (절대값)	비모수검정 (p-value)
	가중치	우선순위	가중치	우선순위		
(TE1) IT인프라	0.039	12	0.038	14	0.001	0.514
(TE2) IT/OT연결	0.027	15	0.041	12	0.014	0.478
(TE3) 보안성	0.013	17	0.028	16	0.015	0.242
(TE4) 신뢰성	0.039	11	0.035	15	0.004	0.799
(TE5) 복잡성	0.010	18	0.009	18	0.001	0.799
(IN1) 적합성	0.061	7	0.093	4	0.032	0.410
(IN2) 상대적이점	0.059	8	0.126	1	0.067	0.089
(IN3) 혁신수용성	0.036	13	0.059	6	0.023	0.101
(IN4) CEO리소스지원	0.065	5	0.067	5	0.002	0.932
(IN5) CEO혁신의지	0.137	2	0.109	2	0.028	0.887
(OR1) SW라이선스비용	0.017	16	0.014	17	0.003	0.443
(OR2) 운영비	0.028	14	0.048	9	0.020	0.178
(OR3) 투자비	0.079	3	0.102	3	0.023	0.347
(OR4) PI정도	0.047	10	0.044	11	0.003	0.977
(OR5) 인적자원보유정도	0.064	6	0.039	13	0.025	0.068
(EN1) 경쟁압력	0.075	4	0.046	10	0.029	0.068
(EN2) 외부지원	0.051	9	0.053	7	0.002	1.000
(EN3) 사회적영향	0.151	1	0.049	8	0.102	0.012*

등히 높게 나타났다. 스마트팩토리의 특성상 도입 초기에 대규모 구축 비용이 수반되므로 고객사의 입장에서 투자자원 마련이 큰 부담으로 작용하여 신중한 태도를 보인다(윤상준, 2019). 반면에 공급사 입장에서는 새로운 기술로써 수익을 창출하고 구축 경험을 쌓으려는 의지가 크다. 즉 ROI는 공급사가 고객사를 상대로 한 사업 제안 시 중요한 설득 포인트가 된다. 아울러 관련 산업의 육성을 위해서는 공급사 측면에서는 스마트팩토리 구축기술을 검증할 수 있는 여러 형태의 테스트 베드가 필요하며, 고객사 측면에서는 산업별 모델이 되는 다양한 구축 사례가 필요하다(조윤주, 2017).

V. 결론

본 연구에서는 AHP기법을 적용하여 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인에 대해 체계적이고 분석적으로 평가하고 우선순위를 산정하였다. 이를 위해 제4차산업혁명과 혁신을 기반으로 한 정보시스템의 채택에 관한 문헌고찰 및 전문가 심층 면담을 통해 선정한 4개 주기준과 18개 하부기준으로 구성된 연구모형을 개발하고, 스마트팩토리의 도입 특성을 분석하기 위해 고객사, 공급사를 중심으로 실증 분석하여 집단 간 차이를 구명하였다.

전체적으로는 혁신의 실행력, 재무적인 준비상태, 투자대비효과, 사회적영향 등이 스마트팩토리 도입

에 영향을 미치는 주요 요인으로 분석되었다. 그동안 신기술 도입 시의 주요 요인으로 고려되지 않던 사회적영향 요인이 코로나19 팬데믹 및 노동환경 변화 등에 따라 스마트팩토리 도입에 크게 작용하는 것으로 본 연구결과 나타났다. 전체 총합에서 높은 가중치를 형성한 상위 요인들과 각 집단에서 높은 가중치를 보인 상위 요인들 간에는 다소 차이가 있다. 반면에 전체 총합에서 낮은 가중치를 형성한 요인들은 각 개별 집단에서도 가중치가 낮게 나타났다. 또한 집단 간 차이분석에서는 집단에 따라 의사결정에 영향을 주는 요인이 상반되는 현상이 나타났다. 특히 사회적영향, 경쟁압력, 인적자원보유정도 등의 중요도가 서로 상이했다. 이는 각 기업이 속한 집단별 특성에 따라 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 핵심 요인들이 다를 수 있고, 스마트팩토리 도입을 결정하고 실행하는 과정에 기업의 전략적 가치를 부여하고 있다는 것을 시사하고 있다.

한편 보안성의 경우, 제4차산업혁명과 관련된 최신 기술의 도입을 다루고 있는 선행연구에서는 매우 중요한 영향요인으로 평가하고 있으나(Ly et al., 2018; Belton et al., 2019; Alguliyev et al., 2018; Brous et al., 2019; Kamble et al., 2018), 본 연구에서는 상대적인 중요도가 낮게 나타났다. 폐쇄형 네트워크에서 운영되던 공장 자동화 시스템에서 한 차원 진보된 스마트팩토리로 발전하는 과정에서 기존 폐쇄형 네트워크를 넘어서는 IT/OT의 연결이 확대되는 만큼, 보안 영역의 위험성은 더욱 높아질 수 밖에 없으므로 이에 대한 대비가 필요하다.

스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 도출하고 실증 분석한 본 연구의 이론적, 실무적 기여도는 다음과 같다.

첫째, 혁신확산이론과 TOE 프레임워크를 결합한 모델을 적용하여 스마트팩토리 도입 요인에 대한 연구를 실시하였다. 기존의 기술, 비용, 효과 등의 보편적인 틀에서 벗어나 기술 측면, 혁신 측면, 조직

측면 및 환경적 측면에서의 영향을 미치는 요인들을 도출하여 포괄적으로 분석했다.

둘째, 스마트팩토리 도입 특성을 파악하기 위해 관련 집단을 다차원적으로 설정하고, 집단 간 차이를 구명함으로써 통합적이고 분석적인 시각을 제공할 수 있는 연구모형을 개발했다. 이는 고객사와 공급사의 관점에서 스마트팩토리 도입 정책 및 수주 전략을 어떻게 수립해야 하는지에 대한 증거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

셋째, AHP 분석을 통해 도출한 요인들의 가중치를 상황에 맞게 검토하여 활용함으로써 실무에서 진행되는 스마트팩토리에 대한 도입검토, 투자심의, 제안평가 등의 이행과정에서 의사결정을 위한 평가 자료로 제공될 수 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

첫째, 집단별 조사대상 표본 수가 적어 해당 집단의 세부적인 특성을 파악하기 어려운 한계가 있다. 스마트팩토리 관련 분야에 종사하는 전문가를 대상으로 면담 조사를 수행하였으나 보다 다양한 표본을 확보하여 데이터에 대한 신뢰성을 높여야 한다.

둘째, 요인의 도출 및 우선순위 산정에 비중을 두다 보니 계층 내 각 요인 간의 인과관계를 파악할 수 있는 선행연구가 상대적으로 미흡했다. 향후 각 요인 간의 인과적 관계를 실증적으로 구명하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 스마트팩토리와 관련된 기존 연구가 미흡한 결과, 본 연구에서는 스마트팩토리와 보다 밀접한 요인들을 선정하는 것은 난해한 과제였다. 향후에는 일반적인 정보기술 관련 요인들을 줄이고 스마트팩토리 관련 요인들의 비중을 높이는 노력이 필요할 것이다.

향후 연구를 위한 방향은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 적용한 비교 대상 집단을 업종별, 기업 규모별(대기업, 중견기업, 중소기업 등), 글로벌 거점별로 확대하여 추가 분석함으로써 실무

적인 기여도를 높일 수 있다.

둘째, 스마트팩토리 도입 및 이행과정에서 생성되는 기초 데이터를 수집 및 분석하여 실제 의사결정 과정에서 어떠한 요인들이 어떤 강도로 영향을 미치는지 대안을 설정하고 평가하는 추가적인 연구가 가능하다.

셋째, 스마트팩토리 도입 이후 새로 구축된 프로세스와 시스템의 활용도를 분석하고 피드백 함으로써 지속적인 혁신이 이루어지도록 지원할 필요가 있다. 아울러 신기술의 도입이 기업 내 구성원, 조직 및 공급망 상의 관련 업체에는 어떠한 영향을 미치며 기업의 성과로는 어떻게 연결되는지 후속 연구를 이어간다면 흥미로울 것이다.

REFERENCES

- Aboelmaged, M. and G. Hashem(2018), "RFID Application in Patient and Medical Asset Operations Management : A Technology, Organizational and Environmental (TOE) Perspective into Key Enablers and Impediments," *International Journal of Medical Informatics*, 118, 58-64.
- Ahmed, A. L. and M. Kassem(2018), "A Unified BIM Adoption Taxonomy: Conceptual Development, Empirical Validation and Application," *Automation in Construction*, 96, 103-127.
- Alam, M. G. R., A. K. M. Masum, L. S. Beh and C. S. Hong(2016), "Critical Factors Influencing Decision to Adopt Human Resource Information System (HRIS) in Hospitals," *PLOS ONE*, 11(8).
- Alguliyev, R., Y. Imamverdiyev and L. Sukhostat (2018), "Cyber-Physical Systems and Their Security Issues," *Computers in Industry*, 100, 212-223.
- Arnold, C., J. W. Veile and K. Voigt(2018), "What Drives Industry 4.0 Adoption? An Examination of Technological, Organizational, and Environmental Determinants," *In: Paper Presented at the 27th International Conference On Management of Technology (IAMOT)*.
- Bao, Y.(2009), "Organizational Resistance to Performance-Enhancing Technological Innovations: A Motivation-Threat-Ability Framework," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 24(2), 119-130.
- Belton, K. B., D. B. Audretsch, J. D. Graham and J. A. Rupp(2019), "Who Will Set the Rules for Smart Factories," *Issues in Science & Technology*, 35(3), 70-76.
- Bhatiasevi, V. and M. Naglis(2018), "Elucidating the Determinants of Business Intelligence Adoption and Organizational Performance," *Information Development*.
- Brous, P., M. Janssen and P. Herder(2019), "The Dual Effects of the Internet of Things (IoT) : A Systematic Review of the Benefits and Risks of IoT Adoption by Organizations," *International Journal of Information Management*, 51.
- Büchi, G., M. Cugno and R. Castagnoli(2020), "Smart Factory Performance and Industry 4.0," *Technological Forecasting and Social Change*, 150(1).
- Chau, P. Y. K. and K. Y. Tam(1997), "Factors Affecting the Adoption of Open Systems: An Exploratory Study," *MIS Quarterly*, 21(1), 1-24.
- Chiarello, F., L. Trivelli, A. Bonaccorsi and G. Fantoni(2018), "Extracting and Mapping Industry 4.0 Technologies Using Wikipedia," *Computers in Industry*, 100(1), 244-257.

- Cho, Y. J. (2017), "Domestic Smart Factory Promotion Strategy in the 4th Industrial Revolution Era," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 35 (6), 40-48. [Printed in Korean]
- Critcher, C. and B. Gladstone (1998), "Utilizing the Delphi Technique in Policy Discussion: A Case Study of a Privatized Utility in Britain," *Public Administration*, 76(3), 431-449.
- Dalkey, N. C., B. B. Brown and S. W. Cochran (1970), *The Delphi Method, IV: Effect of Percentile Feedback and Feed-in of Relevant Facts*, Rand Corporation.
- Ehie, I. C. and M. A. Chilton (2019), "Understanding the Influence of IT/OT Convergence on the Adoption of Internet of Things (IoT) in Manufacturing Organizations: An Empirical Investigation," *Computers in Industry*, 115.
- Fan, W., J. Liu, S. Zhu, and P. M. Pardalos (2018), "Investigating the Impacting Factors for the Healthcare Professionals to Adopt Artificial Intelligence-Based Medical Diagnosis Support System (AIMDSS)," *Annals of Operations Research*, 294, 567-592.
- Ghobakhloo, M. and N. T. Ching (2019), "Adoption of Digital Technologies of Smart Manufacturing in SMEs," *Journal of Industrial Information Integration*, 16(1).
- Ghobakhloo, M. and S. H. Tang (2015), "Information System Success among Manufacturing SMEs: Case of Developing Countries," *Information Technology for Development*, 21(4), 573-600.
- Gowan, J. A. and R. G. Mathieu (1996), "Critical Factors in Information System Development for a Flexible Manufacturing System," *Computers in Industry*, 28(3), 173-183.
- Han, S. H., Y. C. Lee (2008), "An Empirical Study on TOE Framework based factors for Motivation and Diffusion of PLM," *The e-Business Studies*, 9(4), 363-391. [Printed in Korean]
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014), "Smart Production Systems. A New Type of Industrial Process Innovation," *Paper Presented at the DRUID Society Conference*.
- Hossain, A., R. Quaresma and H. Rahman (2019), "Investigating Factors Influencing the Physicians' Adoption of Electronic Health Record (EHR) in Healthcare System of Bangladesh: An Empirical Study," *International Journal of Information Management*, 44, 76-87.
- Hsu, C. L. and J. C. C. Lin (2015), "Factors Affecting the Adoption of Cloud Services in Enterprises," *Information Systems and e-Business Management*, 14(4), 791-822.
- Hsu, P. F., K. L. Kraemer and D. Dunkle (2006), "Determinants of e-Business Use in US Firms," *International Journal of Electronic Commerce*, 10(4), 9-45.
- Huh, Moon-goo (2018), "Enhancing the Competitiveness of Korean Firms: Dynamic Capabilities Perspective," *Korea Business Review*, 22(2), 155-176. [Printed in Korean]
- Ilin, V., J. Ivetić and D. Simić (2017), "Understanding the Determinants of e-Business Adoption in ERP-Enabled Firms and Non-ERP-Enabled Firms: A Case Study of the Western Balkan Peninsula," *Technological Forecasting & Social Change*, 125, 206-223.
- Jabbour, A. B. L., C. J. C. Jabbour, C. Foropon and M. G. Filho (2018), "When Titans Meet - Can Industry 4.0 Revolutionise the Environmentally-Sustainable Manufacturing Wave? The Role of Critical Success Factors," *Technological Forecasting and Social Change*, 132(1), 18 - 25.
- Jang, Sung-hee (2010), "A Study on the Factors Influencing RFID Diffusion: In the Perspective of Innovation Diffusion Theory," *Journal*

- of The Korea Society of Computer and Information, 15(11), 173-183. [Printed in Korean]
- Jin, Sung-ok, Y. W. Seo(2019), "A Study on the Effect of Technological Innovation on the Implementation of Smart Factory through the Environmental Factors of the Enterprise -Absorption Capacity as Moderating Variable-," *The Journal of the Korea Contents Association*, 19(10), 407-420. [Printed in Korean]
- Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig(2013), *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 : Securing the Future of German Manufacturing Industry*, Forschungsunion.
- Kamble, S. S., A. Gunasekaran and R. Sharma(2018), "Analysis of the Driving and Dependence Power of Barriers to Adopt Industry 4.0 in Indian Manufacturing Industry," *Computers in Industry*, 101, 107-119.
- Kim, Han-ju., H. Huh, J. W. Kang, J. M. Boo (2019), "A Study on Factors Influencing the Introduction of Smart Factory: Focusing on Small and Medium-sized Enterprises in Korea," *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, 42(3), 252-261. [printed in Korean]
- Kim, Hyun-gyu(2019), "An Empirical Study on Continuous Use Intention and Switching Intention of the Smart Factory," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 24(2), 65-80. [Printed in Korean]
- Lai, H. M., I. C. Lin and L. T. Tseng(2014), "High-Level Managers' Considerations for RFID Adoption in Hospitals: An Empirical Study in Taiwan," *Journal of Medical Systems*, 38(2), 1-17.
- Lee, Dasol, J. M. Boo, H. S. Jung(2020), "Analyzing Factors Influencing the Introduction of Smart Factory : Focusing on Type of Manager and Firm age," *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 43(2), 110-119. [Printed in Korean]
- Lee, J. D. and B. D. Seppelt(2009), *Human Factors in Automation Design*, Springer Handbook of Automation.
- Lee, Wonjun(2018), "The Fourth Industrial Revolution and Changes in Management and Marketing," *Korea Business Review*, 22(1), 177-194. [Printed in Korean]
- Lian, J. W., D. C. Yen and Y. T. Wang(2014), "An Exploratory Study to Understand the Critical Factors Affecting the Decision to Adopt Cloud Computing in Taiwan Hospital," *International Journal of Information Management*, 34(1), 28 - 36.
- Lin, D., C. K. M. Lee, H. Lau and Y. Yang(2018), "Strategic Response to Industry 4.0: An Empirical Investigation on the Chinese Automotive Industry," *Industrial Management & Data Systems*, 118(3), 589-605.
- Lucke, D., C. Constantinescu and E. Westkämper (2008), "Smart Factory - A Step Towards the Next Generation of Manufacturing," *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems.
- Ly, P. T. M., W. H. Lai, C. W. Hsu and F. Y. Shih (2018), "Fuzzy AHP Analysis of Internet of Things (IoT) in Enterprises," *Technological Forecasting and Social Change*, 136(1), 1-13.
- Martins, R., T. Oliveira and M. A. Thomas(2016), "An Empirical Analysis to Assess the Determinants of SaaS Diffusion in Firms," *Computers in Human Behavior*, 62, 19 - 33.
- Mittal, S., M. A. Khan, D. Romero and T. Wuest (2018), "A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium-sized

- Enterprises (SMEs)," *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-214.
- Napoleone, A., M. Macchi and A. Pozzetti(2020), "A Review on the Characteristics of Cyber-Physical Systems for the Future Smart Factories," *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 305-335.
- Oh, Seung-chul, Y. H. Ahn(2019), "A Study on the Diagnosis Measurement for the Smart Factory Level in the 4th Industrial Revolution," *Korea Logistics Review*, 29(6), 149-162. [Printed in Korean]
- Oliveira, T. and M. F. Martins(2011), "Literature Review of Information Technology Adoption Models at Firm Level," *The Electronic Journal Information Systems Evaluation*, 14(1), 110-121.
- Oliveira, T., R. Martins, S. Sarker, M. Thomas and A. Popovič(2019), "Understanding SaaS Adoption: The Moderating Impact of the Environment Context," *International Journal of Information Management*, 49, 1-12.
- Park, Min-kyu, M. Y. Kim, S. B. Yang(2020), "Prioritizing Indicators for Detecting Fraudulent Claims of Health Insurance Based on AHP," *Korea Business Review*, 24(1), 89-105. [Printed in Korean]
- Pudjianto, B., H. Zo, A. P. Ciganek and J. J. Rho (2011), "Determinants of e-Government Assimilation in Indonesia: An Empirical Investigation Using a TOE Framework," *Asia Pacific Journal of Information Systems*, 21 (1), 49 - 80.
- Radziwon, A., A. Bilberg, M. Bogers and E. S. Madsen (2014), "The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions," *Procedia Engineering*, 69, 1184-1190.
- Rogers, E. M.(1983), *Diffusion of Innovations*. 3rd ed., The Free Press, New York.
- Rogers, E. M.(1995), *Diffusion of Innovations*. 4th ed., The Free Press, New York.
- Rogers, E. M.(2003), *Diffusion of Innovations*. 5th ed., The Free Press, New York.
- Saaty, T. L.(1980), *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill International Book Company.
- Saaty, T. L.(1990), "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L.(2008), "Decision Making with the Analytic Hierarchy Process," *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Shi, P. and B. Yan(2016), "Factors Affecting RFID Adoption in the Agricultural Product Distribution Industry: Empirical Evidence from China," *SpringerPlus*, 5(1).
- Sjödin, D. R., V. Parida, M. Leksell and A. Petrovic (2018), "Smart Factory Implementation and Process Innovation," *Research-Technology Management*, 61(5), 22 - 31.
- Sohn, Seyung-hee(2016), "A Study on the Ranking of the Scenario-Specific Influencing Factors on Acquiring Information Systems Using the Delphi and Entropy Approach," *Koreanische Zeitschrift fuer Wirtschaftswissenschaften*, 34(2), 43-67. [Printed in Korean]
- Sung, T. K., "Industry 4.0: A Korea Perspective (2018)," *Technological Forecasting and Social Change*, 132(1), 40-45.
- Tornatzky, L. G. and M. Fleischer(1990), *The Processes of Technological Innovation*, Lexington Books.
- Vargas, L. G.(1990), "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications," *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2-8.
- Venkatesh, V., M. G. Moris, G. B. Davis and F. D. Davis(2003), "User Acceptance of Information

- Technology: Toward a Unified View," *MIS Quarterly*, 27(3), 425 - 478.
- Wang, S., J. Wan, D. Li and C. Zhang(2016), "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1-10.
- Won, J. Y. and M. J. Park(2020), "Smart Factory Adoption in Small and Medium-sized Enterprises: Empirical Evidence of Manufacturing Industry in Korea," *Technological Forecasting and Social Change*, 157.
- Yi, Kon-su, B. K. Kim(2010), "Social Risk and Evaluation of Risk Response Policies: Analysis of Relative Significance Using AHP," *Korean Society and Public Administration*, 21(2), 193-214. [Printed in Korean]
- Yoo, W., E. Yu and J. Jung(2018), "Drone Delivery: Factors Affecting the Public's Attitude and Intention to Adopt," *Telematics and Informatics*, 35(6), 1687-1700.
- Yoon, C., D. Lim and C. Park(2020), "Factors Affecting Adoption of Smart Farms: The Case of Korea," *Computers in Human Behavior*, 108.
- Yoon, J. S., S. J. Shin and S. H. Suh(2012), "A Conceptual Framework for the Ubiquitous Factory," *International Journal of Production Research*, 50(8), 2174 - 2189.
- Zahedi(1986), F., "The Analytic Hierarchy Process a Survey of the Method and Its Applications," *Interfaces*, 16(4), 96-108.
- Zeng, Z. and C. B. Cleon(2018), "Factors Affecting the Adoption of a Land Information System: An Empirical Analysis in Liberia," *Land Use Policy*, 73, 353-362.
- Zhang, T., D. Tao, X. Qu, X. Zhang, R. Lin, W. Zhang(2019), "The Roles of Initial Trust and Perceived Risk in Public's Acceptance of Automated Vehicles," *Transportation Research Part C*, 98, 207-220.
- Zhu, K., S. Dong, S. X. Xu and K. L. Kraemer(2006), "Innovation Diffusion in Global Contexts: Determinants of Post-Adoption Digital Transformation of European Companies," *European Journal of Information Systems*, 15(6), 601-616.
- Zuehlke, D.(2010), "Smart Factory — Towards a Factory-of-Things," *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129-138.

국내참고문헌

- 김경록(2020), "중소 혁신성장, 스마트팩토리 구축에 달려," 매일경제, 2020년 4월 16일자.
- 김명희(2019), "스마트제조혁신, 한국의 등대공장을 찾아서 <1> 한국 스마트공장의 위기와 기회," 전자신문, 2019년 6월 26일자.
- 김봉기(2020), "공장이 똑똑해지면 품질은 더 좋아지고 일자리도 늘어난다," 조선일보, 2020년 3월 25일자.
- 김주완(2020), "스마트공장 뛰어드는 대기업 IT 계열사들," 한국경제, 2020년 6월 29일자.
- 김지선(2019), "현대차, 오라클 DB 유지보수도 버렸다... 대기업, 탈 오라클 행보 본격화," 전자신문, 2019년 5월 1일자.
- 김한주, 허훈, 강재원, 부제만(2019), "스마트팩토리 도입 시 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 국내 중소기업을 중심으로," **산업경영시스템학회지**, 42(3), 252-261.
- 김현규(2019), "스마트 팩토리의 지속사용의도와 전환의도에 관한 실증연구," **한국산업정보학회논문지**, 24(2), 65-80.
- 노승용(2006), "델파이 기법(Delphi Technique): 전문적 통찰로 미래예측하기," **국토**, 2006-9호, 2006.9.10 일 발행.
- 박민규, 김민용, 양성병(2020), "계층화분석기법(AHP)을 이용한 건강보험 부담청구 감지지표 우선순위 도출," **Korea Business Review**, 24(1), 89-105.

- 박양신, 지민웅(2020), “국내 중소·중견기업의 스마트제조 구축 실태와 성과: 정부의 스마트공장사업 참여 기업을 중심으로,” **i-KIET 산업경제이슈**, 81호, 2020.4.13일 발행.
- 박현(2000), **예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구**, 한국개발연구원.
- 석남준(2020), “코로나궤 기업 위기… 똑똑한 공장으로 돌파한다,” **조선일보**, 2020년 6월 24일자.
- 성현희(2020), “중기부, 스마트 제조혁신에 5000억 투입… 지원사업 통합공고,” **전자신문**, 2020년 1월 31일자.
- 손승희(2016), “델파이-엔트로피 기법을 이용한 정보시스템획득 시나리오 유형별 영향요인의 우선순위에 관한 연구,” **한국경영논총**, 34(2), 43-67.
- 스마트제조혁신추진단(2020), **스마트공장 소개**, <https://www.smart-factory.kr/smartFactoryIntro>.
- 신찬욱(2020), “한곳만 뚫려도 시스템 마비… 스마트공장, 해커공격에 무방비,” **매일경제**, 2020년 9월 1일자.
- 오승철, 안영호(2019), “4차 산업혁명 시대의 스마트팩토리 수준 진단 방안에 대한 연구,” **한국물류학회지**, 29(6), 149-162.
- 오주환(2019), **스마트 팩토리의 전략적 활용 연구: 구축 목적 및 내용이 지속적 사용의도에 미치는 영향**, 경영학 박사학위논문, 충북대학교.
- 윤상언(2019), “스마트 팩토리 AS 안돼서 이제는 한계… 중소기업의 한숨,” **중앙일보**, 2019년 4월 14일자.
- 윤상준(2019), “명확한 비전 없는 스마트팩토리… 그건 인력 줄이는 자동화일 뿐,” **한국경제**, 2019년 11월 14일자.
- 이근수, 김병규(2010), “사회적 위험과 위기대응적 사회정책의 평가: AHP를 이용한 상대적 중요도 분석,” **한국사회와 행정연구**, 21(2), 193-214.
- 이다솔, 부제만, 정현식(2020), “스마트 팩토리 도입에 영향을 미치는 요인 분석 : 경영인 유형과 업력을 중심으로,” **산업경영시스템학회지**, 43(2), 110-119.
- 이덕주(2020), “업무보고에 7개 스타트업도… 정부 스마트공장 특별법 제정,” **매일경제**, 2020년 2월 18일자.
- 이성웅(1987), **델파이 기술예측방법의 유용성에 관한 연구**, 경영학 박사학위논문, 전북대학교.
- 이원준(2018), “4차 산업혁명의 논의와 경영 및 마케팅 관리의 변화,” **Korea Business Review**, 22(1), 177-193.
- 이종화(2020), “로봇이 힘든 작업 대신하니… 스마트공장엔 젊은이들 줄었네,” **매일경제**, 2020년 7월 22일자.
- 이진우, 한예경, 지홍구, 서동철, 이종혁, 박대의, 임형준, 박재영(2020), “최고의 스마트기술 도입해도 일하는 방식 그대로면 도루묵,” **매일경제**, 2020년 8월 19일자.
- 이창효(2000), **집단의사결정론**, 서울, 세종출판사.
- 장성희(2010), “RFID의 확산에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 혁신확산이론 관점에서,” **한국컴퓨터정보학회논문지**, 15(11), 173-183.
- 장형태, 김신영(2020), “[Mint] 인터넷은 ‘라떼’… 이젠 클라우드 시대,” **조선일보**, 2020년 11월 29일자.
- 전수남(2019), “스마트공장의 끝판왕, ‘AI공장’ 중소기업이 어떻게?,” **정보통신산업진흥원 이슈리포트**, 2019-26호, 2019.9.16일 발행.
- 조기원(2020), “코로나 시대, 식품안전의 길,” **경향신문**, 2020년 9월 25일자.
- 조용주(2017), “4차 산업혁명 시대에 국내 스마트팩토리 추진전략,” **정보과학회지**, 35(6), 40-48.
- 조혜지(2017), “ICT로 제조혁신, 스마트팩토리,” **정보통신기술진흥센터 ICT SPOT ISSUE**, 2017-11호.
- 진성욱, 서영욱(2019), “기업의 환경요인을 통한 기술혁신이 Smart Factory 구축에 미치는 영향 연구 : 흡수역량을 조절변수로,” **한국콘텐츠학회논문지**, 19(10), 407-420.
- 한석희, 이윤철(2008), “PLM추진동기와 확산에 미치는 TOE Framework기반요인들에 대한 실증연구,” **e-비즈니스연구**, 9(4), 363-391.
- 허문구(2018), “한국기업의 경쟁력 강화 방안: 동적 역량 관점,” **Korea Business Review**, 22(2), 155-176.
- 허재준(2018), **AHP를 이용한 IT서비스업체 선정요인의 우선순위 분석**, 경영학 박사학위논문, 단국대학교.

A Study on the Factors that Affect the Adoption of a Smart Factory - Focusing on the Comparison between Customers and Suppliers -

Kyong Suk Ko* · Jae Jun Huh** · Jay In Oh***

Abstract

With the advent of the Fourth Industrial Revolution based on ICT, convergence between manufacturing and ICT is emerging as a new competitiveness. Traditional manufacturing powerhouses are striving to secure their manufacturing competitiveness by building smart factories based on a public-private cooperation. Therefore, the purpose of this study is to identify factors that affect the adoption of a smart factory through literature review, and to develop the research model as well as empirically analyze it by modifying and supplementing through Delphi Study. To this end, a research model consisted of criteria such as technology, innovation, organization, environment and 18 other sub-criteria by combining TOE and DOI model. To empirically analyze this model, AHP method was used for experts from domestic smart factory customers and suppliers.

The result of the empirical analysis showed that the relative importance of factors differed depending on the characteristics of each group and identified that factors that influence decision making were the opposite among groups. In the end, key factors that affect the adoption of smart factories may differ depending on the characteristics of each group, suggesting that the company is attaching strategic value to the process of deciding and implementing smart factories adoption.

As the AHP analysis model derived from this study can be utilized by customizing weighted values of each factors in accordance with the business situation, it could be provided as an assessment material for decision-making in implementation process, such as planning, investment review and evaluation of proposals for smart factory, in practical business.

Key Words: Smart Factory, The Fourth Industrial Revolution, Cyber Physical System, AHP

* CEO, DI Ware Corp., First Author

** CEO, P&T Partners Inc.

*** Professor, Department of Business Administration, Dankook University, Corresponding Author